

Svingninger i klimaet i perioden 1910 til 2004

*Hvilken innvirkning en global klimaendring har på lokalt klima
og på tidspunktet for start på våren og vekstsesongen*



Mastergradsoppgave i meteorologi

Anders Sivle



Geofysisk institutt, Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet, Universitetet i Bergen

Mai 2005

Forord

Det har vært en sann fornøyelse å være student på Geofysisk Institutt ved Universitetet i Bergen. Studiemiljøet er meget bra, og siden dette er et lite fagfelt vil alle på instituttet bli godt kjent med hverandre.

Takk for data, hjelp til artikler og idéer til Knut Iden, Øyvind Nordli og alle de andre ved klimaavdelingen ved Meteorologisk Institutt, Finn Måge og Signe Kroken ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, Lars Sekse og Stein Harald Hjeltnes ved Planteforsk, Sigbjørn Grønås ved Geofysisk Institutt og Lillian Kalve ved Værvarslinga på Vestlandet. En stor takk til veilederne mine Jan Asle Olseth og Endre Skaar for god hjelp, mange lærerike og ikke minst morsomme samtaler. Til slutt vil jeg rette en stor takk til medstudenter, venner og familie for all hjelp og støtte. En ekstra stor takk til mamma, Christine, Iselin, Lars-Ivar og Tarjei som har lest korrektur på oppgaven.

Bildet på forsiden er tatt av Endre Skaar, og viser tidlig vårstemning i Bergen.

Hilsen Anders

Revidert utgave mai 2005

Innholdsfortegnelse

FORORD	2
INNHOLDSFORTEGNELSE	3
ABSTRAKT	5
1. INNLEDNING	6
2. TEORI	8
DEN NORDATLANTISKE SVINGNINGEN (NAO)	8
LUFTRYKK OG OVERGANG FRA VINTER- TIL VÅRSIRKULASJON	10
VESTAVÆR OG KLIMAET I NORGE	12
ENDRINGER I KLIMA OG VALG AV TIDSPERIODER	13
3. DATA	15
3.1. METODE OG ANALYSE AV DATASERIENE	16
3.1.1. <i>Temperatur</i>	16
3.1.2. <i>Minimumstemperatur</i>	17
3.1.3. <i>Luftrykk</i>	18
3.1.4. <i>Nedbør</i>	19
3.1.5. <i>Skydekke</i>	19
3.1.6. <i>Kortbølget stråling (globalstråling)</i>	19
3.1.7. <i>Langbølget stråling</i>	20
3.1.8. <i>Netto strålingsbalanse</i>	21
3.1.9. <i>Blomstringstidspunkt i epletrær</i>	22
3.1.10. <i>NAO-indeks</i>	22
3.2. ÅS	23
3.3. BERGEN	28
3.4. LEIKANGER	32
4. METODE OG METODEDISKUSJON	38
4.1. STATISTISKE METODER	38
4.1.1. <i>Korrelasjon</i>	38
4.1.2. <i>Signifikanstest av korrelasjonskoeffisienten</i>	39
4.1.3. <i>Beregning av trender</i>	40
4.1.4. <i>Signifikanstest av trender (regresjonsanalyse)</i>	40
4.1.5. <i>Midlere absolutt avvik (MAA)</i>	41
4.2. KORRELASJON MELLOM NAO-INDEKS, TEMPERATUR OG NEDBØR	42
4.3. UNDERSØKELSE AV TRENDER	42
4.4. MODELL FOR STARTTIDSPUNKT FOR DEN TERMISKE VEKSTSESONGEN OG FOR VÅREN	43
4.4.1. <i>Modell for start på termisk vekstsesong</i>	43
4.4.2. <i>Modell for start på våren</i>	44
4.5. MODELL FOR BEREKNING AV BLOMSTRINGSTIDSPUNKT I GRAVENSTEIN	45
4.6. ULIKE METODER FOR Å BEDØMME FARE FOR FROSTSKADER I FRUKTTRÆR	46

5. RESULTATER	47
5.1. ENDRINGER I NAO OG SAMMENHENG MELLOM NAO, TEMPERATUR OG NEDBØR	48
5.1.1. <i>Endringer i NAO</i>	48
5.1.2. <i>Sammenheng mellom NAO og temperatur</i>	49
5.1.3. <i>Sammenheng mellom NAO og nedbør</i>	52
5.2. TRENDER I LUFTTRYKK, TEMPERATUR, NEDBØR OG STRÅLING	55
5.2.1. <i>Endringer i lufttrykk</i>	55
5.2.2. <i>Endringer i temperatur</i>	59
5.2.3. <i>Endringer i nedbør</i>	62
5.2.4. <i>Endringer i stråling</i>	65
5.3. ENDRINGER I START PÅ VÅREN OG DEN TERMISKE VEKSTSESONGEN.....	69
5.4. BEREGNING AV BLOMSTRINGSTIDSPUNKT I GRAVENSTEIN	71
5.5. FARE FOR FROSTSKADER.....	72
6. DISKUSJON AV RESULTATER.....	73
6.1. ENDRINGER I NAO OG SAMMENHENG MELLOM NAO, TEMPERATUR OG NEDBØR	73
6.1.1. <i>NAO og temperatur</i>	73
6.1.2. <i>NAO og nedbør</i>	75
6.2. TRENDER I LUFTTRYKK, TEMPERATUR, NEDBØR OG STRÅLING	76
6.2.1. <i>Endringer i lufttrykk</i>	76
6.2.2. <i>Endringer i temperatur</i>	77
6.2.3. <i>Endringer i nedbør</i>	80
6.2.4. <i>Endringer i stråling</i>	81
6.3. ENDRINGER I START PÅ VÅREN OG DEN TERMISKE VEKSTSESONGEN.....	83
6.4. BEREGNING AV BLOMSTRINGSTIDSPUNKT I GRAVENSTEIN	86
6.5. FARE FOR FROSTSKADER.....	87
7. KONKLUSJON.....	88
REFERANSELISTE	89
APPENDIKS	92
A.1. K-VERDIER	92
A.2. ALBEDO	93
A.3. ORDFORKLARINGER	94

Abstrakt

Den nordatlantiske svingningen er en global klimaindikator. Når NAO¹ er i en positiv fase vil været i Skandinavia være preget av skyer og nedbør, mens en negativ fase av NAO vil være knyttet til klarvær i Skandinavia. Tidligere undersøkelser har vist at det på våren skjer et sprang i lufttrykket, og dette spranget indikerer en overgang fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon. Vestavær² preger klimaet i Norge, spesielt på vestkysten. Om vinteren er det kraftige lavtrykk og adveksjon som er viktigst for temperaturene, men om våren er det skifte til at stråling blir viktigere for temperaturene lokalt. Det er tre hovedperioder, 1910-1945, 1946-1975 og 1976-2004, som blir undersøkt, og disse er valgt på bakgrunn av en rapport fra FN sitt klimapanel (Watson et al., 2001).

Det undersøkes om endringene i globalt klima viser seg igjen i lokalt klima, og ulike meteorologiske og fenologiske parametere fra stasjonene på Ås, Leikanger og Bergen utgjør dataene i undersøkelsen.

Ulike statistiske metoder benyttes til å finne eventuelle sammenhenger mellom NAO, temperatur og nedbør, og også til å undersøke trender i de ulike parametrene. Det blir foretatt signifikanstester av sammenhengene og trendene som finnes. En modell basert på temperatur benyttes til å finne starttidspunkt på vekstsesongen og på våren, og endringer i dette starttidspunktet blir også undersøkt.

Resultatene viser relativt store endringer i de ulike parametrene, og det er liten tvil om at endringene i globalt klima finnes igjen i lokalt klima. Periodene 1910-1945 og 1976-2004 har hatt størst oppvarming og størst økning i nedbørsmengdene. Spesielt i siste hovedperiode blir det også tidligere start på våren, på vekstsesongen og tidligere blomstring i Gravenstein. Faren for frostskaider var noe større i perioden 1976-2004 enn i perioden 1946-1975.

¹ Se Appendiks A.3. for ordforklaring

² Se kapittel 2

1. Innledning

Etter mange samtaler med ansatte og studenter på Geofysisk Institutt, falt valget til slutt på en oppgave som omhandler globale klimaendringers innvirkning på lokalt klima og fenologi³. Mer spesifikt skal det i oppgaven undersøkes om meteorologiske parametere har endret seg i perioden 1910-2004, og videre om disse eventuelle endringene har ført til en endring i tidspunktet for når våren og vekstsesongen starter.

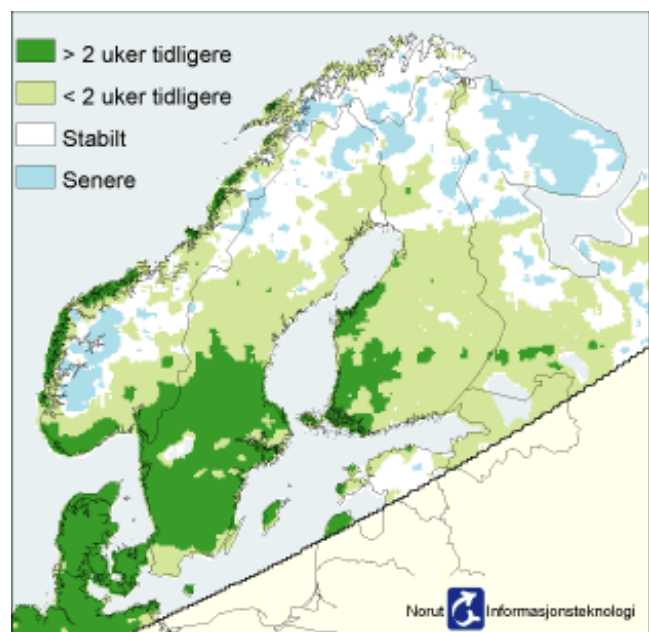
Det har vært gjort en del arbeid som omhandler endringer i tidspunktet for start på vekstsesongen, mest fra et biologisk ståsted. Figur 1-1 viser et arbeid som er basert på satellittdata, kombinert med fenologiske observasjoner i felt (Høgda, 2004).

Undersøkelsen baserer seg på perioden 1982 til 1999, og viser at for store deler av kysten i Sør-Norge har starttidspunktet for vekstsesongen blitt fremskyndet med rundt to uker. I indre strøk er endringene mindre, og i noen tilfeller starter vekstsesongen senere på året.

Enkelte fenologiske stadier starter opptil seks dager tidligere i 1993 enn i 1959 (Menzel og Fabian, 1999). Dette arbeidet er basert på data fra det europeiske nettverket av internasjonale fenologiske hager.

Endringer i tidspunkt for første blomstring på epletrær har også blitt undersøkt. Beregninger fra Norges Landbrukshøgskole på Ås viser tre til fire dager tidligere blomstring i 2002 enn i 1947, basert på en lineær trend (Måge og Vestrheim, 2002).

Mange av artiklene som omhandler endringer i starttidspunkt for vekstsesongen starter sine beregninger på 1960-tallet eller senere. Siden det globalt sett var en svak nedkjøling på 1950- og 1960-tallet, og en betydelig oppvarming fra 1970-tallet og frem til i dag, gir dette utslag i



Figur 1-1 Starttidspunkt for vekstsesongen. (Høgda 2004)

³ Se Appendiks A.3. for ordforklaring

resultatene. I oppgaven deles det derfor inn i perioder med oppvarming og nedkjøling, i tillegg til at datamaterialet i hovedsak strekker seg tilbake til 1910.

I første del av oppgaven undersøkes endringer i NAO-indeksen på månedsbasis, og eventuelle endringer gir uttrykk for globale klimaendringer i perioden som undersøkes. Ved deretter å finne sammenhengen mellom NAO, temperatur og nedbør, kan det gi oss en idé om svingninger i klimaet i perioden 1910-2004. I oppgaven undersøkes kun månedene februar til og med juni, siden starttidspunkt for vekstsesongen og blomstring i Gravenstein vil finne sted i disse månedene. Det benyttes data fra stasjonene Leikanger og Bergen på Vestlandet, og Ås på Østlandet. Stasjonene på Leikanger og Ås er valgt fordi det her er gjort registreringer av blomstring på epletrær (Gravenstein) langt tilbake i tid. I tillegg representerer de to ulike klimatyper, Leikanger med kystklima, mens Ås har innlandsklima. Data fra Bergen er tatt med siden stasjonen representerer et enda mer typisk kystklima enn Leikanger, og fordi det her er registrert flere meteorologiske parametere lengre tilbake i tid enn på Leikanger.

Videre i oppgaven økes tidsoppløsningen, fra månedsmidler til tidøgnsmidler. Dette gir et mer presist tidspunkt for når de klimatiske og fenologiske endringene skjer. På dette stadiet er det også gjort en vurdering av strålingsdata og lufttrykksdata. For lufttrykk er målet å finne en overgang fra vinter- til vårsirkulasjon, og om tidspunktet for denne overgangen eventuelt endrer seg. Om vinteren i Norge er det strålingsunderskudd, men i løpet av våren snur dette til et strålingsoverskudd. En endring i tidspunktet for dette skiftet fra underskudd til overskudd kan undersøkes ved å studere netto strålingsbalanse fra år til år.

Sist i denne delen av oppgaven undersøkes start på termisk vekstsesong år for år, og endringer i dette starttidspunktet. Termisk vekstsesong er definert som den perioden av året lufttemperaturen er høyere enn 5° C.

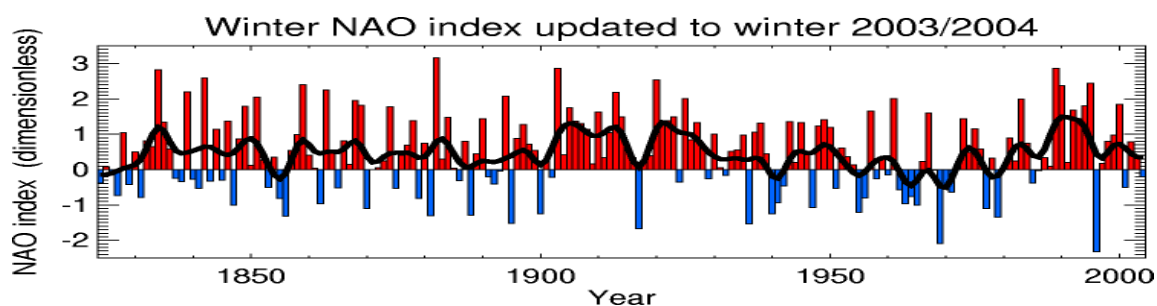
Dersom det blir frost i perioden rett før eller rett etter blomstringstidspunktet, kan blomst og frukt ta skade. En undersøkelse av antall dager med frost i blomstringen vil gi en indikasjon på om faren for frost har endret seg.

Siste steg er å koble de meteorologiske parametrene sammen med endringer i tidspunkt for fruktblomstring i de samme periodene. Dette kan også kobles sammen med start på termisk vekstsesong.

2. Teori

Den nordatlantiske svingningen (NAO)

Den nordatlantiske svingningen (NAO) er en kjent klimaindikator. NAO tar utgangspunkt i differansen i lufttrykk mellom en meteorologisk stasjon på Island og en i området ved Azorene (Hurrell, 2005). Trykkdifferansen mellom stasjonene normaliseres for å unngå at målingene ved den nordlige stasjonen, som har større variasjon enn ved den sørlige, skal dominere serien. Ut fra dette defineres en indeks der fortegnet på indekstallet angir hvilken fase svingningen er i, det vil si en positiv og en negativ fase. Størrelsen på indeksen angir styrken på svingningen, som vil være kraftigere om vinteren enn om sommeren, siden trykkforskjellen mellom Island og Azorene er størst da. Figur 2-1 viser hvordan indeksen har endret seg i tidsrommet 1823-2004.



Figur 2-1 NAO-indeks fra 1823-2004 (Osborn, 2005)



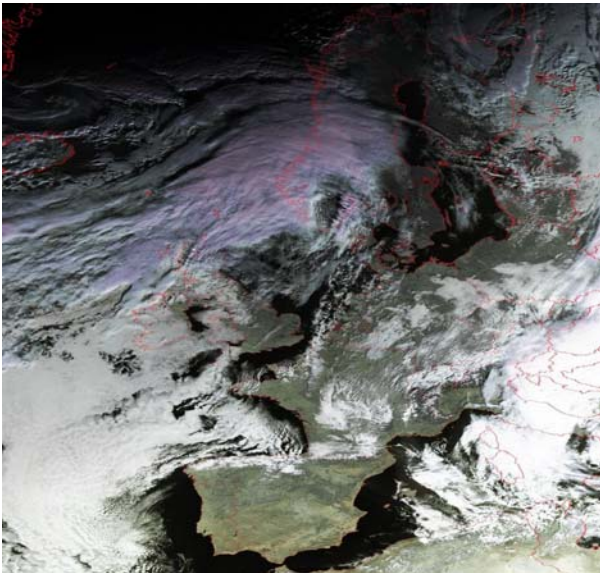
Figur 2-2 Positiv NAO indeks. (Visbeck)

En positiv indeks, som er illustrert i figur 2-2, er forårsaket av et kraftig lavtrykk over Island og et kraftig høytrykk over Azorene, noe som gir en stor trykkdifferanse mellom stasjonene. Den store trykkdifferansen medfører at vestavindsbeltet⁴ får en nordlig bane. Figur 2-3 viser også et eksempel på en slik situasjon; der Skandinavia er preget av skyer, mens det er klarvær i Spania og Portugal.

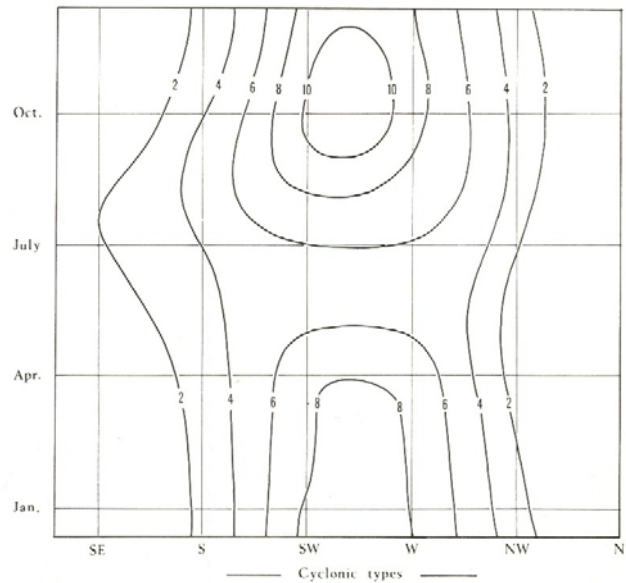
Vestavindsbeltet domineres av sørvestlige luftstrømmer, og rundt 40°N til 70°N møter

⁴ Se Appendiks A.3. for ordforklaring

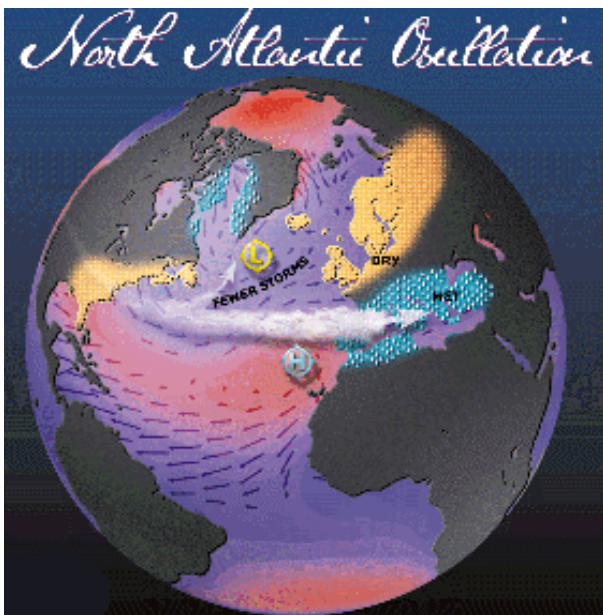
denne luften kald luft fra nord. Der luftmassene møtes dannes det lavtrykk som hovedsakelig beveger seg mot øst. I Norge, og spesielt på Vestlandet, gir denne lavtrykksaktiviteten mye nedbør. Slikt vær kalles også vestavær. Figur 2-4 viser at det for Bergen i månedene februar til juni faller mest nedbør når vindretningen er fra vest og sørvest, slik den ofte er når NAO er i en positiv fase (Godske og Andersen, 1969).



Figur 2-3 Satellittbilde som illustrerer positiv NAO indeks. (NOAA 17 satellitten, 14 Nov 2004)



Figur 2-4 Midlere døgnedbør (mm/12 timer) i Bergen (Fr.berg) i en syklonisk værtype (1904-1957), for ulike tider på året (y-aksen) og ulike vindretninger (x-aksen) (Godske og Andersen, 1969)

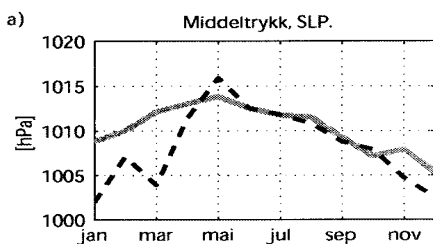


Figur 2-5 Negativ NAO indeks. (Visbeck)

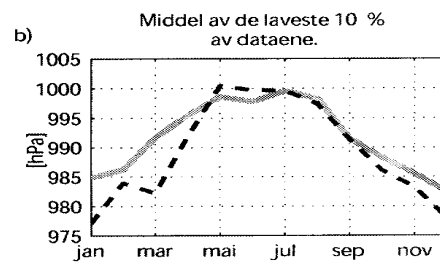
Negativ NAO-indeks er illustrert i figur 2-5. Verken lavtrykket over Island eller høytrykket over Azorene er spesielt kraftig, og trykkdifferansen mellom stasjonene er liten. En liten trykkdifferanse medfører at vestavindbeltet ikke føres nordover mot Skandinavia, men det meste av lavtrykksaktiviteten vil foregå i Sør-Europa (Middelhavsområdet). Været i Norge vil bli preget av høytrykksaktivitet og klarvær.

Luftrykk og overgang fra vinter- til vårsirkulasjon

Økningen i luftrykk sent på vinteren og tidlig på våren skyldes ulik oppvarming mellom øvre og midtre troposfærenivå, i forhold til de laveste nivåene (Jönsson og Miles, 2001). Våren er ”forsinket” ved Jordens overflate siden det tar tid å varme opp havoverflaten og kontinentene. Høytrykket om våren er et resultat av den økte stabiliteten som inntreffer samtidig med en økning i tropopausens⁵ høyde. Et sprang i luftrykket sent i april markerer den siste fasen i trykkøkningen; overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon. Med vintersirkulasjon menes det relativt stor lavtrykksaktivitet, mens det med vårsirkulasjon menes relativt stor høytrykksaktivitet. Trykkdata fra Island i perioden 1823-1999 ble undersøkt, og dette spranget viser seg selv om dataene er midlet over 177 år. En mulig forklaring på fenomenet gis med at vestavindsaktiviteten over Island avtar i samme periode som spranget i trykk skjer (Jönsson og Miles, 2001).

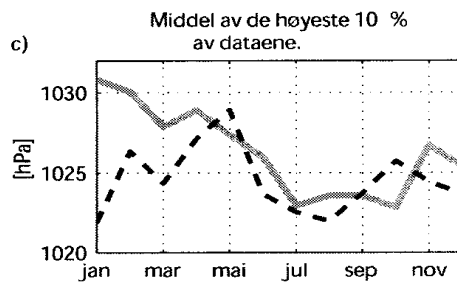


Figur 2-6a Middeltrykk 1955 og 1994 (reprodusert fra Strand og Grønås, 2001)



Figur 2-6b Lavtrykksaktivitet 1955 og 1994 (reprodusert fra Strand og Grønås, 2001)

Figurene 2-6a-c viser endringer i henholdsvis middeltrykk, lavtrykksaktivitet og høytrykksaktivitet i perioden 1955-1994 (Strand og Grønås, 2001). Trykkendringene gjelder for et stort område som dekker De nordiske hav, Barentshavet, Storbritannia og Østersjøen, noe som tilsvarer synoptisk skala⁶. I figurene er data for 1955 (heltrukket linje) og 1994 (stiplet linje) funnet ved middelverdier gjennom 40 år og en lineær trend.



Figur 2-6c Høytrykksaktivitet 1955 og 1994 (reprodusert fra Strand og Grønås, 2001)

⁵ Se Appendiks A.3. for ordforklaringer

⁶

Figur 2-6c viser at det tidligere var stor høytrykksaktivitet over Skandinavia i perioden januar til mars, noe som førte til at lavtrykkene ikke kom inn over Skandinavia. Denne høytrykksaktiviteten har avtatt, og lavtrykkene kommer i større grad enn tidligere inn over Skandinavia, noe som igjen fører til at blokkerende høytrykk ikke etablerer seg i samme grad som tidligere (figur 2-6b-c). Dette gjelder for perioden 1955 til 1994, men de største endringene har skjedd etter 1985 (Strand og Grønås, 2001).

Februar er et unntak for økt lavtrykksaktivitet om vinteren. Normalt er dette den måneden i året med laveste temperaturer, og kald, tung luft vil skape et høyt trykk.

På grunn av de nevnte endringene i lufttrykk skjer overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon nå tidligere i april, og raskere enn før (figur 2-6a).

I slutten av den undersøkte perioden var mai måneden med mest høytrykksaktivitet over Skandinavia, noe som er knyttet til blokkerende høytrykk. Dette fører til at lavtrykkene i mai i stor grad ikke kommer inn over Skandinavia.

Sammenheng mellom endringer i lufttrykk og NAO

Store deler av endringene i lufttrykk i våre områder henger sammen med endringer i NAO (Strand og Grønås, 2001). Om vinteren har styrken på NAO økt siden 1960-årene. Årsaken til endringene i NAO er fortsatt usikre, men en økning i NAO kan ha sammenheng med endringer i mønsteret for frigjøring av latent varme ved kondensasjon i skyer i tropene. Denne endringen kan igjen være knyttet til den globale oppvarmingen. Trolig er noe av trenden i NAO uttrykk for naturlige variasjoner i klimaet, mens deler av endringene i NAO kan være menneskeskapt (Strand og Grønås, 2001).

I år med sterk positiv NAO øker den i styrke utover vinteren. Dette gir høye temperaturer og mye nedbør, spesielt på Vestlandet. Dette har vært tilfellet særlig på 1990-tallet (Strand og Grønås, 2001). Disse årene holder NAO seg gjerne sterk til og med mars, for så å avta raskt i styrke i april. I mars og starten av april er sjøtemperaturene og mengden av fuktighet i luften på det laveste, og det vil bli mindre avvik i temperatur og nedbør enn hva tilfellet var om høsten og vinteren. Overgangen fra lavt trykk i april til høyt trykk i mai blir bråere i år med sterk positiv NAO om vinteren. Med andre ord vil overgangen fra vinter til vår skje raskere i årene der NAO er i en sterk positiv fase om vinteren.

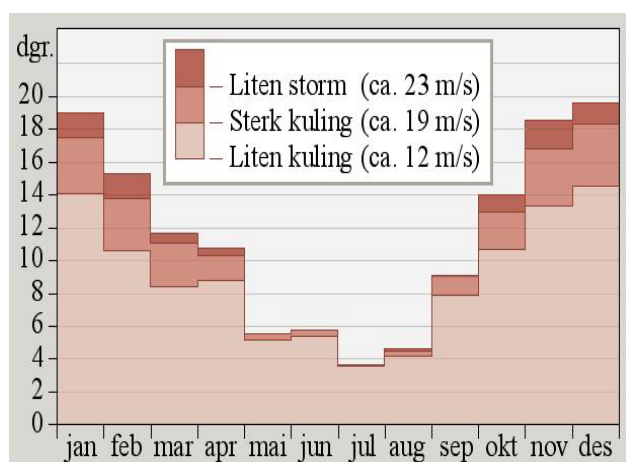
Vestavær og klimaet i Norge

Områdene nær ekvator får årlig inn mer solenergi enn den energien som blir sendt tilbake til verdensrommet. Nord og sør for ekvator er det motsatt, energitapet til verdensrommet er større enn solenergien som blir tilført. Underskuddet blir dekt av en enorm energitransport fra områdene rundt ekvator til områdene med strålingsunderskudd. I tillegg transporterer Golfstrømmen energi i form av varmt vann nordover. Norge ligger på breddegrader som har et slikt strålingsunderskudd, og hos oss dominerer vestaværet (Skaar et al., 2004). Luftstrømmene fra vest og sørvest (vestavindsbeltet) advekterer (transporterer) varm og fuktig luft inn over landet.

