



Høgskolen i Sørøst-Norge
Fakultet for teknologi, naturvitenskap og maritime fag

Mastergradsavhandling

Studieprogram: 918

Høst 2017

Tove Vigdel

Klima & Fenologi

Epleblomstring vs. Varmesum



Høgskolen i Sørøst-Norge
Fakultet for teknologi, naturvitenskap og maritime fag
Institutt for natur-, helse- og miljøvern
Postboks 235
3603 Kongsberg

<http://www.usn.no>

© 2017 Tove Vigdel

Denne avhandlingen representerer 60 studiepoeng

Sammendrag

Fenologi er studiet av de periodiske begivenhetene i dyr eller planters livssyklus, som påvirkes av miljøet. Fenologiske faser reflekterer klimaets karakteristikk; intervallene for de ulike periodiske begivenhetene er nært knyttet til klima og værforhold. Klima på et sted er gjennomsnittsverdier og variasjoner over lengre tidsperioder av de størrelser som beskriver været. De siste 150 år viser en global temperaturøkning, med størst oppvarming på høye nordlige bredder. Dersom antropogene klimagassutslipp holder frem i dagens takt, beregnes global middeltemperatur å øke med 3-5 °C innen år 2100. Som redskap i forståelsen av klimaendringene står fenologi sentralt; fenologi betraktes som den mest sensitive og observerbare indikatoren for plantens respons på klimaendring. For å vurdere klimaets innvirkning på det kultiverte epletreet (*Malus domestica*) blomstringstidspunkt, er historiske blomstrings- og klimadata fra Midt-Telemark anvendt i utviklingen av en teoretisk modell, hvis formål er å etablere fenologisk sammenheng mellom blomstringstidspunkt og temperatur. Undersøkelsens modellerte resultat viser en temperaturøkning på mellom 2-6 °C, med samsvarende tidligere blomstring på henholdsvis 11-, 23- og 40 dager i ulike scenarier. Det rapporteres om forskyvning i tidspunktet og lengden på vekstsesongen, og den fenologiske starten på våren korrelerer veldig godt med lufttemperaturen foregående måneder. Klimapåvirkningene på organisme- og økosystemfunksjon er tydeligst når temperatur er hoveddriver, og det råder dermed stor tillit til at fenologiske endringer kan tilskrives oppvarmingen. Som konsekvens av globale klimaendringer blir temperaturregimet mer ustabil, med økt frekvens av varmeepisoder. I et fremtidsklima vil det være vesentlig å vurdere store temperaturfluktuasjoner i de avgjørende overgangsperiodene gjennom våren som en trussel mot terrestriske økosystems struktur og funksjon. Et varmere klima kan øke risikoen for frostskaide på planter. I det raske fenologiske skiftet observert som respons på klimaendringene, er paradokset at klimaforholdene blir varmere med en hastighet som overstiger evolusjonære justeringer. Det essensielle spørsmålet er dermed om de observerte skiftene er tilstrekkelig store, altså om artene vil kunne tilpasse seg raskt nok til deres foranderlige verden. Fenologiske endringer påvirker ikke bare flora og fauna, men kan også ha store økonomiske og sosiale konsekvenser.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	3 -
Forord	6 -
1 Innledning	7 -
1.1 Aktuell fenologisk litteratur	8 -
1.1.1 Epletrees fenofaser.....	8 -
1.1.2 Varmesummens effekt på blomstring	13 -
1.1.3 Vekstrytme; dvale, herding, frost	14 -
1.2 Klima; historisk og i endring	19 -
1.3 Klima og fenologi.....	23 -
2 Material og metode	24 -
2.1 Områdebeskrivelse	24 -
2.2 Datasett.....	28 -
2.2.1 Blomstring på Hegnun.....	28 -
2.2.2 Meteorologiske data	28 -
2.3 Dataanalyser	31 -
2.3.1 Modell for blomstringsdag	31 -
2.3.2 Modell anvendt i tilbaketrend	35 -
2.3.3 Modell anvendt i fremtidsscenario	36 -
2.3.4 Mann-Kendall	36 -
2.3.5 Risiko for frostskaade	36 -
3 Resultat	38 -
3.1 Middelterperatur januar-juni; 1920-2013 og 2071-2100	38 -
3.2 Modellert tilbaketrend	40 -
3.3 Modellert fremtidsscenario.....	41 -
3.4 Mann-Kendall.....	42 -
3.5 Risiko for frostskaade	43 -
4 Diskusjon	44 -
4.1 Modellutvikling.....	44 -
4.2 Klima; naturlig variasjon og endring	47 -
4.3 Fenologi som respons på klimaendringene.....	51 -
4.3.1 Lengre vekstsesong & Tidligere blomstring	53 -
4.3.2 Temperatur; dvale og risiko for frostskaade	56 -
4.4 Fenologi som verktøy i klimaendringene.....	65 -
5 Konklusjon	67 -

Litteratur/Referanser	- 68 -
Oversikt over figurer og tabeller	- 73 -
Vedlegg I: Den generelle BBCH-skalaen	- 78 -
Vedlegg II: BBCH-skalaen for kjernefrukttre	- 79 -
Vedlegg III: Datasett – Homogenisert temperaturserie	- 80 -
Vedlegg IV: Korrelasjon teoretisk/faktisk blomstring	- 81 -
Vedlegg V: Middeltemperatur januar-juni	- 82 -
Vedlegg VI: Mann-Kendall	- 83 -
Vedlegg VII: Risiko for frostskaade.....	- 84 -

Forord

Foreliggende arbeid er en master i natur-, helse- og miljøvern (918), ved Høgskolen i Sørøst-Norge, fakultet for teknologi, naturvitenskap og maritime fag. Dokumentet har en vedleggsdel for diverse dataserier, tabeller og grafer, og som refereres i teksten. Arvid Odland, professor i vegetasjonsøkologi, er hovedveileder for masteroppgaven; professor i klimatologi Inger Hanssen-Bauer, er biveileder. Til nevnte rettes det herved en stor takk for uvurderlig hjelp, støtte, og samarbeid. Her var alltid åpne dører å finne. Deres bidragsvilje, gode råd og kyndige hjelp og støtte motiverte underveis. Spesielt vil jeg takke Inger Hanssen-Bauer for hennes tid og enestående engasjement langt utover all forventning, og ikke minst tilrettelegging for oppgaven ved utvikling av essensielle datasett. En spesiell takk rettes også Karin Li, hvis kunnskap om sin ektefelles møysommelige notatføring sørget for at masteroppgaven så dagens lys, og selvsagt Herr Li som utførte noteringsarbeidet. Telefrukt v/ Svein Børte rettes også en takk for konstruktive møter i oppstartsfasen. Avslutningsvis sendes varme tanker til min kjære, som takk for kjærligheten prosessen igjennom.

*I et landskap, nytt og uten minner, står et epletre i blomst og skinner
Epletreet dufter nyskapt sommer
Her har tiden aldri vært
Den kommer*

Bø, 15.11.2017

Tove Vigdel

1 Innledning

Variasjon i klima har bestandig eksistert, og ifølge FNs klimapanel (the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) beregnes den globale middeltemperaturen å ha variert med mellom 4 °C og 7 °C de siste par millioner år (IPCC 2007). Temperaturvariasjonene har vært langt mindre etter at siste istid tok slutt for ca. 11 700 år siden. Det er i løpet av denne perioden menneskene har utviklet, og gjort seg avhengige av, jord- og hagebruk. I løpet av de to siste millennia antas variasjonene i den globale middeltemperatur å ha ligget innenfor 1 °C (IPCC 2013), men selv disse små globale variasjonene har i ulike regioner påvirket betingelsene for jordbruksproduksjon betydelig (IPCC 2014b). Dersom antropogene klimagassutslipp holder frem i dagens takt, beregnes global middeltemperatur å øke med 3-5 °C innen år 2100 (IPCC 2013), og da med utvilsomme konsekvenser for ulike vekster; en del av hvis generelle trekk oppsummeres av IPCC WGII (IPCC 2014a).

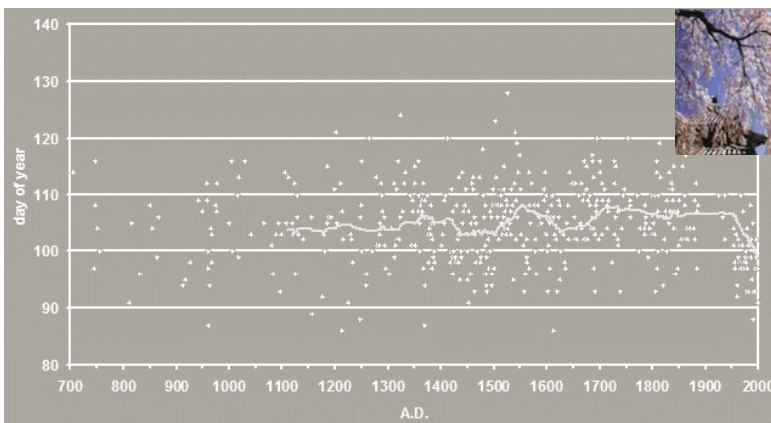
Lengre vekstsesong og tidligere blomstring er kommende effekter av klimaendringene (Koch *et al.* 2007). Temperatur er den miljøfaktoren med størst betydning for plantefenologien på nordlige breddegrader (Wielgolaski *et al.* 2011). For å vurdere kommende klimaendringers påvirkningsgrad på nyttevekster i bestemte områder, og derved muliggjøre for endringsplanlegging, kreves mer inngående studier. Én mulighet er å bruke historiske vegetasjons- og klimadata til å etablere fenologiske sammenhenger. Finner man robuste sammenhenger, bør disse kunne benyttes i vurderingen om klimavariasjoner allerede har ført til endring i fenofasene for de aktuelle artene, samt, i kombinasjon med klimaframskrivninger, til å utvikle scenarier for fenofasene.

Målsettingen for masteroppgaven er å fremstille klimaets innvirkning på det kultiverte epletreet (*Malus domestica*) blomstringstidspunkt, presentert i en generell innledning og en undersøkelse. Foreliggende innledning oppsummerer fenologisk litteratur, da særlig omhandlende kjernefrukttrær, samt aktuell litteratur med henblikk på historisk og beregnet fremtidig klimautvikling i Norge. I undersøkelsen anvendes datasett fra Midt-Telemark for å etablere og teste sammenhengen mellom klimadata og blomstringstidspunkt (rød Gravenstein); sammenhengen danner grunnlaget for diskusjon vedrørende historiske- og mulige fremtidige trender i blomstringstidspunkt. Anvendt undersøkelsesområde og datasett presenteres i kapittel to, og metodene gjengis

i kapittel tre. Kapittel fire presenterer resultatene av utførte beregninger, som i lys av relevant litteratur diskuteres i kapittel fem.

1.1 Aktuell fenologisk litteratur

Fenologi er studiet av de periodiske begivenhetene i dyr eller planters livssyklus, som påvirkes av miljøet (særlig sesongvariasjon i temperatur og nedbør) (Cleland *et al.* 2007). Ordet har sitt opphav i de to greske ordene *phaino* (å dukke opp, å bli synlig) og *logos* (læren om), og ble først introdusert som begrep av den belgiske botanikeren Charles Morren i 1853 (Haggerty & Mazer 2008). Tidligere ble fenologiske



Figur 1.1: Registreringen av starten for kirsebærblomstringen (dag i året) i Kyoto, Japan, dateres tilbake til 705 e.Kr., og er med det den eldste dataserien man kjenner til (Koch *et al.* 2007).

observasjoner samlet for anvendelse i landbruk og skogbruk, da særlig relatert til beskrivelsen av klimatologiske vekstforhold og valget av egnede vekster og sorter.

Den eldste fenologiske dataserien man har kjennskap til (figur 1.1),

er av kirsebærblomstringen (*Prunus jamasakura*) ved det kongelige hoff i Kyoto, Japan, som dateres tilbake til 705 e. Kr. Det som tidligere ble notert ned av naturhistorie-, agrikultur- og hortikulturinteresserte, har i den senere tid fått ny betydning i anerkjennelsen av verdien som den (sannsynligvis) eldste biologiske registrering.

Periodiske livssyklusbegivenheter betegnes som *fenofase* (tilsvarer fenologisk begivenhet), og tilsvare et bestemt stadium i en organismes utvikling (som blomstring, fruktutvikling eller aldring hos planter) (Cleland *et al.* 2007); fenologiske observasjoner relateres vanligvis til dag i året eller til klimadata.

1.1.1 Epletrees fenofaser

Historisk står eplet sterkt i trosliv og kultur, helt fra kunnskapens tre i Paradis; den første frukthagen. I norrøn mytologi spiser gudene i Åsgård epler for evig ungdom, og de greske sogene beretter om Zevs og Hera som får et epletre i bryllupsgave av Moder Jord, og om «stridseplet» som utgjør opptakten til den trojanske krig. Eplet er viktig i

norsk og utenlandsk folkediktning. Under epletreet med et fallende eple utarbeides tyngdekraftteorien av Isaac Newton, som dermed blir én av historiens fremste vitenskapsmenn (Grønsnes *et al.* 2002).

Eplet tilhører rosefamilien, og bærer det latinske navnet *Malus*. I opprinnelsen hang villeplet surt og lite på et villepletre i Kaukasusområdet, og fra her har opphavsartene krysset og spredt seg. Det kultiverte eplet *Malus domestica* stammer fra villeplet; trolig fra de to hovedsortene *Malus sylvestris* og *Malus pumila* (Grønsnes *et al.* 2002). Hippokrates (460-370 f.Kr.) skildrer grekernes evne til poding, og med kunnskapen om kultivering av eplet var de trolig de første europeiske fruktdyrkerne. Romerne lærer fruktdyrking av grekerne, videreutvikler kunsten og sprer kunnskapen. Med klosterlivet og munkene på 1000-tallet lærer også nordmenn å dyrke frukt (Grønsnes *et al.* 2002).

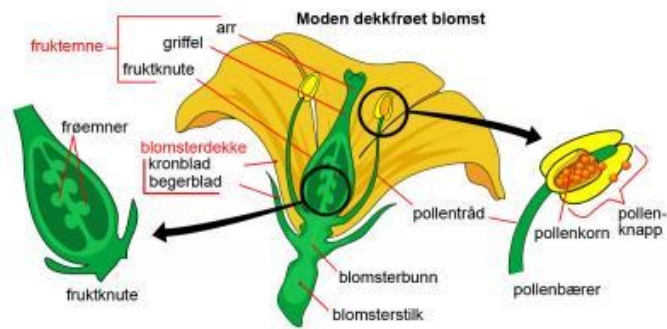
Eplesorten Gravensteins opprinnelsen er uviss, men spres fra Graasten slott i Sønder-Jylland rundt 1698 (1985). I norsk jord plantes de to første eksemplarene på Aga gård i Hardanger 1792; en hendelse som 200 år senere markeres med egen obelisk (figur 1.2). Trærne trivdes godt, og ble raskt klassikeren blant norske epler, samt den viktigste sorten i norsk fruktdyrking. Sammen med eplesorten Torstein, utgjorde Gravenstein ryggraden for norsk epledyrking. Gravenstein forsvarer fortsatt sin plass i fremste eplerekke, som hjørnestein i norsk epleproduksjon (Grønsnes *et al.* 2002).

Gravenstein var lenge en hovedsort, men er nå i stor utstrekning erstattet av rød Gravenstein; en variant fra Washington, USA (1908). rød Gravenstein er en mutasjon av «vanlig» Gravenstein, og innehar i all hovedsak de samme egenskapene. Den er tidligblomstrende og meget fruktbar, men med en sterk tendens til vekselbæring. Sorten er triploid, og egner seg ikke som bestøver for andre sorter (1985); den er nesten helt pollensteril, og en uegnet pollineringsart med sin dårlige pollenkvalitet (Nybom *et al.* 2012).

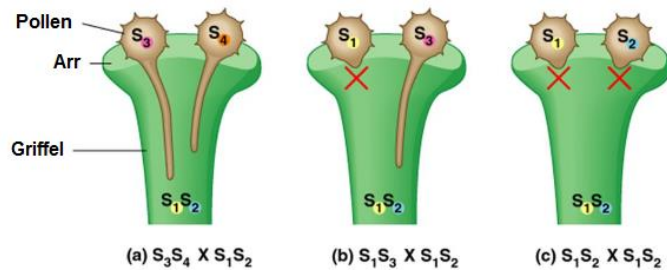


Figur 1.2: Johannes Pederson Aga plantet de første Gravensteintrærne i norsk jord på Aga gård i Hardanger 1792. I anledning 200 års jubileet, avdukes i 1992 obelisk med plakett av Dronning Sonja, ved Agatunet Økomuseum (Brown *et al.* 2010).

Pollinering stimulerer frøutvikling; en nøkkelbegivenhet i plantenes reproduksjon. Pollinering er mekanisk overføring av pollen fra pollenknapp til arr (innen en plantart), og en forutsetning for befruktningen av frøemnet (figur 1.3), som initierer utviklingen av frø og frukt. Epleblomstens pollen er i gjennomsnitt 40 μm langt og 20 μm bredt, relativt tungt og bæres ikke lett av vinden; den pollineres hovedsakelig av insekter, og for epleblomsten er honningbien (*Apis mellifera*)



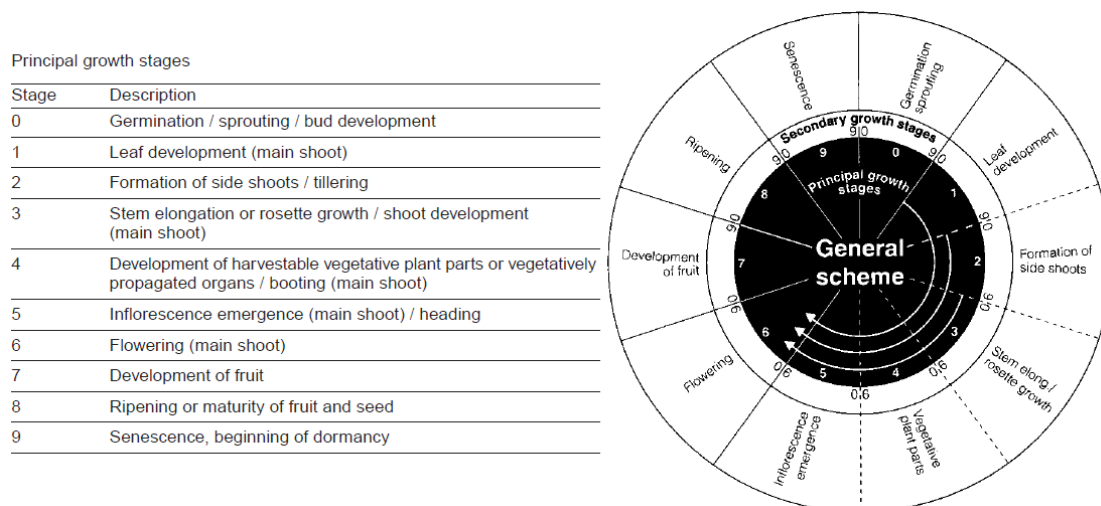
Figur 1.4: Illustrasjon av blomstens anatomi, med navngitte anatomiske deler. Fruktemnet består av arr, griffel og fruktknute. Pollenknappen inneholder pollenkorn (<https://ndla.no/nb/node/110364?fag=8&meny=49485>).



Figur 1.3: Dersom et pollenkorn og et fruktemnes arr har samsvarende alleler på S-locuset, vil selvsteriliseringsgenene forhindre initiert og utvikling av pollenslangen (<http://slideplayer.com/slide/1726563/#>).

den vanligste insektpollinatoren (Ramírez & Davenport 2013). De fleste planter er selvsterile (eget pollen vil ikke spire på eget arr); en egenskap som fremmer krysspollinering (Aarnes 2002 (Oppdatert 2006 S.E. & O.)). Eplesorter har et selvinkompatibilitetssystem (SI) som begrenser selvbe-fruktning og be-fruktning mellom sorter som bærer identiske S-alleler (Broothaerts, Van Nerum & Keulemans 2004). Gjenkjenning av «eget» pollen er basert på genene for «selvinkompatibilitet»; selvsteriliseringsgener kalt S-gener (figur 1.4). En plantepopulasjons genbank kan inneholde dusinvis av alleler på et S-gen (Campbell 2008). Epleblomstens SI-mekanisme kontrolleres gjennom cytotoksiske pistillar (pistil: fruktemnet med arr, griffel og fruktknute) proteiner (S-RNase); ved inkompatible interaksjoner elongerer S-RNasen pollenslangen, entrer cytoplasmaet og degraderer pollenets RNA. Flere funksjonelt forskjellige S-RNaser opererer i én art, hver kodet av ulike alleler på S-genene (Broothaerts, Keulemans & Nerum 2003). Gjennom analyse av pollenhemmende protein (S-RNase) i epleblomstens griffel, har man kommet frem til at det finnes minst 25-30 ulike (selvsteriliseringsgener) S-gener. Triploide sorter som Gravenstein har tre ulike S-gener. For maksimal fruktsetting bør sortene i et tiltenkt pollineringssamarbeid ha helt ulike s-gener (Nybom *et al.* 2012).

BBCH (*Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt og Chemical industry*) - skalaen er et system for ensartet koding av fenologisk like vekststadier for alle dekkfrøete (enfrøbladete og tofrøbladete) blomsterplanter, basert på en tosifret tallkode. Plantens utviklingssyklus deles inn i ti gjenkjennelige og identifiserbare *hovedvekststadier* (figur 1.5) som beskrives med tallene 0 til 9 i stigende rekkefølge (Meier 2001). I tillegg



Figur 1.5: BBCH-skalaen er et system for ensartet koding av fenologisk like plantevekststadier. Plantenes primære vekststadier nummereres (0-9) og beskrives i tabellen til venstre. I skjema til høyre uttrykkes disse sammen med de sekundære vekststadiene som er nummerert (0-9) innen hvert primærstadium (se nest ytterste ring) (Meier 2001).

defineres også sekundære vekststadier (nest ytterste ring i figur 1.5, disse også med tallene 0 til 9 i stigende rekkefølge) som intervaller innenfor de enkelte hovedvekststadiene, for på den måten å finjustere primærstadiet til for eksempel starten eller slutten for blomstringen (Cornelius *et al.* 2011).

Hver kode har sin egen forklaring, og i beskrivelsen av de fenologiske utviklingsstadiene brukes klare og lett gjenkjennelige eksterne morfologiske kjennetegn. På grunn av de svært mange ulike planteartene som finnes, vil forskyvninger forkomme i løpet av utviklingen, og visse stadier kan også bli utelatt (Meier 2001).

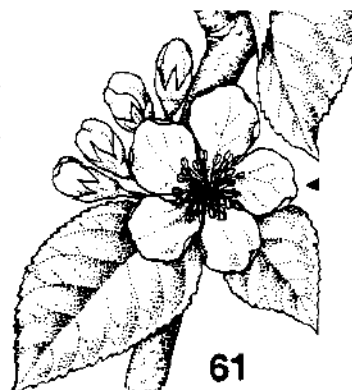
BBCH-skalaen fungerer som en identifikasjonsnøkkel for vekststadiene, og tillater dermed fenologiske observasjoner å settes i system. Én generell BBCH-skala er utviklet (se vedlegg I), samt individuelle skalaer for ulike arter. BBCH-skalaen for kjernefrukttre er gjengitt i sin helhet i vedlegg II. Et utdrag fra denne (figur 1.6) viser hovedvekststadium 6, *blomstring*, og de ti (0-9) sekundærstadiene blomstringen deles inn i. Artens utvikling i fenofasene indikeres med en tosifret kode, her kombinert av

primærvekststadium 6, og sekundærvekststadium 1, *starten av blomstring, ca. 10 % av blomstene er åpne*; 61 som vist til høyre i figur 1.6 (Meier 2001).

Pome fruit

Phenological growth stages and identification keys of pome fruit

Code	Description
Principal growth stage 6: Flowering	
60	First flowers open
61	Beginning of flowering: about 10% of flowers open
62	About 20% of flowers open
63	About 30% of flowers open
64	About 40% of flowers open
65	Full flowering: at least 50% of flowers open, first petals falling
67	Flowers fading: majority of petals fallen
69	End of flowering: all petals fallen



Figur 1.6: Dette utdraget fra BBCH-skalaen for kjernefrukttrær viser hvordan artens utvikling i fenofasene indikeres med en tosifret kode, her kombinert av primærvekststadium 6 (blomstring) og sekundærvekststadium 1 (starten av blomstring, ca. 10 % av blomstene er åpne); 61 som vist til høyre i figuren (Meier 2001).

Fenofasene reflekterer (sammen med andre miljøbetingelser og genetiske faktorer) klimaets karakteristikk; intervallene for de ulike periodiske begivenhetene er nært knyttet til klima og værforhold. Plantens utvikling påvirkes av individuelle og miljømessige betingelser, samtidig som plantens sesongmessige syklus i størst grad påvirkes av temperatur, fotoperiode og nedbør (Koch *et al.* 2007). For individuelle arter er det viktig å skille mellom den fysiologiske og den evolusjonære bakgrunnen for starten på ulike fenofaser; den umiddelbare årsaken til en fenofase er organismens deteksjon av signalet fra den miljøfaktoren som trigger riktig respons. Hva gjelder de fysiologiske responsene, kan det være vanskelig å identifisere dem med relevans, da så mange potensielle signal opererer samtidig i naturen. Den langsiktige årsaken til fenofasenes tidspunkt er seleksjonspresset som har resultert i utviklingen av plantens særegne fenologi. Seleksjon på organismer kan variere fra abiotiske restriksjoner (som ugunstig sesongtemperatur, uregelmessig regn) til biotisk belastning i nærvær av sesongspesifikke predatorer, pollinatorer og spredere (Fenner 1998). I tempererte soner kontrolleres plantenes reproduksjonssyklus hovedsakelig av temperatur og fotoperiode (Menzel 2002), mens det i tropene og subtropene er nedbørsregimet som dominerer (Koch *et al.* 2007). Norge, som strekker seg over mer enn 13 breddegrader (fra rundt 58° til 71°), er klimatisk og økologisk svært heterogent. Ved disse nordlige breddegrader, er temperatur den miljøfaktoren med størst betydning for plantefenologien (Wielgolaski *et al.* 2011).

For flerårige planter kan den fysiologisk beste startdatoen for vekst og utvikling om våren være generelt vanskelig å fastslå, og problemene med å estimere den beste basis- eller terskeltemperatur (den laveste temperatur som muliggjør ny vekst og utvikling) for planteutvikling har lenge vært diskutert både i landbruk og botanikk. For landbruket har man kommet frem til 5-6 °C som den mest gunstige terskelverdi, da særlig for korn og treaktige planter. I Skandinavia beregnes lengden av den effektive vekstsesongen som antall dager med daglig middeltemperatur over 5 °C (Wielgolaski 1999). Terskelverdien er satt på grunnlag av lav fotosynteseaktivitet ved temperaturer under 5 °C (Moen 1999).

I tillegg til lufttemperatur, er også jordtemperatur avgjørende for vekst og utvikling; jordtemperatur har en grunnleggende effekt på mikrobiell aktivitet, og mikroorganismer er følgelig delt inn i tre fundamentale klasser basert på deres optimale temperaturområde: *psykrofile*- (liker kalde miljø), *mesofile*- (middeltemperatur) og *termofile* (varmekjære). Den mest utbredte gruppen er de mesofile mikrobene som metabolsk sett fungerer best mellom 5-50 °C. Begrepet *biologisk null* har helt siden 1975 vært tolket som den temperaturen hvor de mesofile jordmikrobene blir relativt inaktive. Temperaturen er konstatert til 5 °C, samtidig som forskere er underforstått med at konseptet er forenklet og at terskelen på 5 °C ikke bør anses som rigid (Rabenhorst 2005).

1.1.2 Varmesummens effekt på blomstring

Prisen for produksjon og vedlikehold av blomster er betydelig; å danne ikke-fotosyntetisk vev og nektar krever et vesentlig forbruk av energi. Ofte bestemmes tidspunktet for blomstring i stor grad av de sesongmessige endringene i ressurstilgjengelighet. Blomstringen kan være en fysiologisk respons på et spesifikt miljøsignal, som fotoperiode, temperatur, regn- eller tørkeperiode. Varm temperatur vil i den tempererte klimasonen ofte være blomstringstriggeren. Kjernefrukttreets (deriblant epletre) blomstring består av åtte sekundære vekstfaser, som beskrevet i tabell 1.

Tabell 1: Tabellen lister kjernefrukttreets primære vekstfaser til venstre i tabellen, og uthever sekundærvekstfasene for blomstring (primærvekstfase 6), som presenteres i høyre kolonne (Meier 2001).

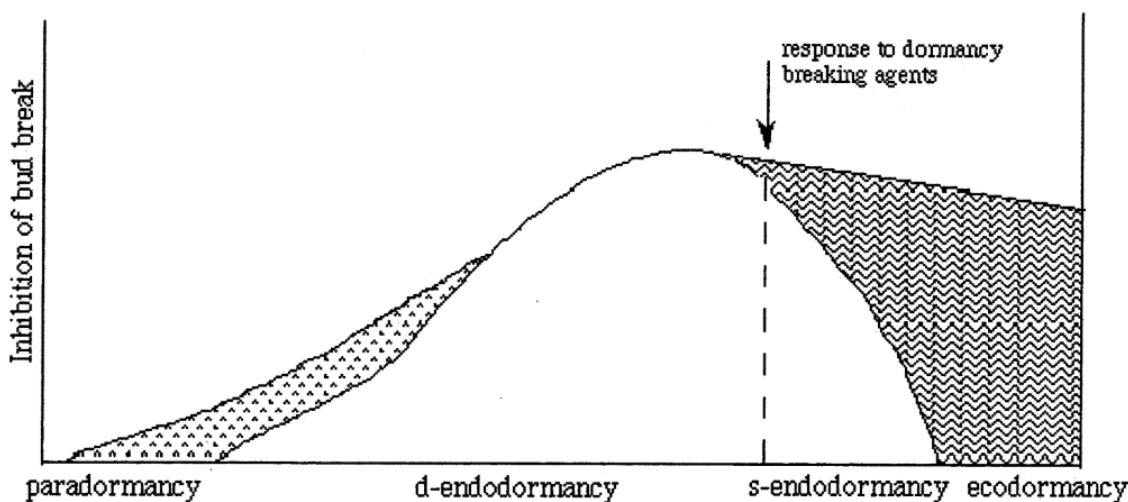
Primær vekstfase		Sekundære vekstfaser i primær vekstfase 6; blomstring	
0	Spiring/knopputvikling	0	Første blomst åpen
1	Bladutvikling	1	Start på blomstring (ca 10 % av blomstene åpne)
3	Skuddutvikling	2	Ca 20 % av blomstene åpne
5	Blomsterstand oppstår	3	Ca 30 % av blomstene åpne
6	Blomstring	4	Ca 40 % av blomstene åpne
7	Fruktutvikling	5	Full blomst: minst 50 % av blomstene åpne
8	Modning av frukt og frø	7	Blomstene visner: flesteparten av kronbladene er falt
9	Aldring, inngangen til dvale	9	Slutten av blomstringen: alle kronblader er falt

Klimafaktorer (som beregnet akkumulert varmesum), er gode hjelpemidler i å forutsi blomstring, og denne typen abiotisk kontroll av blomstringstid er gjerne mer robust i tøffe miljø hvor vekstsesongen er kort (Fenner 1998). Blomstring kan også helt enkelt være et resultat av at planten har nådd en kritisk størrelse eller vekststadium, men det avhenger som oftest av en akkumulert varmesum, i form av daggrader over en terskel (Fenner 1998). Daggrader vil si et visst antall grader (°C) over en bestemt temperaturterskel akkumulert over en periode, som gir en sum av vekstgrad dager (varmesum). En enkel metode for å beregne disse er å benytte en temperaturterskel på for eksempel 10 °C; over en tre dagers periode med daglig gjennomsnittstemperatur på 19 °C, 22 °C og 18 °C vil varmesummen tilsvare (9 + 12 + 8) 29 °C (Cleland *et al.* 2007).

