

Klimatförändringars effekter på jordbrukets växtproduktion i Sverige – scenarier och beräkningssystem

Henrik Eckersten, Alois Kornher

Swedish University of Agricultural Sciences (SLU)
Department of Crop Production Ecology (VPE)
Uppsala 2012

Klimatförändringars effekter på jordbrukets växtproduktion i Sverige – scenarier och beräkningssystem. (Climate change impacts on crop production in Sweden – scenarios and computational framework)
Eckersten, H. & Kornher, A.
Report from the Department of Crop Production Ecology (VPE) • No. 14
Swedish University of Agricultural Sciences (SLU)
Uppsala 2012
ISBN 978-91-576-9067-8

Editor: Birgitta Båth

Klimatförändringars effekter på jordbrukets växtproduktion i Sverige – scenarier och beräkningssystem

Henrik Eckersten och Alois Kornher

Institutionen för Växtproduktionsekologi, Sveriges Lantbruksuniversitet, 750 07 Uppsala

henrik.eckersten@slu.se, Tel +46 18 673259

Summary in English.....	4
1. Bakgrund och inledning.....	6
2. Metod - utförande.....	7
2.1 Platser och observerat väder	7
2.2 Klimatförändringsscenarier.....	9
2.3 Beräkning av grödvariabler.....	13
2.4 Parameterisering av modellerna.....	16
2.5 Beräkningssystem	18
3. Resultat.....	20
3.1 Höstvetete	20
3.2 Höstraps	21
3.3 Vårkorn	22
3.4 Fodermajs.....	24
3.5 Vin.....	25
3.6 Vårfrost och sådatum	26
3.7 Osäkerhets test	27
4. Diskussion och slutsatser	36
5. Referenser	40
6. Appendix - Tabeller	42
Tabell A2.1a. Korrigeringar av observerade väderdata	43
Tabell A2.2a. Temperatur	44
Tabell A2.2b. Nederbörd	46
Tabell A3.1a-b. Höstvetete DC31 och DC61	48
Tabell A3.2a. Höstraps DC65	50
Tabell A3.3a. Vårkorn sådd och skörd	52
Tabell A3.3b. Vårkorn DC61	54
Tabell A3.5a. Huglin index (HI) för vin	56
Tabell A3.6a. Vårfrost	57
Tabell A3.7c1. Kalibrering av daglängdsbaserade utvecklingsmodeller.....	58
Tabell A3.7c2. Parameterisering av klimatbaserade utvecklingsmodeller.....	58
Tabell A3.7c3. Daglängdsbaserad utvecklingsmodell.....	59
Tabell A3.7e. Vårkorn oförändrat skördedatum	61
Tabell A3.7i. Temperaturbaserad utvecklingsmodell; Delta-ref. period ~1995	62

Summary in English

Title: Climate change impacts on crop production in Sweden – scenarios and computational framework

The English summary of this report is based on a conference abstract of the NJF seminar “Risk assessments/risk management, forecasting pests and diseases of field crops in a changing climate” in Kristianstad, Sweden in November 2011 (Eckersten et al., 2011b).

It has been evaluated that climate change probably will cause increased need of plant protection (Eckersten et al., 2007; 2008; Fogelfors et al., 2009) which in turn would increase the risk of negative impact on the environment. To predict possible changes in the future needs of plant protection in Swedish agriculture it is of interest to know how dates for sowing, phenological stages and harvest might change in future. It is also of interest to know which crops that might be grown. This ultimately depends on which crops the farmer can grow economically, which to a large extent is determined by socio-economic factors, but also on how the yield and quality of the crops change in a changing climate. To provide a base for evaluating changes of future needs of pest control we assessed the sowing dates of spring barley and maize, anthesis date (DC61) in spring barley, floral initiation (DC31) and anthesis dates in winter wheat, flowering date (DC65) in winter wheat and winter rape, harvest date and yield of spring barley and quality, harvest date and yield of fodder maize (Eckersten et al., 2011). We also assessed the change in risk of frost after sowing under climate change, and an index for successful growth of wine.

Methods

To assess possible future changes in these variables we further developed a computational *framework* (Eckersten et al., 2001) for handling inputs, executing the computations and handling the outputs, needed to assess effects on crop of possible future changes of the climate. Inputs are, except for the climate variables, also the crop and cultivar specific parameter of the models. The parameters were either achieved from other experimental studies (Hermann et al., 2005) or derived by comparing modelled values with observed data. We used the Delta-method for downscaling *climate change scenarios* on a monthly and 50x50km scale to daily and local values. The monthly changes projected by the climate scenarios were applied to daily observed weather (SMHI) during the reference period 1961-87 (~1975; also the reference period 1981-2010 was used). The climate change scenarios of the IPCC A1b-emission scenario were used (SMHI, 2011), giving an average annual temperature increase of 2.5, 3.6 and 3.7°C for Lund (55.6°N), Uppsala (59.8°N) and Luleå (65.5°N), respectively, from ~1975 to ~2085. The corresponding changes in precipitation were +84, +55 and +85 mm, respectively. Solar radiation (global radiation) generally decreased under climate change, although only a little. Direct effects of increased atmospheric carbon dioxide concentrations on crop were not considered. The *models* used to assess the development stages were the accumulated sum of daily mean air temperature (T_{DMV}) above 5°C from 1 January. At a certain accumulated value (T_{Sum}) the phenological stage occurred. T_{Sum} was estimated to fit regular *observations* in Malmöhus County during 1988-2010 made by the Swedish Board of Agriculture as part of their regular monitoring programme of crop status. Sowing and harvest dates of spring barley was estimated with the corresponding temperature sum to fit Swedish crop cultivar trials (2003-2009) and sowing date of maize to fit field experiments in Germany 1998-2002. The yield of spring barley was simulated with the growth model FOPROQ32 (Torssell and Kornher, 1983), and fodder maize yield and quality with the MAISPROQ model (Hermann et al., 2005). Both models depend on a daily weather index for air temperature, global radiation and soil water availability. The spring barley model was calibrated against regional yields in Sweden for selected years between 1965 and 2009, and the fodder maize model against the Janna cultivar in German field trials. Harvest date of maize was set to the date when the simulated dry matter achieved 34% level, or by latest 31 October. For wine the Huglin index based on T_{DMV} and daily maximum temperature was used (cf. Trnka et al., 2011). We also assessed the *uncertainties* in the projections for