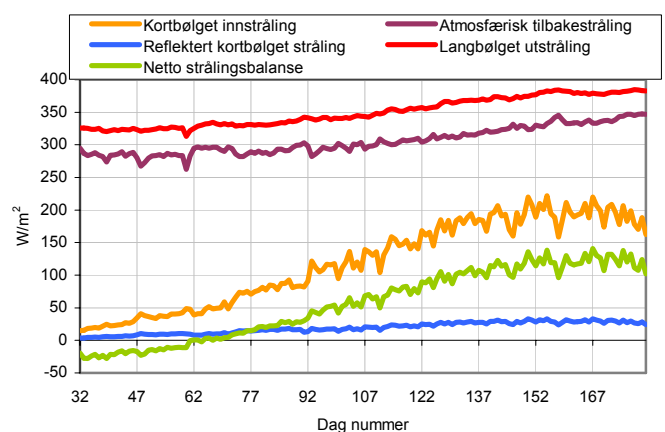
Denne energitransporten er størst om vinteren, siden det da er størst temperaturforskjell mellom ekvator og våre områder. Dette fører til kraftigere lavtrykk og sterkere vinder om vinteren enn om sommeren. Figur 2-7 viser vindfordelingen gjennom året på Fedje, som ligger på vestkysten. Figuren illustrerer tydelig at det er sterkest vind om vinteren.

Vestaværet vil prege Vestlandet i større grad enn Østlandet, som blir liggende på lesiden av fjellkjedene i vest, og av den grunn er det ofte mindre nedbør på Østlandet enn på Vestlandet.

Lokalklimaet i Norge er advektivt bestemt om vinteren, men om sommeren er ikke lenger vestaværet av samme betydning. Etter hvert som solen stiger på himmelen får den større betydning for lokalklimaet, noe som merkes godt på lufttemperaturen. Sent på våren og om sommeren når solen høyt på himmelen, og lokalklimaet er nå i større grad strålingsbestemt. Figur 2-8 viser strålingsbudsjettet for Bergen, og det er tydelig at kortbølget innstråling fra solen er høy om sommeren i forhold til om vinteren. Denne figuren viser også at det i løpet av våren er et skifte fra negativ til positiv netto strålingsbalanse.



Figur 2-7 Fordeling av antall dager med kuling og storm på Fedje (Skaar et al., 2004)

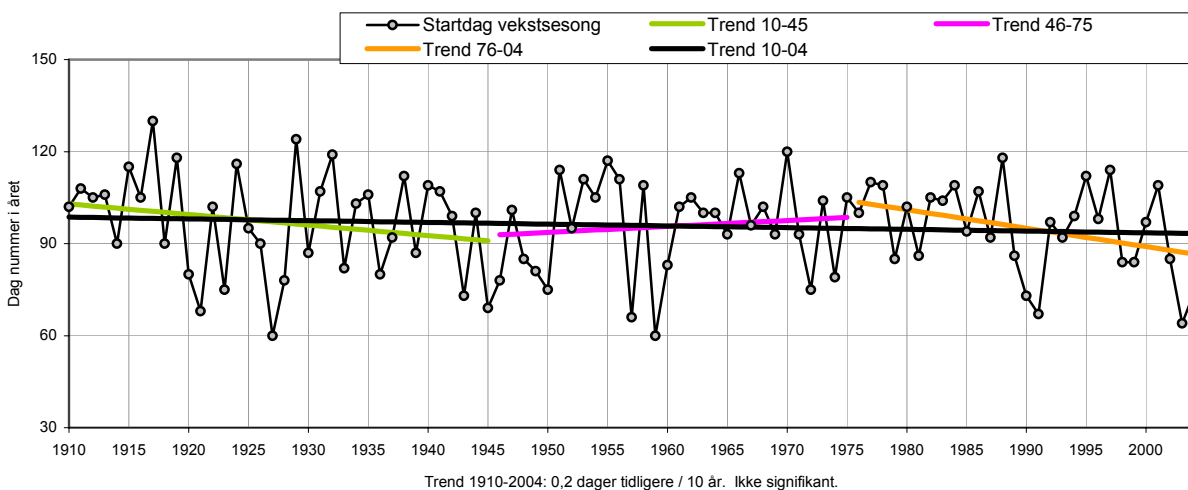


Figur 2-8 Strålingsbudsjett for Bergen, middelerverdier for perioden 1976-2004

Endringer i klima og valg av tidsperioder

Et av målene med oppgaven er å se på endringer i utvalgte meteorologiske og fenologiske parametere over tid. Perioden som undersøkes er 1910-2004, selv om enkelte parametere ikke har blitt målt i hele perioden.

Ved å undersøke endringer i starttidspunktet for den termiske vekstsesongen i Bergen i perioden 1910-2004 finnes kun en svak lineær trend (figur 2-9). Trenden er ikke statistisk sikker (signifikant). Starttidspunktet for den termiske vekstsesongen vil bli diskutert senere i oppgaven (kapittel 6.3.), og nevnes her bare som et eksempel på at flere av trendene i perioden 1910-2004 er svake og ikke signifikante.



Figur 2-9 Starttidspunkt for termisk vekstsesong i Bergen i årene 1910-2004

I forsøk på å finne statistisk sikre endringer i perioden 1910-2004, deles dataseriene opp i kortere perioder. Mange ulike inndelinger ble forsøkt, for eksempel perioder på ti år. Oppdelingen i kortere perioder viste seg å være et godt valg, siden det nå ble mulig å se til dels store trender i de ulike parametrene i disse kortere periodene (figur 2-9).

Den globale middeltemperaturen har økt siden 1861, og at den største oppvarmingen har funnet sted i periodene 1910-1945 og 1976-2000 (Watson et al., 2001). I oppgaven er perioden 1976-2000 utvidet til 2004, for å inkludere nye data etter at rapporten ble utgitt. Med støtte i tidligere arbeider falt det endelige valget på periodene 1910-1945, 1946-1975 og 1976-2004.

Det må presiseres at dette er periodene med størst oppvarming, og det tilsvarer ikke nødvendigvis periodene med de høyeste middeltemperaturene. En oppvarming tilsier at temperaturene er høyere

på slutten av perioden enn i starten av perioden. Dersom temperaturen i starten av perioden er lav, vil en stor temperaturøkning gi stor oppvarming, selv om middeltemperaturen for perioden kan være relativt lav. Likeledes kan en periode med nedkjøling ha relativt høy middeltemperatur, dersom temperaturen i starten av perioden er høy.

I tillegg til disse tre hovedperiodene har det vært nødvendig å beregne middelverdier og trender for enkelte parametere for perioden 1929-1945. Årsaken til dette er at Leikanger stasjon starter de fleste registreringene i 1929.

Strålingsmålingene på Ås og i Bergen startet først midt på 1960-tallet. Perioden 1966-1975 blir ikke sammenlignbar med perioden 1946-1975, og av den grunn benyttes strålingsmålingene først fra 1976, i perioden 1976-2004.

I årene som kommer er det ventet at den globale oppvarmingen fortsetter. Oppvarmingen vil trolig være størst for landområder på høye breddegrader, om vinteren. I tillegg er det i disse områdene forventet økte nedbørsmengder. Deler av disse klimaendringene forklares med en økning i utslipp av drivhusgasser (Watson et al., 2001).

3. Data

I dette kapitlet gis først en oversikt over og en beskrivelse av meteorologiske og fenologiske parametere. Deretter beskrives parametrene for de tre meteorologiske stasjonene Ås, Bergen og Leikanger, i perioden 1910-2004.

Ås og Leikanger er stasjoner med både meteorologiske og fenologiske data, og stasjonene representerer henholdsvis et innlandsklima og et kystklima. I tillegg er det benyttet meteorologiske data fra Bergen, som har et mer typisk kystklima og har målinger lengre tilbake enn Leikanger. Tabell 3-1 viser en oversikt over når de ulike parametrene er brukt for de tre stasjonene i oppgaven.

Tabell 3-1. Oversikt over hvilke perioder parametrene benyttes i oppgaven

Parameter	Ås	Bergen	Leikanger
<i>Temperatur</i>	1910-2004	1910-2004	1929-2004
<i>Minimumstemperatur</i>	1910-2004	-	1929-2004
<i>Luftrykk</i>	1910-2004* *Oslo Blindern 1988-1993	1910-2004	-
<i>Nedbør</i>	1910-2004	1910-2004	1910-2004* *Døgnverdier 1929-2004
<i>Skydekke</i>	1976-2004* *Oslo Blindern 1988-2004	1976-2004	1976-2004* *Fjærland Skarestad 1991-2004
<i>Stråling</i>	1976-2004	1976-2004	1976-2004
<i>Blomstring Gravenstein</i>	1947-2004	-	1929-2004
<i>Blomstring Summerred</i>	1976-2004	-	-
<i>NAO-indeks</i>	1910-2004	1910-2004	1910-2004

3.1. Metode og analyse av dataseriene

Observasjonstidspunktene (terminene) for de meteorologiske parametrene vil variere i løpet av årene (Harbitz, 1963). Alle klokkeslettene oppgitt i kapittel 3 er sentraleuropeisk tid. Om vinteren tilsvarer dette norsk lokaltid, men om sommeren må det legges til en time for å få norsk lokaltid.

Dag-nummeret indikerer hvilket nummer i året den aktuelle datoen er, med start 1. januar.

Temperaturen kan variere mye over korte avstander. Av den grunn kan det være av stor betydning om målestasjonens lokalitet endres i løpet av perioden som undersøkes, noe som gjelder spesielt ved undersøkelse av endringer over tid. For nedbørsmålinger kan montering av vindskjerm på nedbørsmåleren være vel så viktig å ta hensyn til som flytting av stasjonen. Homogene målinger er målinger som er justert blant annet på grunn av slike endringer, men også på grunn av for eksempel målefeil og endret lokal- eller mikroklima på stasjonen (Nordli, 1997).

3.1.1. Temperatur

For alle tre stasjonene har hytten med termometeret blitt flyttet i løpet av årene. Siden den nye lokaliteten kan ha et annet temperaturklima enn den opprinnelige, kan det bli inhomogeniteter i dataserien. Dette vil bli nærmere diskutert for hver stasjon.

Köppens formel (3-1) benyttes til å regne ut middeltemperaturer (\bar{T}) (Harbitz, 1963). Formelen ble opprinnelig brukt til utregning av månedsmiddeltemperaturer, men Stein Kristiansen (Meteorologisk Institutt, met.no) bekreftet at den også brukes til utregning av døgnmiddeltemperaturer.

$$\bar{T} = T_{1,2,3} - k(T_{1,2,3} - T_{\min}) \quad [3-1]$$

der $T_{1,2,3}$ er middelveien av tre daglige termintemperaturer, og T_{\min} er døgnet minimumstemperatur. For beregning av månedsmiddeltemperatur er T_{\min} månedsmiddel av de daglige minimumstemperaturene.

k er en korreksjonsfaktor som varierer med årstid og sted. Den kompenserer for mangelen på målinger om natten, og samme verdi benyttes både for døgn- og månedsmidler. (Se mer om k -verdier i appendiks A.1.) For utregning av månedsmiddeltemperatur skal det brukes et månedsmiddel av de tre daglige termintemperaturene, men man bruker like gjerne et månedsmiddel av døgnmiddeltemperaturene (Stein Kristiansen (met.no), personlig kommunikasjon (PK)). Meteorologisk Institutt benytter også en annen formel for å beregne månedsmiddeltemperaturer (Aune, 1993). Denne formelen avhenger blant annet av døgnetts maksimumstemperatur, men få stasjoner hadde maksimumstermometer før 1931 (Harbitz, 1963). I trendstudier er det ønskelig å ha en så homogen dataserie som mulig, og for å unngå inhomogeniteter benyttes Köppens formel for alle periodene.

Målingene ble automatisert da stasjonene på Leikanger og Ås ble overtatt av Planteforsk og Norges Landbrukshøgskole. For automatstasjoner benyttes et 24 timers middel av de timevise registreringene, og denne endringen i beregning av døgnmiddeltemperatur kan føre til en inhomogenitet.

3.1.2. Minimumstemperatur

Minimumstemperaturen vil bli benyttet i beregning av månedsmiddeltemperaturen på Ås og Leikanger, og i beregning av døgnmiddeltemperaturen på Ås. I tillegg brukes den til å kunne bestemme antall dager med frost, spesielt i perioden før og rett etter blomstring. For Bergen blir ikke minimumstemperaturen benyttet, da det finnes ferdigberegnete døgn- og månedstemperaturer. Det vil dessuten ikke bli foretatt noen analyse av antall dager med frost i Bergen, siden det ikke finnes observasjoner av blomstringstidspunkt i Gravenstein eller Summerred.

Det vil være inhomogeniteter der det er brudd i målingene på grunn av flytting av stasjonene, men for minimumstemperaturen er det ikke blitt gjort noen korreksjon for dette.

I perioden 1910-1936 ble det kun foretatt en avlesning per døgn av minimumstemperaturen, klokken åtte om morgenen. I 1937 ble dette endret, til to avlesninger per døgn, klokken åtte både om morgenen og om kvelden. Døgnetts minimumstemperatur ble likevel regnet fra klokken åtte om morgenen til klokken åtte neste morgen. Fra 1938 ble dette endret, og døgnskillet ble satt til klokken sju om kvelden for alle observasjoner, med unntak av nedbørsmålingene (Harbitz, 1963). De dagene det finnes to avlesninger av minimumstermometeret benyttes den laveste verdien som døgnetts minimumstemperatur.

3.1.3. Lufttrykk

Målingene fra Ås representerer trykkmønsteret på Østlandet, mens målingene fra Bergen representerer trykkmønsteret på Vestlandet. På Leikanger er det ikke foretatt trykkmålinger. Begge lufttrykkseriene er homogene, til tross for at stasjonene har vært flyttet, og til tross for at det for Ås er benyttet målinger fra Oslo Blindern i årene 1988-1993. Årsaken til dette er at lufttrykksmønstrene er forholdsvis uendret over store områder (Øyvind Nordli (met.no), PK).

Det beregnes døgnmiddelverdier $[\bar{P}]$ med et aritmetisk middel av de tre terminobservasjonene:

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} \quad [3-2]$$

der P_1, P_2 og P_3 er tre daglige terminobservasjoner.

I perioden 1994-2004 er det for Ås benyttet målinger fra en automatstasjon, og døgnmiddelverdiene er da beregnet som et 24 timers middel av de timevise registreringene.

På grunn av at barometerets plassering (høyde over havet) på stasjonene har endret seg i løpet av årene, må lufttrykket $[\bar{P}]$ reduseres til havets nivå $[\bar{P}_o]$. En slik redusering forenkler også sammenligningen mellom flere stasjoner. Ligning 3-3 brukes til å redusere lufttrykket til havets nivå, når stasjonens høyde over havet ikke er for stor (Oljedirektoratet, 1997). En stasjon lokalisert inntil et par hundre meter over havet er akseptabelt (Wallace and Hobbs, 1977).

$$\bar{P}_o = \bar{P} \times \exp\left(\frac{h}{H}\right) \quad [3-3]$$

der $H = [(0,00341 \times h) + 273,9 + T] \times 29,29$ er en reduksjonsfaktor.

T = Aktuell døgnmiddeltemperatur fra stasjonen [$^{\circ}\text{C}$].

h = Barometerets høyde over havet [m].

\bar{P} = Aktuelt lufttrykk på stasjonen [hPa].

\bar{P}_o = Lufttrykk redusert til havets nivå [hPa].

3.1.4. Nedbør

I oppgaven er nedbørsmålingene analysert for å se om nedbørsmengdene har endret seg i de aktuelle periodene. Dessuten vil dagene med nedbør ofte ha tykke skyer som reduserer langbølget utstråling fra jorden, og dermed øke den atmosfæriske tilbakestrålingen.

Som for temperaturen vil nedbørsmengdene kunne variere relativt mye over små områder, og mengden som faller i nedbørsmåleren avhenger blant annet av vindeksponering. Således vil flytting av nedbørsmåleren kunne føre til inhomogenitet i dataserien.

Frem til desember 1919 ble et nedbørdøgn regnet fra klokken sju om kvelden til klokken sju neste kveld. Deretter ble denne perioden endret til fra klokken sju om morgenen til klokken sju neste morgen (Harbitz, 1963).

Månedsverdiene av nedbør er nedbøren summert over alle dager i måneden, mens tidagersverdiene er en sum over ti dager.

3.1.5. Skydekke

Observasjoner av skydekket angis i 1/8, der 8/8 tilsvarer helt overskyet vær, mens 0/8 tilsvarer skyfri himmel. Skydekket benyttes i beregninger dersom strålingsdata mangler.

3.1.6. Kortbølget stråling (globalstråling)

I oppgaven benyttes middelveier over 24 timer for all stråling, og enheten er W/m^2 .

Den totale kortbølgete strålingen fra solen på en horisontal flate, globalstråling, er summen av direkte og diffus (spredt) innkommende stråling.

En del av solstrålingen som treffer jorden blir absorbert i overflaten, mens resten blir reflektert tilbake til atmosfæren. Hvor stor del som blir reflektert avhenger av egenskapene til jordoverflaten. Albedo (α) er en refleksjonskoeffisient, og angir forholdet mellom reflektert og innkommende kortbølget stråling. For eksempel kan nysnø ha albedo opp til 0,95, mens vann i enkelte tilfeller kan ha albedo så lav som 0,05 (Utaaker, 1991).

Dersom vi kjenner størrelsen av innkommende kortbølget stråling ($KB \downarrow$) og albedo til de ulike overflatetyperne, kan vi beregne hvor mye kortbølget stråling som reflekteres tilbake til atmosfæren fra jordoverflaten ($KB \uparrow$):

$$KB \uparrow = \alpha \times KB \downarrow \quad [3-4]$$

Mer informasjon om albedo, og verdiene som er brukt i denne oppgaven, finnes i appendiks A.2. Videre kan netto kortbølget strålingsbalanse (KB_{netto}) beregnes:

$$KB_{netto} = KB \downarrow - KB \uparrow \quad [3-5]$$

Alle tre stasjonene har dager med manglende målinger av globalstråling. Da ingen andre nærliggende stasjoner har målt stråling på de aktuelle dagene, blir de manglende verdiene erstattet med beregnede verdier.

Olseth og Skartveit (1993) har utviklet en modell for å beregne globalstråling ut fra skydata. De har også utviklet et dataprogram basert på modellen, og dette programmet ble benyttet til å beregne de manglende verdiene. Først beregner modellen klarværsstråling ut fra atmosfærens ozonmengde, mengden utfellbart vann og bakkens albedo. (I beregningene ble det benyttet samme albedo og atmosfæreverdier for Ås, Leikanger og Bergen, uten at det utgjorde stor forskjell i resultatene). Deretter beregnes globalstråling ut fra skydekket den aktuelle dagen.

I modellen tas det også hensyn til horisonten rundt strålingsinstrumentet, slik at når solen er under horisonten vil modellen kun gi verdi av diffus stråling. Horisonthøydene er tidligere målt av Planteforsk både for Leikanger og Ås, mens de for Bergen er beregnet ved Geofysisk Institutt. Flytting av strålingsinstrumentene på en stasjon kan føre til en inhomogenitet, og da mest sannsynlig på grunn av at det blir en ny horisonthøyde.

3.1.7. Langbølget stråling

Jordoverflaten emitterer ut langbølget stråling ($LB \uparrow$). Intensiteten i utstrålingen bestemmes hovedsakelig av overflatetemperaturen, og beregnes med Stefan-Boltzmanns lov (Utaaker, 1991):

$$LB \uparrow = \varepsilon \sigma T^4 \quad [3-6]$$

der jordens overflatetemperatur (T) er gitt i Kelvin, og σ er Stefan-Boltzmanns konstant. ε er emisjonsevnen til overflaten, og varierer med overflatetype. For de fleste naturlige overflater ligger verdien av ε mellom 0,90 og 0,99, noe som er tilnærmet lik 1. Ligningen forenkles derfor til:

$$LB \uparrow \cong \sigma T^4 \quad [3-7]$$

Energien i atmosfæren re-emitteres (stråles ut igjen) i alle retninger fra gassene og partiklene som absorberte den, og intensiteten bestemmes av atmosfærens temperatur. Den delen av strålingen som når jordoverflaten kalles atmosfærisk tilbakestråling ($LB \downarrow$) (Utaaker, 1991).

For å beregne den atmosfæriske tilbakestrålingen brukes ligningen:

$$LB \downarrow = (0,895\sigma T^4 - 29,4) \times (0,9804 + 0,0146N) \quad [3-8]$$

der T er lufttemperatur målt to meter over bakken, og N er observert skydekke i åttedeler (Schieldrup Paulsen og Torheim, 1964 og Laupsa, 1997).

Når både utgående og tilbakestrålt langbølget stråling er kjent, kan netto langbølget strålingsbalanse (LB_{netto}) beregnes:

$$LB_{netto} = LB \downarrow - LB \uparrow \quad [3-9]$$

LB_{netto} er oftest negativ, siden det stråles ut mer langbølget stråling fra jordens overflate enn hva som stråles tilbake fra atmosfæren. Dette betyr at jordens overflate taper energi til atmosfæren i form av langbølget stråling.

3.1.8. Netto strålingsbalanse

Netto strålingsbalanse (Q_{netto}) er differanse mellom total innkommende stråling og total utgående stråling på jordens overflate:

$$Q_{netto} = KB_{netto} + LB_{netto} = KB \downarrow + LB \downarrow - KB \uparrow - LB \uparrow \quad [3-10]$$

Om vinteren er netto strålingsbalanse i Norge negativ, det vil si at det er et strålingstap. Om sommeren er det et strålingsoverskudd, slik at i løpet av våren endrer netto strålingsbalanse seg fra negativ til positiv. Tidspunktet når dette skjer kan være en egnet indikator for når våren starter.

3.1.9. Blomstringstidspunkt i epletrær

Et annet mål på start av vekstsesongen er tidspunktet for første blomst i epletrær. Gravenstein har vært dyrket i lang tid, og det finnes registrering av fenologiske stadier nesten like lenge. I tillegg til tidspunkt for første blomstring blir også andre stadier som for eksempel full blomstring og tidspunkt for høsting av epler registrert hvert år.

Bergen har ikke registreringer av fruktblomstring, men vi finner to av Norges lengste registreringer på Leikanger og Ås. For Ås er det i tillegg til Gravenstein benyttet registreringer av blomstring i Summerred, men da for en kortere tidsperiode (tabell 3-1).

I likhet med de meteorologiske målingene kan en dataserie med registrerte tidspunkt for første blomstring i epletrær være inhomogen hvis registreringene skjer i frukthager med ulik plassering. Dersom de lokalklimatiske forholdene og jordsmonnet i de ulike frukthagene er noenlunde likt, antas avvikene i tidspunkt for første blomst å være ubetydelig. En ulempe med meteorologiske observasjoner og registreringer i forhold til fenologiske observasjoner er at forbedringer av instrument, automatisering og endret lokalitet for stasjonen kan føre til brudd i dataseriene. I utgangspunktet vil registrering av fenologiske observasjoner følge samme prosedyre hele tiden, og det er forholdsvis lett å merke seg når første blomst kommer. Registrering av første blomst i epletrær følger bestemte retningslinjer, og av den grunn skal ikke skifte av observatør føre til brudd i dataserien. Likevel er dette subjektive vurderinger, og da vil det alltid være nyanser i måten å observere på.

3.1.10. NAO-indeks

NAO-indeksen som er benyttet for årene 1910-1999 tar utgangspunkt i registreringer av lufttrykket i Ponta Delgada på Azorene, som den sørlige stasjonen, og i Reykjavik på Island, som den nordlige stasjonen (Hurrell, 2005). For årene 2000-2004 er det benyttet en NAO-indeks som tar utgangspunkt i trykkdata fra Gibraltar og Island (Osborn, 2005). Dette utgjør en antatt homogen serie med månedlige verdier av NAO-indeksen i årene 1910 til 2004.

3.2. Ås

Ås (59°40'N, 10°47'E) ligger på østsiden av Oslofjorden, litt sør for Oslo (figur 3-1). Den meteorologiske stasjonen har alltid vært plassert ved Landbrukshøgskolen (nå Universitetet for miljø- og biovitenskap, UMB), men den var underlagt Meteorologisk Institutt frem til 1988. Etter et par måneders overlapping i 1988, fikk Landbrukshøgskolen på Ås ansvaret for de meteorologiske målingene, og stasjonen og måleinstrumentene ble flyttet til et nytt sted. Frem til 1988 var instrumentene plassert ved Skogsdammen, og stasjonens plassering er merket med en liten sirkel på figur 3-2. Fra 1988 har stasjonen stått på Sørås, merket med en stor sirkel på figur 3-2 (Signe Kroken (UMB), PK). Se tabell 3-1 side 15 for opplysninger om målingene som er benyttet fra Ås.

Temperatur

Siden stasjonen har endret lokalitet, er det inhomogeniteter i temperaturserien. Det er gjort forsøk på å homogenisere temperaturserien fra Ås, men arbeidet med homogenisering tok lang tid, og det var svært vanskelig til og med på månedsbasis (Øyvind Nordli (met.no) og Arne Auen Grimenes (UMB), PK).

En enkel sammenligning av temperaturen på Ås fra januar til april 1988, da både Meteorologisk Institutt og Landbrukshøgskolen hadde målinger,



© 1999 Microsoft Corp. All rights reserved.

Figur 3-1 Kart over Sør-Norge. (Reprodusert fra Encarta Interactive World Atlas 2000)



Figur 3-2 Stasjonsplassering på Ås (Fotonor AS, 1996)

henholdsvis på den gamle og den nye lokaliteten, viser at det er litt kaldere på den nye enn på den gamle lokaliteten. I gjennomsnitt for perioden er forskjellen $0,3^{\circ}\text{C}$, men det er minst forskjell i januar og februar, og størst forskjell i mars og april. Forskjellen mellom de to lokalitetene (absoluttverdi) er i 73% av målingene mindre enn $0,5^{\circ}\text{C}$. Totalt sett viser 61% av målingene at det er kaldest på den nye lokaliteten. Siden en overlappingsperiode på fire måneder er relativt kort, blir det her ikke forsøkt å justere dataserien, men det tas hensyn til denne sammenligningen i diskusjonen av resultatene.

I juni 1950 mangler målingene klokken åtte om morgenen, og i beregningene benyttes da kun de to observasjonene om ettermiddag og kveld. Dette vil mest sannsynlig føre til en litt for høy temperatur i denne måneden, siden målingen klokken åtte om morgenen oftest er laveste termintemperatur om sommeren.

To dager i 1988 mangler målinger, og disse erstattes med målinger fra Oslo Blindern, som er en av de nærmeste stasjonene til Ås.

Minimumstemperatur

Etter en gjennomgang av dataene og samtale med Knut Iden ved klimaavdelingen på Meteorologisk Institutt, kom vi frem til at dataserien inneholder enkelte feil. Noen av feilverdiene kan ha oppstått som følge av tastefeil når dataene ble digitalisert. Likevel er det mye som tyder på at dette ikke er hele forklaringen.

Minimumstemperaturen ble i perioden 1910-1937 avlest om morgenen (i 1937 også om kvelden), og selv om dette er temperaturdøgnet minimum, er det ikke nødvendigvis det aktuelle døgnet minimum. For dager hvor temperaturen synker utover dagen, vil de laveste temperaturene bli registrert som neste døgnet minimumstemperatur. I slike tilfeller ble døgnet middeltemperatur, beregnet ved hjelp av Köppens formel (ligning 3-1), lavere enn døgnet minimumstemperatur. For å løse problemet ble alle data testet. Dersom en temperaturavlesning viste lavere temperatur enn minimumstemperaturen samme dag, brukes temperaturavlesningen som denne dagens minimumstemperatur.