1.1.3 Vekstrytme; dvale, herding, frost

Vekstrytme er et resultat av tilpasningen mellom behovet for å utnytte mest mulig av vekstsesongen, og nødvendigheten av å unngå frostskafer (Solberg 2007). Som tilpasningsstrategi for å beskytte sensitivt vev fra ugunstige forhold, faller frukttrær i tempererte strøk i dvale når høsten og vinteren setter inn (Guo *et al.* 2014), og slik deles året inn i to hovedfaser; vekstfasen (figur 1.5) og hvilefasen, eller dvalen. Alle fysiologiske prosesser stanses eller reduseres i dvalen, og disse må reaktiveres på våren for at trærne skal produsere blader og blomster, og bære frukt (Luedeling 2012). Planten faller inn i en tilsynelatende inaktiv fase; denne delen av plantens årssyklus gjør det mulig å overleve i et ugjestmildt miljø. I dvalen er ingen synlig vekst, men på et cellulært nivå hender det mye; neste sesongs gjenvekst og avling avhenger av de fysiologiske forandringene i dvalsesongen (Durner 2013). Dvalen deles i ulike steg, og dvalens dybde forandres gjennom dvaleperioden. Lang m.fl. (1987) fikk i 1987

internasjonal aksept for sin definisjon av dvalen inndelt i tre utviklingsstadier; para-, endo- og ecodvale. Paradvalen forårsakes av faktorer inni planten, men utenfor det aktuelle vevet. Endodvalen beskriver typen dvale lokalisert inni selve vevet (knopp). Den fysiologiske tilstanden inni knoppen gjør vekst, selv under optimale forhold, usannsynlig (Durner 2013). I endodvalen opphører alle ontogenetiske prosesser; dvalen deles videre inn i *dyp* endodvale (d-endodvale, karakterisert av manglende evne til å indusere vekst under naturlige forhold) og *grunn* endodvale (s-endodvale, som kan overvinnes ved kunstig behandling) (Faust *et al.* 1997). Denne delen av dvalen krever knoppkjøling før aktiv vekst kan gjenopptas. Mot slutten av vinteren og starten av våren setter ecodvalen inn; fasen som styres av ytre miljøfaktorer, oftest temperatur (men også lys og vann), som hindrer knoppvevet i å vokse (Durner 2013). I denne fasen oppnår meristem (cellevevet for aktiv celledeling) full vekstevne (Celton *et al.* 2011). Figur 1.7 fremstiller veksthemningen i dvalens ulike faser. Ved et gitt tidspunkt kan vevet oppleve mer enn én type dvale på samme tid (Durner 2013).



Figur 1.7: En skjematisk oversikt over planters knoppveksthemming i dvalen. Dvalen starter med paradvale, og blir dypere i d-endodvalen. Når endodvalen svekkes i s-endodvalen, responderer knoppene på dvalebrytende faktorer. Ecodvalens dybde og lengde er miljøavhengig (Faust *et al.* 1997; Hanssen-Bauer *et al.* 2015).

I dvalen foreligger plantens kjølekrav (akkumulert mengde lav temperatur over tid, figur 1.8) og varmekrav (akkumulert mengde høy temperatur over tid) som må oppfylles før neste vekstfase igangsettes; kravene anses som den drivende faktoren av størst betydning for oppbrytningen av stadiene i dvalen (Guo *et al.* 2014).

Vinterdvalen er en viktig tilpasningsmekanisme for planteoverlevelse i tempererte og kalde strøk. Det er essensielt at planten etablerer dvaletilstanden før den kalde sesongen,

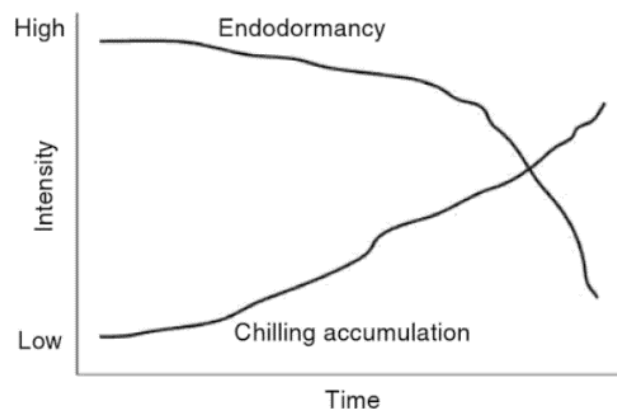
og dette forutsetter tidsriktig gjenkjenning og fysiologisk bearbeiding av et regelmessig og pålitelig sesongbasert signal (Heide & Prestrud 2005). Kjennetegnet til vinterdvalen er at den igangsettes ved kvantitativ akkumulering av en viss kjølemengde, og at bare en del av dette kjølekravet kan erstattes av andre midler (Faust *et al.* 1997).

Kjøleakkumuleringen er reversibel

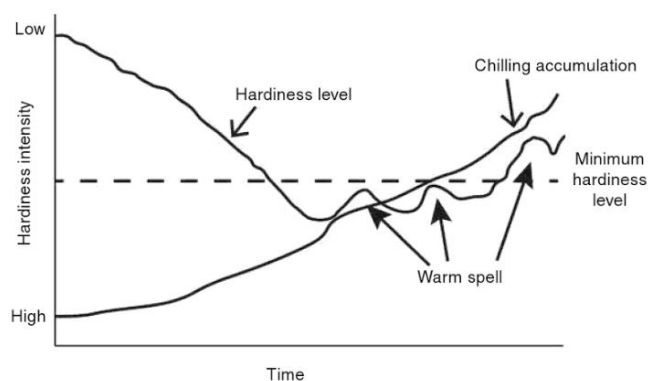
ved periodisk høyere temperatur, hvis gitt i korte sykluser. Ved et gitt punkt i kjøleakkumuleringen blir prosessen irreversibel, noe som indikerer en fiksering av effekten (Faust *et al.* 1997).

Hardførhet er plantevevets evne til å motstå eller tåle lav temperatur uten å skades. Ettersom dagene blir kortere og kaldere med høsten og vinteren, anskaffer plantene denne hardførheten ved å akklimatisere; herding er en prosess nært sammenhengende med dvalen. Toleranse for uttørking er del av denne akklimatiseringsprosessen, og nært tilknyttet toleransen for lave temperaturer (Durner 2013). Når planten har akkumulert tilstrekkelig kjøling til å frigis fra endodvalen over i ecodvalen, vil hardførheten fluktuere vesentlig med rådende temperatur. Tap av hardførhet, eller avherding er avakklimatisering, som hovedsakelig styres av lufttemperatur (figur 1.9). Generell hardførhet er vesentlig for alle arter, men hardførheten til frukttrærnes blomsterknopp er svært økonomisk viktig;

hardførheten gjennom dvalen og frem til full blomst kan ha stor påvirkning på avlingen i år hvor de utsettes for ekstremt lav temperatur i dvalen, eller for frostepisoder i blomstringen. Maksimal herding krever vanligvis flere uker opptil måneder å opparbeide, mens avherding kan forekomme innen



Figur 1.8: Figuren illustrerer forholdet mellom frigivelsen fra endodvalen og akkumulert kjøling; endodvalens intensitet synker ved økt akkumulert kjøling (Durner 2013).

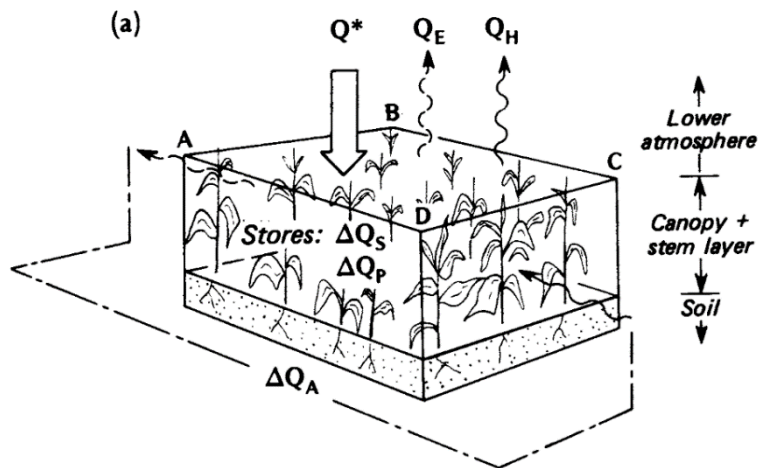


Figur 1.9: Hardførhetsfluktuasjoner som respons på rådende lufttemperatur (Durner 2013).

timer ved eksponering for høy temperatur. Reakklimatiseringen til samme nivå som forut avherdingen, krever vesentlig lengre eksponering for lav temperatur.

I sin strategi mot frostskafer, forsøker epletreet blomsterknopper å unngå skade forårsaket av uttørking; herdede blomsterknopper har redusert cellulært vanninnhold, men opprettholder samtidig nok intracellulært vann til å unngå uttørkingsskader. I endodvalen er mye av vannet i knoppene bundet til andre molekyler, noe som hjelper mot uttørkingsskader. Når endovalen forløses av kjølekravet, blir mer og mer av vannet som er bundet, sluppet løs (sannsynligvis for metabolsk bruk). Dette tydeliggjør det nære forholdet mellom endodvalen og kuldehardførhet. Ettersom mer vann blir tilgjengelig i knoppene, blir de mer utsatt for frostskafer (Durner 2013). For de fleste frukttrær sammenfaller blomstringen med en dramatisk økning i frostsensitivitet (Rea & Eccel 2006). Planter som er tilpasset et kaldere klima er mer utsatt for at en sen vårfrostepisode kan inntreffe, noe som kan resultere i at alle blomstene går tapt dette året. Utover de kaldeste periodene, er overgangsperiodene vesentlig farligere; i disse periodene kan plantene allerede være avherdet eller ennå ikke helt herdet når en frostepisode inntreffer (Morison & Morecroft 2006).

Teknisk sett refererer ordet frost til formasjonen av iskrystaller på en overflate, enten ved at dugg fryser, eller ved faseovergangen fra damp til is (FAO 2005). Frost er forekomsten av temperatur på $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller lavere, målt i en høyde mellom 1,25 og 2,0 meter over jordoverflaten, i skyggen i en klimahytte (FAO 2005), og deles i to kategorier: advektiv frost og radiativ (strålings) frost. Advektiv frost assosieres med vind og temperaturer under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Radiativ frost assosieres med nedkjøling som følge av energitapet som oppstår gjennom strålingsutvekslingen ved klare, stille netter med inversjon (temperaturen øker med høyden) (FAO 2005). Temperatur under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ oppstår ved reduksjon av mengden følbare varme i luften rundt overflaten, hovedsakelig som et resultat av 1) nett energitap gjennom overflatestråling til luft (radiativ frost); 2) vind som blåser inn kjølig luft og erstatter varmere luft (advektiv frost); eller 3) kombinasjoner av de to prosessene (FAO 2005). Energibalansen for et vegetativt system skisseres i figur 1.10, hvor Q^* er netto strålingsbudsjett, Q_E latent varme, og Q_H følbare varme. ΔQ_S representerer netto energilagring og ΔQ_P netto energilagring i fotosyntesen. ΔQ_A er netto energiadveksjon (netto tap og gevinst av følbare- og latent varme gjennom horisontal energitransport) (Oke 1987).



Figur 1.10: I et vegetativt system vil energibalansen fungere som skissert i figuren. Q^ er netto strålingsbudsjett, Q_E latent varme (faseovergang), og Q_H følbar varme. ΔQ_S representerer netto energilagring. ΔQ_P er netto energilagring i fotosyntesen. ΔQ_A er netto energiadvæksjon (netto tap og gevinst av følbar- og latent varme), horisontal energitransport (Oke 1987).*

Skade som følge av lav temperatur forekommer i alle planter, men mekanismene og typen skader varierer. Frostskade oppstår når is dannes inni plantevevet og sprenger planteceller. Det kan ha drastisk effekt på hele planten eller bare en liten del av plantevevet. Frostskader kan derfor redusere en hel avling eller endre produktkvaliteten. Direkte frostskader oppstår når iskrystaller dannes inni celleprotoplasmaet (intracellulær frysing), mens indirekte skade oppstår ved isdannelse inni planten, men på utsiden av cellene (ekstracellulær frysing). Det er ikke lave temperaturer, men isdannelse som faktisk skader plantene. Direkte intracellulær frostskade assosieres med hurtig avkjøling (FAO 2005). Avhengig av hvilket herdingsnivå planten befinner seg i, kan temperaturen hvor frost forekommer fluktuere betraktelig. Hardførheten involverer både frostunngåelse og frosttoleranse. Lav temperatur herder frukttrær mot frostskade, men denne hardførheten går raskt tapt etter få varme dager. Påfølgende herding gjenvinnes vesentlig saktere enn den mistes (FAO 2005). Planter kan deles i fire kategorier etter deres frostsensitivitet: 1) lite hardfør 2) litt hardfør 3) moderat hardfør; og 4) veldig hardfør. Epletreet kategoriseres som moderat hardfør; planter som kan motstå frostskader ved temperatur ned til $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, hovedsakelig ved å unngå uttørkingsskade. Frostsensitivitetskategorien gir en generell oversikt over hvor mye planten tåler før frostskade oppstår, men herding og fenologisk fase er nesten like viktig. Generelt øker frukttrærs frostsensitivitet fra første blomst til tidlig frukt-fasen, og det er i disse fasene avlingen mest sannsynlig blir skadet. Ved en varm periode forut en frostnatt, vil sensitiviteten øke mer enn om en kald periode forløper frost (FAO 2005).

Vinterfrostskafer inntreffer sjeldnere enn vårfrostskafer, men i nordlige produksjonsområder med kalde vintre, kan bark, treaktig vev og knopper fryse. Vinterdrepte knopper er en konsekvens av delvis avherding som følge av en relativt varm periode. Blomster skades ofte av vårfrost, og symptomene er mørkere kronblader. Vanligvis er griffelen mer sensitiv for frostskafe enn fruktknuten. Tabell 2 inneholder epleknoppens kritisk temperatur (T_C ; °C) i samsvar med fenologisk fase. Temperaturene ble utviklet i kammerstudier, men gir allikevel veiledende T_C for bruk i felt (FAO 2005).

Tabell 2: Tabellen gjengir epleknoppens fenologiske faser og tilhørende kritisk temperatur (T_C ; °C). 10% og 90% død innebærer at 30 minutter ved indikert temperatur forventes å forårsake 10% og 90% død for berørt plantedel i indikert fenologisk fase (FAO 2005).

EPLKNOPPENS FENOLOGISKE FASE OG TILHØRENDE KRITISK TEMPERATUR (T_C ; °C)									
DØD	Sølvtopp	Grønn tupp	1 cm grønn	Tett klynge	Første rosa	Ballong	Første blomst	Full blomst	Post blomst
10%	-11,9	-7,5	-5,6	-3,9	-2,8	-2,7	-2,3	-2,9	-1,9
90%	-17,6	-15,7	-11,7	-7,9	-5,9	-4,6	-3,9	-4,7	-3,0

I figur 1.11 illustreres med bilde fire utvalgte fenologiske knoppfaser, og tilhørende kritisk temperatur.

	SØLVTUPP	BALLONG	FØRSTE BLOMST	FULL BLOMST
10%	-11,9	-2,7	-2,3	-2,9
90%	-17,6	-4,6	-3,9	-4,7

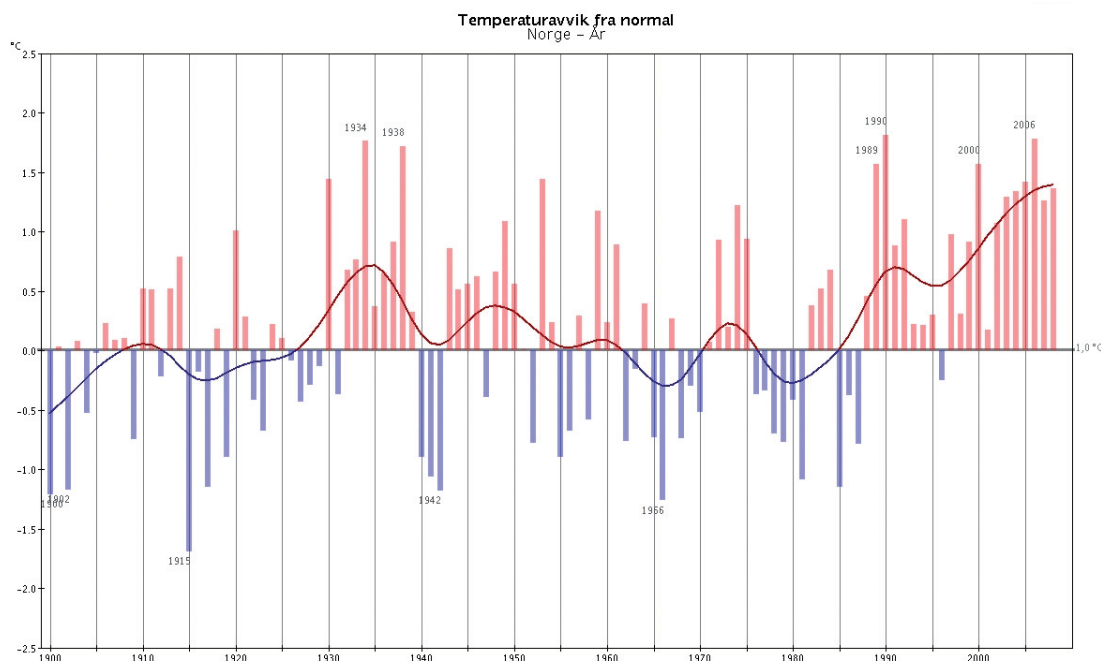
Figur 1.11: Bildene viser de fire knoppfasene (fra venstre) sølvtopp, ballong, første blomst og full blomst, med tilhørende kritiske temperatur (°C) for 10% død og 90% død; innebærer at det ved 30 minutters eksponering for indikert temperatur, forventes angitt % død for berørt plantedel i indikert fenofase (FAO 2005).

1.2 Klima; historisk og i endring

Klima er det greske ordet for helning, og refererer til solstrålenes inklinasjonsvinkel på jordoverflaten som bestemmes av solens høyde over horisonten. Antikkens greske filosofer forstod at temperaturene er lavere ved liten helning (Burroughs 2003). Områdene omkring ekvator, hvor solen står høyt, mottar mye mer solenergi enn ved polområdene. Samtidig varierer reflektert, langbølget stråling fra jordoverflaten mye

mindre med breddegradene enn absorbert solenergi. Det oppstår da et overskudd av strålingsenergi ved lavere breddegrader og et underskudd ved høyere breddegrader. Denne ubalansen i strålingsbudsjettet er klimaets hoveddrivkraft. Som konsekvens av ubalansen i strålingsbudsjettet oppstår det store temperaturforskjeller i atmosfæren som forårsaker forskjeller i massetetthet og trykk, og det dannes atmosfæriske sirkulasjoner. Sirkulasjonene transporterer overskuddsenergi fra ekvatorområdene og mot polene. I tillegg har også jordrotasjonen og corioliskraften, topografi og ujevn landmassefordeling på den nordlige -og sørlige halvkule, samt den ujevne temperaturfordelingen mellom hav og land, innvirkning på det globale sirkulasjonsmønsteret (Myhre 2008). Dette gjør at temperaturforholdene på én og samme breddegrad kan variere kraftig. For Norge betyr plasseringen i «vestavindsbeltet» (hvor luftstrømmen i gjennomsnitt kommer fra varmere områder i sørvest) samt Den Norske Atlanterhavsstrømmen som bringer varmt vann fra Golfstrømmen langs Norskekysten til nordlige havområder, et mer gunstig klima med en årsmiddeltemperatur på 5-10 °C varmere (gjelder kystnære områder) enn gjennomsnittet for breddegraden (Hanssen-Bauer 2012).

I motsetning til været på et sted, som er tilstanden i atmosfæren ved et gitt tidspunkt, er klima på et sted gjennomsnittsverdier og variasjoner over lengre tidsperioder av de størrelser som beskriver været (Myhre 2008). En trend i klima er klimaendring karakterisert ved jevn økning eller reduksjon av et klimaelements gjennomsnittsverdier målt over tid (Burroughs 2003). Klima på et sted beskrives vanligvis ved hjelp av middelveidier og variasjoner rundt disse. Som betegnelse på middelveidier for bestemte 30-års perioder, benyttes *normaler* som begrep innen klimatologien, og standard normalperioder er fastsatt (Hanssen-Bauer *et al.* 2009). De siste 150 år viser en global temperaturøkning, med størst oppvarming på høye nordlige bredder, og hvor de varmeste årene forekommer i næreste fortid. I løpet av hundreårsperioden 1906-2005 har globaltemperaturen ifølge FNs klimapanel (IPCC 2007) økt med en lineær trend på ca. 0,074 °C/dekade. Tilnærmet likt har også årsmiddeltemperaturen for fastlands-Norge økt med 0,8 °C de siste hundre år (figur 1.12), og da mest om våren. Det har vært perioder med både stigende og fallende temperatur, men siden 1965 har temperaturen økt jevnt med over 0,4 °C/dekade (Hanssen-Bauer *et al.* 2009).



Figur 1.12: Utvikling av årsmiddeltemperatur for fastlands-Norge 1900-2008. Figuren viser avvik (°C) fra middelverdien for normalperioden 1961-90 (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Ved å kombinere statistiske metoder (prinsippal komponent analyse (PCA) og klusteranalyse), utarbeidet Hanssen-Bauer og Nordli i 1998 seks temperaturregioner (figur 1.13) hvor langtidsutviklingen av temperatur var tilnærmet lik (Hanssen-Bauer 1998). Ut i fra tabell 3 leser man at region 3 og 4 har den største lineære økningen i årstemperatur siden år 1900, og at oppvarmingen i samtlige temperaturregioner har vært størst om våren (Hanssen-Bauer et al. 2009).



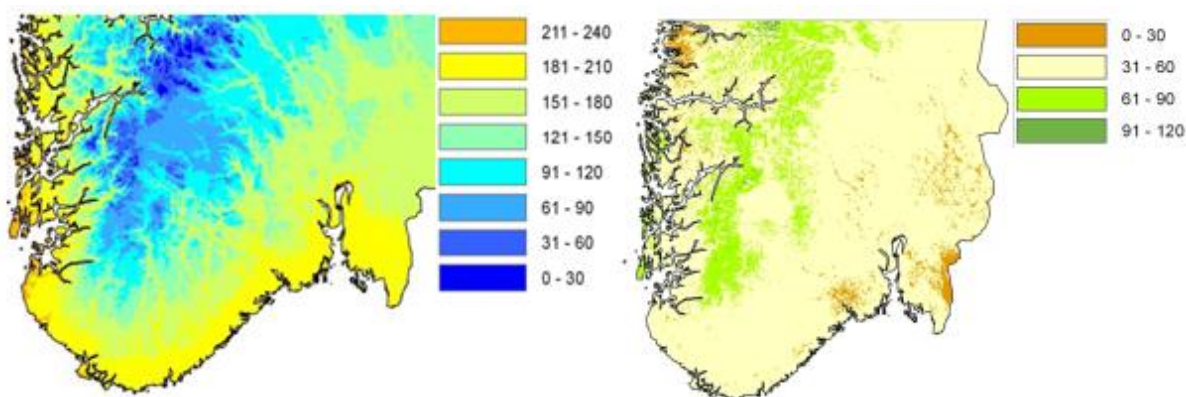
Tabell 3: Trender (°C per tiår) i års- og årstidstemperatur for perioden 1900-2008. Uthevet er trender signifikante på 1 % nivå (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Region	1	2	3	4	5	6	Norge
År	0,08	0,05	0,10	0,10	0,06	0,07	0,08
Vinter	0,04	0,04	0,09	0,08	-0,04	0,04	0,07
Vår	0,11	0,07	0,11	0,13	0,13	0,12	0,11
Sommer	0,06	0,03	0,06	0,08	0,07	0,05	0,06
Høst	0,08	0,07	0,10	0,11	0,06	0,08	0,08

Figur 1.13: Norge inndelt i seks temperaturregioner (Hanssen-Bauer 2012).

Resultat fra flere forskjellige koblede globale klimamodeller kjørt med ulike utslippsscenarioer kreves for å bygge klimaframskrivninger for et norsk fremtidsklima. Modellresultatene nedskaleres slik at resultatene kan benyttes direkte i vurderingen av mulige regionale og lokale konsekvenser av framskrivningene. Resultatene fra nedskaleringen settes sammen i *ensembler* som danner grunnlag for definisjon av *middels* (M), *høy* (H) og *lav* (L) klimaframskrivning. M angir gjennomsnittet av alle framskrivningene. Ved beregninger av 72 nedskalerte temperaturscenarier har man for hele landet, samt hver av de seks temperaturregionene i figur 1.13, funnet at alle temperaturframskrivningene viser økende temperatur i alle regioner og for alle årstider. Fra standard normalperiode 1961-1990 til 2071-2100 gir M-scenariet en økning på 3,4 °C for årsmiddeltemperaturen på landsbasis (Hanssen-Bauer 2012).

Lufttemperatur er én av de begrensende faktorer for vekstsesong (nedbør, snødekke, jordsmonn, stråling, eksposisjon er eksempler på andre begrensende faktorer), og her i nord defineres gjerne sesongen for aktiv plantevekst som perioden hvor døgnmiddeltemperaturen er over 5 °C. Antall døgn med middeltemperatur >5 °C benyttes ofte som indikator på vekstsesongens lengde. I Norge har vekstsesongen vist seg å være lengst ytterst langs kysten av Vestlandet (opptil 225 døgn), mens den i høyfjellet er under 70 døgn (Hanssen-Bauer *et al.* 2009). Resultat fra beregninger av et scenario for endring i antall dager per år med middeltemperatur >5 °C, viser at vekstsesongen anslås å øke (figur 1.14) med 1 til 2 måneder i store deler av Sør-Norge (Hanssen-Bauer 2012).



Figur 1.14: Kartet til venstre viser gjennomsnittlig antall døgn med middeltemperatur >5 °C i Sør-Norge i perioden 1961-1990. Til høyre ser man hvordan dette antallet vil øke fra perioden 1961-1990 til 2071-2100 (Hanssen-Bauer 2012).

1.3 Klima og fenologi

Allerede i 1751 koblet Carl von Linné fenologi med klima i sin bok *Philosophia Botanica*, hvor han skisserte fremgangsmåten for å sammenstille den årlige kalenderen for løvsprett, blomstring, frukt og løvfall, med klimatologiske observasjoner (Menzel 2002). I dag vender forskerne oppmerksomheten mot organismenes fenofaser, som redskap i forståelsen av klimaendringene; fenologi skifter nå image fra tradisjonell datainnsamling til en betydelig parameter i vurderingen av klimaendringenes effekt på økosystemer (Koch *et al.* 2007). Observasjon av fenofasene er trolig den enkleste måten å spore endringer i en arts økologi, som respons på klimaendringer, og vitenskapsfeltet fenologi høster dermed økende oppmerksomhet som biologisk indikator for globale miljøendringer. Fenologi synes å være en ideell klimaindikator på regionalt-, nasjonalt- og internasjonalt nivå, da det er allment lettfattelig, tillater studier av endring i liten skala og skaper økt bevissthet rundt klimaendringsspørsmålet. I tillegg anser også det vitenskapelige miljøet fenologi som et kjærkomment verktøy i forskningen rundt de globale klimaendringene (Menzel 2003).

Det finnes flere eksempler på hvordan økosystemenes sesongvariasjon påvirkes av klimaendringene, særlig på middels- og høye nordlige breddegrader. Betydningen av fenologi ligger i kapasiteten som verktøy i overvåkningen av klimaendringenes effekt på flora og fauna. Kommende effekter på vegetasjon omfatter: (1) forflytning mot polområdene og høyereliggende strøk; (2) endring i populasjonstetthet og vegetasjonssammensetning; (3) lengre vekstsesong; (4) tidligere blomstring. De to sistnevnte uttrykkes kanskje lettest i fenologien (Koch *et al.* 2007).

2 Material og metode

Som nevnt er en lengre vekstsesong og tidligere blomstring kommende effekter av klimaendringene (Koch *et al.* 2007). Temperatur er den miljøfaktoren med størst betydning for plantefenologien på nordlige breddegrader (Wielgolaski *et al.* 2011).

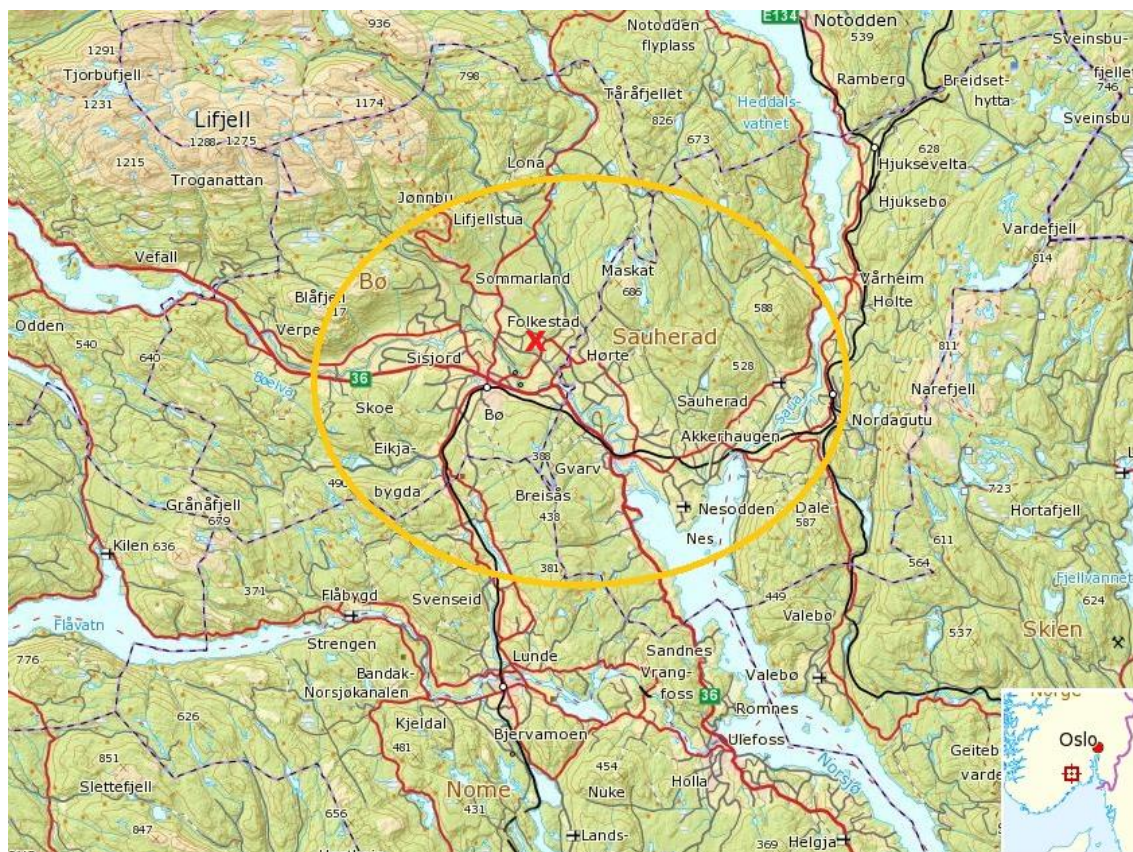
Datsett fra Midt-Telemark anvendes i foreliggende undersøkelse for å etablere og teste sammenhengen mellom klimadata og blomstringstidspunkt for rød Gravenstein. Nevnte datsett danner grunnlaget for utviklingen av en teoretisk modell som etablerer teoretisk blomstringsdag og teoretisk varmesum som trend tilbake i tid, samt i et fremtidsscenario. Formålet er å se på blomstringstidspunkt og temperaturutvikling over tid, for på den måten å kunne se om trenden følger den pågående generelle utviklingen; lengre vekstsesong og tidligere blomstring som kommende effekter av klimaendringene vil ha konsekvenser for initieringen av fenofaser, samt frostrisiko under sårbare utviklingsstadier.