differences in climate change scenarios, development stage models, sowing and harvest strategies, calibration data, cultivars, and climate reference period used in the Delta-method for downscaling. Concerning an English summary of the results we refer to the NJF seminar abstract by Eckersten et al. (2011b).

In conclusion, the projected effect of climate change on development stages of winter wheat, winter rape and spring barley were similar among the crops. The observed changes that have already occurred between the previous “30” year-period (1961-87; ~1975) and the “today” period (1981-2010; ~1995) were quite large in Götaland and Svealand. The future assessments were uncertain, depending on which reference period that was used in the Delta-method for downscaling. Using the reference period ~1975 we achieved a small change in temperature between the nearest future period (2011-2040) and the “today” period (~1995), whereas when using the ~1995 as the reference period a considerable temperature increase was achieved. The reason of this uncertainty remains to be investigated but is speculated to be related to how the modelled climate fit the corresponded observed climate at the locations used in this study.

By the end of the century the development stages might occur about one and a half to two and a half weeks earlier than “today”, and the current dates for Lund might be found in Uppsala, and those of Uppsala today might be found in Umeå, when using the ~1975 reference period in the Delta-method. When the ~1995 reference period, or the A2 climate scenario, was used the corresponding development stages occurred two to more than three weeks earlier than “today”. For sowing dates the projected changes were larger than for development stages, when estimated according to the accumulated temperature sum. However, then there was an increased frost risk which might slightly delay sowing for spring barley, but less for maize. The expansion of fodder maize cultivation area depends on how frequent a successful fodder quality is achieved. It was predicted that by the end of the century Uppsala might achieve about similar frequency of successful years as Lund has “today”. This will cause a considerable advanced harvest date, ranging from end of August in Lund to the beginning of October in Uppsala by ~2085.

The uncertainties in the assessments, in addition to the choice of the reference period used in the Delta-method, were mainly dependent on development stage models and climate scenario inputs used. The daylength based model gave less climate change response and better prediction of between year variations than the model that only was based on temperature, which compared with the daylength model, predicted the observed regional differences better. The county used to calibrate the models had little influence on the assessed response to a climate change, but a considerable influence on the absolute date values of different regions. The uncertainty due to variations in emission scenarios and GCM model version were also high. The A2 based temperature scenario was strongly ahead of the A1b based scenarios.

1. Bakgrund och inledning

Bakgrund

Denna studie avser att beräkna och bedöma möjliga framtida förändringar i grödors utveckling och grödval i svensk växtodling som en följd av möjliga framtida klimatförändringar. Avsikten är att dessa bedömningar ska kunna ligga till grund för vidare resonemang om framtida växtskyddsstrategier. En tanke är att kunna förutse växtskyddsförändringar för en given plats genom att studera de platser som idag har samma grödor och grödutveckling som den givna platsen beräknas få i framtiden. Av det skälet jämför vi nedan förändringarna i framtiden med "dagsläget" som definieras som ca 1981-2010. Vi gör beräkningarna för 18 platser utspridda över hela Sverige, men presenterar oftast bara resultaten för Lund, Uppsala och Luleå. Resultaten för alla platser återfinns dock i Appendix. De senaste klimatförändringarna som återfinns på SMHI:s hemsida (SMHI, 2011) har använts för beräkningarna, och avsikten är att beräkningarna ska kunna göras om, t ex i händelse av att effekterna av nya klimatscenarier behöver utvärderas. Av det skälet har vi vidareutvecklat och anpassat ett beräkningssystem (Eckersten m fl. 2001b) där klimatdata kan bytas ut, men också ett system som kan införliva alternativa modeller för grödorna, se vidare avsnittet om osäkerheter. Studien har gjorts för ett urval av grödor, se nedan.

Denna rapport är en slutrapport för Jordbruksverkets projekt "Klimatförändringars effekter på jordbrukets växtproduktion i Sverige – scenarier och beräkningssystem". Projektarbetet har utförts av författarna och inbegriper, förutom rapporten och dess beräkningar, en publicerad artikel om majs (Eckersten m fl. 2011a) och ett "Extended abstract" till en NJF konferens (Eckersten m fl., 2011b), samt deltagande i konferensen. Tre möten med referensgruppen från jordbruksverket har utförts. Studien innehåller observationer på grödors utvecklingsstadier vilka erhållits från Anders Arvidsson och Karin Jahr vid Jordbruksverket.