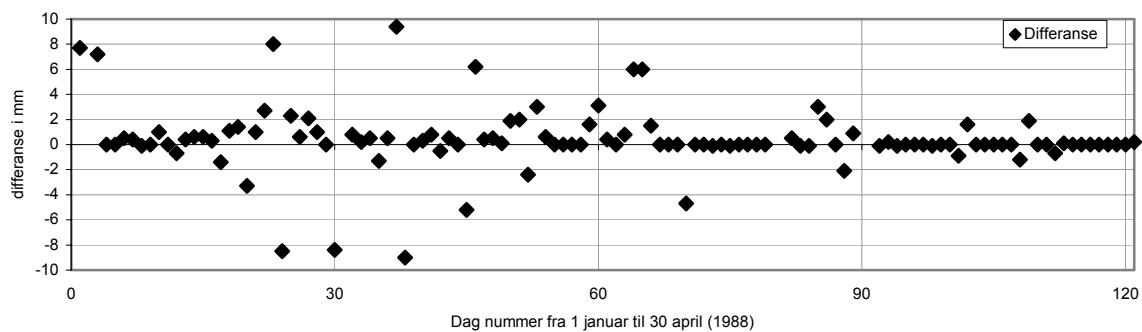
Som nevnt før kan det ha hatt innvirkning på minimumstemperaturen at stasjonen skiftet lokalitet i 1988, fra et område ved et tjern til en åpen gressmark. Totalt 74% av dagene har lavere minimumstemperatur på den nye lokaliteten (Norges Landbrukshøgskole), og i gjennomsnitt er det $0,7^{\circ}\text{C}$ forskjell. Det tas hensyn til denne sammenligningen i diskusjonen av resultatene.

Tre av dagene i perioden mangler data, og disse dagene erstattes med minimumstemperatur fra Oslo Blindern, uten at det er foretatt noen justering.

Nedbør

De originale nedbørsmålingene på Ås utgjør en inhomogen dataserie, men Meteorologisk Institutt har utført homogenitetstesting på denne serien. Serien har en inhomogenitet i 1920, men det er usikkert hva årsaken til inhomogeniteten er (Førland og Hanssen-Bauer, 1992). Ved å multiplisere tidagers- og månedsverdiene av nedbør med 0,95 i årene 1910-1919, blir serien homogen i årene 1910-1987 (Hansen-Bauer og Førland, 1994). I 1988 ble stasjonen flyttet, noe som trolig fører til inhomogenitet.

I perioden januar til april 1988 ble det som tidligere nevnt gjort meteorologiske målinger både på den gamle (Meteorologisk Institutt) og den nye stasjonslokaliteten (Norges Landbrukshøgskole) på Ås. En enkel form for homogenitetstest vil være å sammenligne nedbørsmålinger fra begge lokalitetene i overlappingsperioden. Figur 3-3 viser differansene i nedbør mellom de to lokalitetene. En positiv differanse svarer til at det er mer nedbør på den gamle lokaliteten enn på den nye.



Figur 3-3 Differanse i nedbørmengder mellom gammel og ny lokalitet på Ås, januar-april 1988

Fire måneder er en kort overlappingsperiode, og resultatene er derfor usikre. I 83% av dagene i perioden er skillet mindre enn 3 mm i døgnet mellom de to lokalitetene, og den gamle lokaliteten har 10 til 15 mm mer nedbør i måneden enn den nye. Generelt sett er homogenisering av nedbørsserier et omfattende og krevende arbeid, og i denne oppgaven blir det ikke gjort noen justeringer som følge av flytting av nedbørsmåleren i 1988. Likevel vil det i diskusjonen av resultatene bli tatt hensyn til at den nye lokaliteten har mindre nedbør i måneden enn den gamle lokaliteten. For tidagersverdiene utgjør dette ca 5 mm per periode.

Til sammen mangler nedbørsmålinger fra sju dager i perioden 1910-2004. Den manglende verdien i 1988 erstattes med en målingen fra stasjonen til Meteorologisk Institutt på den gamle lokaliteten. Dagene i 1950 og 1956 som mangler nedbørsmålinger erstattes med målinger fra Oslo Blindern; en av de stasjonene som geografisk sett ligger nærmest Ås. Det var vanskelig å skaffe nedbørsmålinger fra Oslo Blindern for årene før 1937. Dermed ble det for de manglende målingene i 1919 og 1926 benyttet målinger fra Meteorologisk Institutt sin stasjon på Sankthanshaugen i Oslo. Erstatningsmålingene er ikke justert i forhold til målingene fra Ås.

Skydekke

Fra denne stasjonen benyttes observert skydekke i perioden 1976-1988. Når stasjonen i 1988 ble overtatt av Norges Landbrukshøgskole sluttet observasjonene av skydekket. I oppgaven erstattes de manglende dataene (1988-2004) med observasjoner av skydekket fra Oslo Blindern. En sammenligning av månedsverdier av skydekket på de to stasjonene i årene 1980-1987 viser at ingen måneder har en differanse som er større enn $0,8/8$. I gjennomsnitt for alle månedene er det $0,3/8$ mindre skydekke på Ås enn i Oslo. For juni 1997 mangler verdier av skydekket på Oslo Blindern, derfor benyttes observasjoner av skydekket fra Fornebu. Ingen av erstatningsmålingene er justert i forhold til målingene på Ås.

Kortbølget stråling (globalstråling)

For Ås benyttes målinger av globalstråling fra 1976 til 2004. Instrumentene ble flyttet da Norges Landbrukshøgskole overtok ansvaret for stasjonen. Det er ikke utført noen form for homogenitetstest på denne dataserien, og det finnes heller ikke noen overlappingsperiode hvor det er gjort målinger av stråling på flere lokaliteter. Av den grunn er det ikke mulig å vite om serien inneholder inhomogeniteter, men det er ingen grunn til å tro at flyttingen av stasjonen førte til merkbare endringer i horisonthøyden (figur 3-2).

Langbølget stråling

Denne stasjonen har ikke målinger av langbølget utstråling eller atmosfærisk tilbakestråling, og verdiene beregnes på grunnlag av ligning 3-7 og 3-8.

Blomstring

Blomstringstidspunkt for Gravenstein og Summerred er samlet av Finn Måge ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, og tabell 3-1 (side 15) viser hvilke perioder registreringene benyttes i oppgaven.

Ballongstadiet defineres som dagen da midtblomsten i blomsterklasen er i ferd med å åpne seg, og kronbladene står som en ballong over de indre blomsterorganene (Haugsvær, 2003). Figur 3-4 viser ballongstadiet, som bestemmer tidspunktet for første blomst på Ås.



Figur 3-4 Ballongstadiet for Gravenstein (Haugsvær, 2003)

3.3. Bergen

Bergen (60°24'N, 05°19'E) har beliggenhet på vestkysten av landet (figur 3-1).

Målingene er ikke utført på samme sted i hele perioden 1910-2004, men alle målingene er foretatt nær Bergen sentrum. I perioden 1910-1984 benyttes meteorologiske målinger fra Fredriksberg (figur 3-5). I november 1940 ble stasjonen flyttet midlertidig til Pleiestiftelsen på grunn av krigen, men den ble flyttet tilbake i desember samme år (Ø. Nordli (met.no), PK).

På Florida startet målinger i 1949, og dette var da en av de første automatiske stasjonene i landet. Mange av målingene i de første årene er derfor svært usikre, blant annet for nedbør og temperatur. Av denne grunn benyttes data fra Fredriksberg så lenge som mulig (Dag Kvamme og Øyvind Nordli (met.no), PK).

I januar 1983 startet Florida stasjon, som ligger i nærheten av Store Lungegårdsvann, de offisielle meteorologiske målingene i Bergen. På denne stasjonen ble det utført målinger parallelt med stasjonen på Fredriksberg frem til februar 1985, da sistnevnte ble nedlagt.

Strålingsmålingene er foretatt av Geofysisk Institutt. Strålingsobservatoriet har i hele perioden vært plassert i tårnet på Geofysisk Institutt, og målingene strekker seg tilbake til midten av 1960-tallet.

Temperatur

Månedsmiddeltemperaturene for Bergen er i sin helhet hentet fra Meteorologisk Institutt sin klimadatabase *eklima*⁷. Unntaket er februar 1928, hvor verdien mangler, og i denne måneden benyttes et aritmetisk middel av de 28 døgnmiddeltemperaturene.



Figur 3-5 Meteorologiske stasjoner i Bergen (reprodusert fra Statens kartverk et al., 2005)

⁷ <http://www.met.no/eklima>

Dataserien for Bergen er ikke homogen, siden stasjonen har vært flyttet. Det er også andre årsaker til inhomogeniteter i denne serien. For interesserte henvises det til Nordli (1997) som har foretatt en homogenisering av temperaturserier fra flere av de norske stasjonene, blant annet fra Bergen.

Homogeniseringen er gjort med utgangspunkt i månedsmiddeltemperaturer, men den samme prosedyren kan i oppgaven benyttes til å homogenisere middelverdier for ti dager (Øyvind Nordli (met.no, PK). Døgnmiddeltemperaturene er ikke homogenisert, da dette er et langt mer komplisert arbeid. Homogeniseringen av temperaturserien foregår ved å benytte en lineær formel til å justere temperaturen på Fredriksberg slik at den blir lik temperaturen på Florida.

Det tas først og fremst hensyn til at Puddefjorden har en avdempende innflytelse på temperatursvingningene, på grunn av vannets høye varmekapasitet og termiske treghet. Dette gjør merkbare utslag på målingene på Fredriksberg og Florida, ved at det er kaldere om vinteren på Florida enn på Fredriksberg, spesielt når det er klarvær og stille. Om sommeren har imidlertid fjorden mindre effekt på temperaturen (Det norske meteorologiske institutt, 1957).

Urbanisering og fremvekst av byen vil også spille inn på temperaturmålingene. Det har vært en ekstra oppvarming i Bergen i forhold til nabostasjonene om våren som kan forklares med at stasjonen ligger sentralt i en by som har vært mye i vekst. Fra 1910 til 1994 skyldes ca 0,25° C av temperaturøkningen i Bergen urbanisering (Nordli, 1997). Siden trenden ikke viser seg om vinteren, kan ikke årsaken være varme i forbindelse med forbrenning. Mer trolig er det at mer bygningsmasse fører til lavere albedo, og derfor blir mer av solinnstrålingen absorbert. I tillegg kjennetegnes overflater som asfalt og betong ved at de omdanner strålingsenergi til følbare varme i større grad enn for fuktige overflater, som det finnes mer av utenfor byen (Oke, 1982). Nordli (1997) antyder også at veksten av store trær på Fredriksberg kan ha vært med på å gi denne stasjonen en temperaturøkningen i forhold til nabostasjonene.

De lineære ligningene som er brukt til justering av temperaturen er hentet fra Nordli (1997).

Etter å ha justert temperaturseriene av tidagers- og månedsmiddelverdier, er de nå antatt homogene.

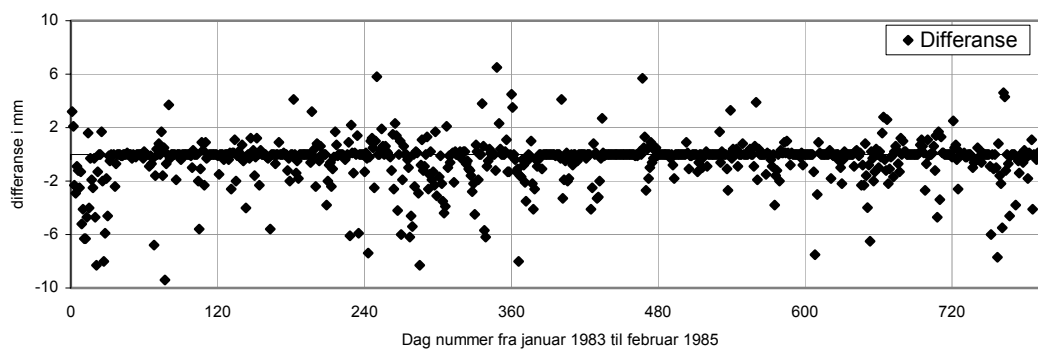
Nedbør

Nedbørsmålingene i perioden 1910-1984 er hentet fra stasjonen på Fredriksberg.

Florida startet ikke sine offisielle nedbørsmålinger før i 1983, selv om målingene tok til i 1949. De første årene var imidlertid nedbørsmålingene på Florida av svært varierende kvalitet. For eksempel ble nedbøren målt i tårnet på Geofysisk Institutt, som ligger mer enn 30 meter høyere enn dagens målinger, med en automatisk registrering der målebegeret ikke ble tømt før nedbørshøyden nådde

10 mm. Dette medførte i enkelte perioder at mye av nedbøren fordampet før målebegeret ble tømt. I oppgaven benyttes derfor målinger fra Fredriksberg til og med 1984, og målinger fra Florida etter dette. Ifølge Førland og Bauer (1992) er nedbørsserien fra Fredriksberg homogen i perioden 1910-1984, og bruddet som eventuelt fører til inhomogenitet skjer når Florida overtar driften i 1985, men dette faller utenfor deres homogenitetstest.

I overgangsperioden januar 1983 til februar 1985 finnes det nedbørsmålinger både fra Fredriksberg og Florida. En sammenligning på månedsbasis viser samme tendens som i nedbørsnormalene for Bergen, der Florida har ca 5-15 mm mer nedbør per måned enn Fredriksberg (Førland, 1993). Siden overgangsperioden er forholdsvis kort blir sammenligningen ikke omfattende nok til å forsvare en nedjustering av nedbørsmengden på Florida. For å få sikrere anslag må en større homogenitetstest gjennomføres, noe som blir for omfattende for denne oppgaven. Likevel må det i diskusjonen av resultatene tas hensyn til forskjellen i nedbørsmengde mellom Fredriksberg og Florida. Figur 3-6 viser differansene i nedbør mellom Fredriksberg og Florida. En negativ differanse svarer her til at det er mer nedbør på Florida enn på Fredriksberg. I 91% av dagene i perioden er differansen mindre enn 3 mm i døgnet (absoluttverdi).



Figur 3-6 Differanse i nedbørsmengder mellom Fredriksberg og Florida, jan 83 – febr 85

Skydekke

Siden skydekket er manuelt observert er observasjoner av skydekket fra Florida benyttet i perioden 1976-2004, selv om stasjonen først ble offisiell i 1983.

Kortbølget stråling (globalstråling)

Instrumentene har hatt samme plassering i hele perioden, og dataene utgjør derfor en homogen serie. Dataene er hentet ut fra Geofysisk instituttet sin database for strålingsmålinger⁸.

Langbølget stråling

Målingene av atmosfærisk tilbakestråling utgjør en homogen serie som det er mulig å hente ut av den nevnte databasen til Geofysisk Institutt, og de er beregnet ut fra strålingsinstrumentets temperatur (Skartveit et al., 1999).

Manglende verdier i langbølget stråling er beregnet ved ligning 3-7 og 3-8, med lufttemperaturen målt i tårnet på Geofysisk Institutt som input. Når målingene av både langbølget stråling og temperatur i tårnet mangler, må Meteorologisk Instituttets temperaturmåling benyttes i beregningene. Etter 1983 er denne temperaturen målt i den offisielle hytten to meter over bakken, mens strålingsinstrumentene i tårnet er plassert omtrent 30 meter høyere oppe, noe som vil gi usikkerhet i de beregnede verdiene. Både temperaturen målt i tårnet og temperaturen målt i den offisielle hytten vil avvike fra instrumentets temperatur.

Tabell 3-2 viser et eksempel på usikkerheten i atmosfærisk tilbakestråling og langbølget utstråling dersom det antas et avvik i temperaturen på 1°C og 5°C, når temperaturen er 0°C og 15°C. Et slikt avvik i temperaturen kan oppstå siden det både benyttes temperaturer målt i Meteorologisk Instituttets hytte, temperaturer målt i tårnet på Geofysisk Institutt og instrumentets temperatur. I de fleste tilfellene vil forskjellen i temperatur være nærmere 1°C enn 5°C.

Tabell 3-2. Eksempel på usikkerhet i langbølget stråling når ulike temperaturer benyttes i beregningene

Temperatur (°C)	Endring i temperatur (°C)	Usikkerhet i LB↓ (%)	Usikkerhet i LB↑ (%)	
0	1	1,6	1,5	(Tilsvarende vinter)
0	5	8,4	7,5	
15	1	1,5	1,4	(Tilsvarende sommer)
15	5	7,8	7,1	

⁸ <http://www.gfi.uib.no/solbase>

3.4. Leikanger

Leikanger (61°11'N, 06°52'E) ligger på nordsiden av Sognefjorden, i Sogn og Fjordane fylke (figur 3-1). På Leikanger ble det etablert en nedbørsstasjon i allerede i 1896, og frem til 1929 ble det kun målt nedbør. Siden døgnverdiene ikke er digitalisert, er det imidlertid vanskelig å benytte noe annet enn månedsverdier. Stasjonen er en klimastasjon, uten måling av lufttrykk. Slike målinger trengtes heller ikke siden det ble foretatt trykkmålinger på Vangsnes, på den andre siden av Sognefjorden. Derimot startet målingen av temperatur og en del andre parametere i 1929 (Elin Lundstad (met.no), PK). I starten stod Meteorologisk Institutt for driften av stasjonen, som var plassert på Statens forsøkgård Njøs (Det norske meteorologiske institutt, 1957).

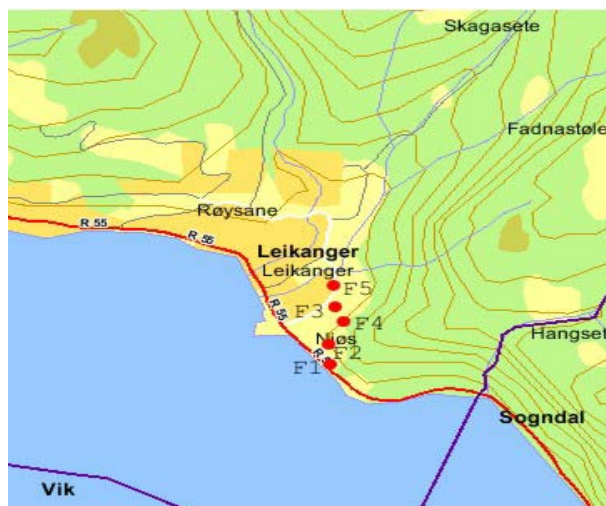
Stasjonen endret lokalitet i 1968, og ble da flyttet 300 meter mot nord-nordøst, fra en høyde på 22 meter til 53 meter over havet (Øyvind Nordli (met.no), PK).

I 1990 tok Planteforsk over driften av stasjonen, samtidig som den ble flyttet, og stasjonsnavnet ble endret til Njøs. Denne flyttingen har trolig ført til en inhomogenitet i målingene, men det er ikke utført noe testing av dette i det nye datamaterialet.

Registreringene av tidspunkt for første blomstring i Gravenstein er ikke gjort samme sted på stasjonen i hele perioden, siden det finnes flere felt med frukttrær. Totalt benyttes observasjoner fra fem ulike felt (tabell 3-3). Feltene er avmerket på figur 3-7 (Skaar (Geofysisk Institutt) og Hjeltnes (Planteforsk), PK).

Tabell 3-3. Felt med registrering av blomstring på Njøs, og hvilke periode som er benyttet i oppgaven.

	Navn	Koordinat		Eplesort	Observasjonsår benyttet
Felt 1	Korngarden	354157N	43556Ø	Gravenstein	1929-30, 74-77.
Felt 2	Fjøsbakken	354232N	43544Ø	Gravenstein	1931-58.
Felt 3	Askekongen	354450N	43547Ø	Gravenstein	1959-73, 78-79, 84-88, 04.
Felt 4	Purka	354387N	43580Ø	Gravenstein	1980-82.
Felt 5	Byglagarden	354548N	43545Ø	Gravenstein	1989-03.



**Figur 3-7 Kart over frukthager på Njøs
(Reprodusert fra Statens kartverk et al., 2005)**

Temperatur

På grunn av flyttinger av stasjonen utgjør ikke temperaturmålingene en homogen serie, og det er ingen som har gjort noe arbeid for å homogenisere denne dataserien. Ifølge Øyvind Nordli viste en test av serien hos Meteorologisk Institutt en inhomogenitet i serien i 1968. Inhomogeniteten skyldtes en flytting av temperaturhytten, men det ble ikke gjort noen justeringer av serien i den forbindelse. Dessuten fikk serien et nytt brudd datastasjonen ble overtatt og flyttet av Planteforsk i 1990.

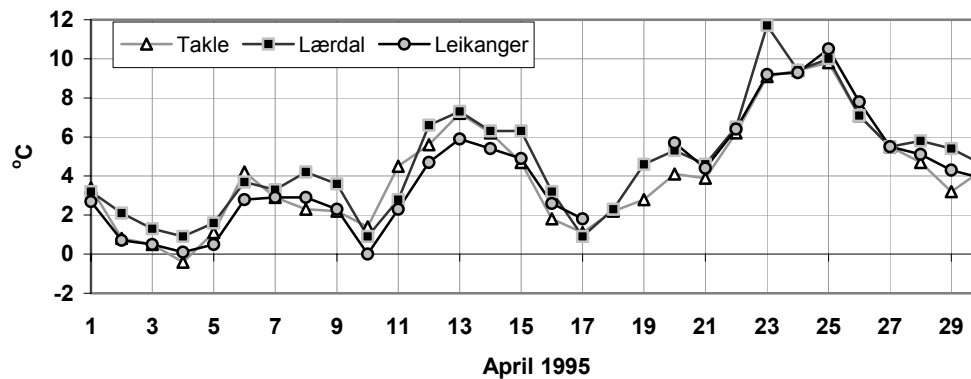
Siden det ikke er noen overgangsperiode der det er målinger både på den gamle og den nye lokaliteten, er det ikke mulig å se hvilke forskjeller det er i temperaturen på de ulike lokalitetene til stasjonen. Serien er inhomogen, og den egner seg derfor lite til trendanalyser, noe som må tas hensyn til i diskusjon av resultatene.

Leikanger mangler en del temperaturmålinger i 1990. For å erstatte de manglende målingene benyttes målinger fra Vangsnes. Vangsnes er en bygd på sørsiden av Sognefjorden, rett ovenfor Leikanger. I april 1995 og februar 1996 mangler også en del målinger på Leikanger, men da er Vangsnes stasjon nedlagt. Balestrand er den stasjonen som ligger nærmest Leikanger, og som burde vært benyttet der data mangler. Denne stasjonen ble imidlertid ikke opprettet før i 1994, og i 1995 og 1996 mangler den data på de samme dagene som Leikanger. Det er svært få meteorologiske stasjoner langs Sognefjorden som har temperaturmålinger på de dagene Leikanger

mangler målinger, og de eneste stasjonene som kan benyttes er Lærdal og Takle. En enkel sammenligning av data fra Leikanger, Lærdal og Takle viser at temperaturforholdene på Takle er mest lik forholdene på Leikanger de to aktuelle månedene, og derfor benyttes data fra denne stasjonen. Figur 3-8 viser sammenligningen for april 1995, og en tilsvarende sammenligning for februar 1996 viser samme resultat.

Årsaken til at Takle ikke benyttes for manglende data på Leikanger også i 1990, er at Vangsnes har temperaturforhold som er mer lik forholdene på Leikanger, enn hva de er på Takle. Dette kommer også frem i temperaturnormalene (Aune, 1993).

Erstatningsdataene er ikke justert i forhold til temperaturdata fra Leikanger.



Figur 3-8 Sammenligning temperatur Leikanger, Lærdal og Takle, april 1995

Minimumstemperatur

Enkelte dager er ikke minimumstemperaturen avlest, og disse dagene er erstattet med målinger fra stasjonene på Vangsnes og Takle, som for temperaturmålinger.

For enkelte dager er minimumstemperaturen litt høyere enn middeltemperaturen (ca 0,5° C forskjell). Dette er vanskelig å undersøke nærmere, siden ferdigberegnete døgnverdier er mottatt, og observasjonene ikke har vært tilgjengelige.

Nedbør

Nedbørsserien for Leikanger er homogen i perioden 1910-1990 (Førland og Bauer, 1992). Bruddet som eventuelt kan føre til at serien er inhomogen oppstod i 1990 da Planteforsk overtok og flyttet stasjonen. Dette er det ikke gjort noen justeringer for.

Siden det ikke finnes noen overgangsperiode der det måles nedbør både på den gamle og den nye lokaliteten på Leikanger, er det ikke mulig å finne ut om nedbørsmengdene er forskjellig på de to lokalitetene.

For mange av de dagene som stasjonen mangler temperaturmålinger, mangler den også nedbørsmålinger. Balestrand stasjon ble opprettet i 1994, og de manglende målingene i april 1995 og februar 1996 blir erstattet av målinger fra derfra. For de manglende målingene i februar, mars og april 1990 må en annen stasjon benyttes, og da er Vangsnes den mest nærliggende. I februar og mars 1992 er det registrert 0,0 mm nedbør alle dager, noe som trolig er manglende målinger, siden automatstasjonen da var nyopprettet. Som erstatning brukes nedbørsmålinger fra Vangsnes begge månedene, og til sammenligning har Vangsnes og Leikanger registrert nedbør på de samme dagene i april 1992.

4. juni 2002 er det registrert 139,9 mm nedbør på Leikanger, men denne verdien endres til 0,0 mm i oppgaven, da andre registrerte parametere tyder på at dette er en dag der automatstasjonen ble testet.

Skydekke

Det benyttes digitaliserte døgnverdier av observert skydekke for stasjonen i perioden 1976-1990. Som tidligere nevnt overtok Planteforsk stasjonen på Leikanger i 1990, og det ble da slutt på observasjoner av skydekket. I oppgaven erstattes de manglende verdiene av skydekke i perioden 1991-2004 av observasjoner fra stasjonen i Fjærland (Skarestad). En sammenligning av månedsverdier av skydekket for de to stasjonene i perioden 1980-1990 viser at i tre av fire dager er forskjellen i skydekke mindre enn $1,5/8$. På de fleste av disse dagene er det observert mest skyer på Leikanger, selv om nedbørnormalene i Førland (1993) viser at det er omtrent dobbelt så mye nedbør i Fjærland.

Ingen av erstatningsmålingene er justert i forhold til målingene på Leikanger.

Kortbølget stråling (globalstråling)

Måling av globalstråling startet ikke før i 1991 og for perioden 1976-1990 må derfor globalstråling beregnes. Dette er gjort av Endre Skaar (Geofysisk Institutt), og fremgangsmåten er beskrevet i Laupsa (1997). Verdiene av globalstråling ble beregnet ut fra observert skydekke, men modellen tar ikke hensyn til at det er stråling (diffus) når solen er under horisonten, og verdiene for globalstråling vil bli lavere enn målte verdier.

Fra 1991 og frem til 2004 brukes målte verdier av globalstråling. I denne perioden er det ikke observert skydekke på stasjonen, derimot er solskinnstid registrert. Beregninger gjort av Endre Skaar (Geofysisk Institutt) for eventuelle manglende strålingsverdier i perioden etter 1990 er basert på skymengde beregnet ut fra registrert solskinnstid.

Kvaliteten på dataserien fra Leikanger er ikke av like god som dataseriene fra Bergen og Ås, siden den er beregnet ut fra skydekke og solskinnstid.

Langbølget stråling

For Leikanger er langbølget stråling ikke målt. Alle verdier på stasjonen beregnes ut fra ligning 3-7, 3-8 og målt lufttemperatur.

Blomstring

For Leikanger har Stein Harald Hjeltnes og Endre Skaar ved Planteforsk samlet og satt sammen en dataserie med tidspunkt for første blomst for Gravenstein tilbake til 1927. I oppgaven benyttes data fra 1929, da de meteorologiske observasjonene på Leikanger startet.

På Leikanger regnes første blomst når primærblomsten åpner seg (se illustrasjon på figur 3-9).

Ifølge Stein H. Hjeltnes (Planteforsk Njøs, PK) skjer dette normalt tre til fem dager etter at ballongstadiet er registrert, men det kan skje fra en dag til en uke etter ballongstadiet. Dette er ikke av betydning for resultatene siden tidspunktet for første blomst på Ås og Leikanger ikke skal sammenlignes.



Figur 3-9 Førsteblomsstadiet (Heiberg)

Tabell 3-3 (side 32) viser en oversikt over felt med registrert blomstring på Leikanger, og i hvilke perioder registreringer fra de ulike feltene er benyttet i oppgaven.