2.1 Områdebeskrivelse

Den brede, globale inndelingen av naturlige vegetasjonsregioner former soner som grovt sett strekker seg øst-vest. Denne fordelingen henger sammen med variasjoner i det globale klima fra ekvator til polene, og er også åpenbare i Norge; fra sør til nord, fra lavland til fjell og fra kyst til innland. Slike regionale variasjoner kan deles i to hovedtyper: *Vegetasjonssoner*, som beskriver variasjonene fra sør til nord, samt høyderelaterte variasjoner. Inndelingen av plantedekke i soner foreligger på grunnlag på variasjonen i varmemengde gjennom vekstsesongen. *Vegetasjonsseksjoner* beskriver variasjonene fra kyst til innland; i Norge går denne gradienten hovedsakelig fra vest mot øst. Variasjonene beror på forskjellen mellom de våte, milde vintrene langs kysten, og det kontinentale klima med tørre, kalde vintre (Moen 1999). I de sørlige delene av sør-øst Norge finnes store deler av den *boreonemorale sone* innenfor den *svakt oseaniske seksjonen* (O1). Her er forekomsten av termofil (thermophilous) skogsvegetasjon som krever varme i solvendte bakker med god jord, særlig viktig. Sonen karakteriseres av jordbruk og blandingsskog bestående av bredblada løvtrær og boreal barskog. I det sørlige Telemark, som ellers tilhører O1-seksjonen, okkuperer den *likegyldige seksjonen* (OC) små, isolerte områder i en rekke dalfører nord for Norsjø. Liknende områder finnes også i Eidsfjord i Hardanger og i Geiranger. Klimatisk er dette en overgangsseksjon mellom kyst og innland, med en årlig nedbørsmengde på 700-1200

mm, vår- og høstfrost, samt lave vintertemperaturer som ofte forårsaker dyp tele da snødekket oftest er tynt (Moen 1999).

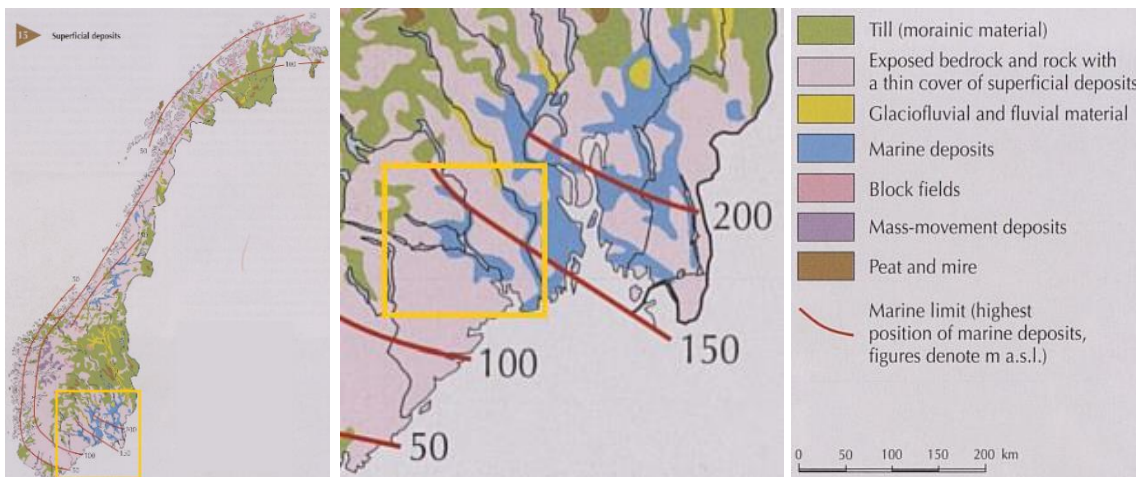
Datasettet for rød Gravensteins blomstringstidspunkt er høstet fra Hegnun i Bø kommune (Midt-Telemark), som innehar nevnte lokalitet nordvest for Norsjø (figur 2.1), kjent for høye sommertemperaturer og lave vintertemperaturer. Landskapet i Bø



Figur 2.1: Med rød X i gul ramme illustrerer kartutsnittet av Mid-Telemark Hegnuns (hvor datasett for epleblomstring er ervervet) beliggenhet i forhold til Norsjø, som er lokalisert nede til høyre i utsnittet (<http://geo.ngu.no/kart/arealis/?Box=149367:6574253:188002:6605876>).

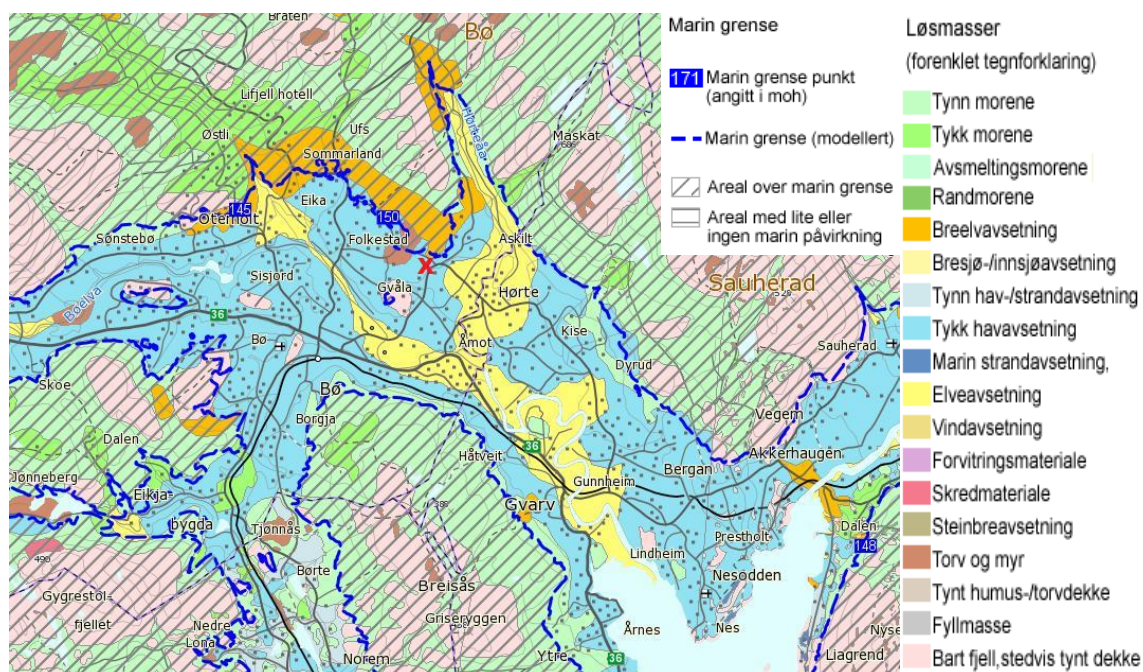
kjennetegnes av den vide hoveddalen hvor Bøelva renner gjennom skogkledde dalsider og fjell, frem til den møter Norsjø ved Gvarv. I dalen forekommer sand- og grusavsetninger i ulike trinn, avsatt etter som landisen smeltet og landet steg. I tillegg gir marine løsmasser fruktbar dyrkingsjord, i et klima som er gunstig for åker- og hagevekster.

Marine avsetninger dekker store deler av lavlandet i Norge, og som det fremgår av kartet i figur 2.2; særlig i sør-øst Norge og i Trøndelag. Som resultat av isens tilbakegang etter siste istid og landhevingen som fulgte, strekker disse avsetningene av



Figur 2.2: Med isens tilbakegang etter siste istid, ble ulike overfladiske avsetninger liggende igjen. Norgeskartet (venstre) viser fordelingen av disse avsetningene (se fargekart til høyre i figuren), samt den høyest målte marine grense (røde linjer). Det fineste materialet ble avsatt på havbunnen som leire. Da isen smeltet og landet steg, ble noe av de marine avsetningene (merket blått) liggende på tørt land; i lavlandet opp til den marine grense. Av den midterste figuren (sør-øst landet) går det tydelig frem at de marine avsetningene dominerer i det aktuelle området nordvest for Norsjø (gul ramme) (Moen 1999).

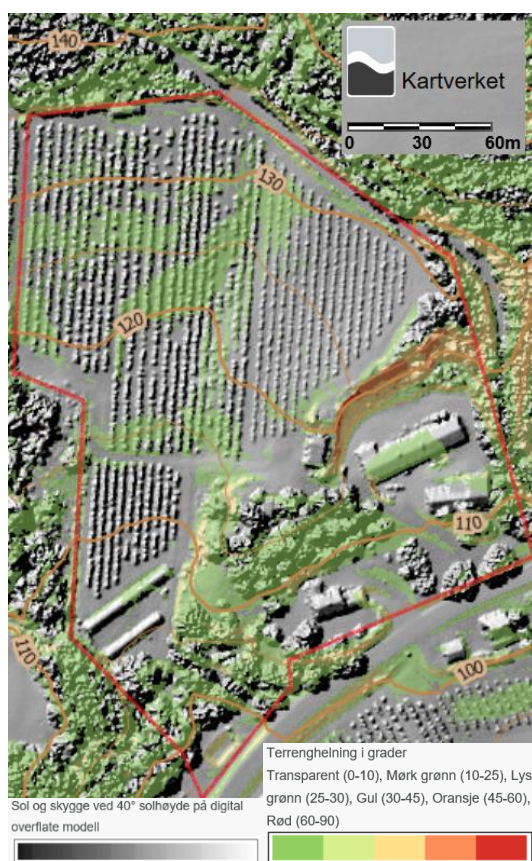
leire seg opp til den marine grensen; havets høyeste punkt etter siste istid, markert med røde linjer i kartet. Et rikt planteliv er typisk for disse områdene (Moen 1999). I et nærmere perspektiv, viser kartutsnittet for området (figur 2.3) at den marine grense ved Hegnun (markert med rød x) var på 150 m.o.h, og at tykk havavsetning er den dominerende løsmasse innenfor denne grensen.



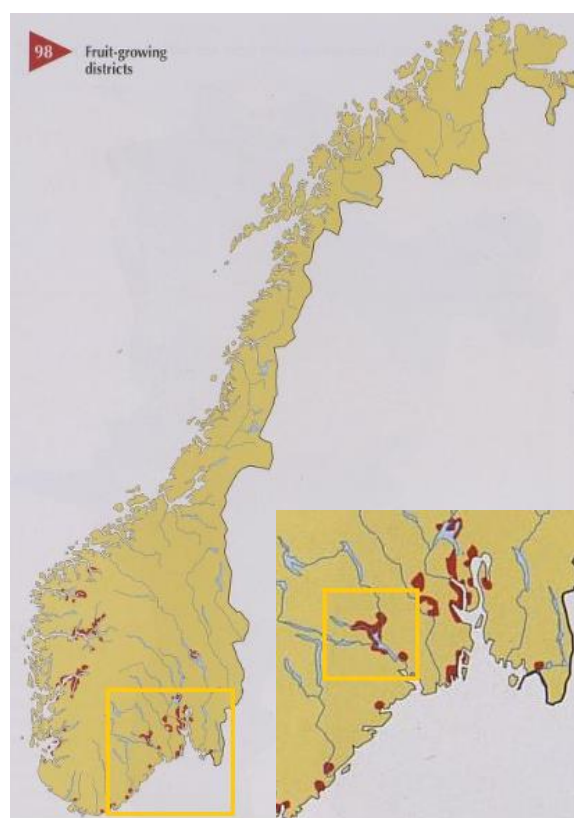
Figur 2.3: Kartutsnitt av det aktuelle området nordvest for Norsjø, med Hegnuns beliggenhet markert med rød X. Kartet viser den marine grense, som ved Hegnun var på rundt 150 m.o.h. Tykk havavsetning dominerer området (<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>).

Det aktuelle området innenfor rødt omriss (figur 2.4), er plassert mellom høydekurvene 100-140, med opptil 25° terrenghelning (grønne felt), i hovedsak sør (sør-vest)-vendt. I kartutsnittet er inkludert sol og skygge ved 40° solhøyde. 59.4285°N 9.10831°Ø er områdets koordinater.

Området inngår i et av Norges fruktdyrkingsdistrikt (figur 2.5); den første kjente eplehagen plantes på Sauherad kirkegård i 1738. Rundt 1800 etableres den første store eplehagen med 100 trær og fra 1986 gjennomgår området en «eplerevolusjon» som skaper kvalitetsheving og bedre økonomi i fruktdyrkingen. I dag er Telemark landets 2. største fruktfylke; hvert fjerde eple som spises i Norge produseres her. Området har godt jordsmonn i et klima som egner seg til fruktproduksjon, særlig i randsonen til Norsjø som danner et gunstig varme magasin (Hammer 2017). Her er det varme somrer og mye sol. Vinteren kan bli ganske kald, men nærheten til Norsjø gjør at trærne sjelden fryser ut (2011).



Figur 2.4: Kartutsnitt av området på Hegnun hvor epleblomstringsdatasettet opprinner. Grønne felt antyder helning på opptil 25° i terrenget som i hovedsak er sør (sør-vest)-vendt, plassert mellom høydekurvene 100-140. Sol og skygge ved 40° solhøyde er inkludert. Koordinatene for området er 59.4285°N 9.10831°Ø (Kartverket-www.kartverket.no).



Figur 2.5: Norgeskartet til venstre i figuren viser en oversikt over fruktdyrkingsdistrikt i Norge, markert med rødt. I utsnittet av sør-øst landet til høyre i figuren, er den gule rammen lagt rundt Norsjø. Rød farge illustrerer hvor det dyrkes frukt (Moen 1999).

2.2 Datasett

Følgende datasett anvendes i modellutvikling, trend tilbake i tid samt fremtidsscenario:

Empiriske data med 30 års observasjon (1984-2013) av tidspunktet for full blomst, rød Gravenstein på Hegnun (Bø i Midt-Telemark) (beskrevet i 2.2.1), utgjør sammen med en homogenisert temperaturserie (beskrevet i 2.2.2), grunnlaget for modellutvikling. Temperaturserien anvendes også for å se på trenden tilbake i tid.

Temperaturserie med klimascenarier for fremtiden (beskrevet i 2.2.3) bygger på scenariene presentert i Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer *et al.* 2009).

2.2.1 Blomstring på Hegnun

På Hegnun i Bø (Midt-Telemark) har Gunnar Li flittig registrert dato for full blomst på sine epletrær av sorten rød Gravenstein helt tilbake til 1984. Observasjon for 1986, 1987 og 1992 mangler, men observasjoner utført over 30 år av samme person er likevel en sjeldenhet. Dataserien fra Hegnun er gjengitt i tabell 4. Dag i året uttrykkes med *juliansk dag* i foreliggende tabeller og figurer.

Tabell 4: Observert blomstringstidspunkt på Hegnun gjennom 30 år (1984-2013). I bunn av tabellen er tidligste-, midlere- og seneste blomstring gjengitt.

Full blomst på Rød Gravenstein, Hegnun		
År	Dato for full blomst	Juliansk dag
2013	27.mai	147
2012	20.mai	141
2011	11.mai	131
2010	23.mai	143
2009	17.mai	137
2008	18.mai	139
2007	07.mai	127
2006	28.mai	148
2005	23.mai	143
2004	16.mai	137
2003	25.mai	145
2002	17.mai	137
2001	26.mai	146
2000	13.mai	134
1999	27.mai	147
1998	26.mai	146
1997	31.mai	151
1996	03.jun	155
1995	29.mai	149
1994	25.mai	145
1993	12.mai	132
1992		
1991	25.mai	145
1990	06.mai	126
1989	21.mai	141
1988	30.mai	151
1987		
1986		
1985	30.mai	150
1984	26.mai	147
Tidligste	06.mai	126, 1990
Gj.snitt	21.mai	142
Seneste	03.jun	155, 1996

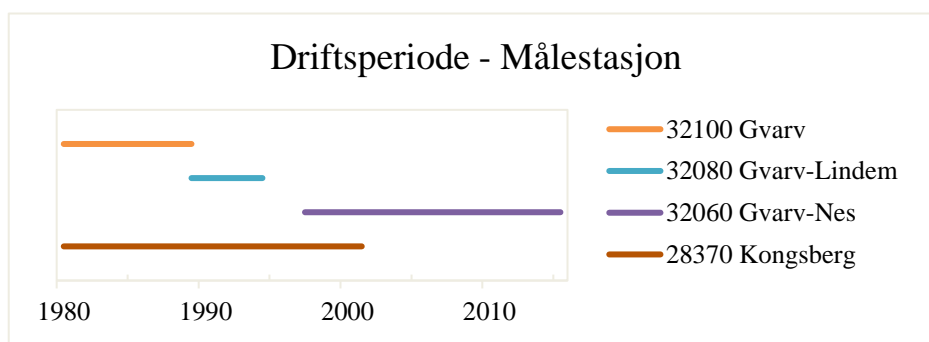
2.2.2 Meteorologiske data

2.2.2.1 Temperaturserie – Homogenisert

2.2.2.1.1 Gvarv 1984-2013

I anvendt temperaturserie inngår temperaturdata fra Meteorologisk institutt, lastet via eKlima(.no). Hovedsakelig benyttes data fra Gvarv (Midt-Telemark), selv om denne stasjonen i perioden 1984-2013 (perioden med data for epleblomstring) er flyttet to ganger (dermed blir det på en måte tre serier) og det i tillegg forekommer en del hull i måleseriene. Kun små forflytninger av en målestasjon kan forårsake såkalte

homogenitetsbudd (Alexandersson & Moberg 1997), da målingene påvirkes av helt lokale forhold som høyde over dalbunnen, bakkens strålingsegenskaper og skjerming fra nærliggende bygninger og vegetasjon. Lineær regresjon anvendes, som beskrevet i metodekapittelet til Nordli m.fl. (Nordli *et al.* 2014), for å fylle ut hull samt skjøte seriene sammen til én homogen serie. Grunnet manglende overlapp mellom disse måleseriene fra Gvarv, var det nødvendig å finne en felles referanseserie å relatere dem til; en temperaturserie fra Kongsberg benyttes som felles referanse. Oversikten i figur 2.6 viser hvilke perioder de ulike stasjonene har vært i drift. Den sammensatte temperaturserien som anvendes i modellutviklingen er justert slik at den skal representere nåværende målestasjon 32060 Gvarv-Nes. Mer informasjon er gitt i vedlegg III.



Figur 2.6: Oversikt over driftsperioder for temperaturmålinger som er brukt til å beregne homogenisert temperaturserie tilpasset Gvarv-Nes.

2.2.2.1.2 Gvarv tilbake 1920-2013

For å modellere blomstringstidspunkt tilbake i tid, er data fra stasjon 32100 Gvarv (figur 2.6) benyttet fra 1920; første hele år med målinger ved denne stasjonen. Disse dataene er også justert slik at de skal representere nåværende målestasjon. For øvrig mangler her målinger mellom 1. april - 11. august 1927, og 1927 utgår derfor i sin helhet fra serien. I oppstarten av stasjonen ble bare middeltemperaturen registrert, og først i 1955 kom termometeret for maksimumsmåling til stasjonen.

Den homogeniserte temperaturserien 1920-2013 er basert på døgnlig middeltemperatur, og består av henholdsvis middeltemperatur (hvis forkortelse TAM benyttes i påfølgende tekst) og maksimumstemperatur (hvis forkortelse TAX benyttes i påfølgende tekst). For serien som strekkes tilbake til 1920, løper TAM fra 1920-2013, og TAX fra 1955-2013. Nærmere beskrivelse av temperaturseriene er gitt i vedlegg III.

2.2.2.2 Temperaturserie – Framtidsscenarier 2071-2100

For temperatur ved Gvarv målestasjon i perioden 2071-2100, er framtidsprosjeksjonene beregnet ved å bruke resultatene for Østlandsregionen presentert av Hanssen-Bauer m.fl. i Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer *et al.* 2009). Resultatene baseres på 72 forskjellige modellberegninger, inkluderer fem ulike utslippsscenarier, og viser beregnet temperaturøkning fra perioden 1961-1990 til 2071-2100. Ved «lav» (L)-, «middels» (M) og «høy» (H) framskrivning (henholdsvis 10-persentilen, middelverdien og 90-persentilen i ensemblet av 72 modeller, tabell 5), illustreres spredningen i resultatene. I spredningen mellom L, M og H gjenspeiles usikkerheten rundt fremtidige klimagassutslipp (utslippsscenarier), modellusikkerhet og naturlig klimavariabilitet.

Tabell 5: Temperaturøkning (°C) basert på et ensemble av 72 modeller, beregnet for Østlandet fra 1961-1990 til 2071-2100. Lav projeksjon (L) er 10-persentilen, middels projeksjon (M) er middelverdien og høy projeksjon (H) er 90-persentilen i ensemblet fra Hanssen-Bauer m.fl. (Hanssen-Bauer *et al.* 2009).

	Vinter	Vår	Sommer	Høst
L	2,8	1,9	1,5	2,5
M	4,5	3,2	2,5	3,6
H	6,5	4,6	3,8	5,1

Klimamodellers systematiske feil og svakheter gjør at resultatene fra disse ikke er direkte sammenlignbare med måleserier. For å løse nevnte problem er her anvendt *delta-change* metoden (Gleick 1986), som innebærer at beregnet temperaturendring hentet fra Hanssen-Bauer m.fl. (2009) er lagt til observert temperatur på Gvarv i referanseperioden, for å beregne klima mot slutten av århundret. Temperaturøkningen er ikke lagt til sesongvis (som vist i tabell 5), da dette ville gitt store inhomogeniteter i overgangen mellom sesongene. Økningen er glattet ut gjennom året, som vist i tabell 6. Perioden 1963-1992 er anvendt som referanseperiode.

Tabell 6: Verdier (°C) som er lagt til døgnmiddeltemperaturen på Gvarv i scenarieperioden.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des
L	2,8- 2,9	2,8- 2,6	2,5- 2,1	2,1- 1,8	1,7- 1,6	1,5- 1,4	1,4	1,5- 1,8	1,9- 2,2	2,3- 2,5	2,6- 2,7	2,7- 2,8
M	4,4- 4,6	4,6- 4,3	4,2- 3,6	3,5- 3,0	2,9- 2,6	2,5- 2,4	2,4	2,5- 2,8	2,9- 3,3	3,4- 3,6	3,7- 4,0	4,1- 4,3
H	6,4- 6,6	6,4- 6,0	5,9- 5,1	5,0- 4,4	4,3- 4,0	3,9- 3,8	3,7	3,8- 4,1	4,2- 4,7	4,8- 5,3	5,4- 5,9	6,0- 6,4

2.3 Dataanalyser

I metoden utvikles en teoretisk modell for blomstringsdag; modellbyggingen krever flere faktorer før den endelige modellen kan defineres. Nevnte faktorer er del av metoden, og redegjøres for i foreliggende kapittel. Alle beregninger utført i analysen er basert på homogenisert dataserie fra Gvarv (vedlegg III), i kombinasjon med blomstringsdata fra Hegnun (tabell 4, kapittel 2.2.1).

2.3.1 Modell for blomstringsdag

2.3.1.1 Modellutvikling

Basert på dataserien for full blomst på Hegnun (1984-2013), og temperaturserien *Gvarv* (1984-2013), utvikles en teoretisk modell hvis formål er å etablere teoretisk dag i året for blomstring basert på teoretisk varmesum. Hensikten er å kunne modellere blomstringstidspunkt tilbake i tid, samt i et fremtidsscenario.

Varmesum er akkumulert temperatur over en økologisk bestemt terskelverdi, frem til blomstringstidspunktet (se kapittel 1.1.2). I Skandinavia beregnes lengden på den effektive vekstsesongen som antall dager med daglig middeltemperatur over 5 °C (Wielgolaski 1999); lite fotosyntese finner sted under 5 °C (Moen 1999). Med dette utgangspunktet testes ulike terskelverdier for beregning av varmesum i modellen, for å finne den mest gunstige:

- Terskelverdier for TAM: >5 °C, >6 °C, >10 °C
- Terskelverdier for TAX: >10 °C, >12 °C, 15 °C

Varmesummen summeres ut ifra en økologisk bestemt terskelverdi; varmesummen beregnes ved å trekke gitt terskelverdi fra temperatur, og dermed summere temperatur over 0 °C frem til blomstringsdato. Dag i året benyttes for å sette en tallverdi på blomstringsdato; en metode for nummerering av dager, som er fri for oppdeling i måneder og år. I foreliggende modell starter nummereringen på 1. januar; dag nr. 1 tilsvarer 1. januar. Som eksempel vil dag nr. 100 tilsvare 10. april, og dag nr. 150 tilsvare 30. mai.

Ut fra temperaturserien Gvarv 1984-2013 hentes temperaturdata fra 1. januar - 30. juni, og to separate datasett produseres: Én for TAM og én for TAX, som videre deles i skuddår og normalår. Inndelingen i skuddår har ingen teoretisk betydning, men utføres for å oppnå et mer praktisk dataoppsett i anvendelsen av dag i året. Alle videre

operasjoner i modellutviklingen utføres for både TAM og TAX, og for hver av de ovennevnte terskelverdier. Terskel >5 °C i TAM og terskel >10 °C i TAX gjengis i kapittelets eksempler.

Varmesum dag-for-dag (stigende verdier) frem til dag i året for full blomst på Hegnun (1984-2013) beregnes for de ulike terskelverdier. Deretter deles datasettet i henholdsvis 1984- 2013, 1984-1999 og 2000-2013, og for hver av disse beregnes et gjennomsnitt; én gjennomsnittsvarmesum fra hver del representerer hver sin teoretiske varmesum (tabell 7).

Tabell 7: Tabellen fremstiller de ulike gjennomsnittsvarmesummene beregnet ut i fra tersklene for TAM og TAX, i sin respektive seksjon. Gjennomsnittsvarmesummene representerer teoretisk varmesum.

GJENNOMSNIITTSVARMESUM → TEORETISK VARMESUM						
År	TAM terskel			TAX terskel		
	>5 °C	>6 °C	>10 °C	>10 °C	>12 °C	>15 °C
1984-2013	176,05	135,38	37,27	236,93	155,56	73,92
1984-1999	183,07	141,50	38,92	243,58	161,43	77,94
2000-2013	169,54	129,69	35,74	230,74	150,10	70,18

Videre anvendes de teoretiske varmesummene for å etablere teoretisk dag i året for blomstring for de ulike terskelverdiene; den dagen den *faktiske* varmesummen overskrider den *teoretiske* varmesummen utgjør *teoretisk* dag i året for blomstring. Hver av de teoretiske varmesummene anvendes i sin respektive terskel for å etablere teoretisk dag i året for blomstring for denne terskelen. Tabell 8 gjengir teoretisk dag i året for blomstring for terskel >5 °C TAM, og terskel >10 °C TAX.

Tabell 8: Teoretisk varmesum (1984-2013, 1984-1999 og 2000-2013) anvendes for å etablere teoretisk dag i året for blomstring for alle terskelverdiene. Tabellen gjengir teoretisk dag i året for blomstring for terskel >5 °C TAM og terskel >10 °C TAX.

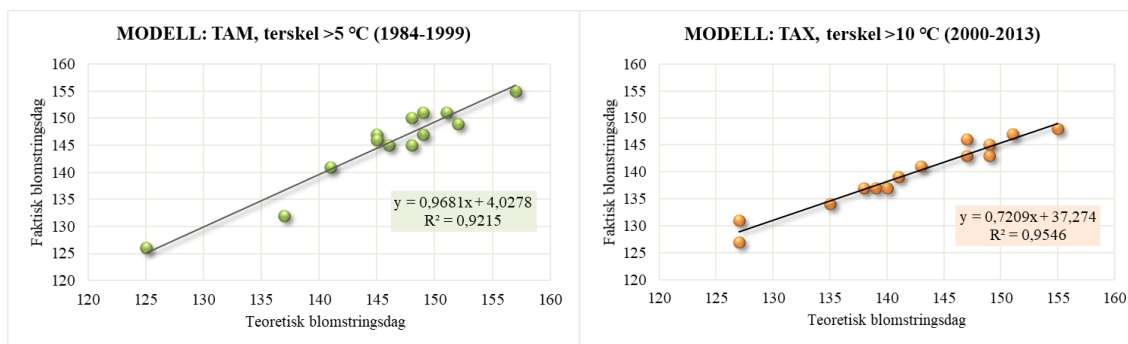
År	TEORETISK BLOMSTRINGS DAG (terskel >5 °C)						År	TEORETISK BLOMSTRINGS DAG (terskel >10 °C)					
	Varmesum 1984-2013		Varmesum 1984-1999		Varmesum 2000-2013			Varmesum 1984-2013		Varmesum 1984-1999		Varmesum 2000-2013	
	176,05	Juliansk dag	183,07	Juliansk dag	169,54	Juliansk dag	236,93	Juliansk dag	243,58	Juliansk dag	230,74	Juliansk dag	
1984	24.mai	145	24.mai	145	23.mai	144	1984	24.mai	145	25.mai	146	24.mai	145
1985	28.mai	148	28.mai	148	27.mai	147	1985	29.mai	149	29.mai	149	28.mai	148
1986	31.mai	151	01.jun	152	30.mai	150	1986	31.mai	151	01.jun	152	31.mai	151
1987	30.mai	150	31.mai	151	28.mai	148	1987	26.mai	146	26.mai	146	25.mai	145
1988	28.mai	149	28.mai	149	27.mai	148	1988	28.mai	149	28.mai	149	28.mai	149
1989	20.mai	140	21.mai	141	20.mai	140	1989	23.mai	143	23.mai	143	22.mai	142
1990	04.mai	124	05.mai	125	04.mai	124	1990	06.mai	126	06.mai	126	05.mai	125
1991	27.mai	147	28.mai	148	26.mai	146	1991	28.mai	148	28.mai	148	27.mai	147
1992	22.mai	143	22.mai	143	21.mai	142	1992	22.mai	143	22.mai	143	22.mai	143
1993	15.mai	135	17.mai	137	15.mai	135	1993	15.mai	135	16.mai	136	14.mai	134
1994	25.mai	145	26.mai	146	24.mai	144	1994	25.mai	145	25.mai	145	24.mai	144
1995	31.mai	151	01.jun	152	31.mai	151	1995	31.mai	151	31.mai	151	30.mai	150
1996	04.jun	156	05.jun	157	03.jun	155	1996	03.jun	155	04.jun	156	02.jun	154
1997	30.mai	150	31.mai	151	29.mai	149	1997	28.mai	148	29.mai	149	26.mai	146
1998	24.mai	144	25.mai	145	22.mai	142	1998	24.mai	144	26.mai	146	22.mai	142
1999	28.mai	148	29.mai	149	27.mai	147	1999	25.mai	145	26.mai	146	24.mai	144
2000	14.mai	135	14.mai	135	13.mai	134	2000	13.mai	134	14.mai	135	13.mai	134
2001	26.mai	146	27.mai	147	25.mai	145	2001	26.mai	146	27.mai	147	25.mai	145
2002	20.mai	140	21.mai	141	19.mai	139	2002	17.mai	137	18.mai	138	17.mai	137
2003	31.mai	151	31.mai	151	30.mai	150	2003	28.mai	148	29.mai	149	28.mai	148
2004	15.mai	136	16.mai	137	14.mai	135	2004	17.mai	138	18.mai	139	17.mai	138
2005	28.mai	148	30.mai	150	27.mai	147	2005	26.mai	146	27.mai	147	25.mai	145
2006	27.mai	147	29.mai	149	26.mai	146	2006	03.jun	154	04.jun	155	02.jun	153
2007	12.mai	132	14.mai	134	11.mai	131	2007	05.mai	125	07.mai	127	04.mai	124
2008	20.mai	141	22.mai	143	16.mai	137	2008	17.mai	138	20.mai	141	16.mai	137
2009	20.mai	140	21.mai	141	19.mai	139	2009	19.mai	139	20.mai	140	17.mai	137
2010	27.mai	147	29.mai	149	25.mai	145	2010	28.mai	148	29.mai	149	26.mai	146
2011	09.mai	129	10.mai	130	08.mai	128	2011	07.mai	127	07.mai	127	05.mai	125
2012	22.mai	143	22.mai	143	21.mai	142	2012	22.mai	143	22.mai	143	21.mai	142
2013	26.mai	146	27.mai	147	26.mai	146	2013	31.mai	151	31.mai	151	30.mai	150

For å teste hvor godt modellen fungerer på uavhengige data, deles datamaterialet i to (tabell 9); korrelasjonen mellom *teoretisk* dag i året for blomstring og *faktisk* dag i året for blomstring 1984-1999 og 2000-2013 granskes for alle terskler ved å anvende teoretisk varmesum 1984-1999 (se tabell 7 for verdien i hver terskel). Dersom teoretisk -og faktisk dag i året for blomstring korrelerer godt, og modellen utviklet for perioden 1984-1999 gir gode resultater også for perioden 2000-2013, anses modellen valid.