Inledning

Effekter av klimatförändringsscenarier på jordbruksgrödors tillväxt har studerats i Europa under mer än två decennier (t ex Harrison och Butterfield, 1996). I Sverige har intresset av effekterna av förutspådda klimatförändringar på jordbruksgrödor ökat markant under de senaste 5-10 åren. Enligt Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2007; Eckersten m fl 2007) bedöms potentialen för grödornas produktivitet öka, men att detta sannolikt kommer att medföra ökat behov att bekämpa skadegörare vilket i sin tur ökar risken för negativa miljöeffekter. Utredning föreslog också att effekten av en klimatförändring kan komma att påverka skadegörarna och grödorna på olika sätt och att förhållandet mellan skadegörarnas förekomst och grödornas utvecklingsstadier ändras jämfört med dagsläget. Det är dessutom oklart vilka nya grödor och skadegörare som blir aktuella vid en klimatförändring. Avsikten med denna rapport är att bidra till planeringen av det framtida behovet av växtskydd i svensk jordbruksproduktion genom att beräkna möjliga förändringar i grödornas utveckling till följd av SMHI:s klimatscenarier. Också tidpunkter för sådd och skörd är av intresse eftersom det påverkar val av grödor och växtföljder. Skördeförändringar till följd av en klimatförändring är också av intresse i den meningen att de påverkar lönsamheten i odlingen och därmed val av gröda. Denna effekt kan dock vara liten i jämförelse med hur grödvalet beror på marknaden (se t ex Audsley m fl., 2006).

Framtidsscenarier är i grunden en spekulering, en gissning, eftersom ingen med säkerhet kan veta vad som kommer att hända. Denna spekulering kan dock utföras med mer eller mindre beprövade metoder, och med mer eller mindre koppling till vetenskaplig kunskap. Ett krav på metoden som används är att den prövats förut och dokumenterat sin förutsäggelseförmåga. Nästa krav som önskas uppfyllt är att metoden baserar sig på systemets funktion, i detta fall hur grödorna reagerar på väder och klimatvariationer. Metoden bör dessutom vara transparent så att den som ska använda dess resultat känner tillit till metoden som har åstadkommit resultat. Vi kan utnyttja vår erfarenhet på olika sätt. Vi kan t ex utgå från att grödornas skördar ökar med tiden som de gjort under andra

halvan av 1900 talet och anta att denna relation mellan skörd och tid består i framtiden. Eller vi kan anta att grödornas skörd beror på väder och att denna relation består i framtiden. För naturlig vegetation skulle den andra metoden troligen vara det givna angreppssättet, men när det avser jordbruksgrödor så är inflytandet från samhällsfaktorer så stort att det inte är givet hur stor del av skördeutvecklingen som beror på väder och klimat jämfört med nya sorter, skötsel, lönsamhet mm. Vi har i denna studie utgått från kända vetenskapliga relationer mellan grödors utveckling och avkastning och väder, men genom att kalibrera mot observationer i kommersiell odling har vi i någon utsträckning också beaktat frågor som sortval mm. Beräkningarna om framtida utvecklingar är alltså behäftade med osäkerheter. Vi har försökt värdera effekter av osäkerheter kring val av utvecklingsmodell, kalibrering av modell, strategi för att beräkna såtid och skördetid, sortval samt alternativa klimatscenarier (se t ex Olesen m fl, 2007).

I Europa har intresset för klimatförändringarnas effekter på jordbruket varit betydligt större än i Sverige och det finns en omfattande erfarenhet av att använda modeller för att bedöma potentiella effekter av en klimatförändring. Oftast är det en fråga om att bedöma effekter av minskad vattentillgång på sommaren. I Sverige är grödors tillväxt i mindre grad begränsad av vattentillgången och istället mer begränsad av temperaturförhållandena. Vid en framtida klimatförändring kan dock vatten bli mer begränsande, liksom solinstrålning om hösten och vintern blir varmare. För de grödor vi gjort beräkningar har vi valt att använda modeller som i grunden är processbaserade men förenklade för att underlätta jämförelsen med observationer i praktisk odling. Modellerna är utvecklade och kalibrerade med observerat lokalt väder som indata. Av det skälet har vi valt att vid beräkningarna av effekterna av klimatförändringsscenarioerna utgå från det observerade vädret genom att använda Delta-metoden för nedskalningen av månadsvisa regionala värden från klimatscenarier till dagliga värden för enskilda lokaler, dvs vi ändrar observerade väderdata i enlighet med de medelförändringar som klimatscenarierna förutspår. För andra grödor har vi studerat resultat från Europeiska studier som utförts med detaljerade processbaserade modeller. Vissa av dessa studier har simulerat nedskalningen av regionala klimatscenarier till lokal nivå, oftast i avsikt att beräkna effekter av möjliga förändringar i klimatvariationer, vilket inbegriper mycket komplicerade beräkningar vilket ofta ökar osäkerheten.

Vi har valt att göra beräkningar för höstvetete som en representant för höstsådd stråså, höstraps som en oljeväxt med ökande intresse, fodermajs som en ny gröda med stor potential, och vårkorn som en etablerad vårgröda. Dessutom har vi gjort beräkningar för vin som en alternativ, men något exotisk gröda. Vi diskuterar också resultat från andra studier för sojaböna och solros. Målet med studien är alltså att göra framtidsscenarier för Sverige för hur klimatförändringar kan komma att påverka såtidpunkt, utvecklingsstadier, kvalitetsutveckling och skördedatum, samt skörd hos dessa grödor.

2. Metod - utförande

2.1 Platser och observerat väder

Platser definieras av de SMHI väderstationer som använts för beräkningarna, vilka valts för att representera de huvudsakliga jordbruksområdena i dagsläget och potentiellt viktiga områden vid en framtida klimatförändring. Götaland representeras av Lund, Halmstad, Kristianstad, Kalmar, Visby, Växjö, Göteborg, Skara och Linköping; Svealand av Arvika, Karlstad, Örebro, Uppsala och Falun; och Norrland av Sundsvall, Östersund, Umeå och Luleå.

Klimatvariablerna som används i grödmodellerna är lufttemperatur (dygnsmedel, -max och min), avdunstning (mm/d), nederbörd (mm/d), och solinstrålning (MJ/m²/d). Dessa har tagits från SMHI:s väderobservationer, och i Uppsala kompletterats med data från SLU:s klimatstation vid Ultuna (SLU, 2009).