Felt F1 (Korngården) skiller seg ut ved at feltet er plassert mer sørvendt enn de andre feltene.

Derfor vil solen komme litt tidligere på morgenen, og tidspunktet for første blomst kan skje en til to dager tidligere enn på de andre feltene (Hjeltnes (Planteforsk), PK). Derfor benyttes færrest mulig registreringer fra Korngården, og for de årene registreringene ble benyttet blir det lagt til en dag for å homogenisere serien.

I 1982 ble det ikke registrert tidspunkt for blomstring for Gravenstein, og dato for første blomst for Summerred (fra felt F4) erstatter den manglende observasjonen for Gravenstein. Dette er trolig en god tilnærming siden felt F4 har samme dato for Summerred som for Gravenstein i 1980 og 1981. For 1983 mangler dagboken, og det er derfor umulig å skaffe registrering av blomstring i epletrær på Leikanger. I følge Hjeltnes (PK) er tidspunktet for første blomst for pæresorten Moltke nærmeste referanse til Gravenstein. I oppgaven legges det til en middelvei av forskjellen i antall dager mellom blomstringstidspunkt for Gravenstein og Moltke i årene 1980-1985. Ved å legge til denne middelveien, som blir 4 dager, blir tidspunktet for første blomst for Gravenstein dag nummer 140 i 1983.

Når justeringene er foretatt, er dataserien antatt homogen i årene 1929-2004.

4. Metode og metodediskusjon

4.1. Statistiske metoder

I oppgaven er det benyttet ulike statistiske metoder. Noen av metodene er brukt til å finne korrelasjonskoeffisienter og trender, andre til å teste om resultatene er signifikante eller ikke. Det antas at de ulike parametrene er uavhengige og normalfordelte. Uavhengighet er oppfylt siden forskjeller fra år til år undersøkes, som eksempel avhenger ikke nedbøren i mars ett år av nedbøren i mars året før. En dataserie er dessuten tilnærmet normalfordelt når $n \geq 30$ (Walpole et al., 2002). I oppgaven er det delt inn i perioder fra 1910-1945 ($n = 36$), 1946-1975 ($n = 30$) og 1976-2004 ($n = 29$). For disse periodene er kravet om normalfordeling med stor sannsynlighet oppfylt. For perioden 1929-1945 ($n = 17$) antas det i oppgaven å være normalfordelte data, men i en større undersøkelse må det her testes nærmere for normalfordeling.

4.1.1. Korrelasjon

En korrelasjonskoeffisient, som varierer i verdi mellom -1 og $+1$, beskriver hvor god eller dårlig sammenhengen er mellom to uavhengige parametere. Det er en perfekt lineær sammenheng når koeffisienten er enten $+1$ eller -1 (Campbell and Machin, 1999).

$+1$ betyr at begge parametrene øker (minker) samtidig.

-1 betyr at den ene parameteren øker når den andre minker.

0 betyr at det ikke er noe sammenheng mellom de to parametrene.

Korrelasjonskoeffisienten ρ_{XY} mellom parametrene X og Y gitt ved (Walpole et al., 2002):

$$\rho_{XY} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \times \sigma_Y} \quad [4-1]$$

der σ_{XY} er kovariansen mellom X og Y , mens σ_X og σ_Y er standardavvik i x og y , respektivt.

Videre kan prøvens bestemmelseskoefisient, ρ_{XY}^2 , finnes.

ρ_{XY}^2 uttrykker hvor mye av den totale variasjonen i variabelen Y som kan forklares av lineær sammenheng med variabelen X .

Eksempel: En korrelasjon $\rho_{XY} = 0,6$ gir en bestemmelseskoefisient $\rho_{XY}^2 = 0,6 \times 0,6 = 0,36$. Dette betyr at 36 % av variasjonene i verdiene til Y kan forklares av lineær sammenheng med X (Walpole et al., 2002).

4.1.2. Signifikanstest av korrelasjonskoefisienten

Selv om korrelasjonskoefisienten er høy, og således forklarer mye av variasjonen, er det ikke sikkert den er statistisk sikker. En signifikanstest vil da avgjøre hvor stor sannsynligheten er for at sammenhengen mellom de to variablene X og Y er tilfeldig eller ikke.

Det finnes en sammenheng mellom de to variablene som ikke er tilfeldig hvis korrelasjonskoefisienten er signifikant ulik null. Sannsynligheten for at denne sammenhengen oppstår ved en tilfeldighet når det ikke er noen sammenheng mellom variablene, er mindre enn det valgte signifikansnivået (Campbell and Machin, 1999). I oppgaven er det valgt å teste om korrelasjonene er signifikant på 1%, 5% og 10% nivå, der 1% angir den statistisk sikreste sammenhengen.

Metoden som benyttes for å gjennomføre denne testen, er en t-test (Campbell and Machin, 1999). Det antas som nullhypotese at korrelasjonskoefisienten er lik null. Deretter beregnes en test verdi (t-verdi), og det slås opp i en tabell for å finne hvilket nivå verdien eventuelt er signifikant på. Dersom verdien er signifikant på ønsket sannsynlighetsnivå, kan nullhypotesen forkastes. Den alternative hypotesen, at det finnes en sammenheng mellom variablene, er da statistisk sikker (signifikant).

t-verdien beregnes ut fra ligning 4-2 (Campbell and Machin, 1999):

$$t_1 = \frac{\rho_{XY}}{\sqrt{\frac{1 - \rho_{XY}^2}{n - 2}}} \quad [4-2]$$

der $n-2$ er antall frihetsgrader, og n er antall verdier i dataserien.

t-verdien avhenger både av korrelasjonskoeffisienten og antall data, slik at for en lang dataserie kan sammenhengen være signifikant med lavere korrelasjonskoeffisient enn i en kort dataserie. Dette er logisk, siden det i en kort dataserie er større sjanse for at tilfeldigheter kan spille inn og gi en overdrevet god sammenheng.

Nivået t-verdien er signifikant på, finnes i en t-tabell (for eksempel Walpole et al., 2002). t-verdien er signifikant på et gitt signifikansnivå dersom den beregnede verdien er høyere enn verdien i tabellen, for et gitt antall frihetsgrader. I t-tabellen oppgis t-verdier for utvalgte frihetsgrader. Dersom ønsket antall frihetsgrader mangler i tabellen, vil det gi en ekstra sikkerhetsmargin å benytte et lavere antall frihetsgrader.

4.1.3. Beregning av trender

Utvikling og endring av en variabel i tid finnes ved å studere trender.

En lineær trendlinje viser utviklingen over tid, og beregnes ved hjelp av minste kvadraters metode. Denne metoden gir linjen best mulig tilpasning til dataserien. Linjen gis av ligning 4-3:

$$y = a + bx. \quad [4-3]$$

Her er y er den avhengige variabelen, mens x er den uavhengige variabelen.

a er linjens skjæringspunkt med y-aksen, og b er linjens stigningstall.

4.1.4. Signifikanstest av trender (regresjonsanalyse)

For å teste om en trend i dataserien er signifikant, benyttes en t-test kalt regresjonsanalyse (Campbell and Machin, 1999).

Regresjonskoeffisienten [b], som er en lineært tilpasset trendlinjes stigningstall, er gitt ved:

$$b = \frac{\sum (x - x_m)(y - y_m)}{\sum [(x - x_m)^2]} \quad [4-4]$$

der x_m og y_m er middelveidier til variablene X og Y .

I nullhypotesen antas det at b er lik null, det vil si at det ikke er noen trend i dataserien. For å teste om nullhypotesen holder, beregnes en testvariabel, t_2 :

$$t_2 = \frac{b}{\sqrt{\frac{\sum[(y - y_m)^2] - b^2 \sum[(x - x_m)^2]}{(n - 2)\sum[(x - x_m)^2]}}} \quad [4-5]$$

der $n-2$ er antall frihetsgrader, og n er antall verdier i dataserien.

Dersom den beregnede t-verdien er høyere enn verdien i t-tabellen, for ønsket sannsynlighetsnivå og riktig antall frihetsgrader, er verdien signifikant. Det betyr i så tilfelle at nullhypotesen kan forkastes, og den alternative hypotesen er korrekt. I den alternative hypotesen antas det at b er ulik null, altså at det er en trend i dataserien. En signifikant trend betyr at det er mindre enn 1% (eller annet valgt signifikansnivå) sjanse for at denne trenden kunne ha oppstått ved tilfeldigheter.

4.1.5. Midlere absolutt avvik (MAA)

Når resultatet fra en modell skal sammenlignes med observerte verdier, er det nødvendig å ha et mål på hvor god modellen er, og det midlere absolute avvik (MAA) gir et slikt mål. En lav MAA verdi viser at modellens resultater og observasjonene stemmer godt overens.

Midlere absolutt avvik beregnes ved:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - z_i| \quad [4-6]$$

der z angir observerte verdier, x angir modellens verdier og n er antall observasjoner.

4.2. Korrelasjon mellom NAO-indeks, temperatur og nedbør

Sammenhengen mellom månedsmidler av NAO-indeks, temperatur og nedbør på de tre utvalgte stasjonene ble undersøkt. Da NAO-indeksen er en regional klimaindikator basert på storstilte trykkvariasjoner, vil den ikke klare å fange opp lokale trykkforskjeller på kortere tidsskala. Sammenhengen mellom temperatur og NAO-indeks i hver av månedene februar til juni i de tre hovedperiodene ble undersøkt ved en signifikanstest av korrelasjonskoeffisienten. Det ble også beregnet hvor stor prosentandel av variasjonene i temperatur som kan forklares av NAO-indeksen. Samme undersøkelse ble gjort for sammenhengen mellom nedbør og NAO-indeks.

4.3. Undersøkelse av trender

Tidsutviklingen av de meteorologiske parametrene (kapittel 3), for ulike deler av perioden 1910-2004 ble studert. Siden oppgaven omhandler starttidspunktet for våren og vekstsesongen vil endringer i perioden februar til juni undersøkes.

Tidligere er endringer i lufttrykket om våren omtalt (kapittel 2), men da for en kortere tidsperiode, 1955-1994 (Grønås og Strand, 2001). Her vises det at tidspunktet for en overgang fra vinter- til vårsirkulasjon har endret seg. For å oppnå en mer detaljert beskrivelse av når på våren disse endringene i lufttrykket forekommer, blir det i denne oppgaven prøvd kortere middelperioder enn en måned.

Lavtrykk og høytrykk har en typisk levetid på fire til fem døgn. Av den grunn lages først middelveier av lufttrykket for perioder på fem dager, med start 1. februar, men dette gir et litt for detaljert bilde av situasjonen. Derfor vil middelveier for perioder på ti dager, med start 1. februar, bli studert. Tidagersmiddel gir færre detaljer enn for fem dager, men de er mer detaljert enn de tidligere benyttede månedsmidlene.

For alle de valgte meteorologiske parametrene beregnes en lineær trendlinje basert på tidagersmidlene. Størrelsen på trenden i hver av de valgte periodene finnes ved å subtrahere sluttverdien for trendlinjen fra linjens startverdi. Ut fra tidligere beskrevet signifikanstest (kapittel 4.1.4.) blir det testet om trenden er signifikant. Trender i starttidspunktet for våren, den termiske vekstsesongen og for første blomst blir også studert for de valgte periodene. For disse består dataseriene av en dato per år, og på grunnlag av denne datoen blir trendlinjene beregnet.

4.4. Modell for starttidspunkt for den termiske vekstsesongen og for våren

Meteorologisk Institutt definerer starttidspunkt for våren som den dagen der døgnmiddeltemperaturen blir høyere enn 0°C.

Den termiske vekstsesongen starter den dagen døgnmiddelet av lufttemperaturen stiger over en viss nedre terskelverdi for plantevekst. Det er enighet om at 5°C er den nedre terskelverdien som må overstiges for å sette i gang vekst i trær og planter i Europa (Førland, 2004, Vestrheim, 1974).

I litteraturen benyttes ulike modeller for å beregne start på vekstsesongen basert på temperatur. I oppgaven settes tidligste startdato for beregning av termisk vekstsesong til 1. mars, da døgnmiddeltemperaturen i Norge sjelden er høyere enn 5°C i januar og februar.

Månedsmiddeltemperaturen for mars er også sjelden høyere enn 5°C, men denne måneden har ofte mange døgnverdier høyere enn 5°C. Fruktrær har i de fleste tilfeller kommet ut av dvalen 1. januar og av den grunn er dette en vanlig startdato, men 1. mars kan likestilles med 1. januar i bruken som startdato (Vestrheim, 1974).

I oppgaven benyttes målt temperatur, og da egner modellen utviklet av Chmielewski et al. (2004) seg bedre enn metoden beskrevet i Førland (2004), ettersom den sistnevnte benytter seg av beregnede verdier av temperatur. Metoden i Førland (2004) vil derfor ikke bli nærmere beskrevet.

4.4.1. Modell for start på termisk vekstsesong

Modellen er utviklet og benyttet på data fra Tyskland (Chmielewski et al., 2004).

Den tar utgangspunkt i døgnmiddelverdier av lufttemperatur, og starter beregningene 1. januar. Siden Norge er lenger nord enn Tyskland, kan beregninger i modellen starte noe senere. Både 1. februar og 1. mars ble diskutert, og begge kunne brukes. Valget falt til slutt på 1. mars (Chmielewski (Humboldt-Universität zu Berlin), PK).

Siden det er utbredt bruk av 5°C som laveste temperatur for at veksten i planter skal starte, kalles denne temperaturen heretter terskeltemperaturen. Dette er en nedre terskeltemperatur og det finnes tilsvarende en øvre terskeltemperatur, som ligger på ca 25°C. I Norge overstiger

døgnmiddeltemperaturen svært sjelden 25°C , og derfor er øvre terskelverdi kuttet ut, noe som forenkler beregningene. De nevnte terskeltemperaturene er grenseverdier som viser når fysiologisk utvikling i planter og trær er mulig.

Modellen benytter seg av temperatursummen (T_s):

$$T_s = \sum_{i=t_1}^{t_2} (T_i - T_B) \quad [4-7]$$

der T_i er aktuell temperatur og T_B er terskeltemperatur.

Summeringen starter først når $T_i \geq 5^{\circ}\text{C}$, og foregår i maksimalt 30 døgn. Dersom summen på et tidspunkt blir negativ, avbrytes summeringen, det nullstilles, og den startes først igjen når $T_i \geq 5^{\circ}\text{C}$.

I en vellykket summering regnes første dag med $T_i \geq 5^{\circ}\text{C}$ som start på den termiske vekstsesongen. Metoden gjennomføres for alle årene i perioden 1910-2004.

Fordelen ved metoden er at den tillater at lufttemperaturen enkelte dager faller under terskeltemperaturen på 5°C selv etter at summeringen har startet, noe som vil forekomme ved bruk av målinger av lufttemperaturen. Dette gjelder spesielt for Bergen og Leikanger hvor overgangen fra vinter til vår ikke skjer like raskt som på Ås.

4.4.2. Modell for start på våren.

Starten på våren bestemmes ved modellen som er beskrevet i kapittel 4.4.1, med unntak av at 0°C benyttes som terskeltemperatur. Siden våren starter tidligere enn vekstsesongen settes 1. februar som tidligste start for beregningene.

4.5. Modell for beregning av blomstringstidspunkt i Gravenstein

For at en plante skal utvikle seg fra ett fenologisk stadium til det neste må en viss varmesum oppnås. En varmesum er summen av temperaturer mellom en nedre og en øvre terskelverdi for plantevekst, og i oppgaven benyttes samme terskelverdier som for termisk vekstsesong.

I oppgaven beregnes en slik varmesum for hvert år, og deretter beregnes den gjennomsnittlige varmesummen for alle årene. Denne varmesummen benyttes i en enkel modell, basert kun på lufttemperatur, for å finne tidspunkt for første Gravensteinblomst. Summeringen av temperatur starter når den termiske vekstsesongen starter, og den dagen den gjennomsnittlige summen er oppnådd antar vi at første blomst spretter ut. Til sist kan vi vurdere hvor godt modellen stemmer overens med observasjonene ved å regne ut midlere absolutte avvik.

Denne modellen ble utviklet for Leikanger, og stemmer selvfølgelig bra der, siden den baserer seg på de allerede observerte dataene. I neste fase testes modellen på data fra Ås, ved å benytte den gjennomsnittlige varmesummen funnet for Leikanger.

Nedre terskelverdi vil variere litt etter hvilken eplesort det gjelder, og den vil også variere med geografisk plassering av epletreet. Epletrær kan delvis tilpasse seg klimaet de lever i. Dermed kan veksten starte ved en lavere temperatur i et tre som er plassert i et kaldt klima, i forhold til et tre av samme sort som er plassert i et varmere klima. Ifølge Wielgolaski (1999) er $-0,5^{\circ}\text{C}$ den beste terskeltemperaturen å bruke for Gravenstein langs Sognefjorden, og for å få korrekt varmesum frem til første blomst bør i så tilfelle startdatoen for summasjonen være 1. april.

Derfor testes modellen også for en terskeltemperatur på $-0,5^{\circ}\text{C}$, med 1. april som startdato.

Uavhengig av valgt metode vil det ikke være mulig å oppnå en entydig varmesum i beregning av utvikling fra ett fenologisk stadium til det neste. Årsaken til dette er at flere faktorer enn lufttemperaturen spiller inn på utviklingen, blant annet jordtemperatur og tilgang til vann. (Wielgolaski, 1999). Det er ikke alltid tilstrekkelig at lufttemperaturen er over terskeltemperaturen, i tillegg trengs en viss mengde lys for å starte den fotosyntetiske aktiviteten. Dette gjelder spesielt i februar og mars, hvor de høyeste temperaturene ofte skyldes overskyet vær og regn. Wielgolaski (Universitetet i Oslo, PK) har gjort forsøk på å inkludere lysmålinger i modeller for varmesum, men det er vanskelig å oppnå en forbedring i modellene. Laupsa (1997) inkluderte globalstråling i noen av sine modeller for tidspunkt for blomstring i eple, men det førte kun til ubetydelige forbedringer av resultatene.

4.6. Ulike metoder for å bedømme fare for frostskafer i frukttrær

En global oppvarming vil trolig føre til at fenologiske faser, som tidspunktet for første blomst, kan bli fremskyndet. Det er nærliggende å forestille seg at i et varmere klima vil faren for frostskafer i frukttrær reduseres, siden temperaturene er høyere.

I sammenheng med frostskafer på frukttrær betraktes frost som et værphenomen som inntreffer når temperaturen synker under 0°C. Selv en kort periode med frost er nok til å gjøre skade på (de kommende) blomstene i frukttrærne, og frost om natten kan forekomme selv om døgnetts middeltemperatur er høyere enn 0°C.

Første blomst i frukttrærne springer ut tidligere på året i perioder med høye temperaturer, og det vil derfor trolig være større fare for at frost om natten inntreffer. Årsaken til dette er at det er kaldere luft og mindre kortbølget innstråling tidligere på året, og i en klarværsnatt vil stort strålingstap kunne føre til temperaturer under 0°C.

Frost i tiden rett før eller rett etter blomstring kan skade både blomsten og den kommende frukten. Chmielewski et al. (2004) undersøkte faren for frost i perioden ti dager etter første blomst, på utvalgte områder i Tyskland. I rapporten skilles det mellom ulike grader av frostskafer, avhengig av hvor kaldt det er. Det karakteriseres som lett fare for frostskafer når temperaturen er i intervallet $\{0, -2\}^{\circ}\text{C}$, midlere fare i intervallet $\{-2, -4\}^{\circ}\text{C}$ og sterk fare når temperaturen er under -4°C .

Undersøkelsen viser en antatt økning i antall dager med frost i perioden 2021-2050, en periode der det er forventet høyere middeltemperaturer.

På de utvalgte stasjonene i oppgaven vil fruktblomstringen forekomme forholdsvis sent på våren, men for å være på den sikre siden undersøkes likevel faren for frostskafer i perioden ti dager etter første blomst spretter ut.

Ifølge Stein Harald Hjeltnes ved Planteforsk Njøs (PK) kan det omtrent hvert 10. år forekomme en frostskafer som ser ut som "slips" på frukten (figur 4-1). Denne skaden skjer når frost forekommer på et tidlig stadium i utviklingen av blomsten. Det anbefales derfor å se om temperaturene i inntil en måned før blomstring er under 0°C, siden frost i dette tidsrommet vil være skadelig for frukten.



Figur 4-1 Frostskafer i Gravenstein epler (Sørum, 1991)

5. Resultater

Først presenteres endringer i NAO-indeksen, og endringer i denne gir uttrykk for globale klimaendringer. For å kunne si noe om globale klimaendringer gjenspeiler seg i lokalklimaet, må sammenhengen mellom NAO, temperatur og nedbør undersøkes. Videre beskrives endringer i lufttrykket i de tre hovedperiodene, 1910-1945, 1946-1975 og 1976-2004, og om disse endringene gjør at overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon skjer tidligere nå enn før. Deretter knyttes endringer i NAO og lufttrykk opp mot endringer i temperatur og nedbør. Sammen med kunnskaper om hvilke perioder det har vært stor oppvarming er det da mulig å se om globale klimaendringer viser seg som endringer også i lokalklimaet.

Med stor sannsynlighet kan ikke NAO og lufttrykk alene forklare alle endringene i temperatur og nedbør, spesielt ikke utover våren og tidlig sommer. Da skyldes endringene trolig også endringer i strålingsbalansen, og derfor undersøkes endringer i denne balansen i de samme periodene.

Konsekvenser av endringer i temperaturen kan finnes ved å undersøke trender i starttidspunkt på våren, den termiske vekstsesongen og blomstringstidspunkt i Gravenstein. Høyere temperaturer vil trolig fremskynde disse starttidspunktene. For å bekrefte sammenhengen mellom temperatur, den termiske vekstsesongen og blomstring i Gravenstein, lages en modell til beregning av blomstringstidspunktet. Til slutt undersøkes det om faren for frostskaider har endret seg som følge av en endring i temperaturen. Alle resultatene vil bli diskutert i kapittel 6.

For enkelte parametere blir også perioden 1929-1945 undersøkt. Som nevnt i kapittel 2 er årsaken til dette at Leikanger først starter sine målinger i 1929. For stråling undersøkes kun perioden 1976-2004 (se kapittel 2).

Både i tabeller og figurer vil signifikansnivåene være indikert ved:

S1 = 1% nivå (sterkeste og beste signifikans)

S5 = 5% nivå

S10=10% nivå (svakeste og dårligste signifikans)

5.1. Endringer i NAO og sammenheng mellom NAO, temperatur og nedbør

5.1.1. Endringer i NAO

Middelverdier og endringer i NAO-indeksen i hovedperiodene presenteres i tabell 5-1a, mens resultater for den kortere perioden presenteres i tabell 5-1b. I begge tabellene indikerer + en positiv trend og – en negativ trend.

Tabell 5-1a. Middelverdier og trender for NAO

	1910-1945		1946-1975		1976-2004	
	Middel	Trend	Middel	Trend	Middel	Trend
Februar	0,9	+ S10	0,2	-	1,1	+ S10
Mars	0,0	-	-0,2	-	0,9	-
April	0,2	-	0,5	- S1	-0,3	+
Mai	-0,1	-	-0,2	+ S10	-0,4	+
Juni	-0,6	-	0,0	+	-0,4	-

Tabell 5-1b. Middelverdier og trender for NAO

	1929-1945	
	Middel	Trend
Februar	0,2	+
Mars	-0,2	+
April	-0,3	+ S5
Mai	0,0	+
Juni	-0,5	+

NAO-indeksen var positiv i februar i alle periodene, men periodene 1910-1945 og 1976-2004 hadde de største positive middelverdiene. I mars har NAO-indeksen fortsatt en stor positiv verdi i perioden 1976-2004, mens den har blitt null eller negativ i de andre periodene.

I april varierer NAO-indeksen mellom å være positiv og negativ i de ulike periodene, mens den i mai og juni enten er null eller negativ for alle periodene. Legg spesielt merke til at NAO-indeksen i periodene 1910-1945 og 1976-2004 skifter relativt brått fra positive til negative verdier.

5.1.2. Sammenheng mellom NAO og temperatur

Perioden 1910-1945

Tabell 5-2. Sammenheng mellom NAO og temperatur i perioden 1910-1945. – betyr ikke signifikant

	Periode	Korrelasjon	Signifikansnivå	Forklart varians (%)
Februar				
Leikanger	1929-1945	0,40	S10	16
Bergen	1929-1945	0,44	S5	19
Ås	1929-1945	0,42	S5	18
Bergen	1910-1945	0,48	S1	23
Ås	1910-1945	0,47	S1	22
Mars				
Leikanger	1929-1945	0,67	S1	45
Bergen	1929-1945	0,74	S1	55
Ås	1929-1945	0,75	S1	56
Bergen	1910-1945	0,75	S1	56
Ås	1910-1945	0,75	S1	56
April				
Leikanger	1929-1945	0,25	-	6
Bergen	1929-1945	0,26	-	7
Ås	1929-1945	0,51	S5	26
Bergen	1910-1945	0,17	-	3
Ås	1910-1945	0,36	S5	13
Mai				
Leikanger	1929-1945	0,08	-	1
Bergen	1929-1945	-0,11	-	1
Ås	1929-1945	0,34	S10	12
Bergen	1910-1945	0,01	-	0
Ås	1910-1945	0,30	S5	9
Juni				
Leikanger	1929-1945	-0,06	-	0
Bergen	1929-1945	0,05	-	0
Ås	1929-1945	0,13	-	2
Bergen	1910-1945	0,03	-	0
Ås	1910-1945	0,12	-	1

Tabell 5-2 gir korrelasjoner mellom NAO-indeks og temperatur på de utvalgte stasjonene.

Periodene 1910-1945 og 1929-1945 kommenteres under ett, siden resultatene er relativt like for begge periodene. Korrelasjonene er litt svakere for den korteste perioden.

For alle månedene er de signifikante korrelasjonene mellom temperatur og NAO-indeks positiv, slik at en positiv indeks henger sammen med høye temperaturer, mens en negativ indeks henger sammen med lave temperaturer. I februar og mars er det en statistisk sikker sammenheng mellom temperatur og NAO-indeks for de tre stasjonene, og mellom 16% og 56% av variasjonene i temperaturen målt på stasjonene har en sammenheng med endringer i NAO-indeksen.

Korrelasjonen for april er svakere enn for februar og mars, men den er fortsatt positiv for alle stasjonene. Bare for Ås er sammenhengen statistisk sikker, og kun 10% til 20% av variasjonene i temperaturen målt på stasjonene har en sammenheng med endringer i NAO-indeksen.

I mai svekkes sammenhengen ytterligere, men den er fortsatt signifikant for Ås.

Juni viser ikke signifikant korrelasjon mellom temperatur og NAO-indeks for noen av stasjonene.

Perioden 1946-1975

Tabell 5-3. Sammenheng mellom NAO og temperatur i perioden 1946-1975. – betyr ikke signifikant

	Periode	Korrelasjon	Signifikansnivå	Forklart varians (%)
Februar				
Leikanger	1946-1975	0,71	S1	50
Bergen	1946-1975	0,77	S1	59
Ås	1946-1975	0,64	S1	41
Mars				
Leikanger	1946-1975	0,69	S1	48
Bergen	1946-1975	0,70	S1	49
Ås	1946-1975	0,63	S1	40
April				
Leikanger	1946-1975	0,03	-	0
Bergen	1946-1975	0,02	-	0
Ås	1946-1975	-0,13	-	2
Mai				
Leikanger	1946-1975	-0,13	-	2
Bergen	1946-1975	-0,25	S10	6
Ås	1946-1975	-0,12	-	1
Juni				
Leikanger	1946-1975	-0,42	S5	18
Bergen	1946-1975	-0,40	S5	16
Ås	1946-1975	-0,16	-	3

Korrelasjoner mellom temperatur og NAO-indeks i denne perioden er gitt i tabell 5-3.

I februar og mars er det, som i forrige periode, en signifikant positiv korrelasjon. Omtrent 50% av variasjonene i temperatur har en sammenheng med endringer i NAO-indeksen. For april er korrelasjonen ikke signifikant. I mai denne perioden er korrelasjonen negativ for alle tre stasjonene, men den er kun signifikant for Bergen, og da på laveste signifikansnivå. Juni viser en sterkere negativ korrelasjon enn mai og den er signifikant både for Bergen og Leikanger.