Tabell 9: Teoretisk dag i året for blomstring etablert med teoretisk varmesum 1984-1999 (183,07 terskel >5 °C og 243,58 terskel >10 °C) testes mot den faktiske dage i året for blomstring på Hegnun. Datasettet deles inn i henholdsvis 1984-2013, 1984-1999 og 2000-2013, og korrelasjonen mellom teoretisk -og faktisk dag i året for blomstring testes for hver av disse. Dersom teoretisk -og faktisk dag i året for blomstring korrelerer, anses modellen valid.

TERSKEL >5 °C	Teoretisk blomstringsdag		Faktisk blomstringsdag		TERSKEL >10 °C	Teoretisk blomstringsdag		Faktisk blomstringsdag	
	Varmesum 1984-1999					Varmesum 1984-1999			
År	183,07	Juliansk dag	Hegnun	Juliansk dag	År	243,58	Juliansk dag	Hegnun	Juliansk dag
1984	24.mai	145	26.mai	147	1984	25.mai	146	26.mai	147
1985	28.mai	148	30.mai	150	1985	29.mai	149	30.mai	150
1986	01.jun	152			1986	01.jun	152		
1987	31.mai	151			1987	26.mai	146		
1988	28.mai	149	30.mai	151	1988	28.mai	149	30.mai	151
1989	21.mai	141	21.mai	141	1989	23.mai	143	21.mai	141
1990	05.mai	125	06.mai	126	1990	06.mai	126	06.mai	126
1991	28.mai	148	25.mai	145	1991	28.mai	148	25.mai	145
1992	22.mai	143			1992	22.mai	143		
1993	17.mai	137	12.mai	132	1993	16.mai	136	12.mai	132
1994	26.mai	146	25.mai	145	1994	25.mai	145	25.mai	145
1995	01.jun	152	29.mai	149	1995	31.mai	151	29.mai	149
1996	05.jun	157	03.jun	155	1996	04.jun	156	03.jun	155
1997	31.mai	151	31.mai	151	1997	29.mai	149	31.mai	151
1998	25.mai	145	26.mai	146	1998	26.mai	146	26.mai	146
1999	29.mai	149	27.mai	147	1999	26.mai	146	27.mai	147
2000	14.mai	135	13.mai	134	2000	14.mai	135	13.mai	134
2001	27.mai	147	26.mai	146	2001	27.mai	147	26.mai	146
2002	21.mai	141	17.mai	137	2002	18.mai	138	17.mai	137
2003	31.mai	151	25.mai	145	2003	29.mai	149	25.mai	145
2004	16.mai	137	16.mai	137	2004	18.mai	139	16.mai	137
2005	30.mai	150	23.mai	143	2005	27.mai	147	23.mai	143
2006	29.mai	149	28.mai	148	2006	04.jun	155	28.mai	148
2007	14.mai	134	07.mai	127	2007	07.mai	127	07.mai	127
2008	22.mai	143	18.mai	139	2008	20.mai	141	18.mai	139
2009	21.mai	141	17.mai	137	2009	20.mai	140	17.mai	137
2010	29.mai	149	23.mai	143	2010	29.mai	149	23.mai	143
2011	10.mai	130	11.mai	131	2011	07.mai	127	11.mai	131
2012	22.mai	143	20.mai	141	2012	22.mai	143	20.mai	141
2013	27.mai	147	27.mai	147	2013	31.mai	151	27.mai	147

Som fremlagt eksempel er TAM terskel >5 °C for 1984-1999 og TAX terskel >10 °C for 2000-2013 (figur 2.7), resterende plot er lagt i vedlegg IV.



Figur 2.7: For å teste modellen på uavhengige data undersøkes korrelasjonen mellom teoretisk dag i året for blomstring og faktisk dag i året for blomstring, 1984-1999 og 2000-2013, med anvendt teoretisk varmesum 1984-1999 (tabell 7); her eksemplifisert ved terskel >5 °C 1984-1999 og terskel >10 °C 2000-2013. Dersom teoretisk -og faktisk dag i året for blomstring korrelerer, anses modellen valid.

Korrelasjonskoeffisienten fra ovennevnte test presenteres i tabell 10 og 11; $R \times R = R^2$, som sier hvor stor prosentandel av variasjonen som kan forklares med modellen.

Tabell 10: Tabellen viser korrelasjonskoeffisienten (R) beregnet med de ulike tersklene i hver bolk. R er gjennomgående størst ved terskel >5 °C TAM og terskel >10 °C TAX, og disse anvendes dermed i den endelige modellen.

Temp.	Terskel °C	1984-1999		2000-2013		1984-2013	
		R	R ²	R	R ²	R	R ²
TAM	>5	0,96	0,92	0,91	0,83	0,93	0,87
	>6	0,96	0,93	0,81	0,65	0,88	0,78
	>10	0,90	0,80	0,15	0,02	0,57	0,32
TAX	>10	0,97	0,95	0,98	0,95	0,95	0,90
	>12	0,95	0,91	0,91	0,82	0,89	0,79
	>15	0,80	0,63	0,73	0,53	0,75	0,56

Tabell 11: Tabellen viser korrelasjonskoeffisienten (R²) beregnet med de ulike tersklene i hver bolk. R² er gjennomgående størst ved terskel >5 °C TAM og terskel >10 °C TAX, og disse anvendes dermed i den endelige modellen.

Temp.	Terskel °C	1984-2013	
		R	R ²
TAM	>5	0,93	0,87
	>6	0,88	0,78
	>10	0,57	0,32
TAX	>10	0,95	0,90
	>12	0,89	0,79
	>15	0,75	0,56

2.3.1.2 Definisjon av endelig modell

Så snart det er etablert at modellen virker (materialet delt i to; testet på uavhengig data), velges hele datasettet (1984-2013) for at modellen skal få et best mulig datagrunnlag. Korrelasjonskoeffisienten (tabell 12) viser at tersklene $>5^{\circ}\text{C}$ for TAM og $>10^{\circ}\text{C}$ for TAX er beste terskelverdi, og disse anvendes, sammen med sin respektive varmesum (tabell 13), i de videre modelleringene.

Tabell 12: For hele datasettet (1984-2013) viser R at terskel $>5^{\circ}\text{C}$ for TAM og terskel $>10^{\circ}\text{C}$ for TAX er beste terskelverdi. Disse anvendes i videre modellering.

Temp.	Terskel $^{\circ}\text{C}$	1984-2013	
		R	R ²
TAM	>5	0,93	0,87
	>6	0,88	0,78
	>10	0,57	0,32
TAX	>10	0,95	0,90
	>12	0,89	0,79
	>15	0,75	0,56

Tabell 13: Gjennomsnittsvarmesummen beregnet fra hver bolke (se modellutvikling 4.3.1) utgjør den teoretiske varmesummen. Gjennomsnittsvarmesum 176,05 (TAM terskel $>5^{\circ}\text{C}$) og 236,93 (TAX terskel $>10^{\circ}\text{C}$) for 1984-2013 (størst datagrunnlag) anvendes som teoretisk varmesum for henholdsvis TAM og TAX i videre modellering.

	GENNOMSNIITTSVARMESUM \rightarrow TEORETISK VARMESUM					
	TAM terskel			TAX terskel		
År	$>5^{\circ}\text{C}$	$>6^{\circ}\text{C}$	$>10^{\circ}\text{C}$	$>10^{\circ}\text{C}$	$>12^{\circ}\text{C}$	$>15^{\circ}\text{C}$
1984-2013	176,05	135,38	37,27	236,93	155,56	73,92
1984-1999	183,07	141,50	38,92	243,58	161,43	77,94
2000-2013	169,54	129,69	35,74	230,74	150,10	70,18

Den ferdigutviklede teoretiske modellen benytter terskel $>5^{\circ}\text{C}$ og teoretisk varmesum 176,05 for TAM og terskel $>10^{\circ}\text{C}$ og teoretisk varmesum 236,93 for TAX. Hensikten med den teoretiske modellen er å kunne modellere blomstringstidspunkt tilbake i tid, samt i et fremtidsscenario; sammen med terskelverdiene kan de teoretiske varmesummene appliseres ulike (temperatur)datasett, og teoretisk dag i året for blomstring modelleres.

2.3.2 Modell anvendt i tilbaketrend

For å modellere blomstringstidspunkt tilbake i tid, er temperaturdata mellom 1. januar og 30. juni hentet ut fra temperaturserien *Gvarv tilbake 1920-2013*. Terskel $>5^{\circ}\text{C}$ og

teoretisk varmesum 176,05 anvendes for TAM fra 1920, og terskel >10 °C og theoretisk varmesum 236,93 anvendes for TAX fra 1955 (termometer for maksimumstemperatur inkluderes i målestasjonen dette året), for å modellere theoretisk dag i året for blomstring tilbake i tid.

2.3.3 Modell anvendt i fremtidsscenario

For å modellere blomstringstidspunkt i et fremtidsscenario, er temperaturdata mellom 1. januar og 30. juni hentet ut fra temperaturserien *Gvarv temperaturscenarier 2071-2100*. Serien består av midlere temperatur (TAM), presentert i et lavt-, middels- og høyt scenario. Terskel >5 °C og terskel >10 °C testes på de tre scenariene, og resulterer i anvendelsen av terskel >5 °C med theoretisk varmesum 176,05 for å modellere theoretisk dag i året for blomstring i et lavt-, middels- og høyt fremtidsscenario (terskel >10 °C med theoretisk varmesum 236,93 gjelder for TAX).

2.3.4 Mann-Kendall

For å teste om det finnes en systematisk endring i blomstringstid (statistisk signifikans), anvendes Mann-Kendall ikke-parametriske test (Sneyers 1995). Testen krever ikke normalfordelt data, men erstatter alle tall i en tidsserie med nummer i rekken lavest til høyest (ikke-parametrisk). Testen regner ut sannsynligheten for at trenden man ser kan oppstå tilfeldig. Når T- verdien overskrider -1,96 og 1,96 er resultatet statistisk signifikant på 5%-nivå. Ved T-verdi over -2,58 og 2,58 er resultatet statistisk signifikant på 1%-nivå. %-nivået tilsier hvor stor sannsynligheten er for at trenden oppstår tilfeldig.

2.3.5 Risiko for frostskaade

For å vurdere risikoen for frostskaade ved blomstring, anvendes minimumstemperaturen (TAN) fra temperaturserien *Gvarv tilbake 1920-2013*. For framtidsscenariene (2071-2100) eksisterer bare middeltemperatur og ikke TAN, men risikoen for frostskaade i høyt scenario er likevel vurdert, i lys av svært tidlig modellert blomstring. Vurdering av risiko for frostskaade tar utgangspunkt i temperaturen for modellert blomstringsdag ± 3 dager rundt denne. Basert på TAN er tidligste og seneste observerte blomst, samt tidligste og seneste modellerte blomst i TAM og TAX vurdert; for middeltemperaturen i høyt fremtidsscenario er utgangspunktet modellert blomstring tidligere enn dag nr. 100.

Det råder ulik kritisk temperatur (T_c ; °C) for epleblomstens fenofaser (FAO 2005), og i vurderingen av risiko for frostskaide er det tatt utgangspunkt i kritisk temperatur ved fasene *første blomst* og *full blomst* (tabell 14).

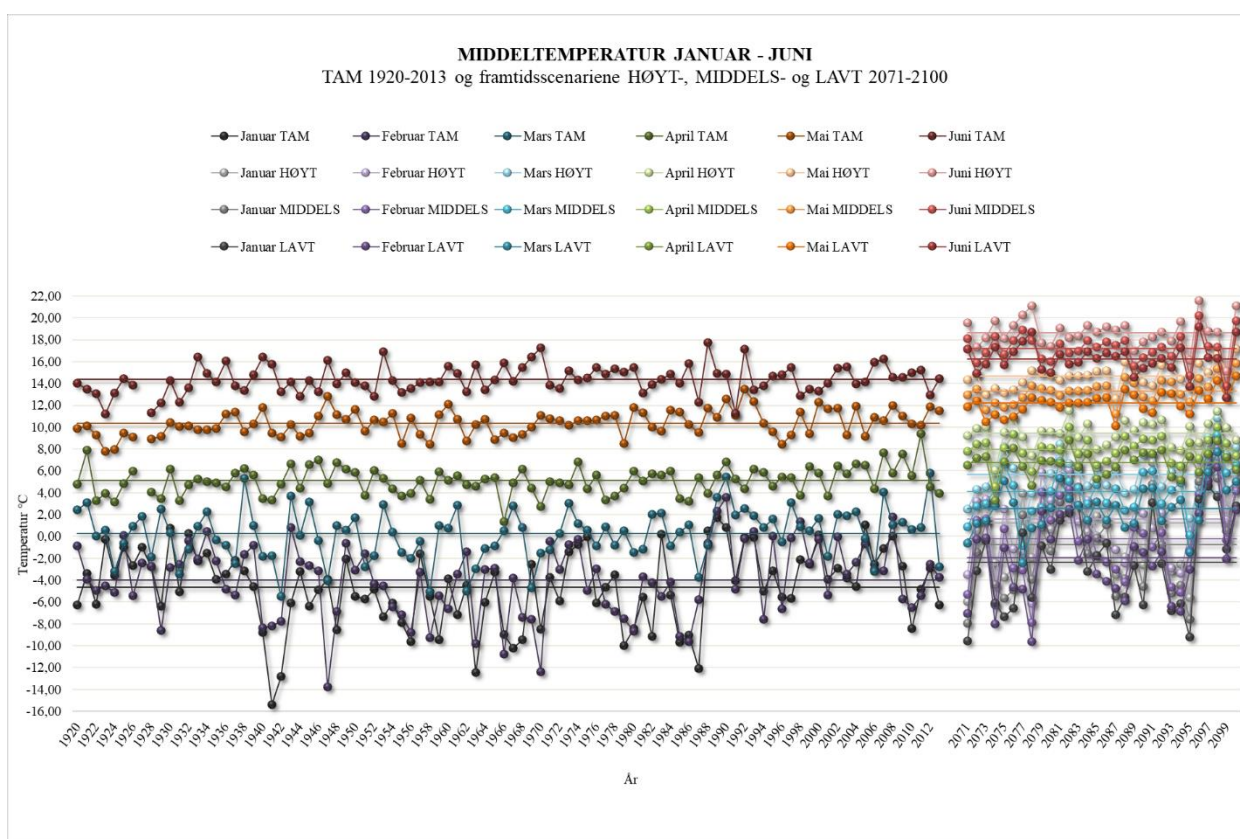
Tabell 14: Epleblomstens fenologiske faser første blomst og full blomst, med tilhørende kritisk temperatur (T_c ; °C). 10% og 90% død innebærer at 30 minutter ved indikert temperatur forventes å forårsake 10% og 90% død for berørt plantedel i indikert fenologisk fase (FAO 2005).

KRITISK TEMPERATUR (T_c; °C)		
DØD	Første blomst	Full blomst
10%	-2,3	-2,9
90%	-3,9	-4,7

3 Resultat

3.1 Middeltemperatur januar-juni; 1920-2013 og 2071-2100

Midlere temperaturdata (TAM) fra 1. januar til 30. juni er hentet ut fra temperaturseriene *Gvarv tilbake 1920-2013* og *Gvarv temperaturscenarier 2071-2100*. Middeltemperatur for hver måned i hvert år presenteres i henholdsvis TAM 1920-2013 og framtidsscenariene høyt-, middels- og lavt 2071-2100 i figur 3.1. Temperaturserien TAM 1920-2013 ligger generelt lavest sett i forhold til de øvrige temperaturscenariene; høyt framtidsscenario generelt høyest.



Figur 3.1: Grafen illustrerer middeltemperatur for januar-juni tilbake i tid (TAM 1920-2013), samt i framtidsscenariene høyt-, middels- og lavt (2071-2100). Til venstre er serien TAM 1920-2013 med generelt lavest temperatur, sett i forhold til de øvrige temperaturscenariene; høyt framtidsscenario generelt høyest. Gjennomsnittstemperatur fremstilles med linjer gjennom seriene.

Fra temperaturseriene er det i tillegg til middeltemperatur for hver måned i hvert år, hentet ut minimums- og maksimumstemperatur for alle måneder i alle temperaturserier, samt gjennomsnittstemperatur for alle månedene i hver temperaturserie. Tallene presenteres i tabell 15.

Temperaturserien TAM 1920-2013 har laveste minimums-, gjennomsnitt- og maksimumstemperatur januar-juni; høyt framtidsscenario 2071-2100 høyeste. Fra TAM 1920-2013 til det høye framtidsscenariet 2071-2100 er forskjellen på gjennomsnittet av middeltemperaturen over fire grader.

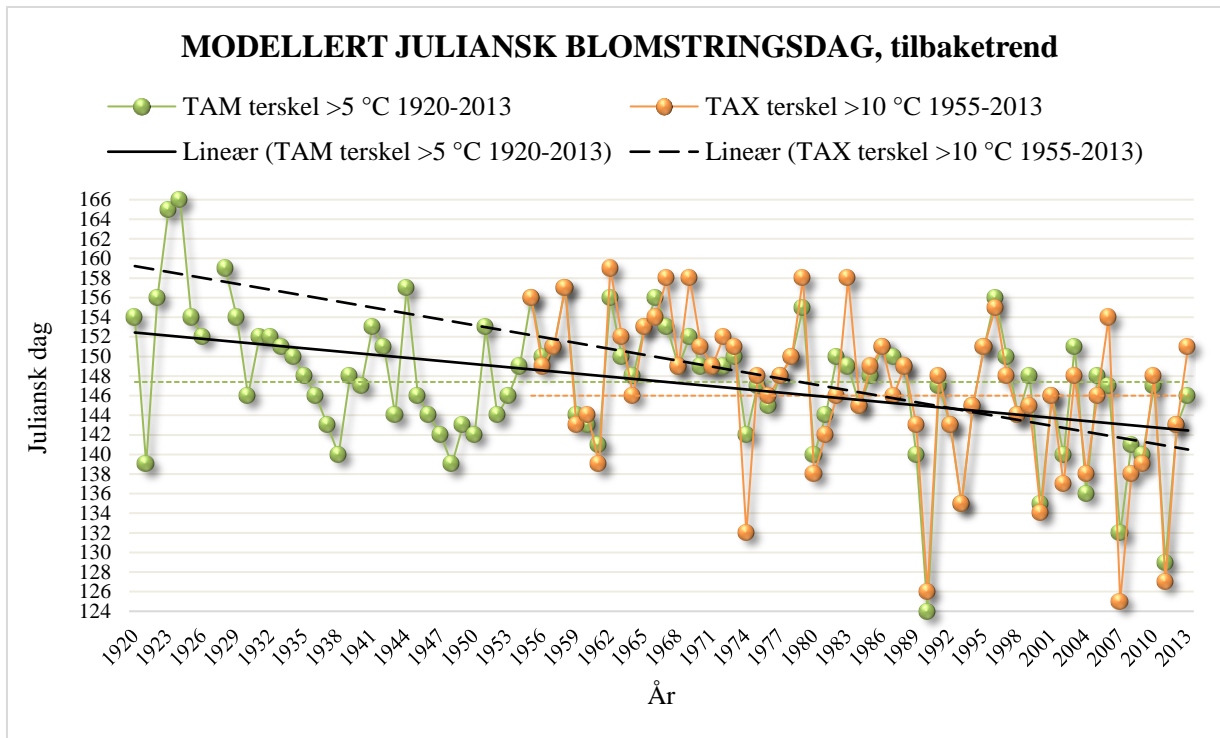
Tabell 15: Tabellen viser minimums- og maksimumstemperatur for januar-juni i tre av de fire temperaturserie (TAM 1920-2013 og framtidsscenariene høyt- og lavt 2071-2100). Gjennomsnittstemperaturen er basert på middeltemperatur (figur 3.1). De laveste minimumstemperaturene ligger i temperaturserien TAM 1920-2013; de høyeste maksimumstemperaturene i høyt framtidsscenario 2071-2100. Gjennomsnittet av middeltemperaturen for de fire temperaturscenariene viser at det mellom TAM 1920-2100 og høyt framtidsscenario 2071-2100 er mellom fire og seks graders forskjell.

TEMPERATUR °C		TAM 1920-2013	Framtidsscenarier 2071-2100		
			Høyt	Middels	Lavt
Januar	Min	-28,56	-19,31		-22,91
	Snitt	-4,63	1,25	-0,72	-2,39
	Max	10,40	16,06		12,36
Februar	Min	-27,52	-21,12		-24,72
	Snitt	-4,00	1,56	-0,22	-1,96
	Max	9,51	15,16		11,67
Mars	Min	-16,12	-9,18		-12,48
	Snitt	0,24	5,68	4,10	2,54
	Max	13,80	16,79		13,69
April	Min	-6,14	1,71		-1,19
	Snitt	5,10	9,44	7,97	6,72
	Max	16,90	19,68		17,08
Mai	Min	1,75	6,05		3,45
	Snitt	10,37	14,66	13,31	12,22
	Max	22,30	23,71		21,31
Juni	Min	5,55	9,45		7,05
	Snitt	14,38	18,66	17,20	16,26
	Max	23,22	27,02		24,62

En mer detaljert grafisk fremstilling av trenden for middeltemperatur (januar-juni) i TAM (1920-2013) og høyt framtidsscenario (2071-2100) er lagt i vedlegg V.

3.2 Modellert tilbaketrend

Ved å benytte teoretisk varmesum etablert i modellutvikling, modelleres dag i året for blomstring tilbake i tid. Terskel >5 °C med teoretisk varmesum 176,05 anvendes for TAM (1920-2013), og terskel >10 °C med teoretisk varmesum 236,93 anvendes for TAX (1955-2013).



Figur 3.2: Grafen illustrere modellert dag i året for blomstring tilbake i tid for TAM (1920-2013) og TAX (1955-2013). Tidligste dag i året for blomstring er 124 for TAM og 125 for TAX. Seneste dag i året for blomstring er 166 for TAM og 159 for TAX. Stiplet grønn linje viser midlere dag i året for blomstring 147 (TAM), og stiplet oransje linje viser midlere dag i året for blomstring 146 (TAX). Trendlinjene (heltrukket linje TAM og stiplet linje TAX) beskriver tendens mot tidligere blomstring.

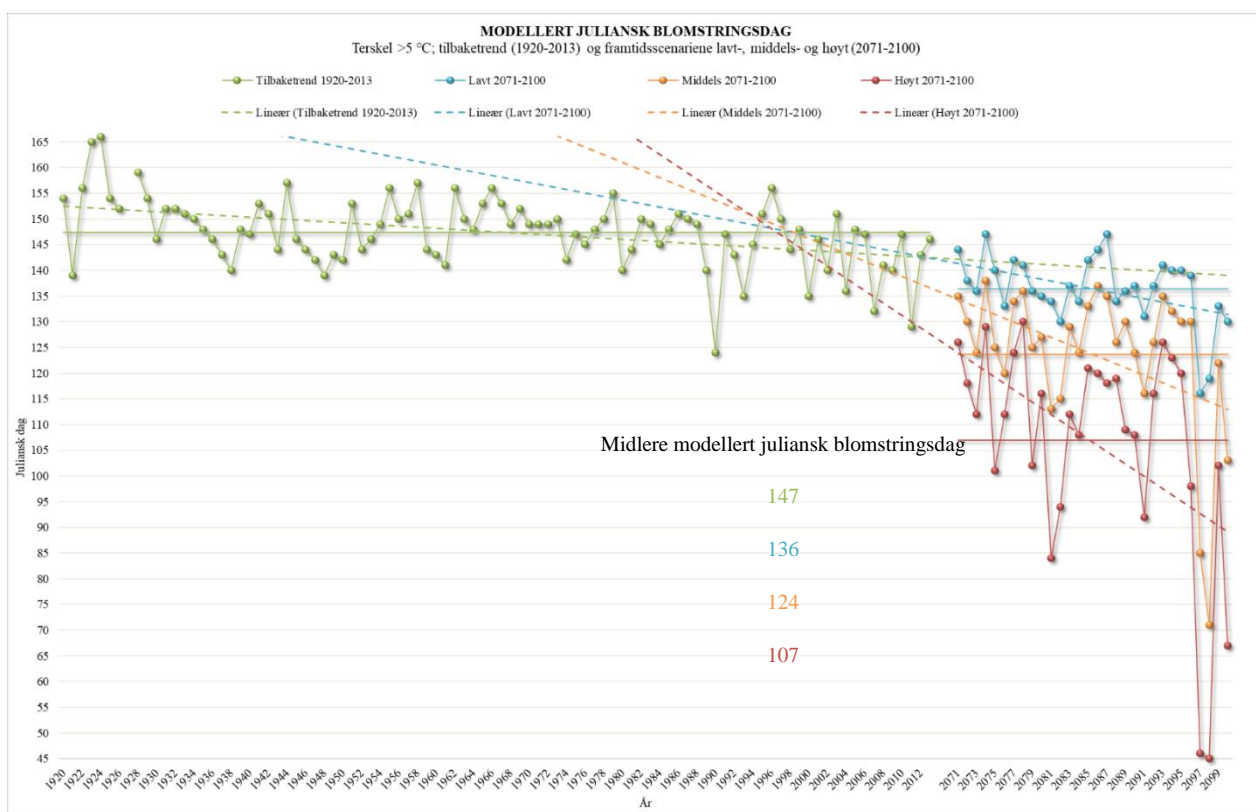
I modellert dag i året for blomstring tilbake i tid (figur 3.2), er tidligste blomstringsdag 124 i 1990 for TAM og 125 i 2007 for TAX. Seneste blomstringsdag er i 1924 for TAM; dag nr. 166, og i 1962 for TAX; dag nr. 159. Dag nr. 147 er midlere dag i året for blomstring for TAM (stiplet grønn linje) og dag nr. 146 er midlere dag i året for blomstring for TAX (stiplet oransje linje). Tallene fremstilles i tabell 16. Som referanse vil dag nr. 150 tilsvare 30. mai (ikke skuddår). Trendlinjene i figur 3.2 (heltrukket, sort for TAM og stiplet, sort for TAX) illustrerer en tendens mot tidligere blomstring.

Tabell 16: Tabellen viser tidligste-, gjennomsnitt- og seneste modellerte dag i året for blomstring for TAM 1920-2013 terskel >5 °C og TAX 1955-2013 terskel >10 °C. TAM viser tidligste og seneste modellerte dag i året for blomstring; 124 og 166, samt én dag høyere gjennomsnitt enn TAX.

Modellert juliansk blomstringsdag 1920 (1955) - 2013	TAM 1920-2013 Terskel >5 °C	TAX 1955-2013 Terskel >10 °C
Tidligst	124	125
Gjennomsnitt	147	146
Senest	166	159

3.3 Modellert fremtidsscenario

Ved å benytte teoretisk varmesum etablert i modellutvikling, modelleres dag i året for blomstring i tre framtidsscenarier; lavt-, middels- og høyt scenario. Terskel >5 °C med teoretisk varmesum 176,05 anvendes som teoretisk varmesum for de tre scenariene.



Figur 3.3: Modellert dag i året for blomstring v/TAM terskel >5 °C for tilbaketrend 1920-2013 og framtidsscenariene lavt-, middels- og høyt 2071-2100. Seneste modellerte blomstringsdag er 166 i 1924 (tilbaketrend); tidligste modellerte blomstringsdag er 45 i 2098 (høyt framtidsscenario). Midlere modellerte blomstringsdag er 147 i tilbaketrend, 136 i lavt framtidsscenario, 124 i middels framtidsscenario og 107 i høyt framtidsscenario. De fire trendlinjene beskriver tendens mot tidligere blomstring, da tydeligst i det høye framtidsscenariet (rød, stiplet linje).

Figur 3.3 er den grafiske fremstillingen av modellert dag i året for blomstring for tilbaketrend 1920-2013 og framtidsscenariene lavt-, middels- og høyt 2071-2100. Den

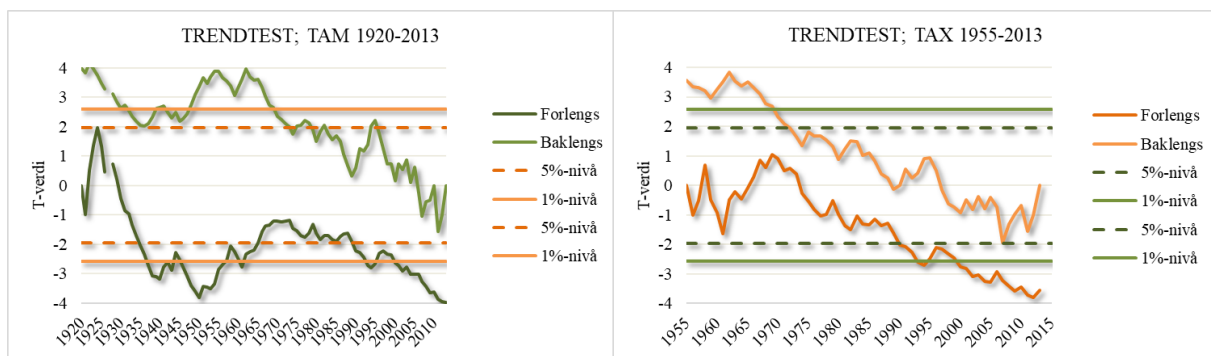
seneste modellerte blomstringsdagen er 166 i 1924 (tilbaketrend); den tidligste er 45 i 2098 (høyt fremtidsscenario). Mellom disse to ytterpunktene er det 121 dager; fire måneder. Midlere modellert blomstringsdag er i tilbaketrend 147, i lavt fremtidsscenario 136, i middels fremtidsscenario 124 og i høyt fremtidsscenario 107. Trendlinjene i grafen beskriver en tendens mot tidligere blomstring; særlig i det høye framtidsscenariet er dette tydelig. Oversikten over tidligste-, midlere- og seneste modellerte dag i året for blomstring for tilbaketrend (1920-2013) og framtidsscenariene lavt-, middels- og høyt (2071-2100) er lagt i tabell 17.

Tabell 17: Skjematisk fremstilling av tidligste-, midlere- og seneste modellerte dag i året for blomstring for tilbaketrend (1920-2013) og framtidsscenariene lavt-, middels- og høyt (2071-2100). For alle kategoriene i modellert dag i året for blomstring, er høyeste verdi å finne i tilbaketrend: tidligste 124, midlere 147 og seneste 166. Motparten er det høye framtidsscenariet, med tidligste 45, midlere 107 og seneste 130. Dag nr. 1 er 1. januar; i et normalår (ikke skuddår) tilsvarer dag nr. 166 15. juni, og dag nr. 45 14. februar.