Perioden 1961-1987 (benämnd ~1975) har använts som den observerade referensperioden för de allra flesta klimatförändringsberäkningarna. Dessutom har beräkningar gjorts för den

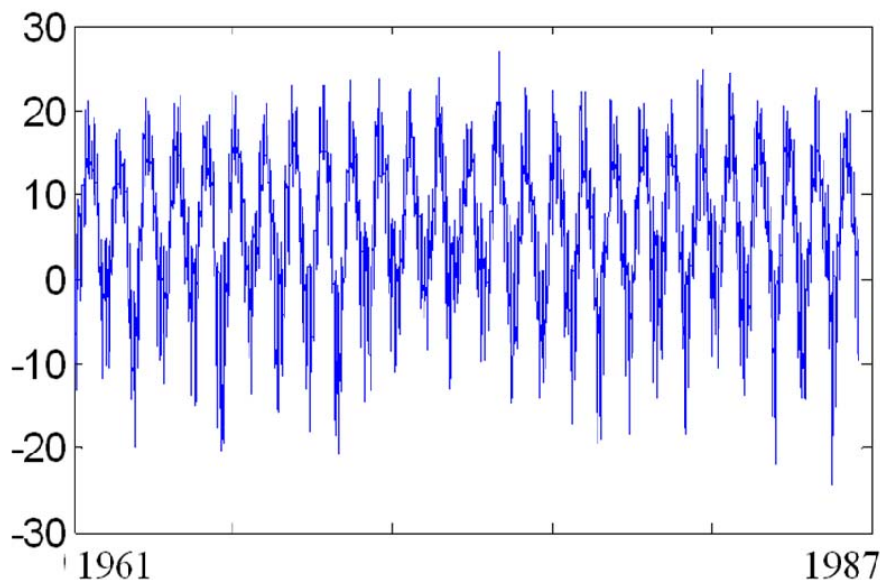
mellanliggande 30-årsperioden 1981-2010 (~1995) med observerade dagliga vädervariabler under denna period, för att representera ”dagsläget”. Denna period har endast använts som referensperiod för klimatförändringsberäkningarna för vinindex och frostrisk (som behöver dygnsminimum och dygnsmaximum temperatur). Perioden 1981-2010 har också använts i en osäkerhetsanalys (se vidare avsnittet om osäkerheter). I vissa fall har beräkningar också gjorts för andra observerade perioder, men i dessa fall benämns perioden specifikt. Beroende på tillgång på dataserier har platserna och perioderna varierat och inte fullständigt uppfyllt önskemålen om obrutna, fullständiga och korrigerade dataserier, trots att ytterligare korrigerings av data utförts i många fall. Speciellt saknas 1988-1990 i referensperioden. Data som använts framgår av tabellen 2.1a.

Tabell 2.1a. Observerade väderdata. Referensperiod ur vilken 1961-87 plockats ut (huvudsaklig källa: Fagerberg och Nyman, 1994), samt ”Dagsläget” ur vilken 1981-2010 plockats ut (Källa^b; alla serier slutar 2010-12-31). För korrigeringar av referensperiod, se Appendix (Tabell A2.1a).

Referensperiod 1961-87				”Dagsläget” 1981-2010			
Temp (T_{DMV}), Nedeb. (P), Avdunst.(E), Solstrål.(R)				Temp. medel (T_{DMV}), max (T_{DMax}), min (T_{DMin})			
Plats	Period	Latitud °N, Long. °E	Korri- gering	Plats	Period	Latitud °N, Long. °E	Korrigering
Tyskland				Tyskland			
				Regensburg	1981-2005	49.1, 12.6	
				Kassel	1981-2005	51.2, 9.3	
				Kiel	1981-2005	54.2, 10.1	
Götaland				Götaland			
Lund	1961-2008	55.7, 13.0	ja	Malmö	1990-	55.6, 13.0	nej
Halmstad	1961-77	56.7, 12.9	nej				
Kristianstad	1961-81	56,0, 14,2	nej				
Kalmar	1961-87	56.5, 16.5	nej	Ronneby/ Bredåkra	1961-	56.3, 15.3	nej
Visby	1961-2008	57.7, 18.3	ja	Visby	1961-	57.7, 18.3	nej
Växjö	1961-87	56.9, 14.8	ja	Jönköping	1966-	57.8, 14.1	nej
Göteborg/ Säve	1961-87	57.7, 12.0	ja	Göteborg	1972-	57.7, 12.0	1995 och 98 saknas
Skara	1961-2007	58.4, 13.4	ja				
Linköping	1961-87	58.4, 15.5	ja	Linköping	1961-	58.4, 15.5	nej
Svealand				Svealand			
Arvika	1961-87	59.7, 12.6	ja				
Karlstad	1961-87	59.4, 13.5	ja	Karlstad	1961-	59.4, 13.5	nej
Örebro	1964-87	59.3, 15.2	ja				
Uppsala	1961-2008	59.8, 17.7	ja	Stockholm/ Bromma	1961-	59.4 18.0	20031101-14
Falun	1961-87	60.6, 15.6	ja				
Norrland				Norrland			
Sundsvall	1961-87	62.5, 17.4	ja	Sundsvall	1961-	62.5, 17.4	nej
Östersund	1961-79	63.2, 14.5	nej	Östersund	1961-	63.2, 14.5	20050911-30, 1202-12
Umeå	1965-87	63.8, 20.3	ja				
Luleå	1961-87	65.5, 22.1	ja	Luleå	1961-	65.5, 22.1	nej

b) SMHI: (<http://www.smhi.se/klimatdata/klimatscenarioer/scenariodata/1.6200>): ”(1) Daglig max-temperatur (T_{DMax}) samt daglig min-temperatur (T_{DMin}). Värdena avser den max- och min-temperatur som observerats från kl 18 UTC föregående dag till kl 18 UTC aktuell dag. (2) Dygnsmedeltemperatur (T_{DMV}). Dygnsmedeltemperaturen har beräknats med Ekholm-Modens formel där temperaturerna 06 UTC, 12 UTC och 18 UTC samt maximum och minimum ingår.”