Perioden 1976-2004

Tabell 5-4. Sammenheng mellom NAO og temperatur i perioden 1976-2004. – betyr ikke signifikant

	Periode	Korrelasjon	Signifikansnivå	Forklart varians (%)
Februar				
Leikanger	1976-2004	0,76	S1	58
Bergen	1976-2004	0,80	S1	64
Ås	1976-2004	0,76	S1	58
Mars				
Leikanger	1976-2004	0,19	-	4
Bergen	1976-2004	0,32	S5	10
Ås	1976-2004	0,43	S1	18
April				
Leikanger	1976-2004	0,29	S10	8
Bergen	1976-2004	0,25	S10	6
Ås	1976-2004	0,30	S10	9
Mai				
Leikanger	1976-2004	-0,29	S10	8
Bergen	1976-2004	-0,18	-	3
Ås	1976-2004	-0,30	S10	9
Juni				
Leikanger	1976-2004	-0,47	S1	22
Bergen	1976-2004	-0,41	S5	17
Ås	1976-2004	-0,31	S10	10

Fortsatt vises det i februar en positiv signifikant korrelasjon mellom temperatur og NAO-indeks for alle tre stasjonene (tabell 5-4). Opp mot 60% av variasjonene i temperaturen har en sammenheng med endringer i NAO-indeksen. I mars er korrelasjonen svekket, og mens 50% av variasjonene kunne forklares ut fra en sammenheng med endringer i NAO-indeksen i perioden 1946-1975, kan bare omtrent 10-15% forklares for denne perioden. Korrelasjonen er fortsatt positiv for alle stasjonene, men for Leikanger er den ikke lenger signifikant. En annen endring fra foregående periode er at det nå er en positiv korrelasjon mellom temperatur og NAO-indeks for alle tre stasjonene i april, og denne sammenhengen er signifikant. For både mai og juni er korrelasjonene sterkere negativ enn i forrige periode, og flere er signifikante. Unntaket er for Bergen i mai, der korrelasjonen er svakere negativ, og ikke lenger signifikant.

Perioden 1910-2004

Uten å vise det her, er det foretatt en tilsvarende analyse av sammenhengen mellom temperatur og NAO-indeks i hele perioden 1910-2004 for de samme stasjonene. Resultatene viste i hovedsak en positiv korrelasjon i månedene februar til april, og en negativ korrelasjon i mai og juni. I de fleste tilfeller var denne korrelasjonen signifikant.

5.1.3. Sammenheng mellom NAO og nedbør

Perioden 1910-1945

Tabell 5-5. Sammenheng mellom NAO og nedbør i perioden 1910-1945. – betyr ikke signifikant

	Periode	Korrelasjon	Signifikansnivå	Forklart varians (%)
Februar				
Leikanger	1910-1945	0,40	S1	16
Bergen	1910-1945	0,54	S1	29
Ås	1910-1945	0,59	S1	35
Mars				
Leikanger	1910-1945	0,59	S1	35
Bergen	1910-1945	0,68	S1	46
Ås	1910-1945	0,15	-	2
April				
Leikanger	1910-1945	0,40	S1	16
Bergen	1910-1945	0,55	S1	30
Ås	1910-1945	0,07	-	0
Mai				
Leikanger	1910-1945	0,46	S1	21
Bergen	1910-1945	0,47	S1	22
Ås	1910-1945	0,27	S10	7
Juni				
Leikanger	1910-1945	0,21	-	4
Bergen	1910-1945	0,22	S10	5
Ås	1910-1945	-0,21	-	4

I tabell 5-5 er det vist korrelasjoner mellom nedbør og NAO-indeks.

For månedene februar til mai er det en positiv og signifikant korrelasjon mellom nedbør og NAO-indeks for Bergen og Leikanger. Mellom 20% og 40% av variasjonene i nedbør kan forklares ut fra en sammenheng med endringer i NAO-indeksen. Det er mye lavtrykksaktivitet, og stor sjanse for nedbør når NAO er i en positiv fase. For Ås er det en signifikant positiv korrelasjon kun i februar og mai. I juni viser kun Bergen signifikant positiv korrelasjon mellom nedbør og NAO-indeks. Kort oppsummert gir vestlig vind nedbør i vest, mens det er opphold i øst.

Perioden 1946-1975

Tabell 5-6. Sammenheng mellom NAO og nedbør i perioden 1946-1975. – betyr ikke signifikant

	Periode	Korrelasjon	Signifikansnivå	Forklart varians (%)
Februar				
Leikanger	1946-1975	0,59	S1	35
Bergen	1946-1975	0,59	S1	35
Ås	1946-1975	0,42	S5	18
Mars				
Leikanger	1946-1975	0,59	S1	35
Bergen	1946-1975	0,59	S1	35
Ås	1946-1975	0,09	-	1
April				
Leikanger	1946-1975	0,46	S1	21
Bergen	1946-1975	0,47	S1	22
Ås	1946-1975	0,26	S10	7
Mai				
Leikanger	1946-1975	0,46	S1	21
Bergen	1946-1975	0,67	S1	45
Ås	1946-1975	0,15	-	2
Juni				
Leikanger	1946-1975	0,38	S5	14
Bergen	1946-1975	0,42	S5	18
Ås	1946-1975	0,04	-	0

Korrelasjonene for denne perioden finnes i tabell 5-6.

Som for forrige periode er det for Bergen og Leikanger en signifikant positiv korrelasjon mellom nedbør og NAO-indeks i februar til mai, men i denne perioden gjelder dette også for juni. Omtrent 20% til 40% av variasjonene i nedbør kan da forklares ut fra en sammenheng med en endring i NAO-indeksen.

Også for Ås er resultatene omtrent som for forrige periode. NAO-indeks og nedbør viser nå signifikant positiv korrelasjonen i februar og april.

Perioden 1976-2004

Tabell 5-7. Sammenheng mellom NAO og nedbør i perioden 1976-2004. – betyr ikke signifikant

	Periode	Korrelasjon	Signifikansnivå	Forklart varians (%)
Februar				
Leikanger	1976-2004	0,59	S1	35
Bergen	1976-2004	0,79	S1	62
Ås	1976-2004	0,60	S1	36
Mars				
Leikanger	1976-2004	0,53	S1	28
Bergen	1976-2004	0,59	S1	35
Ås	1976-2004	0,11	-	1
April				
Leikanger	1976-2004	-0,05	-	0
Bergen	1976-2004	0,30	S10	9
Ås	1976-2004	0,21	-	4
Mai				
Leikanger	1976-2004	0,55	S1	30
Bergen	1976-2004	0,72	S1	52
Ås	1976-2004	0,30	S10	9
Juni				
Leikanger	1976-2004	0,59	S1	35
Bergen	1976-2004	0,62	S1	38
Ås	1976-2004	-0,08	-	1

Resultatene for denne perioden er vist i tabell 5-7.

For Bergen og Leikanger er det fortsatt en signifikant positiv korrelasjon mellom nedbør og NAO-indeks i alle månedene. Unntaket er april, der korrelasjonen for Leikanger er negativ, og ikke signifikant.

For Ås er også resultatene omtrent som i de to foregående periodene. Det er en positiv korrelasjon mellom nedbør og NAO-indeks i månedene februar til mai, men den er bare signifikant i februar og mai. Korrelasjonen er heller ikke signifikant i juni.

Perioden 1910-2004

Denne perioden illustreres ikke med noen tabell eller figur. I hovedsak er det en positiv korrelasjon mellom nedbør og NAO-indeks for alle stasjonene i alle månedene, og denne korrelasjonen er også signifikant. Unntaket er for Ås i juni, hvor det er en ikke signifikant, negativ korrelasjon.

En positiv korrelasjon for hele perioden vil si at uansett årstid vil en positiv NAO fase bety nedbør for de tre stasjonene.

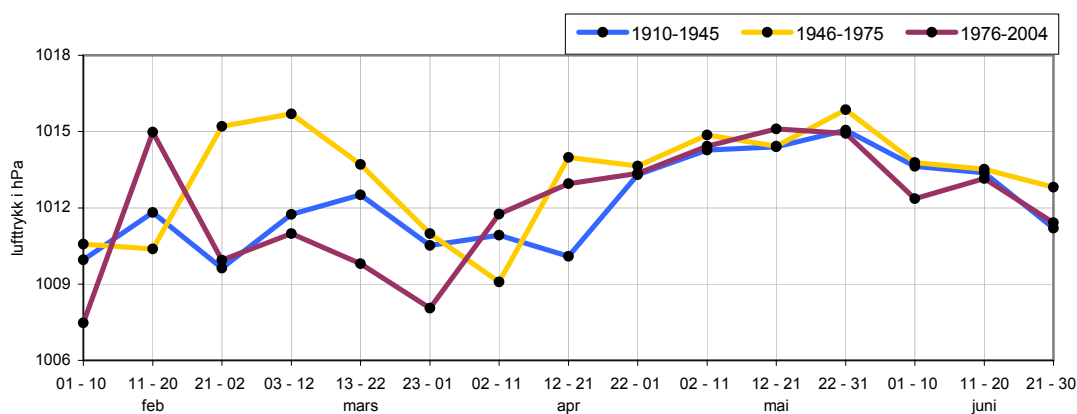
5.2. Trender i lufttrykk, temperatur, nedbør og stråling

Middelverdier av ulike meteorologiske parametere er benyttet til å studere endringer i klimaet i de valgte periodene.

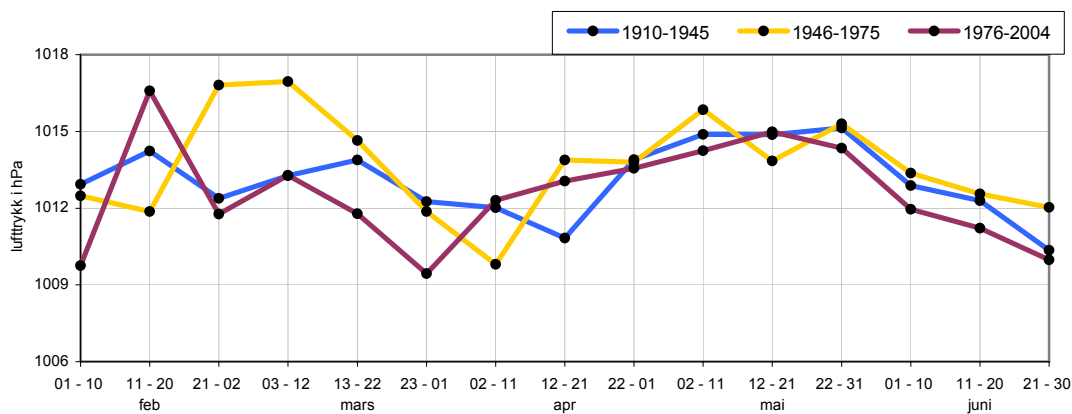
5.2.1. Endringer i lufttrykk

Som omtalt i kapittel 2 viser Strand og Grønås (2001) at overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon nå er mer dramatisk enn tidligere, og et tilsvarende sprang i lufttrykket i april er også funnet i Jönsson og Miles (2001).

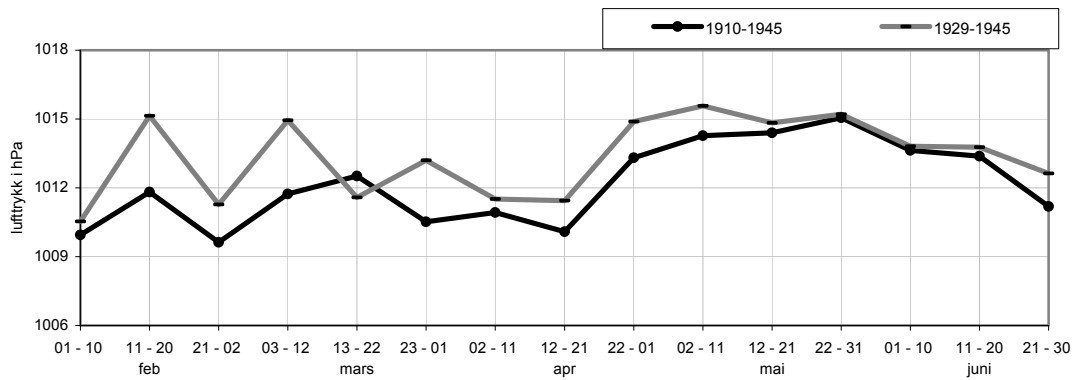
I oppgaven undersøkes endringene i lufttrykk tilbake til 1910, og samtidig vil et relativt nøyaktig tidspunkt for overgangen i sirkulasjon oppnås ved å se på tidagersverdier av lufttrykket.



Figur 5-1 Tidagersmiddel av lufttrykk i Bergen for de tre hovedperiodene

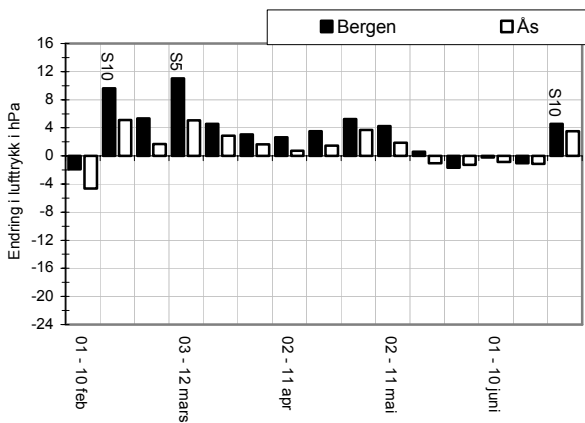


Figur 5-2 Tidagersmiddel av lufttrykk på Ås for de tre hovedperiodene

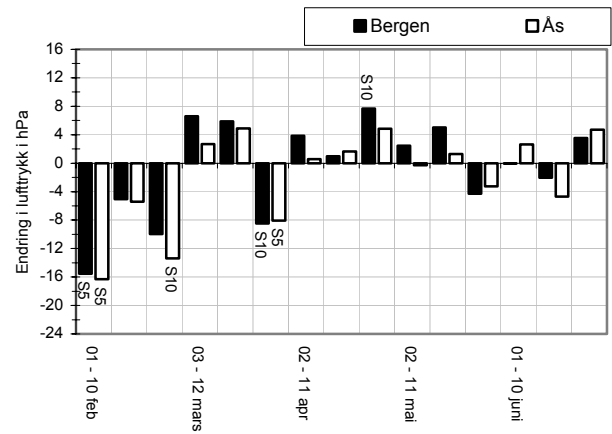


Figur 5-3 Tidagersmiddel av lufttrykk i Bergen i periodene 1910-1945 og 1929-1945

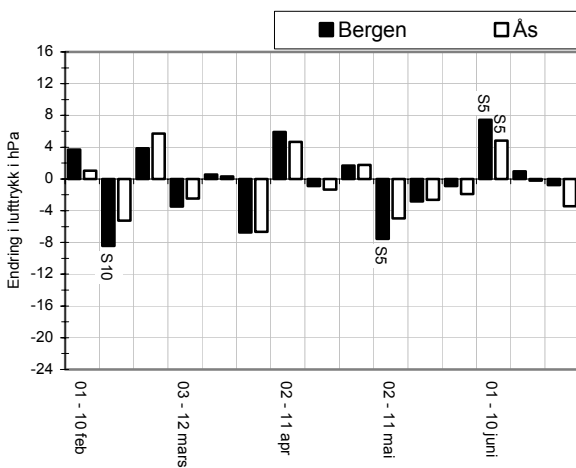
Endringer i lufttrykk i de valgte periodene



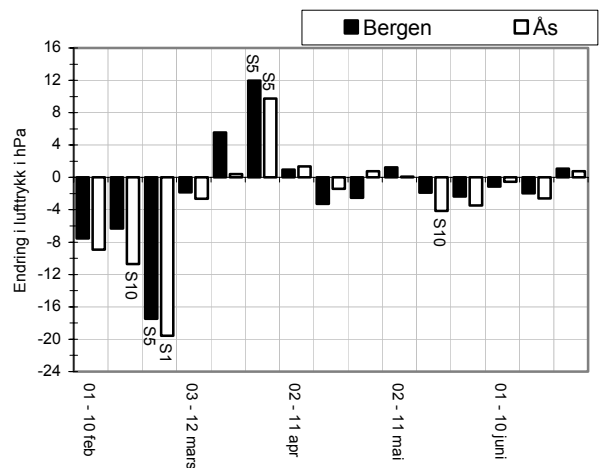
Figur 5-4 Endringer i lufttrykket i perioden 1910-1945



Figur 5-5 Endringer i lufttrykket i perioden 1929-1945



Figur 5-6 Endringer i lufttrykket i perioden 1946-1975



Figur 5-7 Endringer i lufttrykket i perioden 1976-2004

Det fremgår av figur 5-1 og figur 5-2 at det er små forskjeller i middelverdiene av lufttrykk for Bergen og Ås, og resultatene vil derfor presenteres felles for begge stasjonene.

Perioden 1910-1945

Fra midten av februar til midten av mai har det vært en økning i lufttrykket for begge stasjonene, basert på en lineær trend i dataserien (figur 5-4). Riktignok er denne økningen kun signifikant for Bergen i midten av februar og i starten av mars, men her er økningen på hele 10 mb. En signifikant positiv trend finnes også i slutten av juni for Bergen. I de øvrige tidagersperiodene er lufttrykket redusert, men endringene er små, og ingen av dem er signifikant.

Middelverdier av lufttrykket for hele perioden 1910-1945 viser at trykket er relativt lavt fra februar og frem til starten av april (figur 5-1 og 5-2). Fra midten av april til slutten av april skjer det en stor økning i lufttrykket, før det stabiliserer seg noe på et høyere trykk i mai. Dette spranget tilsvarende det Strand og Grønås (2001) omtaler som en overgang fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon. I juni faller igjen trykket mot lavere verdier.

Trendene i lufttrykk i perioden 1929-1945 er stort sett de samme som for 1910-1945, med unntak av en kraftig signifikant reduksjon i lufttrykket i hele februar og i slutten av mars i den korteste perioden (figur 5-5).

Figur 5-3 viser middelverdier av lufttrykket for Bergen i periodene 1910-1945 og 1929-1945, der sistnevnte periode representerer trykket på Leikanger i denne perioden. Lufttrykket er stort sett høyere i hele perioden 1929-1945 enn i 1910-1945, og da spesielt i februar og mars. Overgangen fra vinter til vårsirkulasjon skjer på samme tidspunkt i de to periodene (figur 5-3).

Perioden 1946-1975

Signifikante trender viser en reduksjon av lufttrykket i Bergen i midten av februar og i starten av mai, hvor trykket ble redusert med omtrent 8 mb fra 1946 til 1975 (figur 5-6). En tilsvarende signifikant økning i lufttrykket vises for begge stasjonene i starten av juni.

Middelverdier av lufttrykket for hele perioden 1946-1975 viser at trykket stiger mye fra midten av februar, og holder seg høyt i slutten av februar og starten av mars (figur 5-1 og 5-2). Deretter avtar trykket til starten av april, for så å stige raskt til midten av april. Dette trykkspranget indikerer overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon. Etter dette holder trykket seg relativt høyt gjennom mai. I juni faller igjen trykket mot lavere verdier.

Perioden 1976-2004

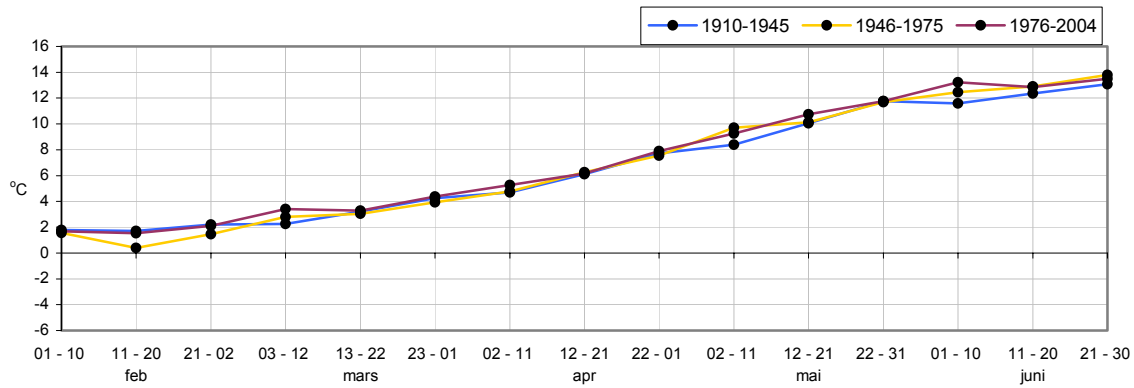
Figur 5-7 viser at det for februar har vært en kraftig reduksjon i lufttrykket fra 1976 til 2004, med en reduksjon i trykket på omtrent 10-20 mb. Det har vært en økning i trykket i siste halvdel av mars, og spesielt da i slutten av mars, hvor det var en signifikant økning på 10-12 mb.

Fra starten av april og ut juni har det bare vært mindre endringer i trykket.

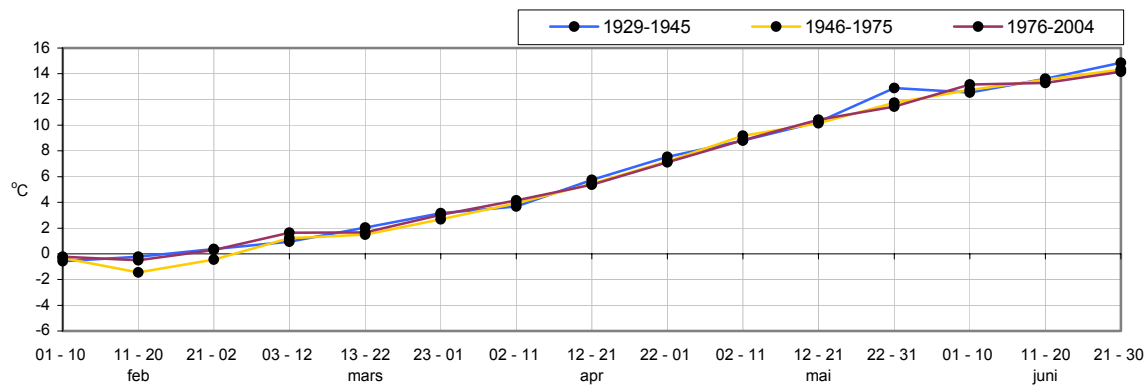
Middelverdier av lufttrykket for hele perioden 1976-2004 viser at trykket er høyt i midten av februar (figur 5-1 og 5-2). Deretter avtar trykket frem til slutten av mars, for så å stige raskt til starten av april, noe som svarer til overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon. Etter dette er det en svak økning i trykket frem mot slutten av mai, før det i juni igjen faller mot lavere verdier.

5.2.2. Endringer i temperatur

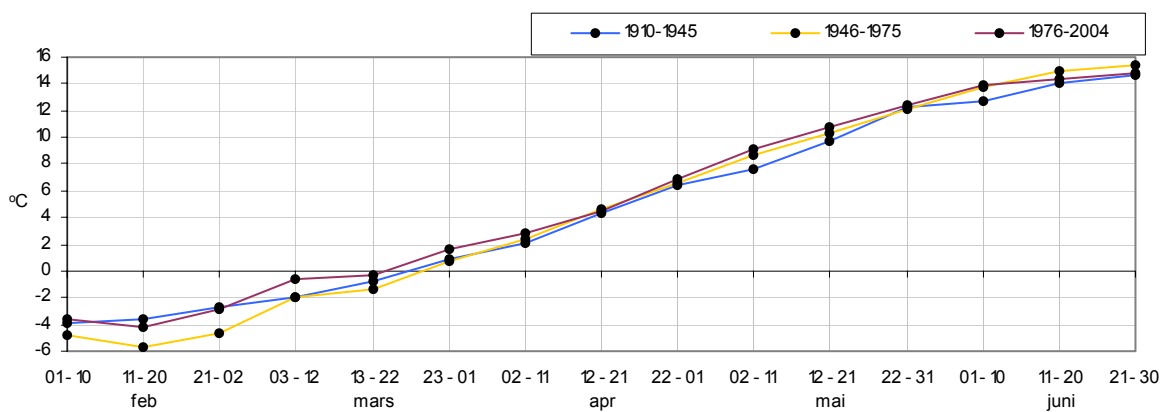
Figur 5-8, figur 5-9 og figur 5-10 viser middelværdier av lufttemperaturen i de tre hovedperiodene, henholdsvis for stasjonene Bergen, Leikanger og Ås.



Figur 5-8 Middelværdier av lufttemperaturen i Bergen i de tre hovedperiodene

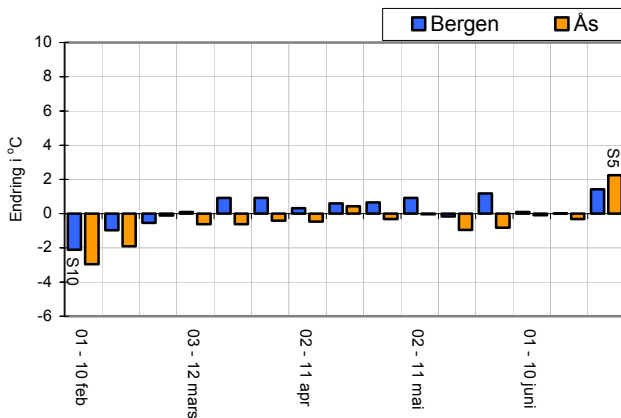


Figur 5-9 Middelværdier av lufttemperaturen på Leikanger i de tre utvalgte periodene

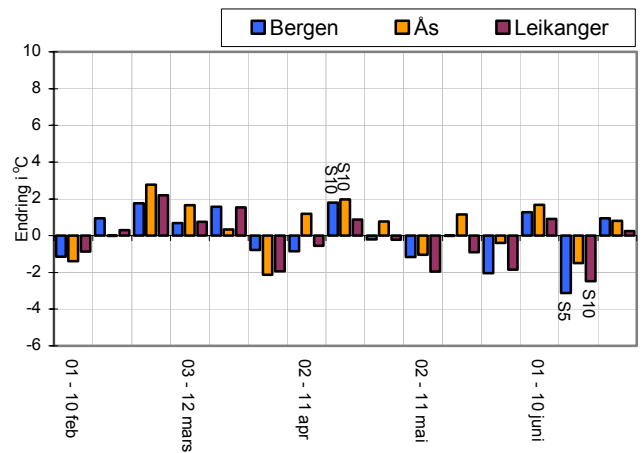


Figur 5-10 Middelværdier av lufttemperaturen på Ås i de tre hovedperiodene

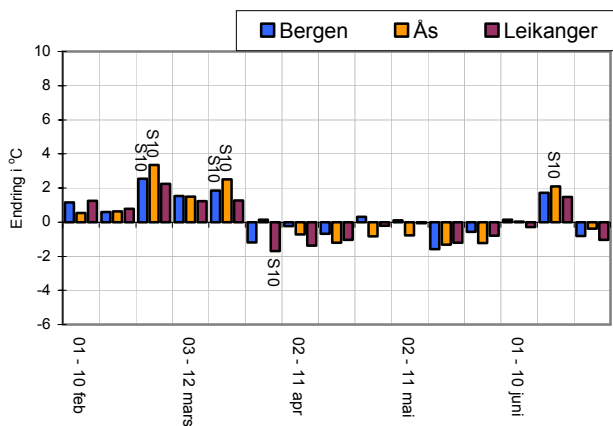
Endringer i temperatur i de valgte periodene



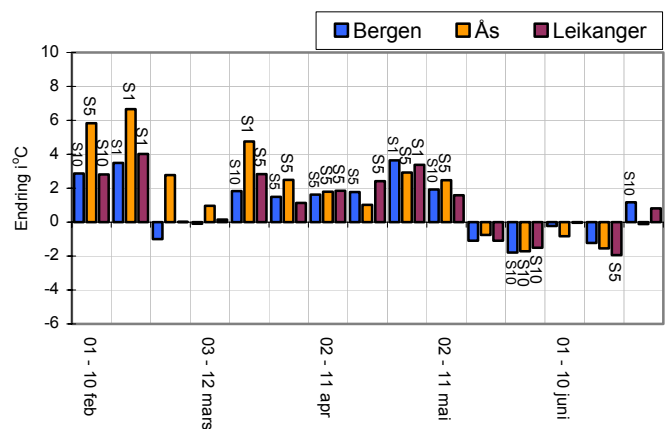
Figur 5-11 Endringer i temperatur i perioden 1910-1945



Figur 5-12 Endringer i temperatur i perioden 1929-1945



Figur 5-13 Endringer i temperatur i perioden 1946-1975



Figur 5-14 Endringer i temperatur i perioden 1976-2004

Perioden 1910-1945

For hele perioden 1910-1945 er det små endringer i temperaturen, men i enkelte måneder er det signifikante trender.