Modellert juliansk blomstringsdag TAM terskel > 5 °C	Tilbake- trend	Lavt scenario	Middels scenario	Høyt scenario
Tidligst	124	116	71	45
Midlere	147	136	124	107
Senest	166	147	138	130

3.4 Mann-Kendall

Testen er anvendt på følgende datasett: *Faktisk blomstring* (1984-2013), *teoretisk blomstring* (1984-2013), *modellert dag i året for blomstring* (tilbaketrend TAM og TAX) og alle *framtidsscenariene* (høyt-, middels- og lavt). Seriene som går fra 1984-2013 viser alle tendens til gradvis tidligere blomstring, men det er litt for mye tilfeldige variasjoner i disse korte seriene til at trenden er statistisk sikker på 5% nivå. For de lange seriene med modellert dag i året for blomstring, viser testen at trendene i blomstringstid basert på både TAM (1920-2013) og TAX (1955-2013) er statistisk signifikante på 1% nivå (figur 3.4), i henhold til Mann-Kendall ikke-parametriske test (Sneyers 1995); sannsynligheten for at trenden oppstår tilfeldig er mindre enn 1%. T-verdien ved 1%-nivå er 2,58 og -2,58; ved 5%-nivå 1,96 og -1,96. Trendtesten viser at det har vært en systematisk endring (statistisk signifikant) i blomstringstiden fra 1920(1955)-2013. Framtidsscenariene er beregnet ved *delta-change* metoden (se kapittel 2.2.2.2), som innebærer at serien er tvunget til å ha med seg temperaturtrenden fra de historiske dataene til perioden 2071-2100. Det er derfor ikke så interessant å se på trendene i scenarie-perioden.



Figur 3.4: For å teste om det finnes en systematisk endring i blomstringstid (statistisk signifikans), anvendes Mann-Kendall ikke-parametriske test (Sneyers 1995). Testen regner ut sannsynligheten for at trenden man ser kan oppstå tilfeldig. Når *T*-verdien overskrider -1,96 og 1,96 er resultatet statistisk signifikant på 5%-nivå. Ved *T*-verdi over -2,58 og 2,58 er resultatet statistisk signifikant på 1%-nivå. %-nivået tilsier hvor stor sannsynligheten er for at trenden oppstår tilfeldig. TAM 1920-2013 (venstre i figuren) og TAX 1955-2013 (høyre i figuren) er begge signifikante på 1%-nivå; sannsynligheten for at trenden oppstår tilfeldig er mindre enn 1%.

Trendtest for ovennevnte datasett som ikke er avbildet her, finnes i vedlegg VI.

3.5 Risiko for frostskaide

Se tabellene i vedlegg VII, da det ikke er påvist noe risiko for frostskaide i resultatene.

4 Diskusjon

For å vurdere klimaets innvirkning på det kultiverte epletreetts blomstringstidspunkt, er her anvendt historiske blomstrings- og klimadata i etableringen av fenologisk sammenheng. Denne sammenheng vil danne grunnlag for diskusjon av historiske- og mulige fremtidige trender i blomstringstidspunkt, samt fenologi generelt, som respons på klimaendringene.

4.1 Modellutvikling

Empiriske blomstringsdata fra Hegnun over 30 år var utgangspunktet for å etablere fenologisk sammenheng mellom epleblomstringen i Midt-Telemark og klimadata fra det aktuelle området. Ettersom det er enklere å påvise trender i lengre dataserier, anbefaler litteraturen å anse 20 år som minste aksepterte serielengde for å påvise endring (Sparks & Menzel 2002); i denne sammenheng anses 30 år med observerte datapunkt som tilstrekkelig. Undersøkelsen tyder likevel på at 30 år kan være i korteste laget til å vise statistisk sikre trender, fordi lokale variasjoner fra år til år er så store.

Modellering av blomstringstid baseres vanligvis på temperaturresponsfunksjoner (Celton *et al.* 2011). Klimafaktorer som beregnet akkumulert varmesum er gode hjelpemidler i å forutsi blomstring, og denne typen abiotisk kontroll av blomstringstid er gjerne mer robust i tøffe miljø hvor veksts sesongen er kort (Fenner 1998). Blomstringen avhenger som oftest av en akkumulert varmesum, i form av daggrader over en terskel (Fenner 1998). De fleste kuldetolerante planter viser ubetydelig vekst (dannelse av nytt plantevev) ved 2-3 °C, mens betydelig vekst først finner sted ved >6 °C. For at vesentlig vekst hos kuldetolerante trær skal forekomme, er en terskel på 5-7 °C kjent; kunnskap om slike terskler er kritisk for modellering (Morison & Morecroft 2006). For flerårige planter kan den fysiologisk beste startdatoen for vekst og utvikling om våren være generelt vanskelig å fastslå, og problemene med å estimere den beste basis- eller terskeltemperatur for planteutvikling har lenge vært diskutert både i landbruk og botanisk økologi. For landbruket har man kommet frem til 5-6 °C som den mest gunstige terskelverdi, da særlig for korn og treaktige planter. I Skandinavia beregnes lengden av den effektive veksts sesongen som antall dager med middeltemperatur over 5 °C (Wielgolaski 1999), og terskelverdien er satt på grunnlag av lav fotosynteseaktivitet ved temperaturer under 5 °C (Moen 1999). Statistiske metoder kan anvendes for å bestemme tilnærmet beste startdato for ny utvikling hos flerårige planter om våren.

Dersom man anslår enden av dvaleperioden relativt korrekt, kan en basisterskel etableres mer presist. En basisterskel burde estimeres for ulike arter fordi den i virkeligheten varierer med flere faktorer både i planten og omgivelsene. I tillegg til den generelle variasjonen mellom arter, kan også ulik basisterskel forekomme innen samme art ved at den kan variere med alder og utviklingsstadier. Eksempler på miljøfaktorer som påvirker basisterskel er jordkarakteristikk, daglengde, generell jord- og lufttemperatur, samt vannforhold (Wielgolaski 1999). Siden vekst og utvikling avhenger av temperatur, kan fenologiske faser modelleres ved vekstgraddager som er akkumulert varmesum kalkulert ved å summere daglige varmeenheter over en basis temperaturskel gjennom vekstsesongen, med akkumuleringsstart ved et definert punkt (biofix), for eksempel en aktuell dato (Durner 2013). Dato for akkumuleringsstart er i undersøkelsen relatert til 1. januar, og representerer dag i året. Den er ikke statistisk bestemt, og det kan være en svakhet ved modellen.

Baggiolini (1952) var i 1950-årene den første til å beskrive en modell for summen av vekstgraddager i faglitteratur. Vekstgraddagene er kumulative, og tar hensyn til en terskelverdi under hvilken ingen temperaturbidrag er effektivt. For frukttrær vil terskelverdien for varmesummen (vekstgraddager) vanligvis ligge mellom 0-9 °C (Rea & Eccel 2006). I undersøkelsens modellutvikling ble flere treskler testet, før endelig terskel for videre modellering ble etablert. Modellen utviklet i undersøkelsen kan anses som enkel, da den anvender kun én variabel; temperatur omgjort til varmesum. Samtidig kan det argumenteres at en multivariabel modell krever mye data å utvikle, og i tillegg trekke inn mer støy, som kan gjøre den mer usikker.

For temperatur ved Gvarv målestasjon i perioden 2071-2100 (se kapittel 2.2.2.2), er framtidsprosjeksjonene beregnet ved å bruke resultatene for Østlandsregionen presentert i Klima i Norge 2100 (Hanssen-Bauer *et al.* 2009). Etter at disse klimaframskrivningene ble publisert, er en ny rapport fra FNs klimapanel utkommet (IPCC 2013). Basert på denne er også nye klimaframskrivninger for Norge publisert (Hanssen-Bauer *et al.* 2015), og i den fokuseres det på to utslippsscenarioer (*Representative Concentration Pathways*, RCP) fra klimarapporten; RCP 4.5 og RCP 8.5. De nye utviklingsbanene (RCP) er den siste generasjonen av scenarier som forsyner klimamodeller med data. Scenariene består av fire utviklingsbaner for fremtidige konsentrasjoner av klimagasser (figur 4.1), og beskriver mulige utviklingstrekk i utslipp og arealbruk (Cicero 2013). Miljødirektoratet karakteriserer de to utslippsscenariene (RCP 4.5 og RCP 8.5) med følgende stikkord (Cicero 2013):

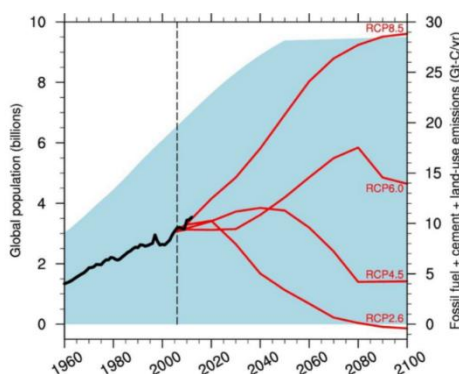
RCP 4.5 (middels utslipp) baseres på relativt ambisiøs utslippsreduksjon som stabiliserer strålingspådrivet kort tid etter 2100. Karakteriseres av:

- CO₂ -utslipp øker litt, før det avtar fra 2040 og utover
- Stabile metanutslipp
- Avtagende bruk av dyrket mark/gressletter, som følge av økte avlinger og endret kosthold
- Mange skogplantingsprogram
- Lavere energiintensitet
- Streng klimapolitikk

RCP 8.5 (høye utslipp) er i tråd med en fremtid uten flere politiske tiltak for reduksjon i klimagassutslipp; økende klimagassutslipp fører til høye klimagasskonsentrasjoner over tid. Karakteriseres av:

- Tre ganger dagens CO₂ utslipp innen 2100
- Rask økning i metanutslipp
- Økt arealbruk til dyrket mark/gressletter (befolkningsvekstdrevet)
- Befolkning på 12 milliarder i 2100
- Svakere teknologisk utvikling
- Tung fossilt brennstoff-avhengighet
- Høy energiintensitet
- Ingen implementert klimapolitikk

Figur 4.1 viser at RCP 4.5 tilsier en svak økning i utslipp fra 2007 til 2040, for deretter å reduseres til stabile utslipp tilsvarende 1960-nivå. For RCP 8.5 fortsetter klimagassutslippene å øke utover i det 21ste århundre, omtrent som det gjorde fra 1960 til 2007. Ingen av disse scenariene vil begrense global oppvarming til under 2 °C i forhold til preindustrielt nivå («togradersmålet»). For en typisk klimamodell vil RCP 4.5 tilsvare en global oppvarming på 1,8 °C på 100 år (2,4 °C i



Figur 4.1: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 og RCP 8.5 (Representative Concentration Pathways, RCP) representerer fire utviklingsbaner for fremtidige konsentrasjoner av klimagasser (Cicero 2013).

forhold til preindustrielt nivå); et nivå antropogene klimagassutslipp for øyeblikket ligger over, selv om det har flatet noe ut de siste årene. RCP 8.5 gir i en typisk klimamodell en global oppvarming på ca. 3,7 °C på 100 år (4,3 °C i forhold til preindustrielt nivå). Det er dette nivået antropogene klimagassutslipp i realiteten har ligget nærmest siden scenariene ble laget fra 2007-2016 (Hanssen-Bauer *et al.* 2015).

Ved modellert temperaturøkning på Østlandet vil verdiene for RCP 4.5 i typiske modellberegninger ligge mellom *L* og *M* i temperaturframskrivningene presentert i tabell 5 og 6 (kapittel 2.2.2.2: temperaturscenarier 2071-2100); RCP 8.5 gir verdier mellom *M* og *H* i de samme tabellene (Hanssen-Bauer *et al.* 2015). Følgelig vil den lave framskrivningen (*L*, kapittel 2.2.2.2) kunne betraktes som en «litt optimistisk» RCP 4.5, som globalt sett gir en oppvarming ned mot ca. 2 °C på 100 år. Den høye framskrivningen (*H*, kapittel 2.2.2.2) kan betraktes som en «litt pessimistisk» RCP 8.5, som globalt sett gir en oppvarming på godt over 4 °C på 100 år (Hanssen-Bauer *et al.* 2015).

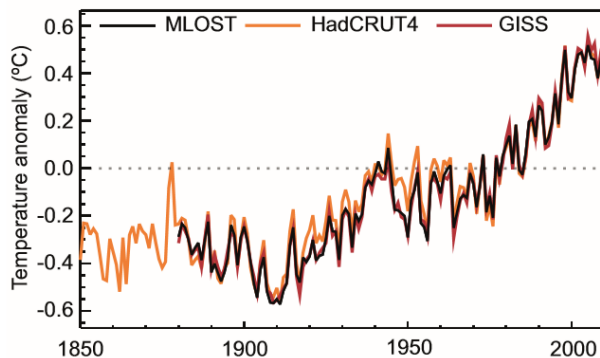
4.2 Klima; naturlig variasjon og endring

Jordens klima bestemmes i stor grad av det globale sirkulasjonsmønsteret. Viktige størrelser som temperatur og nedbør styres av transport av varme og fuktighet mellom ulike områder. Ved høyere global middeltemperatur er det sannsynlig at dette mønsteret endres, og blir en del av klimaendringene (Myhre 2008). Klodens klimasystem er svært komplisert, og består av de fem delene atmosfæren, hydrosfæren (alt vann på og under jordas overflate) kryosfæren (is- og snømasser og permafrost), geosfæren (eller litosfæren, den øvre delen av jordskorpa) og biosfæren (alt levende). Mengde solinnstråling reflektert fra jordoverflaten har stor betydning for klima, og i denne sammenheng er størrelsen albedo helt sentral. Albedo er forholdet mellom reflektert og innkommende solstråling mot en flate. For klimavariasjonene i de siste 500 000 år, ligger fem naturlige årsaker til grunn: 1) variasjon i innstråling fra sola, grunnet astronomiske forhold, 2) variasjon i den globale albedoen, 3) variasjon i gassinholdet i atmosfæren, 4) variasjon i utstrålingen fra sola og 5) vekselvirkninger i klimasystemet. Av astronomiske forhold er variasjon i jordbaneform- og helningsvinkel samt presesjon vesentlig. En økning i den globale albedoen (økt refleksjon) er avkjølede; økt absorpsjon er oppvarmende. CO₂, metan og vanddamp er i klimasammenheng de viktigste gassene i atmosfæren, da de kan stoppe langbølget stråling fra jorda, og

variasjon av gassinnholdet av disse virker inn på den naturlige drivhuseffekten (økning forsterker drivhuseffekten). Variasjoner i utstrålingen fra sola er en viktig, naturlig ytre påvirkning på klimasystemet, og solflekksyklusene, med gjennomsnittslengde på ca. 11 år, er avgjørende for energiutstrålingen; utstrålingen fra sola er størst ved solflekkmaksimum. Vekselvirkninger mellom hav og atmosfære er viktig for klimaet; den nordatlantiske oscillasjonen (NAO) og El Niño sammen med den sørlige oscillasjonen (ENSO) er viktige vekselvirkninger. (Myhre 2008).

Som følge av ovennevnte naturlige variasjoner, har klimaendringer forekommet til alle tider.

Antropogent virke (avskoging og jordbruk) har påvirket disse energiutvekslingene på lokal og regional skala gjennom mange hundre år; de siste 100-150 år er påvirkningen merkbar på globalt nivå. Oppvarming som følge av



Figur 4.2: Global årsmiddeltemperatur i perioden 1850-2012, gitt som avvik fra perioden 1961-1990 fra tre ulike datasett (MLOST, HadCRUT4 og GISS) (IPCC 2013).

klimagassutslipp er den dominerende globale effekten; ved global oppvarming øker den globale gjennomsnittstemperaturen nær jordoverflaten på sikt (Hanssen-Bauer *et al.* 2015). Utviklingen av den globale middeltemperaturen fra 1850 til 2012 gjengis i figur 4.2; variasjonene tilskrives blant annet variasjon i energiutvekslingen mellom hav og atmosfære. Den klare trenden tilsvarer en oppvarming på +0,85 °C; størst på høye nordlige breddegrader, og sterkere over kontinentene enn havområdene. FNs klimapanel anslår, på bakgrunn av modellberegninger, antropogene klimagassutslipp som «svært sannsynlig» hovedårsak til den observerte oppvarmingen fra 1950 frem til i dag. (IPCC 2013). Klimasystemets følsomhet, sammen med vår utslippsreduksjon, er avgjørende for omfanget av den fremtidige globale oppvarmingen (Hanssen-Bauer *et al.* 2015). I sin siste hovedrapport (IPCC 2013) oppsummerer FNs klimapanel beregninger av framtidig klimautvikling på global skala, under ulike antagelser om klimagassutslipp; utviklingsbanene (RCP) for framtidige konsentrasjoner av klimagasser. For utslippsscenarioene RCP 4.5 og RCP 8.5 (henholdsvis *lavt* og *høyt* scenario i modelleringen) er medianverdien for endring i årstemperatur i Norge fra 1971-2000 til 2071-2100 beregnet til henholdsvis +2,7 °C og +4,5 °C (figur 4.3 og tabell 18). Hva gjelder årstidsverdiene (tabell 18), beregnes det generelt større oppvarming om vinteren

(DJF) enn om sommeren (JJA), da mest utpreget for RCP 8.5. Vekstsesongens lengde- og endring relativt til perioden 1971-2000 er beregnet for perioden 2071-2100 på grunnlag av medianverdiene fra framskrivningene for RCP 4.5 og RCP 8.5 (figur 4.4).

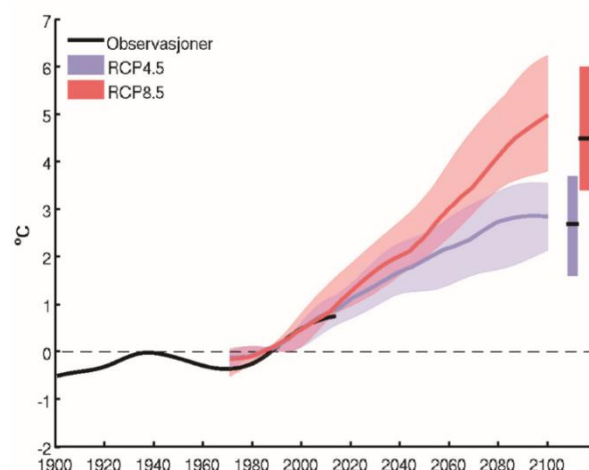
Medianverdiene for RCP 4.5 øker vekstsesongen med mellom 1-2

måneder for Norge generelt; enkelte kyststrøk beregnes en vekstsesongsøkning over to måneder.

For RCP 8.5 ligger økningen i vekstsesong grovt sett en måned høyere enn for RCP 4.5 (Hanssen-Bauer *et al.* 2015).

De naturlige klimavariasjonene i Norge er betydelige, men i motsetning til naturlige variasjoner virker den antropogene økningen i drivhusgasser alltid oppvarmende (Hanssen-Bauer *et al.* 2009). Dersom en prosess igangsatt av positivt strålingspådriv fører til temperaturøkning, kalles dette positiv tilbakekobling.

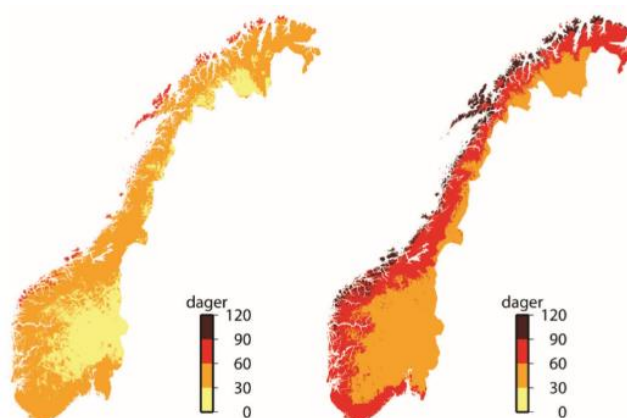
Vandamp, jordoverflatens albedo og skyer er positive tilbakekoblinger (Myhre 2008). Ved fortsatt raskt økende klimagassutslipp, rapporterer *Klima i Norge 2100* (Hanssen-Bauer *et al.* 2015) følgende medianverdier for Norges klimaendringer fram mot slutten av dette århundret:



Figur 4.3: Grafen viser årstemperaturen for Norge gitt som avvik (°C) fra referanseperioden 1971-2000. Observasjonene (1900-2014) illustreres med sort kurvelinje; rød og blå kurvelinje viser medianverdiene for ensemblen av ti RCM (dynamisk nedskalingsmodell)-simuleringer for utslippsscenarioene RCP 4.5 og RCP 8.5. Spredningen mellom lav og høy klimasimulering (10 og 90-persentil) indikeres med skraveringene. Verdiene for 2071-2100 (begge scenariene) vises i boksplottet til høyre i figuren (Hanssen-Bauer *et al.* 2015).

Tabell 18: Beregnet temperaturforandring (°C) for år og årstid fra 1971-2000 til 2071-2100 for de to utslippsscenarioene RCP 4.5 og RCP 8.5 ifølge median (med), lav og høy framskrivning fra dynamisk nedskalering (Hanssen-Bauer *et al.* 2015).

Region	Sesong	RCP4.5			RCP8.5		
		Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
Norge	År	2,7	1,6	3,7	4,5	3,4	6,0
	Vinter DJF	2,9	1,3	5,0	5,1	3,2	7,1
	Vår MAM	2,8	1,2	4,4	4,6	3,1	6,3
	Sommer JJA	2,5	1,2	3,8	3,9	2,7	5,8
	Høst SON	2,8	1,7	4,1	4,7	3,0	6,1



Figur 4.4: Vekstsesongøkning i antall dager fra perioden 1971-2000 til 2071-2100, ifølge medianframskrivningen for RCP 4.5 (venstre) og RCP 8.5 (høyre) (Hanssen-Bauer *et al.* 2015).

- Årstemperatur, økning på ca. 4,5 °C (spenn 3,3-6,4 °C)
- Årsnedbør, økning på ca. 18 % (spenn 7-23 %)
- Styrregnepisodene kraftigere og hyppigere
- Regnflommene større og oftere
- Snøsmelteflommene færre og mindre
- Snøen nesten borte mange år i lavtliggende områder; større snømengder i enkelte høyfjellsområder
- Færre og mindre isbreer
- Havnivåøkning mellom 15-55 cm, avhengig av lokalitet

Med reduserte klimagassutslipp vil klimaendringene bli betydelig mindre (Hanssen-Bauer *et al.* 2015).

Usikkerhet, definert som ufullstendig kunnskap som resultat av mangel på sikker informasjon eller uenighet om hva som er kjent, fordrer tre hovedkategorier i vurderingen av klimaframskrivningene: 1) usikkerhet knyttet til framtidige antropogene utslipp; hovedsakelig knyttet til usikkerhet i framtidig økonomisk aktivitet, folketalløkning, valg av energikilder, energieffektivitet og andre sosioøkonomiske faktorer som til en viss grad er politisk styrt, 2) usikkerhet knyttet til naturlige variasjoner; som følge av klimasystemets ikke-lineære og kaotiske karakter, samt ukjente framtidige forandringer i naturlige pådrag (solinnstråling og vulkanutbrudd) og 3) modellusikkerhet; knyttet til manglende forståelse av klimasystemet (Hanssen-Bauer *et al.* 2015). Spredningen i temperaturscenariene (kapittel 2.2.2.2, tabell 5) anvendt i undersøkelsens modellering illustrere denne usikkerheten; spredningen henspiller usikkerheten rundt framtidige klimagassutslipp (utslippsscenarioer), samt modellusikkerhet og naturlig klimavariabilitet. Alle scenariene i undersøkelsen (TAM 1920-2013 og framtidsscenarioene 2071-2100) illustrere imidlertid trenden mot økt temperatur for januar-juni (se grafisk fremstilling av middeltemperatur januar-juni for TAM 1920-2013 og høyt framtidsscenario 2071-2100 i vedlegg V), og gjennomsnittet av middeltemperaturen for temperaturseriene (tabell 15, kapittel 3.1) viser at temperaturøkningen fra serien TAM 1920-2013 til *lavt framtidsscenario 2071-2100* (som kan anses som «litt optimistisk» RCP 4.5) ligger rundt +2 °C. Mellom serien TAM 1920-2013 og *høyt framtidsscenario 2071-2100* (som kan anses som «litt pessimistisk» RCP 8.5) er temperaturøkningen fra +4 til +6 °C. Dette speiler endringene i

årstemperatur i Norge fra 1971-2000 til 2071-2100 beregnet til henholdsvis +2,7 °C og +4,5 °C ved utslippsscenariene RCP 4.5 og RCP 8.5 (figur 4.3, tabell 18).

4.3 Fenologi som respons på klimaendringene

Den høye årlige variasjonen knyttet til sirkulasjonsmønstre, solsyklus og svingninger som ENSO og NAO, kompliserer oppgaven med å påvise en fenologisk trend, og tilskrive denne klimaendringene (Badeck *et al.* 2004). Lengre vekstsesong og tidligere blomstring er likevel en forventet effekt av klimaendringene; en økt mengde fenologi- og klimatologistudier rapporterer forskyvning i tidspunktet og lengden på vekstsesongen. Bevisene peker mot 10-20 dagers forlengelse av vekstsesongen i de siste få tiårene og en tidligere start er mest fremtredende. Forlengelsen av vekstsesongen assosieres med nylig global oppvarming. Forandring i tidspunkt og lengde på vekstsesongen har kanskje ikke bare radikale konsekvenser for økosystemene. Vedvarende økning i vekstsesongens lengde kan føre til en langsiktig økning i karbonlagring og forandring i vegetasjonsdekket, og dette kan igjen påvirke klimasystemet (Linderholm 2006). Undersøkelser viser at vekstsesongen har høy årlig variabilitet, og at de mest markante endringene har inntruffet de siste 30 årene av det 20. århundre. Flertallet av fenologiske studier antyder at den signifikant tidligere våren, som konsekvens av varmere vintre og vår, samt tidligere sistefrost, er hovedansvarlig for de rapporterte endringene i vekstsesongen (Linderholm 2006). Fenologiske observasjoner og klimatologiske data antyder en kobling mellom de nylig observerte endringene i de naturlige systemene og det 20. århundrets klimaendringer. Samtidig har flere funnet sterke forbindelser mellom storskala værphenomen (som NAO) og variasjon i vekstsesong, og dette antyder at klimaendringene ikke trenger å være eneste forklaring. Andre faktorer som arealbruksendring kan ha vært viktig. Observerte endringer i vekstsesongen er ikke geografisk uniform (Linderholm 2006).

Det foreligger bevis fra en rekke arter og over et bredt spekter av geografiske lokasjoner at vårhendelsene har inntruffet tidligere de siste tiårene. Det er også åpenbart at endringene har vært mest dyptgripende i de hendelsene som inntreffer tidligere på året. Dette understreker at temperaturendringene så langt er mer uttalt i vinter- og tidlig vårperiode (Sparks & Menzel 2002). Den fenologiske starten på våren korrelerer veldig godt med lufttemperaturen foregående måneder. I tillegg har det vist seg at for Sentral-

og Nord-Europa forklarer NAO-indeksen opp mot 50% av variabiliteten i vårfenofasene (Menzel 2002).

Flere bevislinjer indikerer forlengelse av vekstsesongen på NH, særlig på høyere breddegrader hvor temperaturøkningen har vært høyest. De fenologiske hagene i Europa (International Phenological Garden), IPG, et nettverk av hager spredt over Europa, basert på klonet plantemateriale, har registrert 10,8 dager forlenget vekstsesong fra 1959-1993. Analyser av klimatologiske variabler (som dato for siste vårfrost og første høstfrost) speiler disse funnene, med estimert forlengelse av vekstsesongen på 1,1-4,9 dager/dekade siden 1951 (Parmesan 2006).

Det raske fenologiske skiftet observert som respons på klimaendringene har potensiale til å endre forholdet planter har med dyr-, sopp- og bakteriearter. Disse endringene vil ha størst innvirkning dersom artene påvirkes av ulike abiotiske faktorer, eller om deres relative respons til samme faktor (som høyere temperatur) er forskjellig. Ulik fenologisk respons til klimaendringer blant planter med forskjellig vekstform, kan også påvirke plante-plante interaksjoner, som kampen om ressurser. I kraft av sin påvirkning på enkelte plantearter, i tillegg til bred innflytelse på økosystemenes interaksjon, vil klimaendringene sannsynligvis resultere i betydelig endring i kolonistruktur og økosystemfunksjon (Rozema, Aerts & Cornelissen 2006).

Fenologi har det siste tiåret høstet ny legitimitet i klimaforskningen; økt mengde litteratur avdekker endring i timingen av fenofasene i et utbredt område og for flere arter. Endringene på våren er de som vanligvis rapporteres, med vekt på våravansen knyttet til økt temperatur. Endringsgjenkjenning på høsten hemmes av lite tilgjengelig data, samt faser det er vanskeligere å definere. Det ser allikevel ut til at vinteren presses i begge ender, og at effekten av økt vekstsesong blir mer markert i lys av forventet global oppvarming (Sparks & Menzel 2002). Hovedbudskapet fra FN's klimapanel vedrørende terrestriske økosystemers sårbarhet for klimaendring, er at klimapåvirkningene på organisme- og økosystemfunksjon er tydeligst når temperatur er hoveddriver; endringene skjer relativt raskt, og konfunderende faktorer spiller liten rolle. Det samme gjelder for de fleste organismers fenologi, og det råder dermed stor tillit til at fenologiske endringer kan tilskrives oppvarmingen (IPCC 2014a). Ytterligere informasjon er tilkommet etter forrige IPCC rapport; en betydelig økning i observasjoner viser at hundrevis av arter har endret funksjon til en viss grad gjennom de siste tiår til århundre, på alle kontinent. Nye satellittbaserte analyser bekrefter en

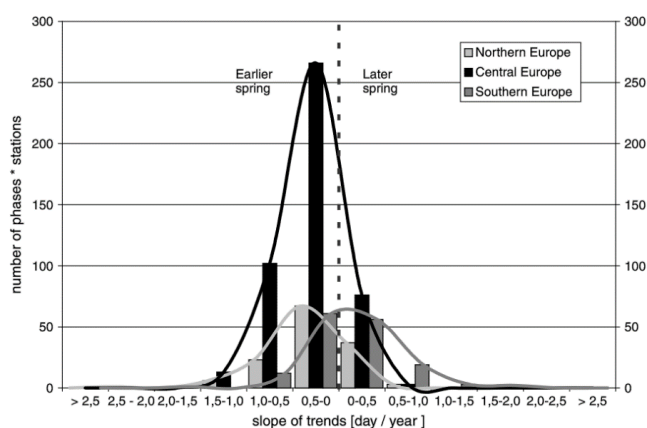
tidligere trend, blant annet ved starten på vekstsesongen på NH som har avansert med 5,4 dager fra 1982 til 2008, og avslutningen som er utsatt med 6,6 dager. Tilskrivningen av skiftet i de fenologiske trendene til klimaendringene støttes av mer raffinerte analyser, som også vurderer regionale endringer for flere variabler, som temperatur, vekstsesonglengde, nedbør, snødekkelengde, og andre (IPCC 2014a).

4.3.1 Lengre vekstsesong & Tidligere blomstring

Som konsekvens av høyere temperaturer endres vår- og høstfenologien med korresponderende endring i lengden på vekstsesongen (Ibáñez *et al.* 2010). Bildet av de rapporterte observerte endringene er nokså uniform; flere studier enes om at vekst på midlere- og høyere breddegrader av NH starter tidligere om våren, og at vekstsesongen har blitt lengre (Koch *et al.* 2007).