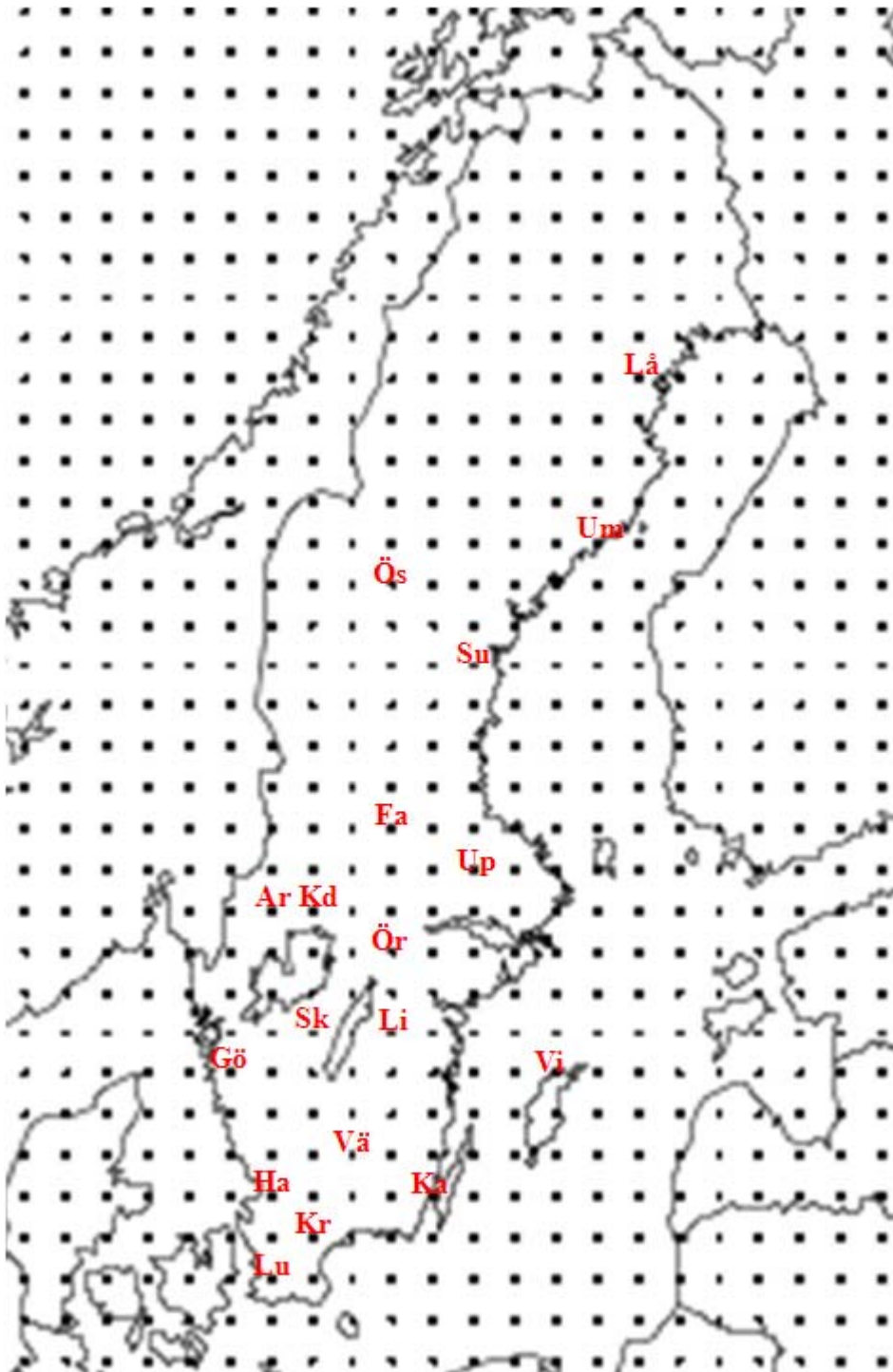
I beräkningarna presenterade i denna rapport ersätts platserna i den vänstra spalten i tabell 2.1a med platserna i den högra spalten, när det avser ”dagsläget” perioden 1981-2010. Som exempel på observerade väderdata visas i figur 2.1a Linköpings dygnsmedeltemperatur under referensperioden.



Figur 2.1a. Observerad dygnsmedeltemperatur (°C) i Linköping 1961-87 (SMHI-data)