Det ble i februar lavere temperatur på begge stasjonene Bergen og Ås fra 1910 til 1945, basert på en lineær trend i dataserien, og i starten av måneden er trenden signifikant for Bergen (figur 5-11).

I mars til juni ble det ikke funnet signifikante trender, med unntak for slutten av juni, hvor Ås har hatt en signifikant økning i temperaturen.

Trendene for perioden 1929-1945 er beregnet for Bergen og Ås, slik at en sammenligning med Leikanger blir mulig (figur 5-12). Av figur 5-12 fremgår det at endringene i temperatur i perioden 1929-1945 stort sett er lik for alle stasjonene. Derfor er det trolig at Leikanger ville vist omtrent de samme trendene som Bergen og Ås i perioden 1910-1945, hvis det hadde eksistert målinger av temperatur i den perioden.

Trendene i temperatur for perioden 1910-1945 skiller seg fra trendene i perioden 1929-1945. Dette skyldes trolig at trendene i begge periodene er små, og få er signifikante. Hvilken tidsperiode som undersøkes er da avgjørende for trendene.

Middelverdien av temperatur er relativt høy denne perioden, spesielt i februar og mars, mens den er relativt lav i mai og juni. Dette gjelder både for Bergen og Ås, og stort sett også for Leikanger (figur 5-8, 5-9 og 5-10). Enkelte avvik finnes likevel for Leikanger, noe som trolig skyldes at stasjonen har målinger fra en kortere periode enn Bergen og Ås.

Perioden 1946-1975

Trendene i temperatur er stort sett lik for de tre stasjonene, og resultatene kan derfor beskrives felles for Bergen, Leikanger og Ås.

I hele februar og i første halvdel av mars har det vært en økning i temperaturen på omtrent 1-2°C, og i slutten av februar og midten av mars er denne trenden signifikant for Bergen og Ås (figur 5-13). Fra slutten av mars og ut juni har det blitt omtrent 1°C lavere temperaturer i løpet av 30-års perioden. Unntaket er en trend mot høyere temperaturer i midten av juni, en trend som er signifikant for Ås.

Middeltemperaturen for denne perioden er i februar, og delvis i mars, klart lavere enn for periodene 1910-1945 og 1976-2004. I mai og juni er det i denne perioden varmere enn i første periode, mens det er kaldere enn i siste periode (figur 5-8 til 5-10).

Perioden 1976-2004

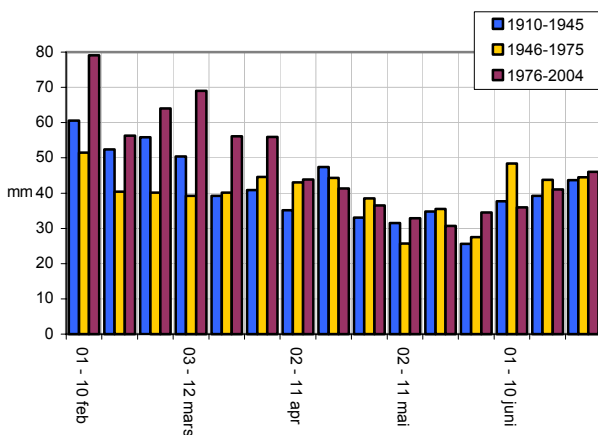
Også for denne siste hovedperioden viser alle tre stasjonene stort sett like trender i temperatur (figur 5-14), og resultatene for de tre stasjonene blir presentert felles.

I hele februar og til starten av mai har det vært en økning i temperaturen på omtrent 2-3°C fra 1976 til 2004, og med unntak av slutten av februar og starten av mars er denne oppvarmingen signifikant. Fra midten av mai til midten av juni har det vært en reduksjon i temperaturen, noe som er signifikant både i slutten av mai og i midten av juni (figur 5-14).

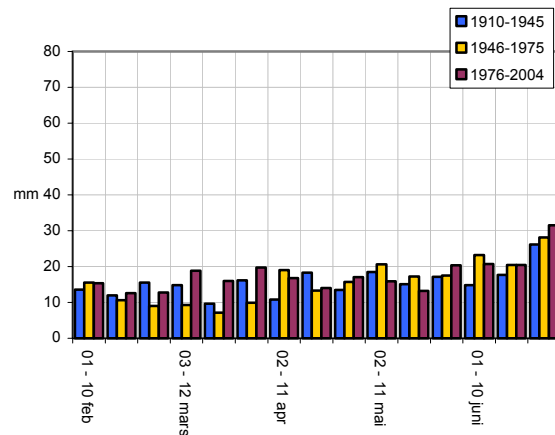
Figur 5-8 til 5-10 viser at dette hovedsakelig har vært den varmeste av de tre hovedperiodene, for alle tre stasjonene.

5.2.3. Endringer i nedbør

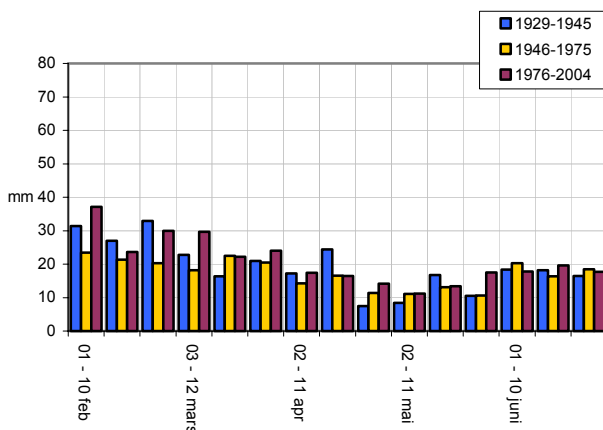
Det vil ikke bli foretatt en like omfattende presentasjon av resultatene for nedbør, som for temperatur. Dette fordi det er temperatur som benyttes til å finne starttidspunktet på våren og på vekstsesongen. På de aktuelle stasjonene kan temperatur være en begrensende faktor, mens for lite nedbør sjelden påvirker planteveksten.



Figur 5-15 Nedbør i Bergen i de tre hovedperiodene



Figur 5-16 Nedbør på Ås i de tre hovedperiodene



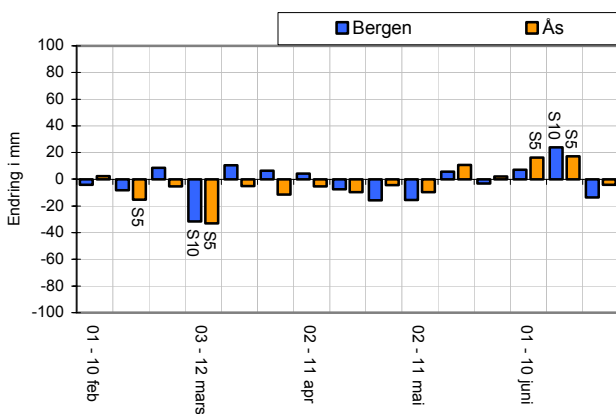
Figur 5-17 Nedbør på Leikanger i de valgte periodene

Hovedtrekkene for alle tre stasjonene er at det er mest nedbør i de to periodene med størst oppvarming (1910-1945 og 1976-2004), og minst nedbør i den kjølige perioden (1946-1975). Dette gjelder spesielt for februar og mars, mens det i april til juni er mindre forskjeller mellom nedbørmengdene i de tre periodene.

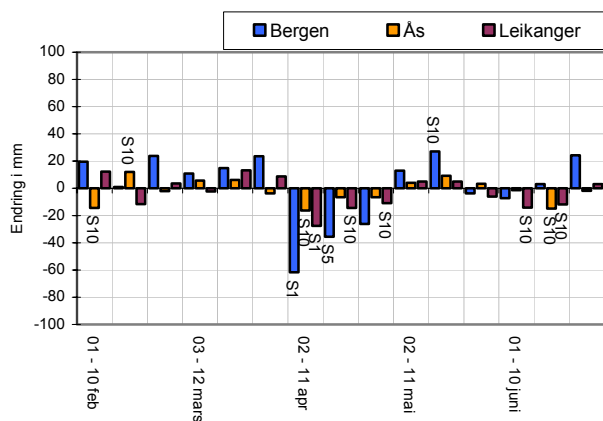
Figur 5-15 viser summer av nedbør over ti dager for Bergen. Tilsvarende utvikling er funnet for Leikanger (figur 5-17), selv om nedbørmengdene er mindre der. For Ås er utviklingen fra hovedperiode til hovedperiode den samme som for Bergen og Leikanger, men nedbørsutviklingen i perioden februar til juni skiller seg ut (figur 5-16).

Figur 5-18 til 5-21 viser endringene i nedbør i de valgte periodene, basert på en lineær trend i nedbørmengden.

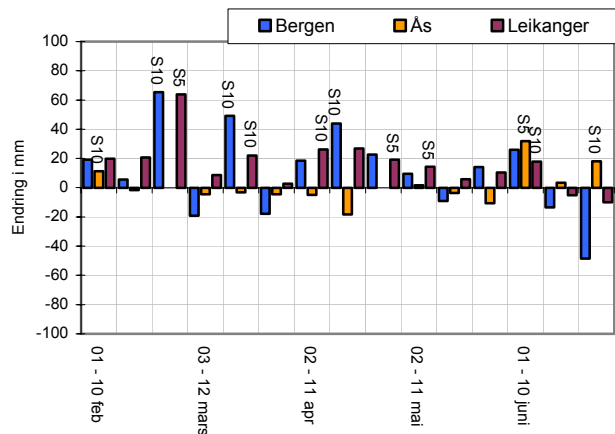
Endringer i nedbør i de valgte periodene



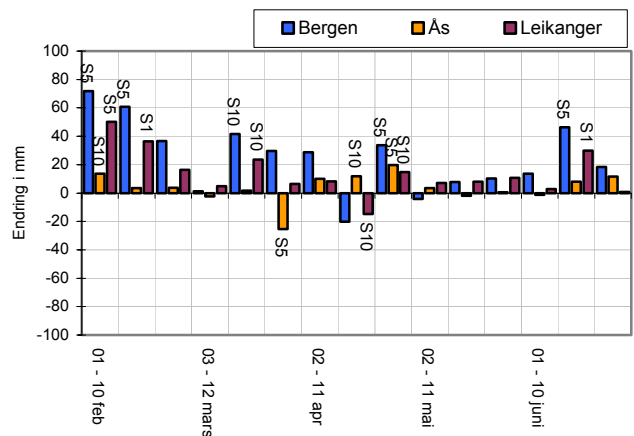
Figur 5-18 Endringer i nedbørmengde, 1910-1945



Figur 5-20 Endringer i nedbørmengde, 1946-1975



Figur 5-19 Endringer i nedbørmengde, 1929-1945



Figur 5-21 Endringer i nedbørmengde, 1976-2004

Perioden 1910-1945

Figur 5-18 viser at det i februar til mai har vært en liten reduksjon i nedbørsmengdene på Bergen og Ås. Størst reduksjon var det i starten av mars, og denne er signifikant. Dessuten var det en signifikant økning i nedbørsmengdene i første halvdel av juni.

Trendene for 1929-1945 for alle de tre stasjonene stemmer stort sett overens (figur 5-19). Alle tre stasjonene har hatt en økning i nedbør i denne perioden, og ofte er denne økningen signifikant.

Perioden 1946-1975

I denne perioden har det vært en liten økning i nedbørsmengdene i februar, mars og mai, mens det i april og juni har blitt signifikant mindre nedbør. Mønsteret er likt for alle tre stasjonene (figur 5-20).

Perioden 1976-2004

Figur 5-21 viser at det fra 1976 til 2004 har vært en signifikant økning i nedbørsmengdene for alle tre stasjonene, og spesielt i februar og mars har økningen vært stor.

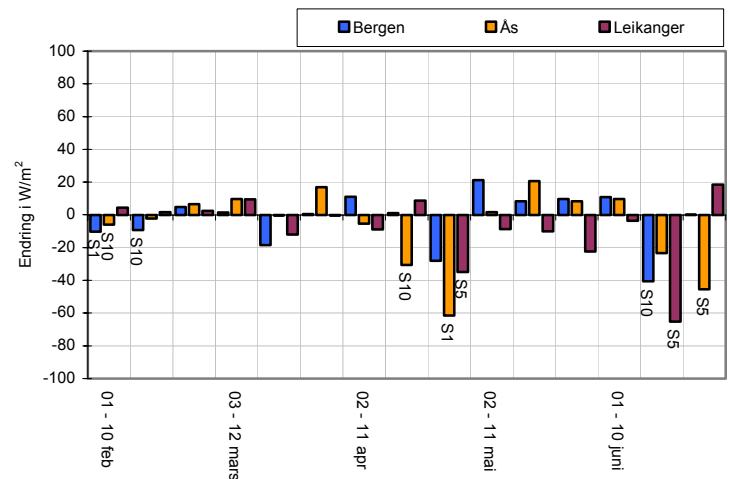
5.2.4. Endringer i stråling

Både for Bergen og Ås finnes strålingsmålinger tilbake til midten av 1960-tallet. Som omtalt i kapittel 2 vil kun målinger i perioden 1976-2004 benyttes i oppgaven.

Kortbølget innstråling

Figur 5-22 viser en trend mot redusert globalstråling fra 1976-2004, hovedsakelig i februar, april og juni. I mars og mai er ingen av trendene signifikante.

Reflektert kortbølget stråling er en prosentandel av den innkommende strålingen, og både den og netto kortbølget stråling vil vise de samme trendene og være signifikant i de samme periodene som kortbølget innstråling. Årsaken til dette er at det benyttes en konstant albedo hver måned. Det tas da ikke hensyn til at albedo kan ha endret seg i løpet av perioden 1976-2004, for eksempel på grunn av en endring i skydekket. Figurene for $KB \uparrow$ og KB_{netto} blir ikke vist i oppgaven.

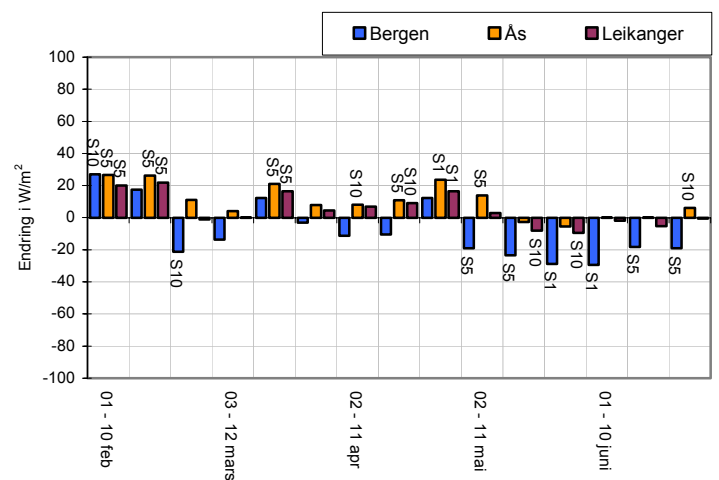


Figur 5-22 Endringer i kortbølget innstråling, 1976-2004

Atmosfærisk tilbakestråling

Det har hovedsakelig vært en økning i atmosfærisk tilbakestråling fra 1976 til 2004, i hele februar, mars og april (figur 5-23). Fra mai og ut juni har det vært en reduksjon i tilbakestrålingen, og denne reduksjonen er størst og signifikant for Bergen.

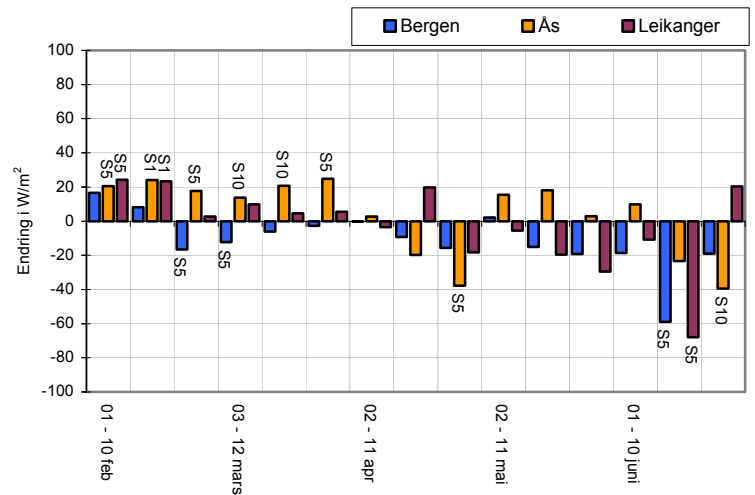
Det er viktig å huske på at i Bergen er tilbakestrålingen målt, mens for Ås og Leikanger er den beregnet på grunnlag av observert skydekke og målt temperatur.



Figur 5-23 Endringer i atmosfærisk tilbakestråling, 1976-2004

Total innkommende stråling

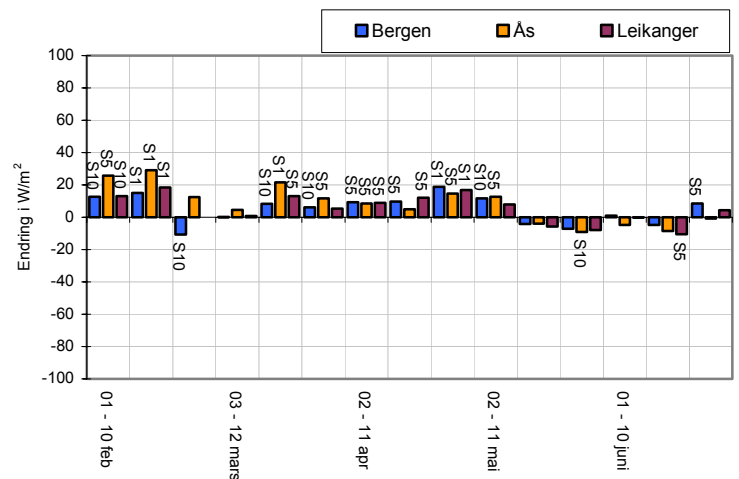
Ved å addere atmosfærisk tilbakestråling (figur 5.23) og kortbølget innstråling (figur 5-22), oppnås en sum av total innkommende stråling fra atmosfære og sol (figur 5-24). Hovedsakelig har det i februar og mars vært en signifikant økning i total innkommende stråling fra 1976 til 2004, med noen unntak for Bergen. I slutten av april og store deler av juni har det vært en signifikant reduksjon i total innkommende stråling.



Figur 5-24 Endringer i total innkommende stråling, 1976-2004

Langbølget utstråling fra bakken

Det har vært en signifikant økning i langbølget utstråling i perioden 1976-2004, fra februar til starten av mai. Fra midten av mai og ut juni var det mindre endringer i den langbølgete utstrålingen (figur 5-25). Langbølget utstråling er beregnet på grunnlag av målt temperatur, og endringene vil derfor være lik endringene i temperatur (figur 5-14).

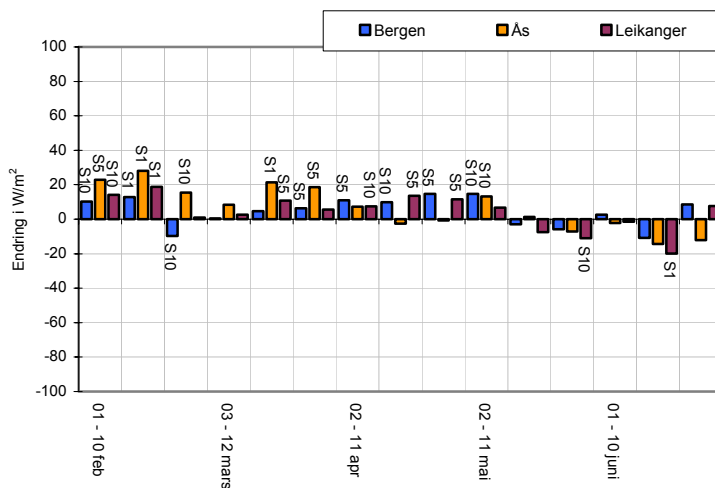


Figur 5-25 Endringer i langbølget utstråling, 1976- 2004

Total utgående stråling fra jorden

Summen av reflektert kortbølget stråling og langbølget utstråling (figur 5-25) gir total utgående stråling (figur 5-26).

Figur 5-26 viser en signifikant økning i total utgående stråling fra februar til midten av mai i perioden 1976-2004. Samtidig har det vært en reduksjon i total utgående stråling fra slutten av mai og ut juni. En endring i total utgående stråling er nært knyttet til en endring i langbølget utstråling, siden reflektert kortbølget stråling kun gir et lite bidrag til summen.



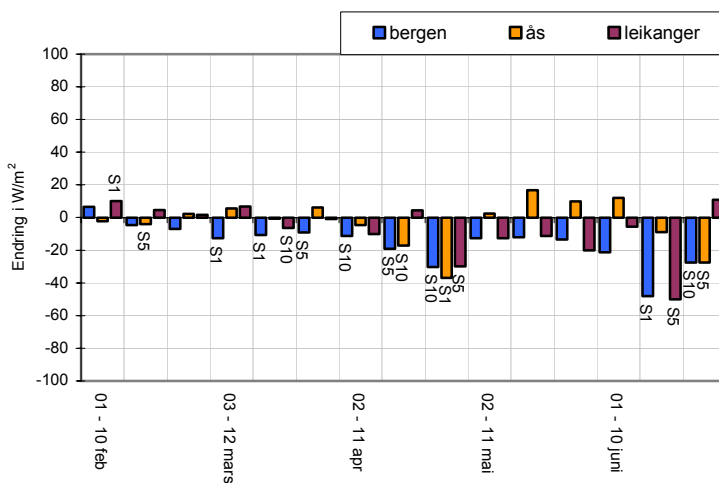
Figur 5-26 Endringer i total utgående stråling, 1976-2004

Netto strålingsbalanse ved jordoverflaten

Netto strålingsbalanse er differansen mellom total innkommende stråling til jorden (figur 5-24) og total utgående stråling fra jorden til atmosfæren (figur 5-26).

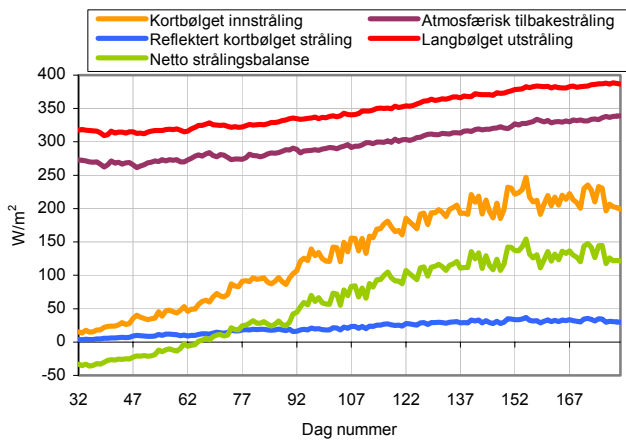
Fra 1976 til 2004 har det vært en signifikant reduksjon i netto strålingsbalanse i perioden februar til juni (figur 5-27).

I februar og mars skyldes dette at økningen i utgående stråling var større en økningen i innkommende stråling. I april har det både vært en økning i utgående stråling og en reduksjon i innkommende stråling. I mai og juni har det vært en reduksjon i innkommende stråling som er større en reduksjonen i utgående stråling.

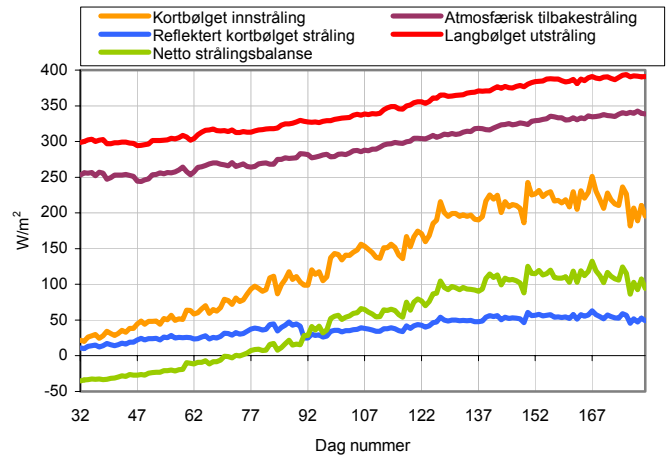


Figur 5-27 Endringer i netto strålingsbalanse, 1976-2004

Strålingsbudsjettene for Leikanger og Ås er beregnet som middelverdier for perioden 1976-2004, og viser langbølget stråling, kortbølget stråling og netto strålingsbalanse ved jordoverflaten (figur 5-28 og figur 5-29). Tilsvarende figur for Bergen er vist i figur 2-8 (kapittel 2).



Figur 5-28 Strålingsbudsjett for Leikanger, 1976-2004



Figur 5-29 Strålingsbudsjett for Ås, 1976-2004

Strålingsbudsjettene viser at det i perioden februar til juni er et langbølget strålingstap på omtrent $50 W/m^2$. Det er også tydelig at netto strålingsbalanse i stor grad følger utviklingen til kortbølget innstråling gjennom året. Om vinteren er kortbølget innstråling liten, og netto strålingsbalanse er negativ siden det er et langbølget strålingstap. I løpet av mars øker kortbølget innstråling forholdsvis mye, og netto strålingsbalanse blir positiv (figur 5-28, figur 5-29 og figur 2-8).

5.3. Endringer i start på våren og den termiske vekstsesongen

Klimatologisk sett er våren den delen av året som har døgnmiddeltemperatur mellom 0°C og 10°C, mens den termiske vekstsesongen starter den dagen døgnmiddeltemperaturen blir høyere enn 5°C (Meteorologisk Institutt, 2005). Hva som regnes som dato for første blomst er beskrevet tidligere i oppgaven (side 27 og 36).

Tabellene 5-8 til 5-10 viser endringer i starttidspunktet på våren og den termiske vekstsesongen, i tillegg til endringer i tidspunktet for første blomst. Endringene er gitt både som total endring, og for å lette sammenligningen mellom perioder av ulik lengde er det også beregnet en endring per ti år.

Som eksempel er 20. april gjennomsnittlig start på den termiske vekstsesongen på Ås i perioden 1929-1945. Basert på en lineær trendlinje starter vekstsesongen vel to uker tidligere i 1945 enn i 1929. Dette tilsvarer en endring på omtrent ni dager per ti år, som er signifikant på 1% nivå (tabell 5-8).

Tabell 5-8. Trender i starttidspunkt for vår, vekstsesong og blomstring, 1910-1945 (o: observert, m: modellert)

	periode	middel	dager/10 år	dager totalt	signifikansnivå
Start på våren					
Leikanger	1929-1945	21.mar	-1,2	-2,0	-
Bergen	1929-1945	09.mar	1,5	2,5	-
Ås	1929-1945	16.apr	-2,3	-3,9	-
Bergen	1910-1945	06.mar	2,7	9,8	S5
Ås	1910-1945	15.apr	1,6	5,6	-
Start på vekstsesongen					
Leikanger	1929-1945	14.apr	-8,7	-14,9	S5
Bergen	1929-1945	07.apr	-12,5	-21,2	S5
Ås	1929-1945	20.apr	-9,2	-15,7	S1
Bergen	1910-1945	07.apr	-3,3	-12,0	-
Ås	1910-1945	21.apr	-1,5	-5,2	-
Første blomst, Gravenstein					
Leikanger (o)	1929-1945	19.mai	3,1	5,3	-
Leikanger (m)	1929-1945	20.mai	3,7	6,3	-

Tabell 5-8 viser at i perioden 1910-1945 var det en positiv trend i starttidspunktet på våren, noe som var signifikant for Bergen. I den kortere perioden 1929-1945 var trendene ikke signifikante. Vekstsesongen startet tidligere i begge periodene, og trenden er signifikant for perioden 1929-1945. Tidspunktet for første blomst var senere i 1945 enn i 1929, men trenden er ikke signifikant.