Forlengelse av vekstsesongen ble avdekket ved analyse av data fra de Internasjonale Fenologiske Hagene, og et oppsummert sammendrag av resultatene for vårfenofasene

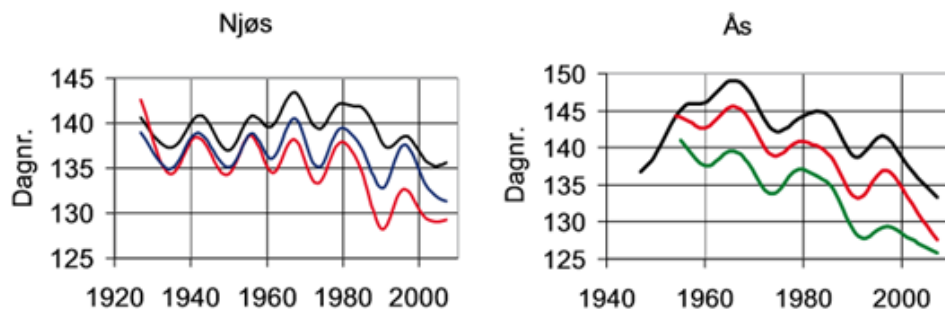
understreker en trend mot tidligere vår (figur 4.5), da særlig i Sentral- og Nord-Europa (Sparks & Menzel 2002). Abu-Asab m.fl. (Abu-Asab *et al.* 2001) rapporterte at 89 av 100 arter undersøkt i området Washington DC, viste tidligere utvikling over en 30-års periode; det generelle mønsteret var avanse i direkte korrelasjon med temperaturøkning (Sparks & Menzel 2002).



Figur 4.5: Kurven viser trenden mot tidligere vår i de Internasjonale Fenologiske Hagene (1959-1996; kun datasett med over 20 års observasjon er inkludert), særlig for Sentral- og Nord-Europa (Sparks & Menzel 2002).

Tidspunktet for fenofasenes tilkomst ble analysert for 26 tresorter og varianter i Sør-Norge; alle viste en trend mot tidligere fenofaser i perioden 1971-2005. For åtte av disse var endringen statistisk signifikans på et 0,05 nivå i henhold til Mann-Kendalls ikke-parametriske test. I gjennomsnitt intr traff fenofasene 7,3 dager tidligere i løpet av denne perioden, eller 2,1 dag/dekade. Analysen baseres på observasjoner fra den Internasjonale Fenologiske Hagen (IPG) ved Fana (Bergen) og Kvithamar (Trøndelag), i tillegg til frukthager ved NMBU (Ås, Akershus) og forskningsstasjonen Njøs (Sogn)

(Nordli 2008a). I frukthagene går registreringen langt tilbake (figur 4.6); eple-, pære- og plommeblomstring er registrert tilbake til 1927 på Njøs. NMBU har siden 1947 registrert blomstringen til eplesorten Gravenstein. Mønsteret ser ut til å være størst endring i blomstringstidpunkt for tidligblomstrende frukttreslag, som kan henge sammen med større temperaturøkning i april enn i mai. Ved NMBU blomstrer Gravenstein syv dager tidligere enn ved starten av registreringene.



Figur 4.6: Figuren viser variasjon i blomstringstid for frukttrær på Njøs og Ås; eple-svart, pære-blå, plomme-rød, søtkirsebær-grønn. Dag i året regnes fra 1. januar; 135 tilsvarer 15. mai (Nordli 2008b).

Gjennom det 20. århundre har temperaturen vist markerte svingninger som plantene har respondert på, og for mange av plantene er variasjonen statistisk signifikant. Signalene peker mot tidligere vår (Nordli 2008b). I frukthager kan endring i blomstringsfenologien få viktige konsekvenser for produksjon på grunn av fenologiens indirekte innflytelsen på vårfrostskader, pollinering og fruktsetteeffektivitet (Guédon & Legave 2008).

Undersøkelsens modellerte resultat fremstiller tydelig trend mot tidligere blomstring fra 1920-2013 (kapittel 3.2), og i framtidsscenariene (kapittel 3.3). I sammenligningen mellom de ulike modelleringene (tabell 19), illustrerer den ytterste konsekvensen 121 dager mellom senest (dag nr. 166 tilsvarer i normalår 15. juni, tilbaketrend) og tidligst blomstring (dag nr. 45 tilsvarer i normalår 14. februar, høyt scenario). Ut i fra midlere modellert blomstringsdag, leser man at forskjellen i blomstringstid fra tilbaketrend til lavt-, middels- og høyt scenario er henholdsvis 11-, 23- og 40 dager, som (i normalår) tilsvarer tidligere blomstring fra 27. mai (147) til henholdsvis 16. mai (136)-, 4. mai (124)- og 17. april (107). Merk at selv under det lave scenariet vil det som historisk har blitt betraktet som middels blomstringstid ifølge modellen være sen blomstring i fremtiden. I forlengelse av betraktningen *lavt scenario er en optimistisk RCP 4.5 og høyt scenario en pessimistisk RCP 8.5*, er det kanskje mest nærliggende å anse middels fremtidsscenario som fremtidig sannhet? I den tanken vil det fremtidige midlere

blomstringstidspunktet altså inntreffe 23 dager tidligere, sammenlignet med modellert tilbaketrend 1920-2013. I forhold til observert blomstring på Hegnun (1984-2013), hvis tidligste-, midlere- og seneste blomstring (tabell 4, kapittel 2.2.1) var henholdsvis 6. mai (126)-, 21. mai (142)- og 3. juni (155), vil det midlere blomstringstidspunktet for rød Gravenstein i et middels framtidsscenario inntreffe 18 dager tidligere enn i dag.

Tabell 19: Skjematisk fremstilling av tidligste-, midlere- og seneste modellerte dag i året for blomstring for tilbaketrend (1920-2013) og framtidsscenariene lavt-, middels- og høyt (2071-2100). For alle kategoriene i modellert dag i året for blomstring, er høyeste verdi å finne i tilbaketrend: tidligste 124, midlere 147 og seneste 166. Motparten er det høye framtidsscenariet, med tidligste 45, midlere 107 og seneste 130. Dag nr. 1 er 1. januar; i et normalår (ikke skuddår) tilsvarer dag nr. 166 15. juni, og dag nr. 45 14. februar.

Modellert juliansk blomstringsdag TAM terskel > 5 °C	Tilbake- trend	Lavt scenario	Middels scenario	Høyt scenario
Tidligst	124	116	71	45
Midlere	147	136	124	107
Senest	166	147	138	130

For modellert blomstring ble Mann-Kendalls ikke-parametriske test anvendt for å etablere statistisk signifikans for tilfeldig trend. Testen var statistisk signifikant på 1%-nivå, og sjansen for at trenden i blomstringstid er oppstått tilfeldig er mindre enn 1%, og man kan med 99% sikkerhet konkludere med at klimaendringene har vært en viktig årsak.

I Tyskland finnes flere langtidsobservasjoner av trærs fenofaser; én av disse tar for seg morelltreets (*Prunus avium*) blomstring. I tillegg til en trend, fremgår også et veldig sterkt forhold til tidlig vårtemperatur; en tydelig demonstrasjon på at det meste av variabiliteten i blomstringsdato (rundt 40 dager mellom tidligste og seneste observerte dag) kan tilskrives temperatur (Sparks & Menzel 2002). Den mest sannsynlige årsaken til avanse eller forsinkelse i blomstringen, er klimaendringenes innvirkning på plantens dvale. Variert grad av kjøle- og varmeakkumulering forårsaket av klimaendringer kan påvirke oppnåelsen av kjøle- og varmekravet, og føre til avanse eller forsinkelse i vårens fenofaser (Guo *et al.* 2014). Med globale temperaturer forventet å stige med opptil 6 °C mot slutten av det 21. århundre sammenlignet med preindustrielt nivå (IPCC 2007), er det lite sannsynlig at den agroklimate metrisk forblir stabil; trenden flere trær viser mot tidligere blomstring indikerer at dvalebrytende prosesser endres, mest sannsynlig som en respons på klimaendring (Luedeling 2012).

4.3.2 Temperatur; dvale og risiko for frostskaide

I tempererte strøk begrenses vekstsesongen av temperaturens sesongendringer; perioden mellom siste dødelige vårfrost og første dødelige høstfrost. Etter denne opphører aktiv vekst, og de flerårige plantene går inn i dvale for de kalde vintermånedene (Rabenhorst 2005).

Miljøsignalene for fenologiske begivenheter er komplekse og med flere lag; enkelte projeksjoner av aktuelle fenologiske trender vil være misvisende, da miljøsignalenes relative betydning kan endres. Effektene er komplekse og noen ganger kontraintuitive, som økt frostsensitivitet ved blomstring (IPCC 2014a). For vegetasjon som er styrt av fotoperiode og kjølekrav er paradokset i et varmere fremtidsklima at klimaforholdene blir varmere med en hastighet som overstiger evolusjonære justeringer. Milde vintre kan forsinke vårutviklingen på grunn av utilstrekkelig kjøleperiode og påfølgende økt varmesumkrav før knoppsprett, eller føre til tidligere knoppsprett hos fotoperiode insensitive arter med lavt kjølekrav, og dermed øke risikoen for frostskaide (Morison & Morecroft 2006). I et varmere klima vil kjølekravet hindres i å oppfylles. Flere planter, og de fleste løvtrær, trenger en kjøleperiode på vinteren for å kunne åpne blomsterknoppene på våren (Hänninen 2006). I følge en hypotese fremlagt på midten av 80-tallet, vil et varmere klima paradoksalte nok øke risikoen for frostskaide på trær i den boreale og tempererte sone. Under en varm periode på vinteren eller tidlig vår kan avherding og vekststart forekomme, og resultere i skade under påfølgende frostperiode (Hänninen 2006); slike varme perioder vil redusere trærnes hardførhet og toleranse for påfølgende frost. På den måten kan klimaendringene føre til en økning i omfanget av vinter- og vårfrostskader (Solberg 2007). Når trærne er i dvalen varierer frostherdigheten fortløpende med minimumstemperaturen de foregående dagene. En viss treghet i systemet gjør at vedvarende sterk kulde øker frostherdigheten, og vedvarende mildvær reduserer frostherdigheten (Solberg 2007).

Denne undersøkelsen viser økt temperatur og tidligere blomstring, men i forhold til risiko for frostskaide foreligger her ingen indikasjon på det. I lys av ovennevnte argument, avfeies allikevel ikke teorien om økt risiko for frostskaide i mangelen av slik indikasjon, men betraktes nærmere i påfølgende tekst. Det er ikke tilstrekkelig å ta utgangspunkt i temperaturen ± 3 dager rundt blomstring (kapittel 2.3.5), da komplekse faktorer er utslagsgivende i denne sammenheng. Tempererte vintre blir progressivt mildere, men temperaturmønsteret blir stadig mer uregelmessig med økt frekvens av

varmeepisoder (Gu *et al.* 2008). I evalueringen av risiko for frostskafer vil det dermed være utilstrekkelig å kun ta utgangspunkt i kritisk temperatur (T_C ; °C, tabell 14, kapittel 2.3.5) \pm 3 dager rundt blomstring; kriteriene for T_C tilsier at ved 30 minutters eksponering for indikert temperatur (tabell 2 og figur 1.11, kapittel 1.1.3) forventes en viss prosentandel død av vevet i den aktuelle fenofasen. Ved økt temperaturfluktusjon vil det kunne forventes økt risiko for hyppigere å bli utsatt for kritiske temperaturer over en 30 minutters periode. Videre var den tidligste modellerte blomstringen i undersøkelsens høye fremtidsscenario den 14. februar. Riktignok er temperaturen generelt høyere i scenariet, og ingen risiko for frost indikert. Men her er kanskje verd å vurdere et større bilde, med de naturlige klimavariasjonene hvor blant annet jordens helning og solverv har stor betydning her nord; som nevnt tar modellen kun utgangspunkt i temperatur som variabel. Dersom den naturlige verden med dens variasjoner tas i betraktning, ville kanskje ikke så tidlig blomstring være realistisk?

Norge strekker seg over mer enn 13 breddegrader (fra rundt 58° til 71°), og er klimatisk og økologisk svært heterogent. Ved disse nordlige breddegrader er temperatur den miljøfaktoren som har størst betydning for plantefenologien (Wielgolaski *et al.* 2011). Temperatur er hoveddrivkraften for mange biologiske utviklingsprosesser, og høy korrelasjon mellom starten av en fenofase og forutgående varmesum (hovedsakelig temperatur fra forløpende måneder), er å forvente. Også andre faktorer modifierer plantefenologien, og den nest viktigste triggeren av vårfenofaser er lengden på fotoperioden. Det finnes noen få bevis på nedbør-, næring- og jordsammensetningens effekt på vårfenologien, men effekten er liten i forhold til temperatur (Badeck *et al.* 2004). Hastigheten planten og dens organer gjennomgår utviklingsfasene er avhengig av temperatur; temperatureffekten virker sammen med andre miljøfaktorer og interne utviklingsdrivere. Vernalisering og kjølekrav er uttrykk som beskriver temperatur som signal; de fleste planter fra høyere breddegrad krever en viss mengde kulde før de gjenopptar vekst på våren (Morison & Morecroft 2006).

Dvalen (kapittel 1.1.3) er utvilsomt en prosess utviklet som middel for økologisk overlevelse, i hovedsak for å takle kalde vintre; organismer med nær respons på miljøstimuli er bedre tilpasset vinteroverlevelse. Kortere dager og kaldere vær er de to miljøelementene som signaliserer at vinteren nærmer seg; de fungerer også som trigger for å styrke dvaleutviklingen. Korte dager signaliserer utviklingsmessige endringer, men det kritiske elementet i utviklingen av dvale er lav temperatur, som i paradvafasen forsterker dvalen, og i endodvafasen avslutter dvalen (Faust *et al.* 1997).

Plantens kjøle- og varmekrav anses som den drivende kraften med størst betydning for å bryte stadiene i dvalen (Guo *et al.* 2014). Vinterdvale som viktig tilpasningsmekanisme for planteoverlevelse i tempererte og kalde strøk fordrer den essensielle etableringen av dvaletilstand før den kalde sesongen. Dette forutsetter tidsriktig gjenkjenning og fysiologisk bearbeiding av et regelmessig og pålitelig sesongbasert signal (Heide & Prestrud 2005). Den interne klokken kombineres med informasjon fra eksterne signal, i forberedelsen på forutsigbar, årlig miljøendring (Helm *et al.* 2013). Fordi temperatur ofte kan være en upålitelig sesongmarkør, har de fleste flerårige planter som lever utenfor tropiske strøk utviklet en annen linje for beskyttelse mot villedende temperaturforhold, nemlig fotoperiode (Morison & Morecroft 2006). Betydningen av fotoperiode øker med breddegradene, ikke bare fordi den årlige variasjonen i fotoperiode blir mer markant, men også på grunn av den biologiske funksjonen. Fotoperiodens viktigste funksjon er å forhindre fenologien fra å følge temperatur som risikabelt miljøsignal for utvikling; som forsikring for planten mot temperaturindusert dvalebrudd for tidlig i sesongen, og induksjon av dvalen for sent i sesongen. Fotoperiode begrenser temperaturens innflytelse på planteutviklingen til sikre perioder (Morison & Morecroft 2006). Dette kompliserer fenologisk forutsigelse i et varmere klima, da samspillet mellom fotoperiode og temperatur ikke er fast, men delvis erstattelig. Særlig varme dager kan overskrive fotoperiodekontroll, og særlig lange dager kan overskrive kjølekrav. Et vanlig mønster er at fotoperiode og/eller kjølekrav induserer og avslutter et utviklingssteg, og påfølgende temperatur bestemmer prosessens hastighet. De fleste trær i naturen har et trippelsystem med kjølekrav og fotoperiode som forhindrer temperaturen i å bli effektiv for tidlig i sesongen, som begge samhandler med varmesummen som kreves før knoppsprett (Morison & Morecroft 2006). Jo mer fotokontrollert en art er, desto mindre er sjansen for at knoppene spretter for tidlig med tanke på frostskaferisiko (Morison & Morecroft 2006).

Som kontrast til de fleste treslag i den tempererte sonen, er epletreet insensitivt til fotoperiode, og intet alternativt sesongbasert miljøsignal er kjent å styre dvalen deres; den ser ut til å være fullstendig endogent kontrollert (Heide & Prestrud 2005). Epletreets vekstophør og dvaleinduksjon påvirkes ikke av fotoperiode; det er demonstrert (Heide & Prestrud 2005) at lav temperatur (<12 °C) konsekvent fremkaller begge prosessene, uavhengig av fotoperiodeforhold. Suksessive høstfenofaser (vekstophør, vinterknoppdannelse, løvfall og dvaleinduksjon) inntreffer som respons på temperatur. Eplesorter har et kjølekrav på 1200 til 1500 timer (50-60 dager) med 5-7

°C, for å komme ut av dvalen og gjenoppta vekst. Paradoksalt nok krever epletreet det samme lave temperaturregimet både for å indusere og avslutte dvalen (Heide & Prestrud 2005). At temperaturer under 12 °C kontrollerer både induksjon og opphør av dvalen tilsier at planter på ulikt utviklingsnivå kan respondere motsatt på samme behandling. Planten kan starte akkumuleringen av kjøleenheter så snart veksten opphører, og før dvalen er fullstendig etablert (Heide & Prestrud 2005). Jonkers (Jonkers 1979) fant at knoppsprett og vekst startet tidligere og mer energisk desto lavere temperaturen foregående sommer hadde vært, noe som demonstrerer kompleksiteten i temperaturreguleringen av dvalen (Heide & Prestrud 2005).

For genotyper tilpasset det tempererte klima, spirer epletrees knopper omgående og unisont om våren. Men dersom vinteren verken er kald nok eller lang nok til å bryte dvalen, kan dvalen vedvare; *forsinket foliering* eller *utvidet hvile* er observasjoner av frukttrær som under milde vinterforhold ikke er tillatt fullstendig dvale. Effektene er synlig i alle vekstfaser; intensiteten på symptomene er relatert til mengden kjøling som mangler (Hauagge & Cummins 1991). For at epletrees knopper om våren skal kunne spire omgående og unisont, krever trærne eksponering av lav temperatur (kjølekrav), etterfulgt av en varmere periode som oppfyller varmekravet (varmesum). Epletrees kjølekrav er dårlig tilpasset et mildere klima, og forandringer i epleblomstringen er allerede observert i hele Europa; mye tyder på at temperaturendringene har ført til tidligere gjennomsnittlig blomstringsdato (7-9 dager for eplesorten Golden Delicious) (Celton *et al.* 2011).

Det er anerkjent at knoppene bryter dvalen basert på egne, iboende prosesser. Kjølekravet gjenoppretter knoppens vekstevne, men fremmer ikke selve veksten. Kapasiteten til å gjenoppta vekst under gunstige forhold (etter at kjølekravet er fullendt) skyldes hovedsakelig cellenes delings- og forlengelsesevne. Krav til både kjøle- og varmeperiode påvirker blomstringstidspunktet, selv om deres relative påvirkning er avhengig av genetisk bakgrunn (Celton *et al.* 2011). Milde vintre karakteriseres ikke bare av kortere periode med lav temperatur, men også av store temperaturfluktuasjoner under dvalesesongen. Dette antyder at fundamentale interaksjoner mellom individ og miljøfaktorer, foruten akkumulerte kjøleenheter, er ansvarlige for å bryte dvalen (Hauagge & Cummins 1991).

For de fleste frukttrær sammenfaller blomstringen med en dramatisk økning i frostsensitivitet (Rea & Eccel 2006). Planter som er tilpasset et kaldere klima er mer

utsatt for at en sen vårfrostepisode kan inntreffe, noe som kan resulterer i at alle blomstene går tapt dette året. Denne skaden vil likevel ikke være dødelig. Mer enn de kaldeste periodene, er det overgangsperiodene som er farlige; i disse periodene kan plantene allerede være avherdet eller ennå ikke helt herdet når en frostepisode inntreffer (Morison & Morecroft 2006). Sesongvariasjon i kuldehardførhet er et vanlig vinterskadeproblem som oppstår i løpet av sen vinter og tidlig vår. Den årlige syklusen av kuldeherding -og avherding er nært synkronisert med den årlige temperatursyklusen. I undersøkelser utført av Salazar m.fl. (Salazar-Gutiérrez, Chaves & Hoogenboom 2016) fulgte sesongakklimatiseringsmønsteret temperaturtrenden. Sesongbaserte herding- og avherdingsmønster viste betydelige kortsiktige svingninger i hardførhet, noe som indikerer at temperatur har en sterk innflytelse på kuldeherdings- og avherdingsprosessen. De kortsiktige forandringene i kuldehardførhet var nært relatert til lufttemperaturen den foregående dagen, særlig når middeltemperaturen var høyere enn normaltemperaturen (Salazar-Gutiérrez, Chaves & Hoogenboom 2016). Ballard m.fl. (Ballard *et al.* 1981) rapporterte at herding er en lang og stegvis genetisk bestemt prosess, mens avherdingen i løpet av våren er større og irreversibel. Avherding kan fullføres i løpet av 2-4 dager avhengig av sort, og når den først starter er knoppene mer utsatt for skade. Frostskade er svært avhengig av utviklingsstadiet; kuldehardførhet er en funksjon av miljøforhold og plantens utviklingsnivå (Ballard *et al.* 1981). Planter mister raskt hardførheten når de eksponeres for varme forhold; frekvensen for dette tapet avhenger av plantens arvemateriale og varmeperiodens lengde og intensitet. For å overleve en frostperiode etterfulgt av varmeeksponering, må planter være i stand til å herdes raskt eller å ikke mykne i noen grad i løpet av varmeperioden. Howell og Weiser rapporterte i 1970 (Howell & Weiser 1970) at eplekvisten var, i løpet av de innledende fasene av oppmykning, i stand til å hardne tilbake til sitt opprinnelige nivå, men ved progressiv oppmykning var kvistene ikke i stand til å opprettholde sitt opprinnelige hardførhetsnivå (Gusta & Fowler 1976).

I forhold til frostskader, er blomsterknoppene den mest sårbare delen av et epletre i dvale. Særlig i løpet av høsten og våren, når prosesser assosiert med overgangsperiodene herding- og avherding inntreffer, er vevet mer aktivt og dermed mindre kuldebestandig (Salazar-Gutiérrez, Chaves & Hoogenboom 2016). Graden av frostskader relateres direkte til frostintensitet -og varighet, samt knoppens utviklingsstadium i det frosten inntreffer. Dersom temperaturen synker gradvis, er trærne bedre rustet til å motstå skade; et raskt temperaturfall er mest ødeleggende

(Salazar-Gutiérrez, Chaves & Hoogenboom 2016). Epleknoppen- og blomstens frostresistens er variabel; kuldehardførhet forandres hurtig som respons på både temperatur og utviklingsstadium. Epletreet starter kuldeakklimatisering i løpet av høsten, og av-akklimatisering mellom sen vinter og tidlig vår. I av-akklimatiseringen blir knoppene mer sensitive og mister evnen til å motstå lave temperaturer. Temperaturer under null (°C) kan forårsake betydelig skade på disse knoppene, selv før blomstring og så tidlig som sen høst (Salazar-Gutiérrez, Chaves & Hoogenboom 2016). Epleknopper skades sjelden i dvalen; skade inntreffer særlig når knoppene går mot full blomst. Blomsterknopper som har av-herdet er i stand til å re-herde som respons på hurtigfallende, lav temperatur. Men lav temperatur i og etter knoppspring vil kunne ødelegge knopp, blomst, frukt og skudd; følsomheten for frost øker utover i utviklingen. Det er generelt akseptert at temperatur under frysepunktet kan retardere knopp utvikling hos epletreet; knopper som er i det tidlige blomstringsstadiet ser ut til å være mer sensitive enn knopper i full blomst (Salazar-Gutiérrez, Chaves & Hoogenboom 2016). Vårblomstringen er del av syklusen for reprodutiv utvikling som starter med floral initiering foregående sommer. Det er rikelig bevist at blomsterknoppdannelsen påvirkes av miljøforhold, som også kan forårsake tap. År til år variasjonen i hardførhet er tradisjonelt relatert til de tidsmessige variasjonene i værforhold. Trær innen samme frukthage eller ulike deler av et tre påvirkes forskjellig som følge av mikroklimaforskjeller og typen frostepisode; noen sorter er mer utsatt enn andre (Salazar-Gutiérrez, Chaves & Hoogenboom 2016). Mikroklima er atmosfærens fysiske tilstand nært et veldig lite område på jordas overflate, som sterkt påvirkes av lokale omgivelser (Burroughs 2003). Lokale forhold vil i stor grad avgjøre klima på et sted, som helningsgrad og hvilken himmelretning terrenget vender mot, plassering relativt til fjellområder og rådende vindretning. Terrenget vil lokalt påvirke solinnstråling, lys, temperatur og fuktighet, og dermed varierer ofte lokalklimaet fra det regionale klima (Moen 1999). På Hegnun dominerer tykk havavsetning jordsmonnet, og høydekurver og helningsgrad (figur 2.4, kapittel 2.1) antyder en sør (sør-vest)-vendt helning på opptil 25° i terrenget til selve epleåkeren, med en kolle på 200 høydemeter nord-øst for åkeren. Lifjell ligger mot nord, med topper opp mot 1300 m, og Nordsjø har sin beliggenhet sør-øst for dette området. Lufttemperatur påvirkes av mikroklima, topografi og jordkarakteristikk; organtemperatur drives dermed av det omkringliggende mikroklima, samtidig som den moduleres av organenes fysiologiske tilstand. Faktorer som har innflytelse på organers temperatur, og påfølgende farer, er kronens- og

organenes egenskap, jordegenskaper, værforhold (vindstyrke, lufttemperatur, stråling) og tilstedeværelsen av dekke (Charrier *et al.* 2015).

Frost inntreffer når overflatetemperaturen (på bakken, planten, etc.) faller under 0 °C (Oke 1987). Under naturlige omstendigheter, observeres to typer frosthendelser; radiativ frost (strålingsfrost; negativt strålingsbudsjett) og advektiv frost (kalde luftmasser som kommer med vinden) (Charrier *et al.* 2015). Ved strålingsfrost og advektiv frost kan vernetiltak være nyttige, da særlig for førstnevnte som avhenger mest av lokale forhold og prosesser mer mottagelige for kontroll. Før vernetiltak vurderes og iverksettes, er det vesentlig å overveie frostfaren ved områdeutvelgelse; her er det tilrådelig å unngå områder hvor kald luft kan stagnere og akkumulere (Oke 1987). Strålingsfrost forårsaker oftere ødeleggelse enn advektiv frost; strålingsfrost forekommer vanligvis etter solnedgang, ved skyfri himmel og lite vind. Fenomenet forekommer oftere i trange dalfører enn i konkave eller flate områder, og sjeldnere i førhøyet og konvekse områder utsatt for vind; vind begrenser forskjellen mellom planteorgan og lufttemperatur ved å redusere grenselagstykkelsen (luftlaget tilknyttet overflaten) (Charrier *et al.* 2015).

Flukt og motstand er i korte trekk de strategiene planten har for å håndtere lave temperaturekstremer. Planten oppnår motstand mot frost gjennom unngåelse eller toleranse; den vanligste metoden for håndtering av kuldegrader er toleranse.

Frostresistans gjennom toleranse krever biokjemiske membranjustering når det blir kaldt; en nøkkelpåvirkning i termisk akklimatisering (Morison & Morecroft 2006). I klimaendringssammenheng er det viktig å skille mellom kuldeakklimatisering, en reversibel prosess induert av miljøforhold, og den evolusjonære (genetiske) tilpasningen til livet i et kaldt miljø. Sistnevnte setter den ultimate grense, mens den førstnevnte avhenger av utviklingsnivå, temperaturhistorie (og fotoperiode); man kan ikke definere en absolutt termisk grense for planter (Morison & Morecroft 2006).

Frostresistans påvirkes av miljøfaktorer og forvaltningspraksis; forståelse av de fysiologiske prosessene som driver frostresistans vil gi mer robuste forutsigelser for frostrisiko i et fremtidsklima, enn bare å forstå den empiriske relasjonen mellom miljøfaktorer og frostrisiko (Charrier *et al.* 2015). Frostbestandighet er en kontekstavhengig variabel (Morison & Morecroft 2006).

Av ulike typer vær, forårsaker frostepisoder størst økonomisk tap innen jordbruk; én eneste frostepisode kan volde tap av store summer i fruktproduksjon. Frostrisiko (sannsynligheten for frostskade) øker når sannsynligheten for frost sammenfaller med

frost sensitivitet. Overgangsperiodene om høsten og våren er mest risikable; da er plantene mest sårbare og sannsynligheten for frost er moderat (Charrier *et al.* 2015). Epleavlingen er sårbar for vårfrost; i blomstringsfasen vil én enkelt hendelse med temperatur rett under 0 °C være nok til å skade eller drepe blomsterknoppene. Lett frost vil resultere i degradert frukt kvalitet, mens en mer omfattende frost vil true en hel avling (Eccel *et al.* 2009). I klimaendringssammenheng har flere studier fokusert på å forutsi frostrisiko. Analysene gir motstridende resultat; frostrisiko forventes å øke (Hänninen 1991; Augspurger 2013) eller reduseres (Eccel *et al.* 2009). Økning i middeltemperaturen og med en konstant varians, forventes å redusere frosteksposering, selv om sårbare plantefenologiske trekk forkommer tidligere på våren. Likevel fremhever enkelte et komplekst mønster med antagonistiske effekter av økt temperatur og temperaturvariabilitet (Charrier *et al.* 2015). Riskanalysen til Eccel m.fl (Eccel *et al.* 2009) bekrefter lavere risiko for frosteksposering i nåtid enn i fortid, samt sannsynligheten for at risikoen i fremtiden enten er konstant eller noe mindre; særlig i lys av at de fysiologiske prosessene forventes å tilpasses høyere temperatur. Men også den utbredte overbevisningen om at vårfrost vil inntreffe med økt frekvens støttes av diverse observasjoner, da særlig av fremtidsprosjeksjonene som indikerer økning i både middeltemperatur og dens variabilitet; økt varians innebærer større spredning rundt en høyere middel. Det er derfor sannsynlig at kuldeperioder forblir som før, eller til og med øker sammenlignet med referanseperioden 1961-1990 (Eccel *et al.* 2009).

Planteøkologer har lenge vært bekymret for det tilsynelatende paradoksale scenariet i forholdet mellom plantevekst og klimaendringer; oppvarmingen kan faktisk øke risikoen for frostskaide. Den underliggende hypotesen er at mildere vintre og en varm, tidligere våren som forventes å forekomme når klimaet varmes, kan indusere prematur planteutvikling som resulterer i eksponering av sårbart plantevev -og organ under påfølgende sen sesongfrost (Gu *et al.* 2008).

I lys av at FNs klimapanel rapport fra 2007 (IPCC 2007) konkluderte med færre kalde dager og netter over størsteparten av klodens landmasse, er det vesentlig å skille mellom *frostfrekvens* og *risiko for frostskaide* i klimaendringssammenheng; redusert frostfrekvens betyr ikke nødvendigvis redusert risiko for frostskaide. Bønder kan reagere på redusert frostfrekvens ved å så tidligere eller ved å plante alternative arter; ved slike justeringer og tilpasninger kan risikoen for frostskaide forbli den samme, eller til og med øke (Gu *et al.* 2008). I tillegg til skillet mellom frostfrekvens og risiko for frostskaide, må også utallige samvirkende effekter av endrede miljøfaktorer som er avgjørende for

plantevekst vurderes. Disse inkluderer atmosfærisk CO₂ konsentrasjon, temperatur, vanntilgjengelighet, snødekke, ozonkonsentrasjon og ultrafiolette stråler. Uten også å ta med disse faktorene i vurderingen, kan ikke den tilsynelatende paradoksale risikoen for frostskaide i et varmer klima verdsettes fullt ut (Gu *et al.* 2008). En åpenbar bekymring er hvilken effekt høyere CO₂ konsentrasjon i atmosfæren vil ha på plantetoleranse -og resistens til lavere temperatur tidlig og sent i vekstsesongen; det råder enighet om at vekst under økt CO₂ kan redusere planters resistens og toleranse for temperatur under frysepunktet (Gu *et al.* 2008). Med oppvarming som generell klimatrend, må man kunne forvente hyppigere fryse- og tinefluktuasjoner gjennom fremtidsvinteren, en situasjon som skaper flere problem for plantevekst; slike fluktuasjoner kan utsette planteherdingen og forhaste avherdingen. Planter som oppnår økt kuldetoleranse først etter vedvarende eksponering for lav temperatur, vil ikke ha nok tid til akklimatisering ved raske temperaturendringer (Gu *et al.* 2008). Risikoen for prematur avherding kan øke som resultat av globale klimaendringer. Selv om tempererte vintre blir progressivt mildere, blir temperaturmønsteret stadig mer uregelmessig med økt frekvens av varmeepisoder, under hvilke planter har en tendens til å miste kuldeherdigheten og dermed øke risikoen for påfølgende frostskaider (Gu *et al.* 2008). Også forandringene i fenologiske mønstre (som tidligere start på vekstsesongen og tidligere blomstring) samsvar med et varmere klima, kan øke risikoen for frostskaider som følge av økende temperaturvariasjon. Effekten av et ustabil temperaturregime på frostskaidenes frekvens og alvorsgrad avhenger av plantens evne til å reherdne som respons på lav temperatur etter en avherdingsepisode. Reherding kan være en viktig vinteroverlevelsestrategi for planter som avherder raskt ved eksponering for økt temperatur (Pagter & Williams 2011). Redusert snøfall, mindre snømasser og tidligere smelting som respons på et varmere klima, kan frarøve planten termisk beskyttelse når den trenger det mest. Også tørke spås en større rolle i fremtidsklima; et uheldig scenario kombinerer vårfrostskaider med langvarig tørke. Et slikt scenario kan føre til gjensidig forsterkende skade på vegetasjon, da tørke begrenser plantens gjenvekst og gjenoppretting etter frost, samtidig som frostskaidene svekker plantes tørketoleranse. Frost kan i tillegg samhandle med ozon i påvirkningen av plantens tilstand og vekst (Gu *et al.* 2008).