2.2 Klimatförändringsscenarier

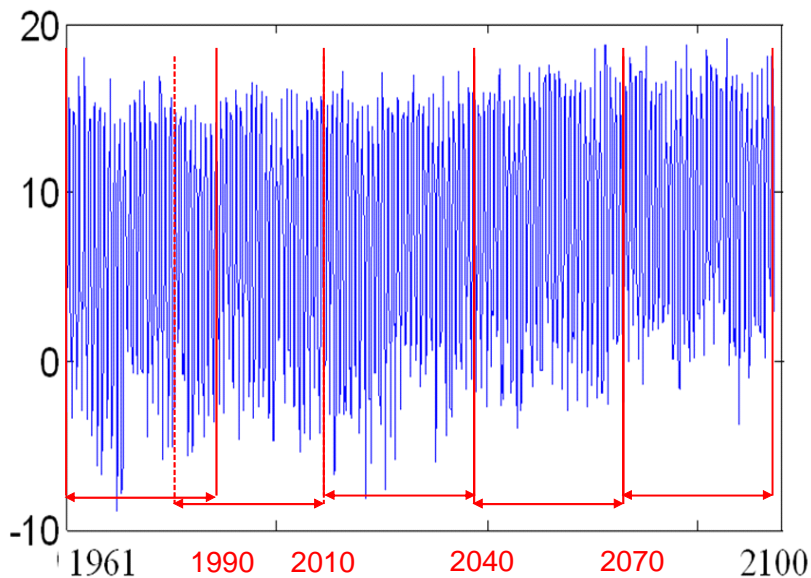
Klimatförändringsberäkningarna har gjorts för tre perioder framåt i tiden (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100). För beräkningen av effekten av klimatscenerierna på grödorna har Delta-metoden använts för nedskalningen från månadsvisa regionala (50 x 50 km) värden till dagliga lokala värden (se t ex Quilbé, 2008). Denna metod tar sin utgångspunkt i observerade dagliga lufttemperaturer (som exempel på en vädervariabel) till vilka adderas månadsvisa medelförändringar av temperaturen som beräknats från klimatscenerierna. Klimatscenerierna är månadsvisa värden för samma variabler som används som indata i modellerna, dvs lufttemperatur (dygnsmedel, -max och min), avdunstning (mm d^{-1}), nederbörd (mm d^{-1}), och solinstrålning ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Klimatscenerierna är beräknade för ett grid-nät som täcker hela Europa (för Sverige se figur 2.1a).



Figur 2.2a. Karta över beräkningspunkter för klimatscenarier. Punkter som använts för platser med observerade väderserier är angivna med de två första bokstäverna i platsens namn (alt. första och sista). Om inte annat anges i rapporten så är det klimatscenarierna A1b/Echam5-r3/rca3 som använts. (SMHI, 2011)

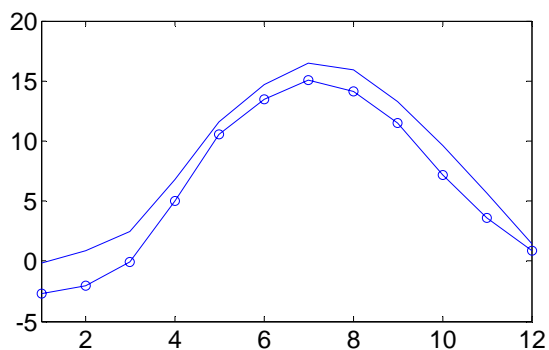
Den gridruta som använts för att beräkna förändringarna för en given plats (definierad av platsen för väderobservationerna) framgår av figur 2.2a, där gridpunkter som är använda för respektive plats är angivna.

Klimatscenariovärdena avser en 50 x 50km gridruta, dvs inte en observationspunkt som de observerade SMHI värdena gör och för vilka grönmodellerna är testade. Av det skälet används dess absoluta värden enbart för att beräkna förändringarna i klimatet som klimatscenarierna förutspår. Exempel på värden som erhålls från klimatscenarierna ges i figur 2.2b.

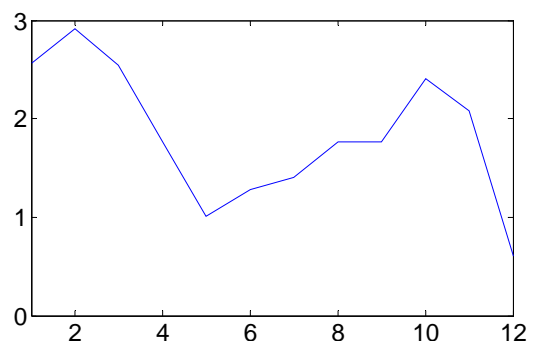


Figur 2.2b. Månadsmedeltemperaturer 1961-2100 i Linköpings gridruta för klimatscenario A1b, Echam5r3, rca3.

Perioden 1961-1990 (benämnd ~1975) har använts som referensperiod (alternativt används perioden 1981-2010, se avsnittet om osäkerheter). Klimatscenarier för perioderna 2011-2040 (~2025), 2041-2070 (~2055) och 2071-2100 (~2085) har sedan jämförts med denna period. Först har månadsvisa medelvärden för respektive period beräknats för värdena i figur 2.2b; för framtida perioden såväl som referensperioden (se exempel i figur 2.2c). Därefter har differensen mellan de framtida perioderna och referensperioden 1961-1990 beräknats (Figur 2.2d).



Figur 2.2c. Månadsmedeltemperaturer i Linköpings gridruta för klimatscenario A1b Echam5r3 rca3. Nedre punkterad linje, övre linje är medel för perioderna 1961-90 respektive 2041-2070.



Figur 2.2d. Differensen mellan månadsvisa medeltemperaturer i Linköpings gridruta för perioderna 2041-2070 och 1961-90. Klimatscenario A1b Echam5r3 rca3.

Dessa månadsvisa differenser (Figur 2.2d) har sedan adderats till de observerade dagliga temperaturerna (Figur 2.1a), genom att den 15:e i varje månad adderats med den beräknade medeldifferensen och värdena för dagarna däremellan med de linjärinterpolerade (över tiden) differenserna. För nederbörd, avdunstning och solinstrålning har de relativa skillnaderna mellan perioderna beräknats och multiplicerats till de observerade värdena på motsvarande sätt. Dessa värden har sedan använts i grödmodellerna.