Tabell 5-9. Trender i starttidspunkt for vår, vekstsesong og blomstring, 1946-1975 (o: observert, m: modellert)

	periode	middel	dager/10 år	dager totalt	signifikansnivå
Start på våren					
Leikanger	1946-1975	22.mar	-3,6	-10,8	-
Bergen	1946-1975	11.mar	-2,1	-6,4	-
Ås	1946-1975	18.apr	-3,9	-11,7	-
Start på vekstsesongen					
Leikanger	1946-1975	12.apr	1,8	5,4	-
Bergen	1946-1975	06.apr	1,9	5,6	-
Ås	1946-1975	20.apr	1,3	4,0	-
Første blomst, Gravenstein					
Leikanger (o)	1946-1975	20.mai	1,2	3,7	-
Leikanger (m)	1946-1975	20.mai	1,1	3,4	-
Ås (o)	1946-1975	25.mai	2,1	6,0	S10
Ås (m)	1946-1975	23.mai	1,5	4,3	-

I perioden 1946-1975 starter våren tidligere og vekstsesongen og blomstringen starter senere, men trendene er hovedsakelig ikke signifikante (tabell 5-9).

Tabell 5-10. Trender i starttidspunkt for vår, vekstsesong og blomstring, 1976-2004 (o: observert, m: modellert)

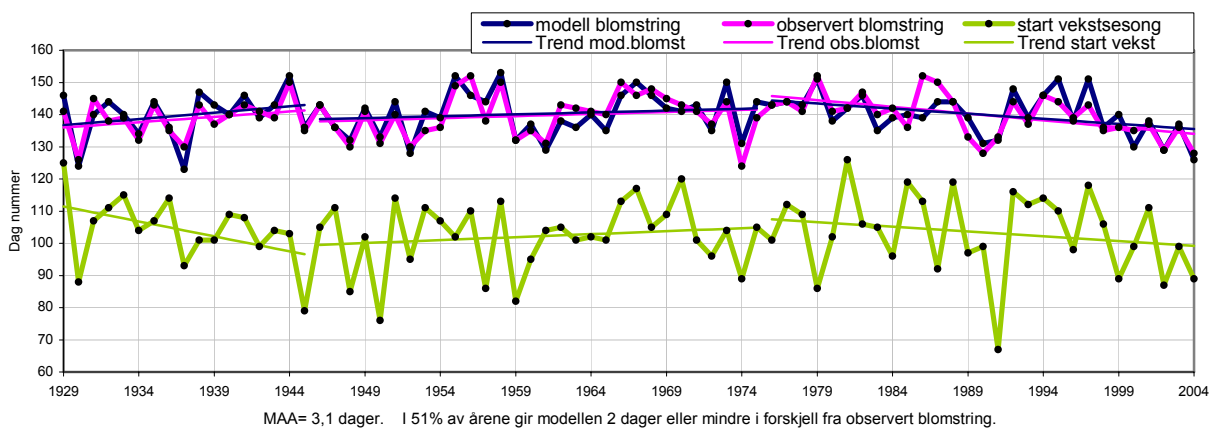
	periode	middel	dager/10 år	dager totalt	signifikansnivå
Start på våren					
Leikanger	1976-2004	16.mar	-8,7	-25,1	S1
Bergen	1976-2004	07.mar	-2,0	-5,8	-
Ås	1976-2004	09.apr	-7,4	-21,4	S5
Start på vekstsesongen					
Leikanger	1976-2004	13.apr	-2,9	-8,3	-
Bergen	1976-2004	05.apr	-5,8	-16,8	S5
Ås	1976-2004	20.apr	-4,9	-14,1	S5
Første blomst, Gravenstein					
Leikanger (o)	1976-2004	20.mai	-4,1	-11,8	S1
Leikanger (m)	1976-2004	20.mai	-3,1	-8,9	S5
Ås (o)	1976-2004	22.mai	-3,2	-9,4	S5
Ås (m)	1976-2004	21.mai	-2,1	-6,1	-
Første blomst, Summerred					
Ås	1976-2004	21.mai	-3,6	-10,6	S1

Tabell 5-10 viser at alle fasene har negative trender i perioden 1976-2004, og de fleste av trendene er signifikante.

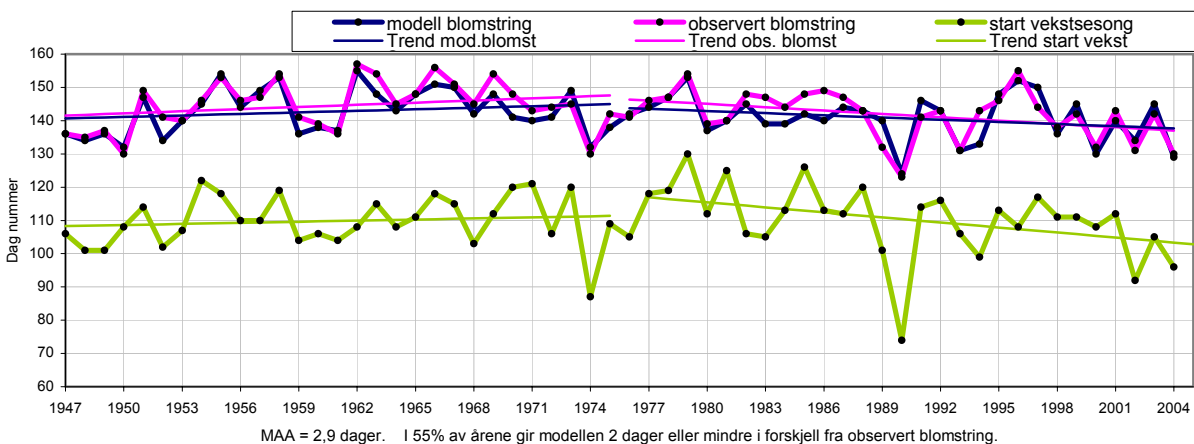
Resultatene vil bli diskutert i kapittel 6.

5.4. Beregning av blomstringstidspunkt i Gravenstein

Figur 5-30 og 5-31 viser beregnet tidspunktet for første blomst i Gravenstein, sammenlignet med observert blomstring og starttidspunkt for vekstsesongen. Modellen, som er beskrevet i kapittel 4.5, er brukt for Leikanger og Ås.



Figur 5-30 Modellert og observert blomstring Gravenstein, Leikanger, 1929-2004



Figur 5-31 Modellert og observert blomstring Gravenstein, Ås, 1947-2004

Modellen (kapittel 4.5) gir MAA på henholdsvis 3,1 og 2,9 dager for Leikanger og Ås, med start når vekstsesongen starter, og terskeltemperatur på 5°C.

Med start 1.april og med en terskeltemperatur på -0,5°C, gir modellen MAA på henholdsvis 2,9 og 2,7 dager for Ås og Leikanger.

5.5. Fare for frostskader

For å undersøke faren for frostskade på knopper og blomster benyttes døgnets minimumstemperatur. Det er først undersøkt om antall dager med temperaturer mellom -2°C og 0°C har endret seg, og deretter om antall dager med temperaturer under -2°C har endret seg, i perioden 10 dager etter blomstring. Frost i denne perioden vil kunne skade frukten (kapittel 4.6). På Leikanger er det i tidagersperioden etter blomstring aldri registrert temperaturer under 0°C i perioden 1929-2004.

På Ås er det i tidagersperioden etter blomstring kun registrert temperaturer under 0°C i to av årene (1950 og 1988) i perioden 1947-2004.

Målingene viser således at det ikke er fare for frost de første ti dagene etter blomstring på Leikanger og Ås.

Deretter er samme undersøkelse gjort i perioden 30 dager før blomstring. Skadene på frukten vil være mindre hvis det er frost i denne perioden, sammenlignet med perioden etter blomstring. Grunnen er at knoppene er bedre rustet mot lave temperaturer enn hva blomstene er. (Chmielewski et al., 2004). Tabell 5-11 viser gjennomsnittlig antall dager med frost for de ulike periodene. Tabellen viser at frost i 30-dagersperioden før blomstring er vanligere på Ås enn på Leikanger. Det er i gjennomsnitt flere dager med frost i periodene med stor oppvarming (1929-1945 og 1976-2004), enn i den kjølige perioden (1946-1975).

Tabell 5-11. Antall dager med frost i 30dagersperioden før blomstring, Leikanger og Ås

	$T < 0$	$-2 < T < 0$	$T < -2$
Leikanger			
1929-1945	1,3	1,1	0,2
1946-1975	0,8	0,7	0,2
1976-2004	1,3	1,0	0,3
Ås			
1947-1975	3,8	2,8	1,0
1976-2004	4,2	2,4	1,8

6. Diskusjon av resultater

6.1. Endringer i NAO og sammenheng mellom NAO, temperatur og nedbør

6.1.1. NAO og temperatur

Store deler av oppvarmingen og de høye temperaturene i februar og mars i periodene 1910-1945 og 1976-2004, i forhold til perioden 1946-1975, forklares ut fra en sammenheng med NAO. I disse periodene, som i følge Watson et al. (2001) har hatt størst oppvarming siden 1861, var NAO-indeksen i februar og mars positiv, med unntak av mars i første periode (tabell 5-1a). Resultatene viser at en positiv NAO-indeks i februar og mars kan knyttes til høye temperaturer, og derfor er det sannsynlig at den store oppvarmingen i disse periodene kan kobles til endringer i NAO (tabell 5-2 og 5-4). I perioden 1946-1975 var NAO-indeksen i februar svakere positiv enn i de to andre hovedperiodene, mens den var svakt negativ i mars, samtidig som temperaturen var lavere i denne perioden enn i de to andre hovedperiodene (tabell 5-1a, figur 5-8 og 5-10).

I løpet av april svekkes NAO i styrke, og stråling får større innvirkning på temperaturene lokalt. Sammenhengen mellom NAO og temperatur er stort sett positiv, men den er ikke signifikant i samme grad som i februar og mars (tabell 5-2 til 5-4). Det er ikke mulig å forklare endringer i temperatur ut fra en sammenheng med NAO denne måneden.

For alle hovedperiodene var NAO-indeksen negativ i mai og juni, med unntak av juni 1946-1975 der den var null (tabell 5-1a). Dette kan knyttes til litt lavere temperaturer i den første perioden enn i de to siste, siden det er positive korrelasjon mellom temperatur og NAO-indeks i første periode, mens denne korrelasjonen er negativ i de to neste hovedperiodene (tabell 5-2 til 5-4).

Oppsummering og kommentarer

For alle tre hovedperiodene var høye temperaturer i februar og mars knyttet til positiv NAO-indeks. Årsaken til dette er at positiv NAO-indeks kjennetegnes av lavere trykk enn normalt over Island. Vestaværet tar da en nordlig rute, og det vil bli en del regn og skyer i Norge, spesielt på Vestlandet. Om vinteren er det lite kortbølget innstråling i Norge, og derfor er strålingsbudsjettet styrt av

langbølget stråling. I februar og mars vil skyer redusere strålingstapet, og temperaturene i Norge blir derfor høyere enn om det var mer klarvær.

I april vil fortsatt positiv NAO-indeks knyttes til mer skyer og høyere temperaturer, spesielt i første og siste hovedperiode. Likevel er ikke korrelasjonen mellom temperatur og NAO like høy som i februar og mars. Årsaken til dette er at solen nå begynner å få større innflytelse på lufttemperaturen, siden den står høyere på himmelen og daglengden er større enn på vinteren. Stor kortbølget innstråling vil i perioder ha mer å si for høye lufttemperaturer enn skyer som reduserer det langbølgete strålingstapet.

I perioden 1910-1945 ser det ut til at denne situasjonen holder seg i mai og juni også.

Korrelasjonen mellom temperatur og NAO-indeks er fortsatt positiv, noe som tyder på at overgangen fra vinter til vår går sakte. I perioden 1946-1975 er det derimot en svak negativ korrelasjon mellom temperatur og NAO-indeks i mai, og denne negative korrelasjonen blir enda sterkere i juni. Dette vil si at en negativ NAO-indeks fører til høyere temperaturer. Helt konkret betyr dette at kortbølget innstråling nå er viktigere for høye temperaturer enn skyenes innvirkning på å redusere langbølget strålingstap. Negativ NAO-indeks er derfor synonymt med klarvær, sol og høye temperaturer. Først i juni vil denne negative korrelasjonen mellom temperatur og NAO-indeks være signifikant på et høyt nivå, og da kan vi med sikkerhet si at klarvær og sol fører til høye temperaturer. Likevel ser det ut til at overgangen fra vinter til vår går raskere og starter tidligere enn i den første hovedperioden. For perioden 1976-2004 er den negative korrelasjonen i mai og juni enda sterkere enn perioden før, noe som kan knyttes til at overgangen fra vinter til vår starter enda tidligere enn begge de foregående periodene. I denne hovedperioden er den positive korrelasjonen mellom temperatur og NAO-indeks i mars svekket, noe som kan tyde på at kortbølget innstråling begynner å få vesentlig innvirkning på lufttemperaturen allerede i mars.

Temperatur er bedre korrelert med NAO for stasjonene på Vestlandet enn for stasjonen på Østlandet. Dette er ikke overraskende, siden NAO gir uttrykk for svingninger i vestavindsbeltet, noe som har størst betydning for Vestlandet.

Månedsverdier av temperatur for Bergen er homogenisert, og resultatene for denne stasjonen bør vektlegges i større grad enn resultatene for Leikanger og Ås, som ikke har homogeniserte temperaturserier.

6.1.2. NAO og nedbør

På Vestlandet er nedbør i alle månedene signifikant korrelert med NAO-indeksen, og tett knyttet til lavtrykksaktivitet, mens på Østlandet er nedbør i større grad knyttet til ettermiddagsbyger, spesielt sent på våren og om sommeren. Ettermiddagsbyger er et resultat av skydannelse i forbindelse med kortbølget innstråling og oppvarming av bakken, og har ikke sammenheng med lavtrykksaktivitet og vestavær.

Resultatene i Strand og Grønås (2001) stemmer godt overens med resultater i denne oppgaven for perioden 1976-2004, hvor NAO-indeksen er sterkt positiv i februar og mars, for så å avta raskt og bli negativ i april.

En omtrent tilsvarende trend finnes også i den første perioden med oppvarming, 1910-1945, hvor NAO-indeksen er sterk positiv i februar, mens den avtar raskt i mars og april. I denne perioden blir i gjennomsnitt NAO-indeksen negativ først i mai. I perioden 1946-1975 er resultatene annerledes enn i de to andre periodene, og NAO gir svake signaler de fleste månedene. I april er NAO-indeksen positiv, og dette er den måneden som har sterkest NAO-indeks. Dette kan være en av årsakene til at det ikke var like stor oppvarming denne perioden som i de to andre.

Ingen av nedbørsseriene er homogenisert i hele perioden 1910-2004. Dette har trolig liten innvirkning på resultatene siden trendene er sterkt signifikante, spesielt for stasjonene på Vestlandet.

6.2. Trender i lufttrykk, temperatur, nedbør og stråling

6.2.1. Endringer i lufttrykk

Selv om Ås har innlandsklima, mens Bergen har kystklima, er variasjonene i lufttrykk gjennom månedene februar til juni forholdsvis lik for begge stasjonene (figur 5-1 og 5-2).

Overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon skjer tidligere og tidligere for hver periode. I første hovedperiode skjer overgangen i siste del av april, i neste periode skjer overgangen i midten av april, mens i siste periode skjer overgangen i starten av april. Dette stemmer overens med resultatene i Strand og Grønås (2001).

Ikke bare skjer overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon tidligere og tidligere, men selve overgangen ser også ut til å være mer dramatisk enn tidligere siden det i de to siste periodene er et trykkfall i mars, og deretter en trykkøkning i april. I første periode var det derimot ikke noe stort trykkfall før økningen i trykk i slutten av april (figur 5.1 og 5.2).

Resultatene i oppgaven viser at middelveiden av lufttrykket i midten av februar har økt fra perioden 1946-1975 til perioden 1976-2004. Dette resultatet stemmer bra med Strand og Grønås (2001), og tidspunktet for det høye trykket i februar bestemmes mer nøyaktig. Likevel er trenden at lufttrykket i februar reduseres kraftig fra 1976 til 2004, noe som kan føre til økt lavtrykksaktivitet også i denne måneden (figur 2.6, 5,1 og 5,7).

I april avtar lavtrykksaktiviteten denne måneden raskere nå enn tidligere, noe som fører til at overgangen fra vinter- til vårsirkulasjon skjer tidligere enn før (se også kapittel 2).

Strand og Grønås (2001) viser at det er størst høytrykksaktivitet over Skandinavia i mai, noe som stemmer overens med resultatene i oppgaven (figur 5-1 og 5-2). Blokkerende høytrykk over Skandinavia i mai de senere årene har en selvforsterkende effekt, siden de fører til at færre lavtrykk slipper inn over land, men må finne nye veier rundt Skandinavia.

Figur 5-7 viser en trend mot stigende trykk i siste halvdel av mars og fallende trykk i februar, i perioden 1976-2004. Dette vil trolig føre til at middeltrykket i årene som kommer vil få en mer brå overgang fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon enn det har vært de siste årene. Slik utviklingen har vært, vil denne overgangen i de kommende årene trolig skje enda tidligere enn nå, kanskje allerede i midten av mars.

6.2.2. Endringer i temperatur

Ifølge Watson et al. (2001) er 1910-1945 og 1976-2000 de periodene siden 1861 hvor det globalt sett har vært størst økning i lufttemperaturen målt ved bakken.

Figur 5-8 til 5-10 viser at det i februar og mars var 1-2°C høyere temperatur i periodene 1910-1945 og 1976-2004 enn i perioden 1946-1975. De høye temperaturene i februar og mars i disse periodene har sammenheng med NAO i en positiv fase. Resultatene i oppgaven stemmer overens med resultatene i Watson et al. (2001), og dette bekrefter at resultatene fra deres rapport gjelder på lokal skala også, ikke bare på global skala. I første hovedperiode var det en nedkjøling på 1-2°C, mens det i de to siste periodene var en oppvarming på 3-4°C (figur 5-11, 5-13 og 5-14).

I siste hovedperiode ble korrelasjonen mellom NAO og temperatur i mars dramatisk svekket, spesielt for stasjonene på Vestlandet. Dette tyder på at betydningen av adveksjon er svekket i forhold til betydningen av kortbølget innstråling denne hovedperioden, noe som igjen kan bety at våren er i ferd med å starte tidligere.

I april var det så å si ingen forskjell i temperatur mellom de tre hovedperiodene (figur 5-8 til 5-10). Dette kan knyttes til at både adveksjon og stråling har innvirkning på temperaturklimaet i denne måneden. I april varierer NAO ofte mellom positive og negative verdier, i tillegg til at den er svekket en del. Årsaken til at NAO er svakere nå enn på vinteren er at det er større temperaturforskjeller mellom ekvator og høye bredder om vinteren. Om vinteren må kraftige lavtrykk til for å flytte nok energi mot nord (og sør) for å dekke opp for strålingsunderskuddet der. Det skjer store endringer i lufttrykket i løpet av april (figur 5-1 og figur 5-2). Det er i april overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon skjer for alle tre periodene, selv om overgangen skjer tidligere fra periode til periode. Totalt sett fører endringene i lufttrykk og en svekkelse av NAO til at adveksjon ikke er av så avgjørende betydning for temperaturene som den var på vinteren. I april står solen høyt nok på himmelen til å varme opp jordoverflaten, og i tillegg blir dagene stadig lengre utover våren. Denne måneden er en overgangsfase, der enkelte dager får høye temperaturer når solen skinner, mens andre dager først får høye temperaturer når det varmere luft fra sørvest strømmer inn over land.

Dette endrer seg i mai og juni, der hovedtrekket er at det er lavest temperatur i perioden 1910-1945, og høyest temperatur i perioden 1976-2004 (figur 5-8 til 5-10). Enkelte unntak finnes for

Leikanger, og grunnen til dette er at perioden 1929-1945 ikke er direkte sammenlignbar med perioden 1910-1945. Resultatene viser at Leikanger trolig hadde vist samme hovedtrekkene i perioden 1910-1945 dersom målinger hadde eksistert (figur 5-12).

En forklaring på at det i mai og juni er lavest temperatur i perioden 1910-1945, mens det er høyest temperatur i perioden 1976-2004, finnes ved å se på endringer i overgangen fra vinter til vårsirkulasjon. Denne overgangen skjer senest i første periode, og tidligst i siste periode (figur 5-1 og 5-2). Det er trolig at det finnes en forbindelse mellom spranget i lufttrykk i april, og temperaturen i mai. Det ser ut til at det først er et par uker etter skiftet til vårsirkulasjon at temperaturen virkelig begynner å stige. I slutten av mai er våren kommet for fullt i alle tre periodene, og dermed jevner temperaturene seg også mer ut enn i starten av måneden.

I første hovedperiode er det i mai en svak positiv korrelasjon mellom NAO-indeks og temperatur, mens det i neste periode er blitt en litt sterkere, men negativ korrelasjon, som blir ytterligere forsterket i siste hovedperiode. Den svake korrelasjonen i første hovedperiode tyder på at adveksjon fortsatt har en del innvirkning på temperaturene lokalt. I de to siste hovedperiodene er det negativ korrelasjon, noe som tyder på at adveksjonen ikke lenger har så stor betydning for temperaturer lokalt, men at klimaet nå i større grad enn før er strålingsbestemt.

I juni synker lufttrykket igjen, etter å ha nådd en topp i slutten av mai. Jordoverflaten har blitt varmet opp av kortbølget innstråling i løpet av våren, og varmestråling emitteres til luften over. Luften absorberer deler av denne varmestrålingen, noe som fører til at den blir oppvarmet selv. Når temperaturen i luften stiger, vil luften bli lettere, og lokalt faller da trykket. Den storstilte sirkulasjonen har på denne tiden av året svekket betydning for lokalklimaet, også for temperaturene som i større grad avhenger av kortbølget stråling. Temperaturene i denne måneden er uinteressant for oppgaven, siden vekstsesongen for lengst har startet, og blomstringen med unntak av noen få år (for eksempel 1958 og 1979) startet i mai.

Oppsummering og kommentarer

Hovedsakelig hadde februar og mars de høyeste temperaturene i periodene 1910-1945 og 1976-2004. Det at disse månedene hadde høye temperaturer i begge periodene med stor oppvarming fører til at vekstsesongen og våren blir fremskyndet i disse periodene. I april var temperaturene omtrent like høy i alle tre hovedperiodene, mens det i mai var kaldest i første periode og varmest i siste periode. Den store oppvarmingen om vinteren og våren i siste periode stemmer overens med prognosene i Watson et al. (2001).

Som sagt i datadelen kan temperaturseriene inneholde inhomogeniteter, og det er ikke justert for disse for døgnverdier.

Stasjonen på Ås ble flyttet i 1988, og undersøkelsen i kapittel 3 viste at temperaturene var lavere på den nye lokaliteten enn på den gamle. Den lineære trenden ga økende temperaturer for Ås fra 1976 til 2004. Siden det er kaldere på den nye lokaliteten enn på den gamle, så er trendene med stor sannsynlighet reelle.

Stasjonen i Bergen flyttet i 1985 fra Fredriksberg til Florida, men dette er middelveiene justert for (kapittel 3.3).

For Leikanger var det ikke mulig å foreta noen sammenligning av ny og gammel stasjonslokalitet, men siden trendene i perioden 1976-2004 stemmer overens med trendene for Bergen og Ås, kan det antas at de er korrekt.

Det kan være flere inhomogeniteter i dataseriene, men dette var det ikke mulig å ta hensyn til i denne oppgaven.

6.2.3. Endringer i nedbør

Totalt sett var det i februar og mars mest nedbør i de to hovedperiodene som hadde størst oppvarming (1910-1945 og 1976-2004), og den største økningen i nedbør fant sted i siste periode. Mye nedbør i disse månedene henger sammen med at NAO ofte er i en positiv fase. Videre vil mer skyer og regn føre til et redusert langbølget strålingstap, noe som forklarer de høye temperaturene, da det er lav sol og klimaet er advektivt bestemt.

Trenden mot reduserte nedbørsmengder i februar i første hovedperiode (figur 5-18) samsvarer med at NAO oftest var positiv i starten av perioden, mens den på slutten av perioden ofte var negativ. For perioden 1976-2004 er dette motsatt, NAO var i en negativ fase de første årene, mens den på slutten var i en sterk positiv fase. Det ble derfor økte nedbørsmengder i den siste perioden (figur 5-21). I mars var det klart mest nedbør i den siste perioden, noe som stemmer godt med at det kun var i denne perioden at NAO-indeksen var positiv.

Det var en signifikant trend mot mindre nedbør i april i perioden 1946-1975 (figur 5-20), en periode som også viste lavere temperaturer denne måneden (figur 5-13). I den siste hovedperioden var det en trend mot økte nedbørsmengder, en periode med stor oppvarming.

I mai og juni er NAO kraftig svakket. Det er fortsatt en signifikant positiv korrelasjon mellom NAO-indeks og nedbør i alle hovedperiodene, med enkelte unntak for Ås, der nedbøren på denne tiden av året ofte falle som ettermiddagsbyger.

Som nevnt i kapittel 3 kan flytting av nedbørsmåleren føre til inhomogeniteter.

Stasjonen på Ås ble flyttet i 1988, og undersøkelsen (kapittel 3) viste at den nye lokaliteten har mindre nedbør enn den gamle. Trenden mot økte nedbørsmengder fra 1976 til 2004 (figur 5-21) ser derfor ut til å være reell. Også for Bergen viser trenden økte nedbørsmengder fra 1976 til 2004. Stasjonen ble flyttet i 1985, og ifølge kapittel 3 hadde den nye lokaliteten mer nedbør enn den gamle. Av den grunn kan det være at trendene i denne perioden er for store, men de er i utgangspunktet så stor at økningen i nedbør mest sannsynlig er signifikant. Stasjonen på Leikanger har også vært flyttet (1990), men her var det ikke noe sammenligningsgrunnlag. Siden trendene er forholdsvis lik trendene for Ås og Bergen, er det sannsynlig at de er reelle for denne stasjonen også. Det kan være flere inhomogeniteter i dataseriene, noe som det ikke var mulig å ta hensyn til i denne oppgaven

6.2.4. Endringer i stråling

For stråling er det kun undersøkt endringer i perioden 1976-2004.

Først beskrives endring av netto strålingsbalanse, og deretter undersøkes det hva denne endringen skyldes, ved å studere endringer i kortbølget og langbølget stråling.

Figurene 5-22 til 5-29 (kapittel 5.2.4.), som viser endringene i stråling og strålingsbudsjetter, er benyttet i diskusjonen. I tillegg er figur 5-14 og 5-21, som viser endringer i temperatur og nedbør i perioden 1976-2004, benyttet. Til bruk i diskusjonen er dessuten tabell 5-1a med månedsverdier av NAO-indeksen nyttig.

I februar og mars har det hovedsakelig vært en reduksjon i netto strålingsbalanse (figur 5-27). Det har vært en større økning for total utgående stråling enn for total innkommende stråling (figur 5-24 og 5-26).

Økningen i total utgående stråling skyldes hovedsakelig økning i langbølget utstråling, på grunn av økning i lufttemperaturen. Denne økningen i lufttemperaturen stemmer med tidligere resultater (figur 5-14). Økningen i total innkommende stråling skyldes hovedsakelig en økning i atmosfærisk tilbakestråling, som trolig er forårsaket av en økning i skymengden. Økningen i skymengde stemmer med tidligere resultater, som viser en økning i nedbøren (figur 5-20). Både økningen i nedbør og temperatur henger sammen med at NAO ofte var i en positiv fase i februar og mars i disse årene.

Det var i april en reduksjon i netto strålingsbalanse (figur 5-27). Dette skyldes en økning i utgående stråling og en reduksjon i innkommende stråling.

Økningen i total utgående stråling skyldes en økning i langbølget utstråling, noe som kan knyttes til at temperaturen har økt (figur 5-14). Reduksjonen i innkommende stråling skyldes hovedsakelig en reduksjon i globalstrålingen (figur 5-22), som overskygger økningen i atmosfærisk tilbakestråling (figur 5-23). Samtidig var det både en økning i temperaturen og i nedbørsmengdene, noe som tyder på at adveksjonen fortsatt har betydning for lokalklimaet, men nå sammen med stråling.