Vårfrostepisoden i USA i 2007, hvor arktiske luftmasser ble bragt innover store områder som følge av jetstrømmens vinterkonfigurasjon, og som forårsaket utbredt ødeleggelse av avling og naturlig vegetasjon, representerer et realistisk klimaendringsscenario som lenge har bekymret planteøkologer; milde vintre og tidlig

vår setter i gang planteveksten tidligere, som videre fører til prematur eksponering av utviklende planteorgan (skudd, blomster, etc.) for dødelig frost. Hendelsen var spesielt interessant fordi en så stor region ble berørt, og frostepisoden inntraff i plantenes avgjørende overgangsperiode fra dvale til vekst. Dette belyser viktigheten av å vurdere store temperaturfluktuasjoner i de avgjørende overgangsperiodene gjennom våren, som en reel trussel mot terrestriske økosystems struktur og funksjon; et varmere klima kan faktisk øke risikoen for frostskaide på planter i den tempererte sonen (Gu *et al.* 2008).

4.4 Fenologi som verktøy i klimaendringene

Endring i plantefenologi, definert som *studiet av timingen av periodiske biologiske faser, timingens årsak med hensyn til biotiske og abiotiske faktorer, og interrelasjonene mellom fasene for samme eller ulike arter*, betraktes som den mest sensitive og observerbare indikatoren for plantens respons på klimaendring (Linderholm 2006). Fenologiske observasjoner innehar et stort potensiale i vurderingen av økologiske reaksjoner på klimaendring. Også i spørsmålene som reises i global modellering, overvåkning og konsekvensanalyser av klimaendring, har fenologi vist seg lovende (Linderholm 2006).

Viktheten av fenologi for å demonstrere klimaendringenes innvirkning på den naturlige verden, understrekes i diverse publikasjoner, og er også vurdert i bevisinnsamlingen til FNs klimapanel. For å redusere observasjonssubjektivitet, er fenologiske manualer utarbeidet (deriblant BBCH-skalaen, kapittel 1.1.1) for å beskrive prosedyren.

Anvendelsen av fenologi som biologisk indikator for klimaendringer forutsetter presise kvantitative analyser av endringer i fenologiske tidsserier samt en kjent relasjon med temperatur (Morison & Morecroft 2006). Fenologi blir et stadig mer aktivt fagområde som følge av den åpenbare betydningen av å forstå de sesongbaserte fenofasene i sammenheng med den globale oppvarmingen (Visser *et al.* 2010).

Sesongvariasjon skaper planters og dyrs livssyklus, og tilpasningen til variasjon har stor betydning for deres overlevelse og reproduksjonssuksess. Det samme er tilfelle for mennesket; forskjellen er at vi er utviklet og tilpasset slik at vi overlever miljøendringer ved å modifisere omgivelsene. I vår modifisering av verden har vi mistet kontakt med naturen og dens timing, og føler oss immune mot slike endringer. Forståelse av fenologi og de interne timingsmekanismene vi og andre organismer har til å tilpasse oss miljøendring, vil hjelpe oss å redusere og håndtere noen av effektene av

sesongendringer, inkludert effekten av global oppvarming. Det vil gi bevisbasert tilnærming i utviklingen av ny praksis innen landbruk og hagebruk, verktøy for å beskytte menneskets helse og strategier i bevaringen av andre arter (Helm *et al.* 2013).

Gjennom de siste 150 årene er det påvist at arter med et svakere forhold mellom blomstring og temperatur minket mer i populasjonsstørrelse enn arter som viser et sterkere forhold mellom fenologi og temperatur; resultatet antyder at fenologisk temperaturfølsomhet er korrelert med artens evne til å håndtere global oppvarming. Fenologiske data kan dermed bli verdifulle for bevaringspraksis da det muliggjør forutsigelse i hvilke arter som vil være mest sårbare for klimaendringene (Bolmgren, Vanhoenacker & Miller-Rushing 2013). Betydningen av fenologi ligger i kapasiteten som verktøy i overvåkingen av klimaendringenes effekt på flora og fauna (Koch *et al.* 2007).

5 Konklusjon

Klima endres raskt, med økologiske konsekvenser. En av de best registrerte klimainduserte skiftene er endring i fenologi (Visser 2008). I vurderingen av kommende klimaendringers påvirkningsgrad på nyttevekster er her anvendt historiske vegetasjons- og klimadata i etableringen av fenologisk sammenheng; undersøkelsens modellerte resultat viser en temperaturøkning på rundt +2 °C i et lavt fremtidsscenario, og mellom +4 og +6 °C i et høyt fremtidsscenario. I samsvar med temperaturøkningen, er trenden for modellert blomstring negativ. Med utgangspunkt i midlere modellert blomstringstidspunkt 1920-2013, inntreffer midlere blomstringstidspunkt henholdsvis 11-, 23- og 40 dager tidligere i de ulike framtidsscenariene. Med utgangspunkt i observert blomstring på Hegnun vil midlere blomstringstidspunkt for rød Gravenstein i et middels fremtidsscenario falle 18 dager tidligere enn i dag.

Arter varierer i hastigheten de justerer fenologien til endrede betingelser. Særlig organismer på ulikt trofisk nivå modifierer fenologien i forskjellig hastighet (Helm *et al.* 2013). Et økende misforhold kan observeres mellom produksjon og konsumpsjon av ulike trofiske nivå, både i de terrestriske og akvatiske økosystemene (Wielgolaski & Inouye 2013). Det essensielle spørsmålet i debatten om økologiske effekter av klimaendringene er om disse observerte skiftene er tilstrekkelig store, altså om artene vil kunne tilpasse seg raskt nok til deres foranderlige verden (Visser 2008).

Fenologi er veldig målbart, samt følsom for temperatur. Men mer enn tidspunktet for fenofasene, er vi opptatt av hvilke konsekvenser tidligere fenologi vil ha på produksjon (jordbruk, hagebruk, vindyrking og skogbruk), menneskers helse (gjennom tidligere pollenfrigivelse og insektsangrep), og på artsdistribusjon; deres samfunnskomposisjon og deres livssyklus i et varmere klima. Fenologiske endringer påvirker ikke bare flora og fauna, men kan også ha store økonomiske og sosiale konsekvenser (Sparks & Menzel 2002); matproduksjon representerer en betimelig problemstilling. En avgjørende faktor hva gjelder tilpasninger til fremtidsklima, er valget av sorter tilpasset mulige fenologiske forstyrrelser i fremtiden (Guédon & Legave 2008).

Litteratur/Referanser

- (1985) *Dyrkningsråd i produksjon av eple og pære: spesielt tilpasset fruktdistriktene i Telemark*. Midt-Telemark Forsøksring, [Gvarv].
- (2011) *Jordeple og søteple: potet og eple : oppskrifter og tradisjonsstoff*. Telemark bygdekvinnelag, [Sauherad].
- Aarnes, H. (2002 (Oppdatert 2006 S.E. & O.)) *Plantefysiologi - Plantens stoffomsetning, vekst og utvikling*. pp. 269. UiO: Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet.
- Abu-Asab, M.S., Peterson, P.M., Shetler, S.G. & Orli, S.S. (2001) Earlier plant flowering in spring as a response to global warming in the Washington, DC, area. *Biodiversity and Conservation*, **10**, 597-612.
- Alexandersson, H. & Moberg, A. (1997) HOMOGENIZATION OF SWEDISH TEMPERATURE DATA. PART I: HOMOGENEITY TEST FOR LINEAR TRENDS. *International Journal of Climatology*, **17**, 25-34.
- Augspurger, C.K. (2013) Reconstructing patterns of temperature, phenology, and frost damage over 124 years: spring damage risk is increasing. *Ecology*, **94**, 41-50.
- Badeck, F.-W., Bondeau, A., Böttcher, K., Doktor, D., Lucht, W., Schaber, J. & Sitch, S. (2004) Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, **162**, 295-309.
- Baggiolini, M. (1952) Les stades repères dans le développement de la vigne et leur utilisation pratique, Station Féd. *Essais Agric., Lausanne*.
- Ballard, J.K., Chapman, P.J., Tukey, R.B., Strausz, C., Proebsting, E.L. & Mills, H. (1981) Apples: critical temperatures for blossom buds.
- Bolmgren, K., Vanhoenacker, D. & Miller-Rushing, A.J. (2013) One man, 73 years, and 25 species. Evaluating phenological responses using a lifelong study of first flowering dates. *International Journal of Biometeorology*, **57**, 367-375.
- Broothaerts, W., Keulemans, J. & Nerum, I. (2003) Self-fertile apple resulting from S-RNase gene silencing. *Plant cell reports*, **22**, 497-501.
- Broothaerts, W., Van Nerum, I. & Keulemans, J. (2004) Update on and review of the incompatibility (S-) genotypes of apple cultivars. *HortScience*, **39**, 943-947.
- Brown, K., Burgess, J., Festing, M. & Royer, S. (2010) *Value Adding Webs and Clusters: Concepts and Cases*. Rainer Hampp Verlag.
- Burroughs, W.J. (2003) *Climate: into the 21st century*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Campbell, N.A. (2008) *Biology*. Pearson/Benjamin Cummings, San Francisco, Calif.
- Celton, J.M., Martinez, S., Jammes, M.J., Bechti, A., Salvi, S., Legave, J.M. & Costes, E. (2011) Deciphering the genetic determinism of bud phenology in apple progenies: a new insight into chilling and heat requirement effects on flowering dates and positional candidate genes. *New Phytologist*, **192**, 378-392.

- Charrier, G., Ngao, J., Saudreau, M. & Améglio, T. (2015) Effects of environmental factors and management practices on microclimate, winter physiology, and frost resistance in trees. *Frontiers in Plant Science*, **6**.
- Cicero (2013) Hva er de nye utviklingsbanene. (ed. Miljødirektoratet). Miljødirektoratet.
- Cleland, E.E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H.A. & Schwartz, M.D. (2007) Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology & Evolution*, **22**, 357-365.
- Cornelius, C., Petermeier, H., Estrella, N. & Menzel, A. (2011) A comparison of methods to estimate seasonal phenological development from BBCH scale recording. *International Journal of Biometeorology*, **55**, 867-877.
- Durner, E.F. (2013) *Principles of horticultural physiology*. CABI.
- Eccel, E., Rea, R., Caffarra, A. & Crisci, A. (2009) Risk of spring frost to apple production under future climate scenarios: the role of phenological acclimation. *International Journal of Biometeorology*, **53**, 273-286.
- FAO, C.D.R. (2005) *Frost protection: fundamentals, practice and economics - Volume 1*.
- Faust, M., Erez, A., Rowland, L.J., Wang, S.Y. & Norman, H.A. (1997) Bud Dormancy in Perennial Fruit Trees: Physiological Basis for Dormancy Induction, Maintenance, and Release. *HortScience*, **32**, 623-629.
- Fenner, M. (1998) The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **1**, 78-91.
- Gleick, P.H. (1986) Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climatic changes. *Journal of hydrology*, **88**, 97-116.
- Grønsnes, A., Eitrheim, S.G., Kråkevik, A.A. & Bleie, A. (2002) *Den store epleboka*. Samlaget, [Oslo].
- Gu, L., Hanson, P.J., Post, W.M., Kaiser, D.P., Yang, B., Nemani, R., Pallardy, S.G. & Meyers, T. (2008) The 2007 eastern US spring freeze: increased cold damage in a warming world? *AIBS Bulletin*, **58**, 253-262.
- Guédon, Y. & Legave, J.M. (2008) Analyzing the time-course variation of apple and pear tree dates of flowering stages in the global warming context. *Ecological Modelling*, **219**, 189-199.
- Guo, L., Dai, J., Ranjitkar, S., Yu, H., Xu, J. & Luedeling, E. (2014) Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees. *International Journal of Biometeorology*, **58**, 1195-1206.
- Gusta, L.V. & Fowler, D.B. (1976) EFFECTS OF TEMPERATURE ON DEHARDENING AND REHARDENING OF WINTER CEREALS. *Canadian Journal of Plant Science*, **56**, 673-678.
- Haggerty, B.P. & Mazer, S.J. (2008) The Phenology Handbook. *UCSB Phenology Stewardship Program*, 1-21.
- Hammer, J.M. (2017) Norsk eplefest 2017. *Telen*, pp. 12, 17.
- Hanssen-Bauer, I. (2012) Klima i det 21. århundre i sydøstlige Norge med fokus på kystområdene. *HiT skrift*. Høgskolen i Telemark.

- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E.J., Roald, L.A., Børsheim, K.Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S. & Sorteberg, A. (2009) Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing.
- Hanssen-Bauer, I., E.J.Førland, I.Haddeland, H.Hisdal, S.Mayer, A.Nesje, J.E.Ø.Nilsen, S.Sandven, A.B.Sandø, A.Sorteberg & B.Ådlandsvik (2015) Klima i Norge 2100 - Kunnskapsgrunnlag for klimatilpassing, oppdatert i 2015. pp. 203. Norwegian Centre for Climate Services.
- Hanssen-Bauer, I., P. Ø. Nordli (1998) Annual and seasonal temperature variations in Norway 1876-1997. DNMI, Oslo.
- Hauagge, R. & Cummins, J.N. (1991) Phenotypic variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **116**, 100-106.
- Heide, O.M. & Prestrud, A.K. (2005) Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. *Tree Physiology*, **25**, 109-114.
- Helm, B., Ben-Shlomo, R., Sheriff, M.J., Hut, R.A., Foster, R., Barnes, B.M. & Dominoni, D. (2013) Annual rhythms that underlie phenology: biological time-keeping meets environmental change. *Proc. R. Soc. B*, pp. 20130016. The Royal Society.
- Howell, G. & Weiser, C. (1970) Fluctuations in the cold resistance of apple twigs during spring dehardening. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, **95**, 190-192.
- Hänninen, H. (1991) Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant, Cell & Environment*, **14**, 449-454.
- Hänninen, H. (2006) Climate warming and the risk of frost damage to boreal forest trees: identification of critical ecophysiological traits. *Tree Physiology*, **26**, 889-898.
- Ibáñez, I., Primack, R.B., Miller-Rushing, A.J., Ellwood, E., Higuchi, H., Lee, S.D., Kobori, H. & Silander, J.A. (2010) Forecasting phenology under global warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, **365**, 3247-3260.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. pp. 996. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. pp. 1535. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014a) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. pp. 1132. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- IPCC (2014b) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. pp. 688. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jonkers, H. (1979) Bud dormancy of apple and pear in relation to the temperature during the growth period. *Scientia Horticulturae*, **10**, 149-154.
- Koch, E., Bruns, E., Chmielewski, F.M., Defila, C., Lipa, W. & Menzel, A. (2007) Guidelines for plant phenological observations. *World Climate Data and Monitoring Programme*.
- Lang, G., Early, J., Martin, G. & Darnell, R. (1987) Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience*, **22**, 371-377.
- Linderholm, H.W. (2006) Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*, **137**, 1-14.
- Luedeling, E. (2012) Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*, **144**, 218-229.
- Meier, U. (2001) Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH monograph. *German federal biological research centre for agriculture and forestry, Berlin*.
- Menzel, A. (2002) Phenology: Its Importance to the Global Change Community. *Climatic Change*, **54**, 379-385.
- Menzel, A. (2003) Plant Phenological "Fingerprints". *Phenology: An Integrative Environmental Science* (ed. M. Schwartz), pp. 319-329. Springer Netherlands.
- Moen, A. (1999) *National Atlas of Norway: Vegetation*. Norwegian Mapping Authority Hønefoss.
- Morison, J.I.L. & Morecroft, M.D. (2006) *Plant growth and climate change*. Blackwell, Oxford.
- Myhre, A. (2008) *Klima, energi og miljø*. Universitetsforl., Oslo.
- Nordli, Ø., F.E. Wielgolaski, A.K. Bakken, S.H. Hjeltnes, F. Måge, A. Sivle, O. Skre (2008a) Phenology of some Woody Plants in Norway as Indicator of Climate Change. *International Journal of Biometeorology*.
- Nordli, Ø., F.E. Wielgolaski, F. Måge, A.K. Bakken, S.H. Hjeltnes, O. Skre (2008b) Knoppar bryt og tre blømer tidlegare enn før. *Klima*. Cicero - Center for International Climate and Environmental Research - Oslo.

- Nordli, Ø., Przybylak, R., Ogilvie, A.E. & Isaksen, K. (2014) Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard Airport temperature series, 1898–2012. *Polar Research*, **33**, 213-49.
- Nybom, H., Sehic, J., Zborowska, A. & Garkava-Gustavsson, L. (2012) Problem med fruktsättningen på dina äppleträd?
- Oke, T.R. (1987) *Boundary layer climates*. Methuen, London.
- Pagter, M. & Williams, M. (2011) Frost Dehardening and Rehardening of Hydrangea macrophylla Stems and Buds. *HortScience*, **46**, 1121-1126.
- Parmesan, C. (2006) Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, **37**, 637-669.
- Rabenhorst, M. (2005) Biologic zero: A soil temperature concept. *Wetlands*, **25**, 616-621.
- Ramírez, F. & Davenport, T.L. (2013) Apple pollination: A review. *Scientia Horticulturae*, **162**, 188-203.
- Rea, R. & Eccel, E. (2006) Phenological models for blooming of apple in a mountainous region. *International Journal of Biometeorology*, **51**, 1-16.
- Rozema, J., Aerts, R. & Cornelissen, H. (2006) *Plants and climate change*. Springer, Dordrecht.
- Salazar-Gutiérrez, M.R., Chaves, B. & Hoogenboom, G. (2016) Freezing tolerance of apple flower buds. *Scientia Horticulturae*, **198**, 344-351.
- Sneyers, R. (1995) Climate instability determination. Discussion of methods and examples. *Proc. from: 6th International Meeting on Statistical Climatology*, pp. 19-23.
- Solberg, S. (2007) Effekter av klimaendringer på skogens helsetilstand. Abiotiske skader. *Viten fra Skog og landskap*, 13-19.
- Sparks, T.H. & Menzel, A. (2002) Observed changes in seasons: an overview. *International Journal of Climatology*, **22**, 1715-1725.
- Visser, M.E. (2008) Keeping up with a warming world; assessing the rate of adaptation to climate change. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, **275**, 649-659.
- Visser, M.E., Caro, S.P., van Oers, K., Schaper, S.V. & Helm, B. (2010) Phenology, seasonal timing and circannual rhythms: towards a unified framework. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **365**, 3113-3127.
- Wielgolaski, F., Nordli, Ø., Karlsen, S. & O'Neill, B. (2011) Plant phenological variation related to temperature in Norway during the period 1928–1977. *International Journal of Biometeorology*, **55**, 819-830.
- Wielgolaski, F.E. (1999) Starting dates and basic temperatures in phenological observations of plants. *International Journal of Biometeorology*, **42**, 158-168.
- Wielgolaski, F.E. & Inouye, D.W. (2013) Phenology at High Latitudes. *Phenology: An Integrative Environmental Science* (ed. M.D. Schwartz), pp. 225-247. Springer Netherlands, Dordrecht.

Oversikt over figurer og tabeller

Figur 1.1: Registreringen av starten for kirsebærblomstringen (dag i året) i Koyoto, Japan, dateres tilbake til 705 e.Kr., og er med det den eldste dataserien man kjenner til (Koch et al. 2007).

Figur 1.2: Johannes Pederson Aga plantet de første Gravensteintrærne i norsk jord på Aga gård i Hardanger 1792. I anledning 200 års jubileet, avdukes i 1992 obeliskens med plakett av Dronning Sonja, ved Agatunet Økomuseum (Brown et al. 2010).

Figur 1.3: Illustrasjon av blomstens anatomi, med navngitte anatomiske deler. Fruktemnet består av arr, griffel og fruktknute. Pollenknappen inneholder pollenkorner (<https://ndla.no/nb/node/110364?fag=8&meny=49485>).

Figur 1.4: Dersom et pollenkorner og et fruktemnes arr har samsvarende alleler på S-locuset, vil selvsteriliseringsgenene forhindre initiering og utvikling av pollenslangen (<http://slideplayer.com/slide/1726563/#>).

Figur 1.5: BBCH-skalaen er et system for ensartet koding av fenologisk like plantevekststadier. Plantenes primære vekststadier nummereres (0-9) og beskrives i tabellen til venstre. I skjema til høyre uttrykkes disse sammen med de sekundære vekststadiene som er nummerert (0-9) innen hvert primærstadium (se nest ytterste ring) (Meier 2001).

Figur 1.6: Dette utdraget fra BBCH-skalaen for kjernefrukttre viser hvordan artens utvikling i fenofasene indikeres med en tosifret kode, her kombinert av primærvekststadium 6 (blomstring) og sekundærvekststadium 1 (starten av blomstring, ca. 10 % av blomstene er åpne); 61 som vist til høyre i figuren (Meier 2001).

Figur 1.7: En skjematisk oversikt over planters knoppveksthemming i dvalen. Dvalen starter med paradvale, og blir dypere i d-endodvalen. Når endodvalen svekkes i s-endodvalen, responderer knoppene på dvalebrytende faktorer. Ecodvalens dybde og lengde er miljøavhengig (Faust et al. 1997; Hanssen-Bauer et al. 2015).

Figur 1.8: Figuren illustrerer forholdet mellom frigivelsen fra endodvalen og akkumulert kjøling; endodvalens intensitet synker ved økt akkumulert kjøling (Durner 2013).

Figur 1.9: Hardførhetsfluktuasjoner som respons på rådende lufttemperatur (Durner 2013).

Figur 1.10: I et vegetativt system vil energibalansen fungere som skissert i figuren. Q^* er netto strålingsbudsjett, Q_E latent varme (faseovergang), og Q_H følbar varme. ΔQ_S representerer netto energilagring. ΔQ_P er netto energilagring i fotosyntesen. ΔQ_A er netto energiadveksjon (netto tap og gevinst av følbar- og latent varme), horisontal energitransport (Oke 1987).

Figur 1.11: Bildene viser de fire knoppfenofasene (fra venstre) *sølvtopp*, *ballong*, *første blomst* og *full blomst*, med tilhørende kritiske temperatur (°C) for 10% død og 90% død; innebærer at det ved 30 minutters eksponering for indikert temperatur, forventes angitt % død for berørt plantedel i indikert fenofase (FAO 2005).

Figur 1.12: Utvikling av årsmiddeltemperatur for fastlands-Norge 1900-2008. Figuren viser avvik (°C) fra middelverdien for normalperioden 1961-90 (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Figur 1.13: Norge inndelt i seks temperaturregioner (Hanssen-Bauer 2012).

Figur 1.14: Kartet til venstre viser gjennomsnittlig antall døgn med middeltemperatur >5 °C i Sør-Norge i perioden 1961-1990. Til høyre ser man hvordan dette antallet vil øke fra perioden 1961-1990 til 2071-2100 (Hanssen-Bauer 2012).

Figur 2.1: Med rød X i gul ramme illustrerer kartutsnittet av Midt-Telemark Hegnuns (hvor datasett for epleblomstring er ervervet) beliggenhet i forhold til Norsjø, som er lokalisert nede til høyre i utsnittet (<http://geo.ngu.no/kart/arealis/?Box=149367:6574253:188002:6605876>).

Figur 2.2: Med isens tilbakegang etter siste istid, ble ulike overfladiske avsetninger liggende igjen. Norgeskartet (venstre) viser fordelingen av disse avsetningene (se fargekart til høyre i figuren), samt den høyest målte marine grense (røde linjer). Det fineste materialet ble avsatt på havbunnen som leire. Da isen smeltet og landet steg, ble noe av de marine avsetningene (merket blått) liggende på tørt land; i lavlandet opp til den marine grense. Av den midterste figuren (sør-øst landet) går det tydelig frem at de marine avsetningene dominerer i det aktuelle området nordvest for Norsjø (gul ramme) (Moen 1999).

Figur 2.3: Kartutsnitt av det aktuelle området nordvest for Norsjø, med Hegnuns beliggenhet markert med rød X. Kartet viser den marine grense, som ved Hegnun var på rundt 150 m.o.h. Tykk havavsetning dominerer området (<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>).

Figur 2.4: Kartutsnitt av området på Hegnun hvor epleblomstringsdatasettet opprinner. Grønne felt antyder helning på opptil 25° i terrenget som i hovedsak er sør (sør-vest)-vendt, plassert mellom høydekurvene 100-140. Sol og skygge ved 40° solhøyde er inkludert. Koordinatene for området er 59.4285°N 9.10831°Ø (Kartverket-www.kartverket.no).

Figur 2.5: Norgeskartet til venstre i figuren viser en oversikt over fruktdyrkingsdistrikt i Norge, markert med rødt. I utsnittet av sør-øst landet til høyre i figuren, er den gule rammen lagt rundt Norsjø. Rød farge illustrerer hvor det dyrkes frukt (Moen 1999).

Figur 2.6: Oversikt over driftsperioder for temperaturmålinger som er brukt til å beregne homogenisert temperaturserie tilpasset Gvarv-Nes.

Figur 2.7: For å teste modellen på uavhengige data undersøkes korrelasjonen mellom *teoretisk* dag i året for blomstring og *faktisk* dag i året for blomstring, 1984-1999 og 2000-2013, med anvendt teoretisk varmesum 1984-1999 (tabell 7); her eksemplifisert ved terskel >5 °C 1984-1999 og terskel >10 °C 2000-2013. Dersom teoretisk -og faktisk dag i året for blomstring korrelerer, anses modellen valid.

Figur 3.1: Grafen illustrerer middeltemperatur for januar-juni tilbake i tid (TAM 1920-2013), samt i framtidsscenariene høyt-, middels- og lavt (2071-2100). Til venstre er serien TAM 1920-2013 med generelt lavest temperatur, sett i forhold til de øvrige

temperaturscenariene; høyt fremtidsscenario generelt høyest. Gjennomsnittstemperatur fremstilles med linjer gjennom seriene.

Figur 3.2: Grafen illustrere modellert dag i året for blomstring tilbake i tid for TAM (1920-2013) og TAX (1955-2013). Tidligste dag i året for blomstring er 124 for TAM og 125 for TAX. Seneste dag i året for blomstring er 166 for TAM og 159 for TAX. Stiplet grønn linje viser midlere dag i året for blomstring 147 (TAM), og stiplet oransje linje viser midlere dag i året for blomstring 146 (TAX). Trendlinjene (heltrukken linje TAM og stiplet linje TAX) beskriver tendens mot tidligere blomstring.

Figur 3.3: Modellert dag i året for blomstring v/TAM terskel >5 °C for tilbaketrend 1920-2013 og framtidsscenariene lavt-, middels- og høyt 2071-2100. Seneste modellerte blomstringsdag er 166 i 1924 (tilbaketrend); tidligste modellerte blomstringsdag er 45 i 2098 (høyt fremtidsscenario). Midlere modellerte blomstringsdag er 147 i tilbaketrend, 136 i lavt fremtidsscenario, 124 i middels fremtidsscenario og 107 i høyt fremtidsscenario. De fire trendlinjene beskriver tendens mot tidligere blomstring, da tydeligst i det høye framtidsscenariet (rød, stiplet linje).

Figur 3.4: For å teste om det finnes en systematisk endring i blomstringstid (statistisk signifikans), anvendes Mann-Kendall ikke-parametriske test (Sneyers 1995). Testen regner ut sannsynligheten for at trenden man ser kan oppstå tilfeldig. Når T- verdien overskrider -1,96 og 1,96 er resultatet statistisk signifikant på 5%-nivå. Ved T-verdi over -2,58 og 2,58 er resultatet statistisk signifikant på 1%-nivå. %-nivået tilsier hvor stor sannsynligheten er for at trenden oppstår tilfeldig. TAM 1920-2013 (venstre i figuren) og TAX 1955-2013 (høyre i figuren) er begge signifikante på 1%-nivå; sannsynligheten for at trenden oppstår tilfeldig er mindre enn 1%.

Figur 4.1: RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 og RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathways, RCP*) representerer fire utviklingsbaner for fremtidige konsentrasjoner av klimagasser (Cicero 2013).

Figur 4.2: Global årsmiddeltemperatur i perioden 1850-2012, gitt som avvik fra perioden 1961-1990 fra tre ulike datasett (MLOST, HadCRUT4 og GISS) (IPCC 2013).

Figur 4.3: Grafen viser årstemperaturen for Norge gitt som avvik (°C) fra referanseperioden 1971-2000. Observasjonene (1900-2014) illustreres med sort kurvelinje; rød og blå kurvelinje viser medianverdiene for ensemblet av ti RCM (dynamisk nedskaleringsmodell)-simuleringer for utslippsscenariene RCP 4.5 og RCP 8.5. Spredningen mellom lav og høy klimasimulering (10 og 90-persentil) indikeres med skraveringene. Verdiene for 2071-2100 (begge scenariene) vises i boksplottet til høyre i figuren (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Figur 4.4: Vekstsesongøkning i antall dager fra perioden 1971-2000 til 2071-2100, ifølge medianframskrivningen for RCP 4.5 (venstre) og RCP 8.5 (høyre) (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Figur 4.5: Kurven viser trenden mot tidligere vår i de Internasjonale Fenologiske Hagene (1959-1996; kun datasett med over 20 års observasjon er inkludert), særlig for Sentral- og Nord-Europa (Sparks & Menzel 2002).

Figur 4.6: Figuren viser variasjon i blomstringstid for frukttrær på Njøs og Ås; eple-svart, pære-blå, plomme-rød, søtkirsebær-grønn. Dag i året regnes fra 1. januar; 135 tilsvarer 15. mai (Nordli 2008b).

Tabell 1: Tabellen lister kjernefruktrees primære vekstfaser til venstre i tabellen, og uthever sekundærvækstfasene for blomstring (primærvækstfase 6), som presenteres i høyre kolonne (Meier 2001).

Tabell 2: Tabellen gjengir epleknoppens fenologiske faser og tilhørende kritisk temperatur (T_C ; °C). 10% og 90% død innebærer at 30 minutter ved indikert temperatur forventes å forårsake 10% og 90% død for berørt plantedel i indikert fenologisk fase (FAO 2005).

Tabell 3: Trender (°C per tiår) i års- og årstidstemperatur for perioden 1900-2008. Uthevet er trender signifikante på 1 % nivå (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Tabell 4: Observert blomstringstidspunkt på Hegnun gjennom 30 år (1984-2013). I bunn av tabellen er tidligste-, midlere- og seneste blomstring gjengitt.