Under den senaste "30"-årsperioden (dagsläget; ~1995) har medeltemperaturen ökat ungefär 1.0°C på våren (MAM) och 0.5 °C på sommaren (JJA) jämfört med "30"-årsperioden dessförinnan (~1975) för såväl södra som norra Sverige. På våren är ökningen störst för det kallaste året i söder och för det varmaste i norr. På sommaren har det varmaste året ökat mest, lika i söder och norr. Vid

en framtida klimatförändring till ~2085 beräknas en fortsatt ökning av temperaturen, som på våren i söder blir av samma storleksordning som den som redan skett, men i norr en dryg grad större än den som redan skett. På sommaren är den framtida temperaturökningen till ~2085 betydligt större än den som redan skett. Skillnaderna mellan norr och söder minskar i framtiden, dock inte så mycket på sommaren (Tabell 2.2a).

Tabell 2.2a. Medeltemperatur (°C) för perioderna mars till maj (MAM), juni till augusti (JJA) och år. Värden för ~1995 är faktiska temperaturer. Övriga värden är skillnader till ~1995 (kursiv).

Framtidsscenarierna är gjorda med klimatscenarierna A1b, Ecam5-r3, rca3.

Plats	Period	MAM _{Mv}	MAM _{Min}	MAM _{Max}	JJA _{Mv}	JJA _{Min}	JJA _{Max}	År _{Mv}	År _{Min}	År _{Max}
Lund	~1975	-0,9	0,0	-1,8	-0,5	0,0	-1,3	-0,7	0,0	-1,0
	~1995	7,2	4,8	9,9	16,7	14,3	19,1	8,5	6,7	10,2
	~2025	-0,1	0,8	-1,1	0,1	0,6	-0,7	-0,1	0,7	-0,3
	~2055	0,6	1,5	-0,3	0,9	1,4	0,1	1,0	1,7	0,8
	~2085	1,3	2,2	0,4	1,6	2,1	0,8	1,8	2,6	1,6
Uppsala	~1975	-1,0	-0,1	-1,6	-0,6	0,0	-1,0	-0,9	0,0	-0,1
	~1995	5,1	2,4	7,3	15,8	12,6	18,1	6,3	3,6	7,4
	~2025	0,0	0,9	-0,6	0,0	0,6	-0,5	-0,2	0,7	0,6
	~2055	0,9	1,8	0,3	0,9	1,5	0,5	1,0	1,9	1,7
	~2085	2,6	3,1	2,1	1,7	2,7	1,2	2,7	3,9	3,4
Luleå	~1975	-1,0	-2,1	-0,7	-0,5	-0,2	-1,2	-1,1	0,0	-0,5
	~1995	1,0	-0,9	3,0	14,4	12,5	16,7	2,5	-0,5	4,0
	~2025	0,1	-1,0	0,4	0,0	0,3	-0,7	-0,1	0,9	0,4
	~2055	1,2	0,1	1,5	1,1	1,4	0,4	1,2	2,3	1,8
	~2085	2,5	1,4	2,8	1,8	2,1	1,1	2,6	3,7	3,2
Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är skillnader till Lund										
Lund	~1975	6,3	4,8	8,1	16,2	14,3	17,8	7,8	6,7	9,2
	~2085	8,5	7	10,3	18,3	16,4	19,9	10,3	9,3	11,8
Uppsala	~1975	-2,2	-2,5	-2,4	-1	-1,7	-0,7	-2,4	-3,1	-1,9
	~2085	-0,8	-1,5	-0,9	-0,8	-1,1	-0,6	-1,3	-1,8	-1
Luleå	~1975	-6,3	-7,8	-5,8	-2,3	-2	-2,3	-6,4	-7,2	-5,7
	~2085	-5	-6,5	-4,5	-2,1	-1,8	-2,1	-5,2	-6,1	-4,6

Grödberäkningarna i denna rapport är i de flesta fall mest beroende av temperaturförhållandena under den första halvan av året. Klimatförändringsberäkningarna är i de allra flesta beräkningarna baserade på perioden ~1975. Under denna period var medeltemperaturen från januari till maj i Uppsala knappt 3 grader kallare än i Lund, och temperaturen i Luleå var 8 grader kallare än Lund i medeltal. Vid slutet av århundradet (~2085) hade denna skillnad mellan platser minskat med 1.5-1.8°C . För de kallaste åren är dessa skillnader större än för medelåret, speciellt för Luleå, medan för de varmaste åren är skillnaderna i ungefär motsvarande grad mindre än för medeltalet (se År i Tabell 2.2a).

För klimatscenarioberäkningarna av vinindex och frostfrekvens samt vissa beräkningar av utvecklingsstadier (Tabeller 3.7i och A3.7i) har referensperioden 1981 – 2010 (benämnd ~1995) använts. Med denna referensperiod i Delta-metoden erhålles en betydande ökning av medeltemperaturen redan för den kommande 30-årsperioden (~2025). För Lund, Kalmar, Linköping, Uppsala respektive Luleå är ökningen 0.8, 0.5, 0.8, 1.1 respektive 0.4 °C (Tabell 3.7i). Motsvarande temperaturändringar med ~1975 som referensperiod är -0.1, 0.1, -0.1, -0.2 respektive -0.1 °C (Tabell 3.7i).

Tabell 2.2b. Nederbördssumma (mm) för perioderna mars till maj (MAM), juni till augusti (JJA) och år. Värden för ~1975 är faktisk nederbörd. Övriga värden är skillnader till ~1975 (kursiv). Framtidsscenarierna är gjorda med klimatscenarierna A1b/Echam5-r3/rca3.