I mai og juni har det vært en reduksjon i netto strålingsbalanse. Reduksjonen skyldes en større reduksjon i innkommende stråling, enn i utgående stråling.

Reduksjonen i utgående stråling forklares av en reduksjon i langbølget utstråling, som følge av reduserte temperaturer (figur 5-14). Reduksjonen i innkommende stråling skyldes både en

reduksjon i atmosfærisk tilbakestråling, og redusert globalstråling, noe som igjen kan knyttes til reduksjonen i temperatur.

Oppsummering og kommentarer

Overgangen fra strålingsunderskudd til overskudd har flyttet seg fra starten av mars til midten av måneden i perioden 1976-2004. Netto strålingsbalanse har en negativ trend, noe som i februar og mars skyldes en økning i langbølget utstråling på grunn av økte temperaturer. De økte temperaturene henger sammen med en økning i atmosfærisk tilbakestråling. Mest trolig skyldes dette en økning i skydekket på grunn av at NAO var i en positiv fase. Dette stemmer også med reduksjonen i innkommende kortbølget stråling

6.3. Endringer i start på våren og den termiske vekstsesongen

Som nevnt i kapittel 4.4 starter våren når temperaturen stiger over 0°C, mens vekstsesongen starter når temperaturen stiger over 5°C.

Det er mest interessant å se på perioden 1929-1945, og ikke 1910-1945, siden registrering av tidspunkt for blomstring i Gravenstein på Leikanger startet først i 1929.

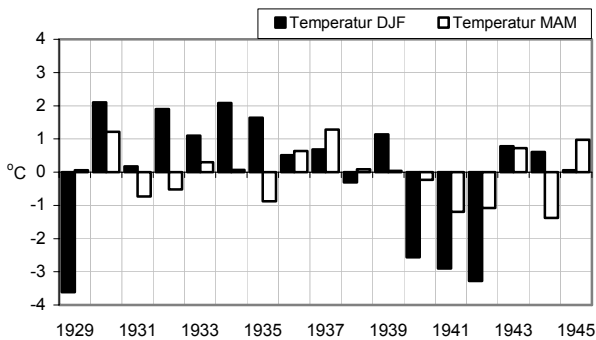
Perioden 1929-1945

I løpet av denne perioden ble det i februar til mai høyere temperaturer (figur 5-12), og derfor er det naturlig å tro at vår, vekstsesong og blomstring starter tidligere.

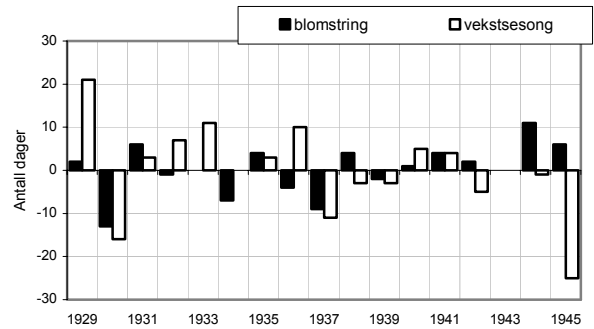
På Ås og Leikanger startet våren tidligere i slutten enn i starten av perioden, mens det omvendte var tilfellet for Bergen (tabell 5-8). Trendene er svake, og ingen av dem er signifikante, noe som kan forklare at Bergen viser en annen trend enn de to andre stasjonene. Også vekstsesongen starter tidligere i løpet av denne perioden, og trendene her er sterkere enn trendene for våren. For alle tre stasjonene starter vekstsesongen omtrent ti dager tidligere per tiår, og dette er en signifikant endring. Dette stemmer overens med at temperaturene har økt i samme periode. Første blomst kommer derimot senere og senere denne perioden, men trenden er svak og ikke signifikant (tabell 5-8).

Årsaken til at blomstringen og start av vekstsesongen har motsatt trend på Leikanger denne perioden kan knyttes opp mot temperaturene i perioden desember til februar (DJF), og i perioden mars til mai (MAM) (figur 6-1). Dersom middeltemperaturen i mars til mai er høy, blir det ofte en tidligere start på vekstsesongen enn dersom middeltemperaturen er lav (figur 6-2). Når det er varmt i denne perioden (MAM) bør det også være større sjanse for tidlig blomstring enn dersom det er kaldt. I tillegg til dette vil temperaturen om vinteren også ha betydning for blomstringstidspunktet. Dersom det er kaldt i desember til februar, er det tendens til at blomstringen starter senere enn hvis det er varmt. Årsaken til dette er at knoppene kommer tidligere ut av dvalen når det er varmt om vinteren, i tillegg til at de relativt høye temperaturene kan gi bidrag til varmesummen.

Figur 6-1 viser anomalier (avvik fra gjennomsnittsverdien) i temperatur i perioden DJF og MAM, 1929-1945. Figur 6-2 viser anomalier i starttidspunkt for blomstring og vekstsesong i samme periode.



Figur 6-1 Anomalier i temperatur Leikanger, 1929-1945
 DJF: des til febr, MAM: mars til mai



Figur 6-2 Anomalier i blomstring og veksts sesong, Leikanger, 1929-1945

De årene som er spesielt interessante i denne forbindelse, er 1932-1936. Dette er år med relativt milde vintrer, mens våren er relativt kjølig (figur 6-1), noe som fører til at blomstringen er relativt tidlig, mens veksts sesongen starter relativt sent (figur 6-2). I tillegg hadde 1945 normale vintertemperaturer, mens det var en mild vår. Dette førte til sen start på blomstringen, mens veksts sesongen startet ekstremt tidlig. Til sammen kan dette være med å forklare hvorfor trendene er ulike i denne perioden.

Perioden 1910-1945

Perioden viser en trend mot tidligere start på veksts sesongen, men trendene er ikke signifikante og noe svakere enn for perioden 1929-1945 (tabell 5-8). Årsaken til at trendene var mindre i denne perioden kan knyttes til mindre oppvarming fra 1910 til 1945 enn fra 1929 til 1945 (figur 5-11 og 5-12). Videre vises en trend mot at våren starter senere, noe som henger sammen med lavere temperaturer i februar i denne hovedperioden. Temperaturen i februar synker fra 1910 til 1945, mens temperaturen i siste halvdel av februar steg fra 1929 til 1945.

Perioden 1946-1975

I løpet av denne hovedperioden ble det høyere temperaturer i februar og til midten av mars, mens det ble lavere temperaturer fra slutten av mars og til starten av juni (figur 5-13). De høye temperaturene i februar og starten av mars stemmer med at våren starter tidligere (tabell 5-9). Videre stemmer det med at veksts sesongen og blomstringen starter senere, siden disse fasene er mest avhengig av temperaturen fra mars og til blomstringen finner sted i mai. Alle trendene i denne perioden er svake, og kun en er statistisk sikker.

Perioden 1976-2004

I denne perioden var det en kraftig temperaturøkning fra februar til starten av mai, noe som stemmer med at våren, vekstsesongen og blomstringen starter tidligere denne perioden (figur 5-14 og tabell 5-10). Trendene er signifikant for alle fasene. Basert på en lineær trendlinje starter alle fasene en til to uker tidligere i løpet av disse 30 årene, noe som utgjør tre til fire dager per tiår.

Oppsummering og kommentarer

I de to periodene der temperaturene økte var det en trend til at våren, vekstsesongen og blomstringen starter tidligere enn før.

Starten på våren er mest avhengig av temperaturen i februar, og derfor følger ikke starten på våren alltid de samme trendene som vekstsesongen og blomstringen.

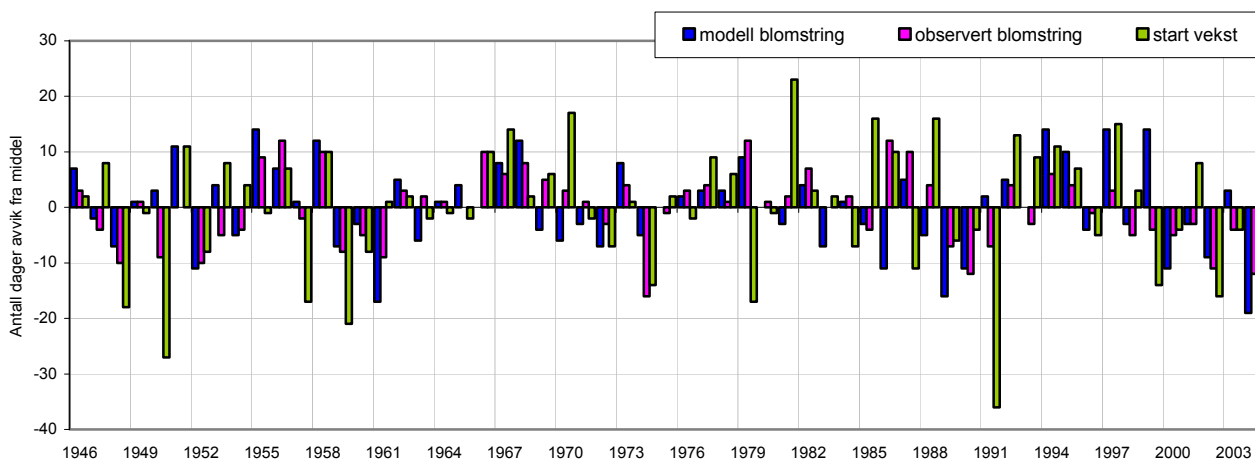
I perioden med reduserte temperaturer, starter vekstsesongen og blomstringen senere. Dette er årsaken til at det blir svake trender, som ikke er signifikant, når hele perioden 1910-2004 undersøkes (figur 2.9).

6.4. Beregning av blomstringstidspunkt i Gravenstein

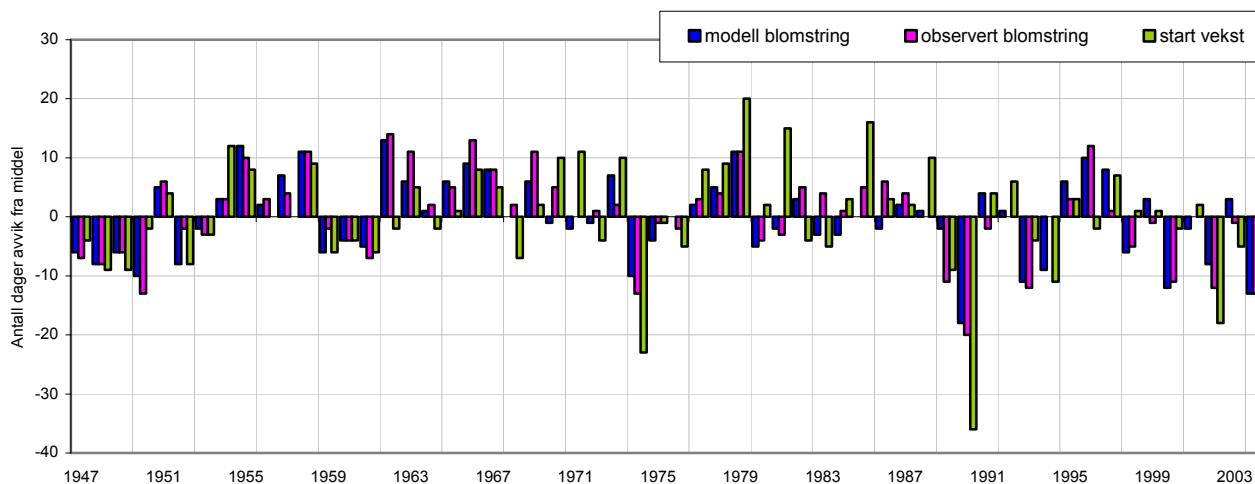
Figurene 5-30 og 5-31 viser at det ved hjelp av temperaturen er mulig å modellere tidspunkt for første blomst i Gravenstein med relativt god nøyaktighet.

Denne enkle modellen (kapittel 4.5) viser at temperatur er en viktig og avgjørende faktor for tidspunkt for blomstring i Gravenstein, og det midlere absolute avviket viser at det gir lite utslag på resultatet om beregningene starter når vekstsesongen starter, eller om de starter 1.april.

Figur 6-3 og 6-4 viser at vekstsesongen ofte starter før enn normalt i de årene blomstring starter før enn normalt. Dette gjelder både for modellert og observert blomstring. Perioden 1929-1945 på Leikanger har noen unntak, men de er allerede diskutert (kapittel 6.3).



Figur 6-3 Anomalier i tidspunkt for modellert og observert blomstring, og start på vekstsesongen, Leikanger (1946-2004)



Figur 6-4 Anomalier i tidspunkt for modellert og observert blomstring, og start på vekstsesongen, Ås (1947-2004)

6.5. Fare for frostskader

Siden det har blitt varmere med størst oppvarming om vinteren og tidlig på våren, skulle man tro at det var mindre fare for frost i perioden etter blomstring nå enn tidligere. Undersøkelser, blant annet fra Tyskland, som tar for seg frostskader på epletrær (Chmielewski et al., 2004), viser at frostfaren har økt, og årsaken er at blomstringen skjer tidligere nå. Dermed er det større sjanse for å få dager med frost i blomstringsperioden, selv om den gjennomsnittlige temperaturen har økt. Frost er tilfeldig, og kan inntreffe enkelte dager selv om temperaturene i gjennomsnitt øker.

Resultatene i oppgaven viste at det på de valgte stasjonene ikke var fare for frost i perioden rett etter blomstring, men i måneden før blomstring var det fare for frost. I periodene med oppvarming (1929-1945 og 1976-2004) var det i gjennomsnitt flere dager med frost enn i perioden 1946-1975 (tabell 5-11).

Serien med minimumstemperatur for Ås er ikke homogenisert. Sammenligningen i kapittel 3 viste lavere minimumstemperatur på den nye lokaliteten (1988), noe som kan være med å forklare hvorfor det i gjennomsnitt var flere dager med frost i den siste perioden (1976-2004).

For Leikanger var en slik sammenligning ikke mulig å gjennomføre.

Temperaturen er målt i Meteorologisk Institutts hytte og den er bedre isolert mot strålingstap enn hva en knopp eller blomst i et tre er. I tillegg måles temperaturen i to meters høyde over bakken. Derfor kan det være frost på en kvist, selv om det ikke er målt minimumstemperaturer under null grader i temperaturhytten. Etter 1990 fikk Leikanger automatstasjon, og disse er mindre beskyttet mot strålingstap enn instrumenter i en hytte.

Det er også verdt å merke seg at det kan være forskjell i frostfaren på de øverste og nederste greinene i et frukttre. Siden det ofte er i klarværsnetter det er fare for frost, vil det være kaldest nærmest bakken, og da kaldere på de nederste greinene enn på de øverste.

7. Konklusjon

Endringene i globalt klima, her beskrevet ved hjelp av den nordatlantiske svingningen (NAO), vises igjen i endringer i lufttrykk, temperatur og nedbør på stasjonene Ås, Bergen og Leikanger. Sammenhengen vises spesielt godt for stasjonene på Vestlandet, siden været der i større grad enn for Østlandet er preget av lavtrykk som kommer fra havet i vest.

Både globalt og lokalt var det økning i temperaturene i periodene 1910-1945 og 1976-2004, mens det i perioden 1946-1975 ble lavere temperaturer om våren. Dette stemmer med at den nordatlantiske svingningen oftest var i en positiv fase i de varme periodene, mens den oftere var i en negativ fase i den kalde perioden.

Endringene i temperatur førte til at vekstsesongen og blomstringen i epletrær startet tidligere enn før i de varme periodene, og senere start enn før i den kalde perioden. Spesielt i den siste perioden har det vært store endringer i temperatur, vekstsesong og blomstringstidspunkt.

Variasjonene i starttidspunktet for våren følger ikke helt det samme mønsteret som variasjonene for vekstsesongen. Årsaken til dette er at starttidspunktet for våren avhenger mer av temperaturene i februar enn hva starttidspunktet for vekstsesongen gjør. Temperaturen i februar følger ikke de samme trendene som temperaturen om våren gjør, og dette fører til at våren i stor grad starter tidligere og tidligere i alle tre hovedperiodene.

Også overgangen fra vintersirkulasjon til vårsirkulasjon starter tidligere i hver av de tre periodene. Det tar noen uker fra vårsirkulasjonen starter, til dette gir skikkelige utslag i temperaturen. Likevel vil den tidlige overgangen til vårsirkulasjon i siste periode være knyttet til den tidlige starten på vekstsesongen og blomstringen.

Det har ikke vært noen store endringer i antall dager med frost i måneden før første blomst i Gravenstein. Likevel er det trolig at de to varme periodene 1929-1945 og 1976-2004 har hatt flere dager med frostnetter enn den kalde perioden 1946-1975. Årsaken til dette er at blomstringen starter tidligere på året i de varme periodene, og det er da større sannsynlighet for å få frost om natten.

Referanseliste

- Aune, B. (1993) Temperaturnormaler, normalperiode 1961-1990. DNMI-rapport 02/93 klima.
- Campbell, M. J. og Machin, D. (1999) *Medical Statistics: a commonsense approach*. Chichester, John Wiley & sons, ltd.
- Chmielewski, F. M., Müller, A. und Kuchler, W. (2004) Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen. Eigenverlag HU Berlin, Juni 2004.
- Dem Norwegischen Meteorologischen Institut (1939) *Jahrbuch des Norwegischen Meteorologischen Instituts für 1938*. Oslo, Grøndahl & Søn.
- Dem Norwegischen Meteorologischen Institut (1921) *Jahrbuch des Norwegischen Meteorologischen Instituts für 1920*. Kristiania, Grøndahl & Søn.
- Det norske meteorologiske institutt (1957) *Lufttemperaturer i Norge 1861-1955: I* Middelverdier. Oslo.
- Det norske meteorologiske institutt (1951) *Norsk meteorologisk årbok 1949*. Oslo, Grøndahl & Søn.
- Encarta Interactive World Atlas 2000 [data program] (1999).
- Fotonor AS (03.06.96) Flyfoto for deler av stasjonsområdet på Ås.
- Førland, E. J. (2004) Variasjoner i vekst- og fyringsforhold i nordisk Arktis. *Cicerone* (6/2004), 38-39.
- Førland, E. J. (1993) Nedbørnormaler, normalperiode 1961-1990. DNMI-rapport 39/93 klima.
- Førland, E. J. og Hanssen-Bauer, I. (1992) Analyse av lange nedbørsserier. DNMI-rapport 01/92 klima.
- Godske, C. L. og Andersen, P. (1969) 4. An application of the H. Johansen weather types as discriminant functions for the Bergen precipitation. *Årbok for Universitetet i Bergen. Mat.naturv.serie No. 8*.
- Hansen-Bauer, I. og Førland, E. J. (1994) Homogenizing long Norwegian precipitation series. *Journal of climate* 7 (6), 1001-1013.

- Harbitz, H. (1963) Oversikt over de offisielle meteorologiske stasjoner og observasjoner i Norge samt over rutinebearbeidelsen av dem i årene 1866-1956. Det norske meteorologiske institutt, Technical report no. 6. Oslo.
- Haugsvær, S. (21.09.2003) *Gravenstein påviser klimaendringer*. <<http://www.forskning.no/Artikler/2003/september/1063702667.64>>, (18.04.05)
- Heiberg, N. Bilde av førsteblomst-stadiet. Planteforsk Njøs. (Figur 3-9).
- Holton, J. R. (1992) *An introduction to dynamic meteorology*. International geophysics series, volume 48. USA. Academic press.
- Hurrell, (07.03.05) *Climate indices* <<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>>, (19.04.05).
- Høgda, K. A. (20.01.2004) *Fenologi som en indikator på effekter av klimaendringer (phenoclim)*, <<http://projects.itek.norut.no/phenology/no>>, (23.03.05).
- Jónsson, T. og Miles, M. W. (2001) Anomalies in the seasonal cycle of sea level pressure in Iceland and the north Atlantic oscillation. *Geophysical research letters* **28** (22), 4231-4234.
- Laupsa, H. (1997) *Klima og fenologisk utvikling i frukttrø. Modellering av tidspunkt for bløming i epler*. Hovudfagsoppgåve i meteorologi. Bergen.
- Menzel, A. og Fabian, P. (1999) Growing season extended in Europe. *Nature* **397**, 659.
- Meteorologisk Institutt (april 2005) *Meteorologileksikon*. <http://met.no/met/met_lex/v_a/index.html#V>, (21.04.05).
- Mohn, H. (1896) *Jahrbuch des Norwegischen Meteorologischen Instituts für 1894*. Christiania, Grøndahl & Søn.
- Måge, F. og Vestrheim, S. (2002) Blomstringstid hos epletre. *Norsk frukt og bær* (6), 8-9.
- NOAA 17 satellitten. Satellittbilde fra 14 Nov 2004 (figur 2-3).
- Nordli, Ø. (1997) Homogenitetstesting av norske temperaturseriar. DNMI-rapport 29/97 klima.
- Oke, T. R. (1982) The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*. **108** (455), 1-24.
- Oljedirektoratet (1997) ”Bilag til forskrift om naturdata i petroleumsvirksomheten”. *Regelverksamling for petroleumsvirksomheten*: Redigert og tilrettelagt av Oljedirektoratet. Bind 2. Stavanger. s 47.
- Olseth, J. A. og Skartveit, A. (1993) Characteristics of hourly global irradiance modelled from cloud data. *Solar energy* **51** (3) 197-204.

- Osborn, T. (24.03.05) *North Atlantic Oscillation index data*
<http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/projpages/nao_update.htm>, (19.04.05).
- Schieldrup Paulsen, H. og Torheim, K. A. (1964) Atmospheric radiation in Bergen, December 1957 – June 1959. Årb. *Univ. of Bergen Mat. Nat. Ser.* (11).
- Skaar, E., Utaaker, K., Helland-Hansen, W., Byrkjeland, S., Fossen, H., Moe, B., Aarseth, I. og Brekke, N. G. (2004) *Naturhistorisk vegbok: Hordaland*. Bergen. Bergen Museum.
- Skartveit, A., Cleveland, F. og de Lange, T. (1999) *Radiation observations in Bergen, Norway*. Radiation yearbook no. 35. Bergen.
- Statens kartverk, Norsk Eiendomsinformasjon og Asplan Viak Internet AS.
<<http://kart.norge.no>>, (21.04.05). (Figur 3-7).
- Strand, H. og Grønås, S. (2001) Endringer i lufttrykk og vind i våre områder de siste tiårene. *Cicerone* (5/2001), 26-30.
- Sørum, O. (1991) Bilde av frostskaide i Rød Gravenstein epler, tatt i Fresvik i 1991.
- Utaaker, K. (1991) *Mikro- og lokalmeteorologi: Det atmosfæriske miljø på liten skala*. Bergen: Alma mater forlag.
- Vestrheim, S. (1974) Time of blossoming in apple, cherry, and black currant as related to pre-bloom temperatures. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* **53** (32), 1-16.
- Visbeck, M. *North Atlantic Oscillation*, <<http://www.ldeo.columbia.edu/NAO>>, (22.03.05).
- Wallace, J. M. and Hobbs, P. V. (1977) *Atmospheric science: An introductory survey*. Academic Press.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., Ye, K. (2002) *Probability & statistics for engineers & scientists*. U.S.A. Pearson Education International.
- Watson, R., Houghton, J., Yihui, D. (2001) *Summary for policymakers. Climate Change 2001: The Scientific Basis*. <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/005.htm> (26.03.2004).
- Wielgolaski, F. E. (1999) Starting dates and basic temperatures in phenological observations of plants. *Int J Biometeorol* (42), 158-168.

Appendiks

A.1. k-verdier

Köppens formel (3-1) benyttes til utregning av døgn- og månedsmiddeltemperaturer (side 16). I denne formelen inngår en korreksjonsfaktor, den såkalte k-verdien. k-verdiene varierer fra sted til sted, og opp igjennom årene har det kommet nye k-verdier. De ulike k-verdiene finnes i årbøker fra Meteorologisk Institutt, noe vi kan se i Harbitz (1963).

Siste oppdatering er i årboken fra 1949, og det ble bekreftet av Elin Lundstad ved klimaavdelingen (met.no) at denne fortsatt brukes. Det har ikke vært noen endringer i observasjonstidspunktene fra 1949 og frem til stasjonen på Ås og Leikanger ble overtatt av andre instanser (henholdsvis Norges Landbrukshøgskole og Planteforsk).

Tabell A.1-1 og tabell A.1-2 gir en oversikt over k-verdiene for Ås og Leikanger som er benyttet i denne oppgaven. De er hentet fra Mohn (1896), Dem Norwegischen Meteorologischen Institut (1921 og 1939) og Det norske meteorologiske institutt (1951). k-verdiene fra hver årbok gjelder til neste årbok ble utgitt.

I årboken for 1920 er ikke Leikanger oppført, siden temperaturmålingene ikke var startet der på det tidspunktet, og derfor benyttes verdien for Lærdal. Dette er mest sannsynlig en god tilnærming siden Leikanger og Lærdal har svært like k-verdier i årboken for 1938. Lærdal er en bygd innerst i Sognefjorden, men ikke veldig langt fra Leikanger.

For Bergen er det ikke benyttet k-verdier i beregningene i oppgaven.

Tabell A.1-1. k-verdier for Ås

	Årbok 1894	Årbok 1920 (juli)	Årbok 1938	Årbok 1949
Februar	0,10	0,11	0,13	0,08
Mars	0,14	0,14	0,16	0,13
April	0,18	0,23	0,25	0,20
Mai	0,21	0,26	0,27	0,24
Juni	0,22	0,27	0,27	0,24

Tabell A.1-2. k-verdier for Leikanger

	Årbok 1920 (juli)	Årbok 1938	Årbok 1949
Februar	0,09	0,09	0,08
Mars	0,14	0,16	0,13
April	0,21	0,23	0,20
Mai	0,26	0,27	0,24
Juni	0,27	0,27	0,24

A.2. Albedo

Verdiene for albedo i tabellen under må multipliseres med 100 for å omregnes til prosent.

Vi ser at albedo har høyere verdier for Ås enn Bergen, spesielt i februar og mars. Dette skyldes trolig at det er mer snø på Ås enn i Bergen.

For Ås er det tilsendt beregnede døgnverdier av albedo i perioden 1988-2004, basert på målte verdier av innkommende og reflektert kortbølget stråling. I denne oppgaven er det først beregnet et månedsmiddel av albedo for hver av månedene februar til juni hvert år, basert på døgnverdiene. Deretter beregnes en middelværdi av albedo for alle månedene og for alle årene i perioden 1988-2004. Resultatene kan ses i tabell A.2-1.

For Bergen er albedo hentet fra modellen nevnt i kapittel 3.1.6. (Olseth og Skartveit, 1993), og de samme verdiene brukes også for Leikanger. Verdiene er presentert i tabell A.2-1.

Tabell A.2-1. Albedo for Ås, Bergen og Leikanger

	Albedo (α), Ås	Albedo (α), Bergen og Leikanger
Februar	0,50	0,25
Mars	0,40	0,20
April	0,25	0,15
Mai	0,25	0,15
Juni	0,25	0,15

A.3. Ordforklaringer

Fenologi

Læren om sammenhengen mellom klimaet og de periodiske forandringene hos planter og dyr, for eksempel blomstring og formering (Høgda, 2004).

NAO

Den nordatlantiske svingningen (NAO) angir styrken på vestavindsbeltet, og tar utgangspunkt i differansen i lufttrykk mellom en meteorologisk stasjon på Island og en ved Azorene. Ut fra dette defineres en indeks der fortegnet på indekstallet angir hvilken fase svingningen er i, det vil si en positiv og en negativ fase (Osborn, 2005). Se også kapittel 2.

Synoptisk skala

Storskala atmosfæriske bevegelser (som lavtrykk), med en horisontalskala av størrelsesorden 10^6 m (Holton, 1992).

Tropopause

Grensen mellom det nederste laget i atmosfæren, troposfæren, og det neste laget som er stratosfæren. Dette skillet finnes ca 10 km over jordoverflaten (Holton, 1992).

Vestavindsbeltet

Luften som blåser nordover ut fra de subtropiske høytrykksområdene ved ca 30°N dreies etter hvert østover (dvs. vestavind) før den møter polarluften ved cirka 60°N (polarfronten). Området mellom polarfronten og de subtropiske høytrykkene kalles vestavindsbeltet. Tilsvarende sør for ekvator (Meteorologisk Institutt, april 2005).