Tabell 5: Temperaturøkning (°C) basert på et ensemble av 72 modeller, beregnet for Østlandet fra 1961-1990 til 2071-2100. Lav projeksjon (L) er 10-persentilen, middels projeksjon (M) er middelverdien og høy projeksjon (H) er 90-persentilen i ensemblet fra Hanssen-Bauer m.fl. (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Tabell 6: Verdier (°C) som er lagt til døgnmiddeltemperaturen på Gvarv i scenarieperioden.

Tabell 7: Tabellen fremstiller de ulike gjennomsnittsvarmesummene beregnet ut i fra tersklene for TAM og TAX, i sin respektive seksjon. Gjennomsnittsvarmesummene representerer teoretisk varmesum.

Tabell 8: Teoretisk varmesum (1984-2013, 1984-1999 og 2000-2013) anvendes for å etablere teoretisk dag i året for blomstring for alle terskelverdiene. Tabellen gjengir teoretisk dag i året for blomstring for terskel >5 °C TAM og terskel >10 °C TAX.

Tabell 9: Teoretisk dag i året for blomstring etablert med teoretisk varmesum 1984-1999 (183,07 terskel >5 °C og 243,58 terskel >10 °C) testes mot den faktiske dage i året for blomstring på Hegnun. Datasettet deles inn i henholdsvis 1984-2013, 1984-1999 og 2000-2013, og korrelasjonen mellom teoretisk -og faktisk dag i året for blomstring testes for hver av disse. Dersom teoretisk -og faktisk dag i året for blomstring korrelerer, anses modellen valid.

Tabell 10: Tabellen viser korrelasjonskoeffisienten (R) beregnet med de ulike tersklene i hver bolck. R er gjennomgående størst ved terskel >5 °C TAM og terskel >10 °C TAX, og disse anvendes dermed i den endelige modellen.

Tabell 11: Tabellen viser korrelasjonskoeffisienten (R^2) beregnet med de ulike tersklene i hver bolck. R^2 er gjennomgående størst ved terskel >5 °C TAM og terskel >10 °C TAX, og disse anvendes dermed i den endelige modellen.

Tabell 12: For hele datasettet (1984-2013) viser R at terskel >5 °C for TAM og terskel >10 °C for TAX er beste terskelverdi. Disse anvendes i videre modellering.

Tabell 13: Gjennomsnittsvarmesummen beregnet fra hver bolke (se modellutvikling 4.3.1) utgjør den teoretiske varmesummen. Gjennomsnittsvarmesum 176,05 (TAM terskel >5 °C) og 236,93 (TAX terskel >10 °C) for 1984-2013 (størst datagrunnlag) anvendes som teoretisk varmesum for henholdsvis TAM og TAX i videre modellering.

Tabell 14: Epleblomstens fenologiske faser *første blomst* og *full blomst*, med tilhørende kritisk temperatur (T_C ; °C). 10% og 90% død innebærer at 30 minutter ved indikert temperatur forventes å forårsake 10% og 90% død for berørt plantedel i indikert fenologisk fase (FAO 2005).

Tabell 15: Tabellen viser minimums- og maksimumstemperatur for januar-juni i tre av de fire temperaturserier (TAM 1920-2013 og framtidsscenariene høyt- og lavt 2071-2100). Gjennomsnittstemperaturen er basert på middeltemperatur (figur 3.1). De laveste minimumstemperaturene ligger i temperaturserien TAM 1920-2013; de høyeste maksimumstemperaturene i høyt framtidsscenario 2071-2100. Gjennomsnittet av middeltemperaturen for de fire temperaturscenariene viser at det mellom TAM 1920-2100 og høyt framtidsscenario 2071-2100 er mellom fire og seks graders forskjell.

Tabell 16: Tabellen viser tidligste-, gjennomsnitt- og seneste modellerte dag i året for blomstring for TAM 1920-2013 terskel >5 °C og TAX 1955-2013 terskel >10 °C. TAM viser tidligste og seneste modellerte dag i året for blomstring; 124 og 166, samt én dag høyere gjennomsnitt enn TAX.

Tabell 17: Skjematisk fremstilling av tidligste-, midlere- og seneste modellerte dag i året for blomstring for tilbaketrend (1920-2013) og framtidsscenariene lavt-, middels- og høyt (2071-2100). For alle kategoriene i modellert dag i året for blomstring, er høyeste verdi å finne i tilbaketrend: tidligste 124, midlere 147 og seneste 166. Motparten er det høye framtidsscenariet, med tidligste 45, midlere 107 og seneste 130. Dag nr. 1 er 1. januar; i et normalår (ikke skuddår) tilsvarer dag nr. 166 15. juni, og dag nr. 45 14. februar.

Tabell 18: Beregnet temperaturforandring (°C) for år og årstid fra 1971-2000 til 2071-2100 for de to utslippsscenariene RCP 4.5 og RCP 8.5 ifølge median (med), lav og høy framskrivning fra dynamisk nedskalering (Hanssen-Bauer et al. 2015).

Tabell 19: Skjematisk fremstilling av tidligste-, midlere- og seneste modellerte dag i året for blomstring for tilbaketrend (1920-2013) og framtidsscenariene lavt-, middels- og høyt (2071-2100). For alle kategoriene i modellert dag i året for blomstring, er høyeste verdi å finne i tilbaketrend: tidligste 124, midlere 147 og seneste 166. Motparten er det høye framtidsscenariet, med tidligste 45, midlere 107 og seneste 130. Dag nr. 1 er 1. januar; i et normalår (ikke skuddår) tilsvarer dag nr. 166 15. juni, og dag nr. 45 14. februar.

Vedlegg I: Den generelle BBCH-skalaen

The extended BBCH-scale, general Hack et al., 1992

D = Dicotyledons
M = Monocotyledons
V = Development from vegetative parts or propagated organs.
G = Gramineae
P = Perennial plants

No code letter is used if the description applies to all groups of plants.

Code	Description
Principal growth stage 0: Germination, sprouting, bud development	
00	Dry seed (seed dressing takes place at stage 00)
P, V	Winter dormancy or resting period
01	Beginning of seed imbibition;
P, V	Beginning of bud swelling
03	Seed imbibition complete;
P, V	End of bud swelling
05	Radicle (root) emerged from seed;
P, V	Perennating organs forming roots
06	Elongation of radicle, formation of root hairs and/or lateral roots
07	G Coleoptile emerged from caryopsis;
D, M	Hypocotyl with cotyledons or shoot breaking through seed coat;
P, V	Beginning of sprouting or bud breaking
08	D Hypocotyl with cotyledons growing towards soil surface;
P, V	Shoot growing towards soil surface
09	G Emergence: Coleoptile breaks through soil surface;
D, M	Emergence: Cotyledons break through soil surface (except hypogeal germination);
D, V	Emergence: Shoot/leaf breaks through soil surface;
P	Bud shows green tips

Principal growth stage 1: Leaf development (main shoot)

10	G First true leaf emerged from coleoptile;
D, M	Cotyledons completely unfolded;
P	First leaves separated
11	P First true leaf, leaf pair or whorl unfolded;
P	First leaves unfolded
12	2 true leaves, leaf pairs or whorls unfolded
13	3 true leaves, leaf pairs or whorls unfolded
1 .	Stages continuous till . . .
19	9 or more true leaves, leaf pairs or whorls unfolded

Code	Description
------	-------------

Principal growth stage 2: Formation of side shoots/tillering

21	G First side shoot visible;
G	First tiller visible
22	G 2 side shoots visible;
G	2 tillers visible
23	G 3 side shoots visible;
G	3 tillers visible
2 .	Stages continuous till . . .
29	G 9 or more side shoots visible;
G	9 or more tillers visible

Principal growth stage 3: Stem elongation or rosette growth, shoot development (main shoot)

31	G Stem (rosette) 10% of final length (diameter);
G	1 node detectable
32	G Stem (rosette) 20% of final length (diameter);
G	2 nodes detectable
33	G Stem (rosette) 30% of final length (diameter);
G	3 nodes detectable
3 .	Stages continuous till . . .
39	G Maximum stem length or rosette diameter reached;
G	9 or more nodes detectable

Principal growth stage 4: Development of harvestable vegetative plant parts or vegetatively propagated organs/booting (main shoot)

40	G Harvestable vegetative plant parts or vegetatively propagated organs begin to develop
41	G Flag leaf sheath extending
43	G Harvestable vegetative plant parts or vegetatively propagated organs have reached 30% of final size;
G	Flag leaf sheath just visibly swollen (mid-boot)
45	G Harvestable vegetative plant parts or vegetatively propagated organs have reached 50% of final size;
G	Flag leaf sheath swollen (late-boot)
47	G Harvestable vegetative plant parts or vegetatively propagated organs have reached 70% of final size;
G	Flag leaf sheath opening
49	G Harvestable vegetative plant parts or vegetatively propagated organs have reached final size;
G	First awns visible

Code	Description
Principal growth stage 5: Inflorescence emergence (main shoot) / heading	
51	G Inflorescence or flower buds visible;
G	Beginning of heading
55	G First individual flowers visible (still closed);
G	Half of inflorescence emerged (middle of heading)
59	G First flower petals visible (in petalled forms);
G	Inflorescence fully emerged (end of heading)

Principal growth stage 6: Flowering (main shoot)

60	G First flowers open (sporadically)
61	G Beginning of flowering: 10% of flowers open
62	G 20% of flowers open
63	G 30% of flowers open
64	G 40% of flowers open
65	G Full flowering: 50% of flowers open, first petals may be fallen
67	G Flowering finishing: majority of petals fallen or dry
69	G End of flowering: fruit set visible

Principal growth stage 7: Development of fruit

71	G 10% of fruits have reached final size or fruit has reached 10% of final size ¹
G	Caryopsis watery ripe
72	G 20% of fruits have reached final size or fruit has reached 20% of final size ¹
73	G 30% of fruits have reached final size or fruit has reached 30% of final size ¹
G	Early milk
74	G 40% of fruits have reached final size or fruit has reached 40% of final size ¹
75	G 50% of fruits have reached final size or fruit has reached 50% of final size ¹
G	Milky ripe, medium milk
76	G 60% of fruits have reached final size or fruit has reached 60% of final size ¹
77	G 70% of fruits have reached final size or fruit has reached 70% of final size ¹
G	Late milk
78	G 80% of fruits have reached final size or fruit has reached 80% of final size ¹
79	G Nearly all fruits have reached final size ¹

¹ This stage is not used, if the main fruit growth happens in principal growth stage 8

Code	Description
------	-------------

Principal growth stage 8: Ripening or maturity of fruit and seed

81	G Beginning of ripening or fruit colouration
85	G Advanced ripening or fruit colouration;
G	Dough stage
87	G Fruit begins to soften (species with fleshy fruit)
89	G Fully ripe: fruit shows fully-ripe colour, beginning of fruit abscission

Principal growth stage 9: Senescence, beginning of dormancy

91	P Shoot development completed, foliage still green
93	P Beginning of leaf-fall
95	P 50% of leaves fallen
97	P End of leaf fall, plants or above ground parts dead or dormant;
P	Plant resting or dormant
99	P Harvested product (post-harvest or storage treatment is applied at stage 99)

Vedlegg II: BBCH-skalaen for kjernefrukttre

Pome fruit Meier et al., 1994

Phenological growth stages and identification keys of pome fruit

(apple = *Malus domestica* Borkh., pear = *Pyrus communis* L.)

Code	Description	Code	Description
Principal growth stage 0: Sprouting/Bud development		Principal growth stage 6: Flowering	
00	Dormancy: leaf buds and the thicker inflorescence buds closed and covered by dark brown scales	60	First flowers open
01	Beginning of leaf bud swelling: buds visibly swollen, bud scales elongated, with light coloured patches	61	Beginning of flowering: about 10% of flowers open
03	End of leaf bud swelling: bud scales light coloured with some parts densely covered by hairs	62	About 20% of flowers open
07	Beginning of bud break: first green leaf tips just visible	63	About 30% of flowers open
09	Green leaf tips about 5 mm above bud scales	64	About 40% of flowers open
Principal growth stage 1: Leaf development		65	Full flowering: at least 50% of flowers open, first petals falling
10	Mouse-ear stage: Green leaf tips 10 mm above the bud scales; first leaves separating	67	Flowers fading: majority of petals fallen
11	First leaves unfolded (others still unfolding)	69	End of flowering: all petals fallen
15	More leaves unfolded, not yet at full size	Principal growth stage 7: Development of fruit	
19	First leaves fully expanded	71	Fruit size up to 10 mm; fruit fall after flowering
Principal growth stage 3: Shoot development'		72	Fruit size up to 20 mm
31	Beginning of shoot growth: axes of developing shoots visible	73	Second fruit fall
32	Shoots about 20% of final length	74	Fruit diameter up to 40 mm; fruit erect (T-stage: underside of fruit and stalk forming a T)
33	Shoots about 30% of final length	75	Fruit about half final size
3 .	Stages continuous till . . .	76	Fruit about 60% final size
39	Shoots about 90% of final length	77	Fruit about 70% final size
Principal growth stage 5: Inflorescence emergence		78	Fruit about 80% final size
51	Inflorescence buds swelling: bud scales elongated, with light coloured patches	79	Fruit about 90% final size
52	End of bud swelling: light coloured bud scales visible with parts densely covered by hairs	Principal growth stage 8: Maturity of fruit and seed	
53	Bud burst: green leaf tips enclosing flowers visible	81	Beginning of ripening: first appearance of cultivar-specific colour
54	Mouse-ear stage: green leaf tips 10 mm above bud scales; first leaves separating	85	Advanced ripening: increase in intensity of cultivar-specific colour
55	Flower buds visible (still closed)	87	Fruit ripe for picking
56	Green bud stage: single flowers separating (still closed)	89	Fruit ripe for consumption: fruit have typical taste and firmness
57	Pink bud stage: flower petals elongating; sepals slightly open; petals just visible	Principal growth stage 9: Senescence, beginning of dormancy	
59	Most flowers with petals forming a hollow ball	91	Shoot growth completed; terminal bud developed; foliage still fully green
		92	Leaves begin to discolour
		93	Beginning of leaf fall
		95	50% of leaves discoloured
		97	All leaves fallen
		99	Harvested product

Vedlegg III: Datasett ~ Homogenisert temperaturserie

Den homogeniserte temperaturserien for Gvarv som er utviklet i forbindelse med denne undersøkelsen er tilpasset den nåværende stasjonen 32060 Gvarv-Nes. Den er basert på regresjon mellom måleserier fra de tre Gvarv-stasjonene 32060, 32080 og 32100, samt 28370 Kongsberg (figur 2.6, kapittel 2.2.2), i perioder med overlappende målinger.

Serien Gvarv-Nes har på denne måten blitt forlenget bakover i tid, og serien fra 32100 Gvarv, som startet i 1920 ble forlenget fremover i tid. Til slutt ble regresjonsligninger mellom stasjonene 32060 og 32100 beregnet, slik at serien fra Gvarv-Nes kunne forlenges helt tilbake til 1920. De endelige regresjonsligningene ble som følger:

$$\text{Middeltemperatur: } TAM_{32060} = TAM_{32100} * 0.95 + 0,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Minimumstemperatur: } TAN_{32060} = TAN_{32100} * 0.93 + 1,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

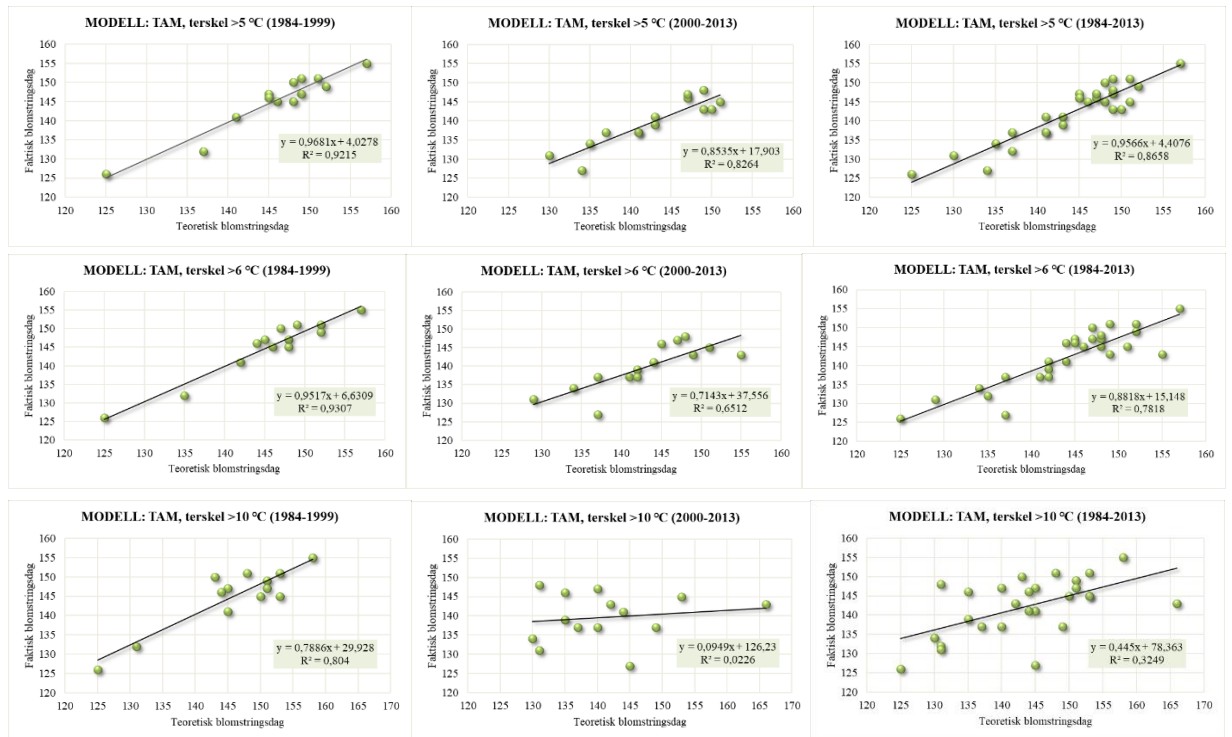
$$\text{Maksimumstemperatur: } TAX_{32060} = TAM_{32100} * 0.97 + 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

I mellomregningene har det vært flere valgmuligheter med hensyn til valg av endelig verdi. Generelt har prioriteringen mellom stasjonene som beregnet verdi er basert på vært som følger: 32060, 32100, 32080, 28370. Det har imidlertid også vært logiske tester, slik at det er sikret at $TAX \geq TAM \geq TAN$. Datasettet kan derfor ikke gis entydig ved regresjonsligninger, og fullt datasett vil bli tilgjengeliggjort i USNs database så snart som mulig. Inntil videre kan datasettet lastes ned som excel-fil her:

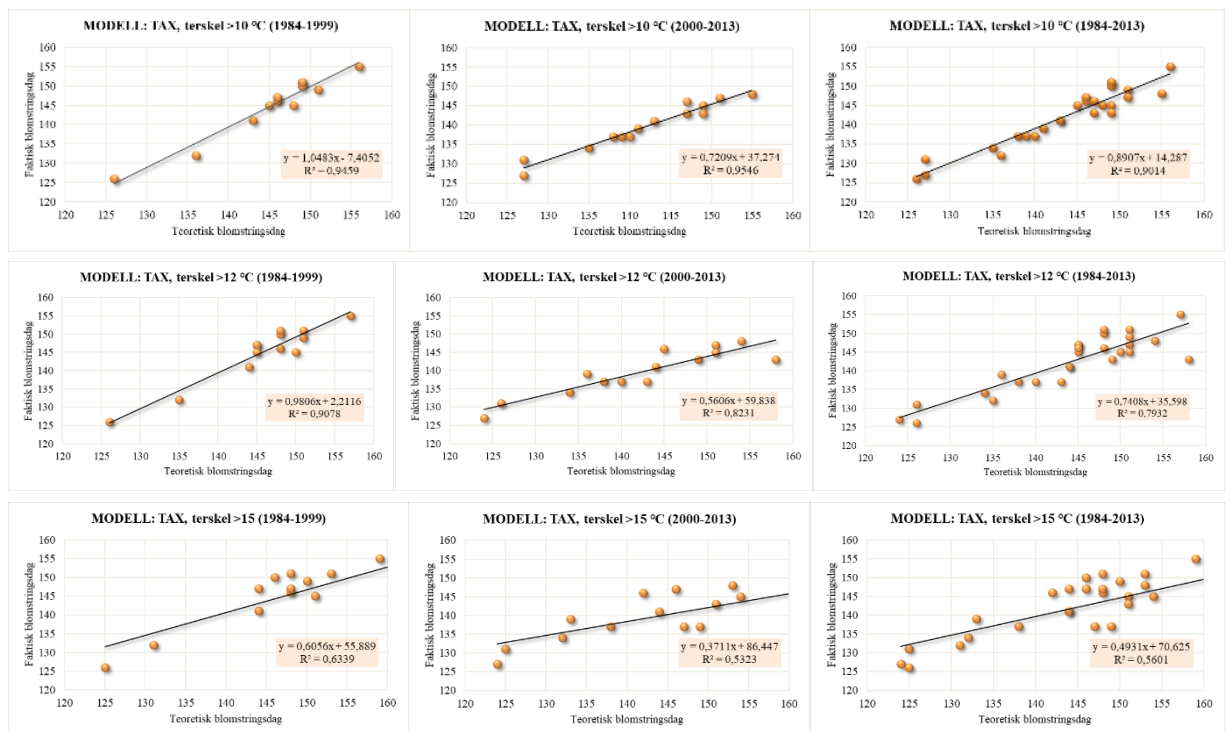
https://filebin.met.no/f/c/file?id=c9d3c53dc1/32060*20Gvarv_homogenisert.xlsx

Vedlegg IV: Korrelasjon teoretisk/faktisk blomstring

TAM, terskel >5-, >6- og >10 °C

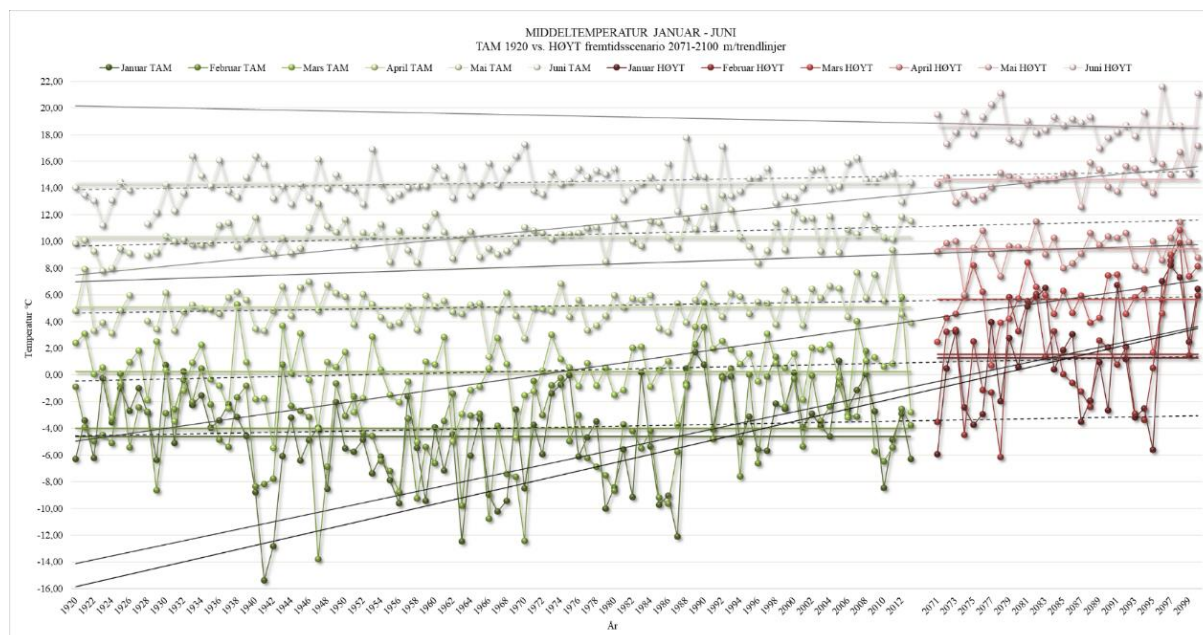


TAX, terskel >10, >12 og >15 °C



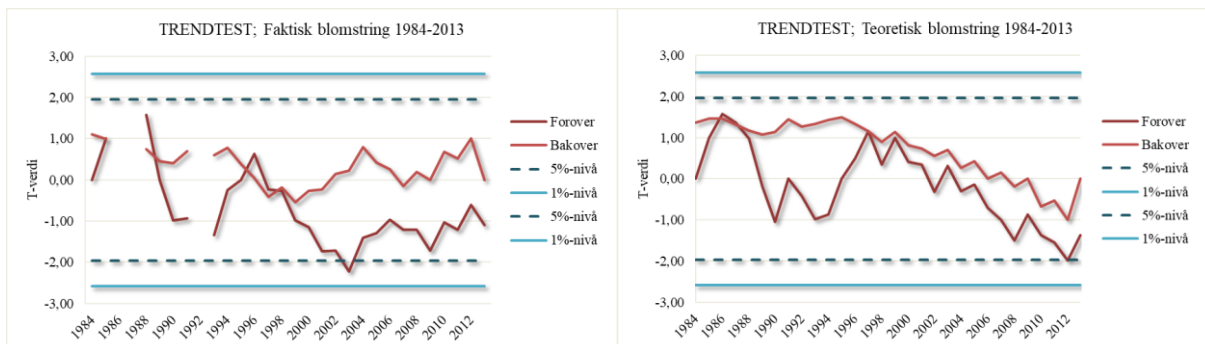
Vedlegg V: Middeltemperatur januar-juni

Grafisk fremstilling av trenden i middeltemperatur i januar-juni, for henholdsvis TAM (1920-2013) og høyt fremtidsscenario (2071-2100).

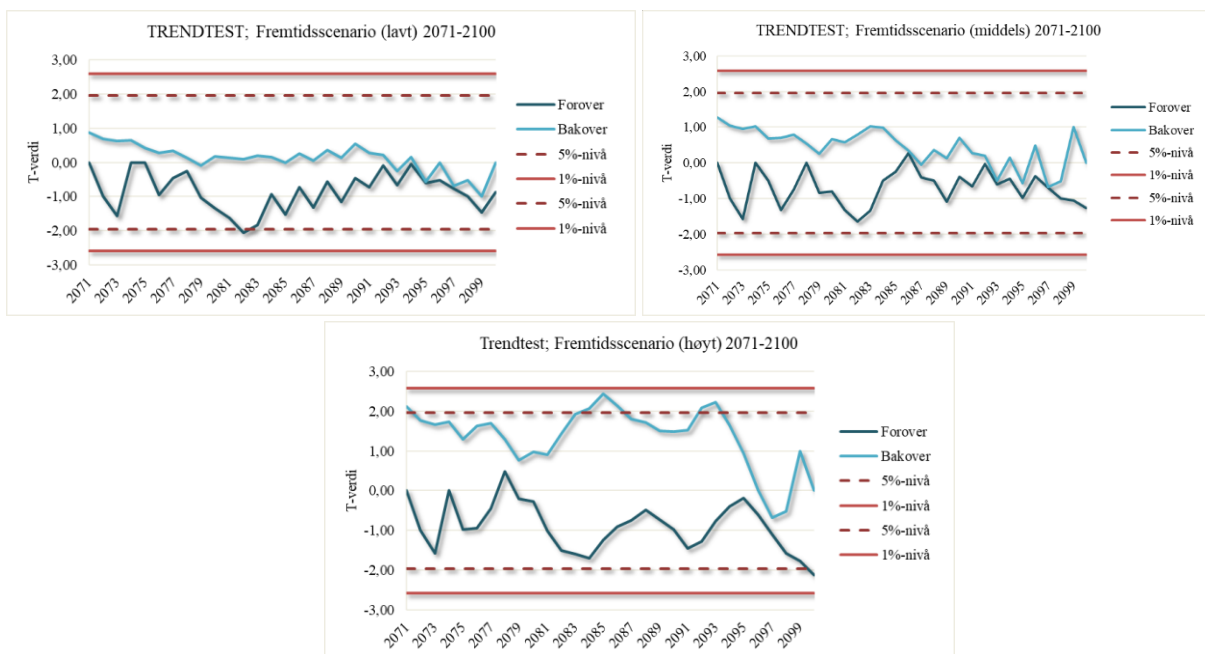


Vedlegg VI: Mann-Kendall

Faktisk og teoretisk blomstring; 1984-2013



Framtidsscenariene lavt-, middels- og høyt; 2071-2100



Vedlegg VII: Risiko for frostskade

Tabellene fremstiller temperatur ± 3 dager rundt tidligste og seneste observert blomstring Hegnun (1984-2013) og modellert tilbaketrend (1920(1955)-2013) (TAN), samt modellert blomstring i høyt fremtidsscenario (2071-2100); blomstring tidligere enn dag nr. 100 (TAM).

	Observert blomstring (1984-2013 Hegnun)		Teoretisk blomstring (tilbaketrend)			
			TAM 1920-2013		TAX 1955-2013	
	Tidligste	Seneste	Tidligste	Seneste	Tidligste	Seneste
År	1990	1996	1990	1924	2007	1962
Dato	06.mai	03.jun	04.mai	14.jun	05.mai	08.jun
Juliansk dag	126	155	124	166	125	159

Hegnun (observert) 1984-2013				Teoretisk blomstring (tilbaketrend) TAM 1920-2013				Teoretisk blomstring (tilbaketrend) TAX 1955-2013			
Tidligste 1990		Seneste 1996		Tidligste 1990		Seneste 1924		Tidligste 2007		Seneste 1962	
Dato	TAN °C	Dato	TAN °C	Dato	TAN °C	Dato	TAN °C	Dato	TAN °C	Dato	TAN °C
03.mai	6,9	31.mai	9,0	01.mai	4,8	11.jun	*	02.mai	4,1	05.jun	4,6
04.mai	7,2	01.jun	5,0	02.mai	7,0	12.jun	*	03.mai	5,9	06.jun	5,1
05.mai	6,4	02.jun	6,7	03.mai	6,9	13.jun	*	04.mai	6,2	07.jun	5,2
06.mai	6,5	03.jun	3,7	04.mai	7,2	14.jun	*	05.mai	3,9	08.jun	7,2
07.mai	7,4	04.jun	10,0	05.mai	6,4	15.jun	*	06.mai	6,6	09.jun	7,3
08.mai	8,1	05.jun	7,7	06.mai	6,5	16.jun	*	07.mai	4,1	10.jun	5,4
09.mai	9,1	06.jun	13,1	07.mai	7,4	17.jun	*	08.mai	6,3	11.jun	11,5

År	2098	2097	2100	2081	2091	2082	2096
BLOMSTRINGSDAG	45 (14.feb)	46 (15.feb)	67 (8.mar)	84 (25.mar)	92 (2.apr)	94 (4.apr)	98 (8.apr)
Dato	°C						
11.feb	8,4						
12.feb	8,3	9,2					
13.feb	8,4	8,4					
14.feb	7,9	8,8					
15.feb	6,6	11,2					
16.feb	3,6	7,8					
17.feb	0,9	5,5					
18.feb		5,4					
-							
05.mar			7,4				
06.mar			8,5				
07.mar			8,6				
08.mar			8,7				
09.mar			9,7				
10.mar			9,4				
11.mar			10,0				
-							
22.mar				10,7			
23.mar				12,1			
24.mar				11,7			
25.mar				10,1			
26.mar				9,4			
27.mar				8,4			
28.mar				9,3			
-							
30.mar					6,8		
31.mar					7,4		
01.apr					8,6	9,1	
02.apr					6,6	10,6	
03.apr					7,1	9,6	
04.apr					6,9	10,2	
05.apr					7,9	11,2	8,2
06.apr						12,9	8,9
07.apr						13,7	9,7
08.apr							7,2
09.apr							7,7
10.apr							5,7
11.apr							8,2