Plats	Period	MAM _{Mv}	MAM _{Min}	MAM _{Max}	JJA _{Mv}	JJA _{Min}	JJA _{Max}	År _{Mv}	År _{Min}	År _{Max}
Lund	~1975	133	45	247	189	76	389	664	477	895
	~1995									
	~2025	0	1	0	2	0	-2	28	22	31
	~2055	17	5	31	9	4	23	67	61	85
	~2085	26	8	47	-4	-2	-5	84	77	81
Uppsala	~1975	84	27	157	181	80	311	526	351	727
	~1995									
	~2025	-5	0	-8	1	1	9	1	0	3
	~2055	9	3	16	14	6	20	46	33	55
	~2085	31	16	46	2	-25	-34	55	40	50
Luleå	~1975	93	27	172	139	53	263	496	336	625
	~1995									
	~2025	7	4	16	-4	-1	-5	11	1	15
	~2055	7	2	14	-8	-1	-11	32	20	38
	~2085	14	5	22	14	7	33	85	62	101
Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är skillnader till Lund										
Lund	~1975	133	45	247	189	76	389	664	477	895
	~2085	159	53	294	185	74	384	748	554	976
Uppsala	~1975	-49	-18	-90	-8	4	-78	-138	-126	-168
	~2085	-44	-10	-91	-2	-19	-107	-167	-163	-199
Luleå	~1975	-40	-18	-75	-50	-23	-126	-168	-141	-270
	~2085	-52	-21	-100	-32	-14	-88	-167	-156	-250

För nederbörden beräknas klimatförändringarna baserat på referensperioden ~1975, därför att dataserierna för ~1995 (dagsläget) inte varit fullständiga. För Lund är det mycket små förändringar för våren de närmast kommande 30 åren, men därefter ökar nederbörden. På sommaren ökar den först och minskar sedan. För Uppsala är ändringarna över tiden liknande de i Lund. En skillnad är att för ~2085 i Uppsala ändras variationen i sommarnederbörden mellan år. I medeltal ändras inte nederbörden men såväl den torraste som regnigaste sommaren minskar den. I Luleå minskar nederbörden på sommaren de kommande 60 åren, men ökar därefter.

För majsberäkningarna har klimatscenarierna med Echam4 GCM modellen baserade på A2-utsläppsscenarier använts (efter Eckersten m fl, 2011a). I dessa beräkningar har förändringar i temperatur, nederbörd och potentiell avdunstning använts. Temperaturförändringarna är betydligt större för detta scenario än för det A1b-baserade scenario som använts för övriga beräkningar i denna rapport (se avsnittet om osäkerheter; Tabeller 3.7g-h).

2.3 Beräkning av grödvariabler

Valet av modeller för denna studie har främst bestämts av vilken variabel som avses beräknas, men också vilken gröda som avsetts, och vad avser utvecklingsstadierna, hur beräkningarna stämde med observerade data. För fodermjäs och vårkorn har så- och skördedatum samt skördemängd beräknats, och för fodermjäs också kvalitet i det skördade materialet (torrsubstanshalt och stärkelsehalt). För vårkorn, höstvetete och höstraps har utvecklingsstadier beräknats och för vin ett index som avser vara ett mått på var temperaturklimatet tillåter en omfattande vinodling. Modeller och variabler som använts framgår av tabeller 2.3a-b.

Tabell 2.3a. Grödvariabler som beräknats. Bokstavskombinationer anger modell som använts.

Gröda	Variabel								
	Skörd	TS	SH	Såtid	Skördetid	DC31	DC61	DC65	Huglin index
Fodermajs	M1	M1	M1	M2	M1				
Vårkorn	F1			F2	F3		T5VK61		
Höstvete						T5HV31	T5HV61		
Höstraps								T5HR65	
Vin									HI

Tabell 2.3b. Modeller som använts för beräkningen av grödvariabler.

Modell kod	Modell namn	Beskrivning
M1	MAISPROQ	Fodermajs ovajordisk biomassa och kvalitet; Herrman m fl 2005a
M2	Temp-6°C summa	Majs sådatum; Herrman m fl 2005a
F1	FOPROQ32	Vårkorn kalib. mot regionala skördar 1965-87 och 2003-09
F2	Temp-0°C Summa	Vårkorn såtid; kalib. sortförsök 2003-09 i Götaland och Svealand
F3	Temp-0°C Summa	Vårkorn skördetid; kalib. sortförsök 2003-09 i Götaland och Svealand
T5VK61	Temp-5°C Summa	Vårkorn DC61; Kalibrerad mot JBV observationer 1988-2010
T5HV31	Temp-5°C Summa	Höstvete DC31; Kalibrerad mot JBV observationer 1988-2010
T5HV61	Temp-5°C Summa	Höstvete DC61; Kalibrerad mot JBV observationer 1988-2010
T5HR65	Temp-5°C Summa	Höstraps DC65; Kalibrerad mot JBV observationer 1988-2010
HI	Huglin index	Vin temperaturindex; Trnka m fl 2011

Modellbeskrivning

Utvecklingsstadier

Ett antal alternativa modeller har provats för att erhålla bästa överensstämmelse med de observerade utvecklingsstadierna. Utgångspunkten har varit en modell som bygger på en ackumulerad summa av temperaturer större än 5°C från 1:a januari. När denna summa blir större än ett visst värde (T_{sum}) så inträffar DC31 respektive blomning. Temperaturfaktorn ska teoretiskt modifieras så att den blir större vid längre daglängder (en modell som används i de flesta tillväxtmodeller, t ex Hay och Porter, 2006) vilket ger en snabbare utveckling på sommaren, jämfört med på våren, och längre norrut jämfört med i söder, vid i övrigt samma temperaturförhållanden. Vi har dock valt att använda modellen som inte tar hänsyn till daglängdsfaktorn, eftersom den modellen ger bättre överensstämmelse med observerade regionala skillnader än modellen som inbegriper daglängdsfaktorn (se vidare avsnittet om osäkerheter).

$$DN(DC_{xx}) \text{ inträffar då: } \sum_{l_{jan}} (T_{DMV}-5) > T_{Sum} \quad (1)$$

Tillväxt

Simuleringarna av skörd är gjorda med en tillväxtmodell som beaktar effekter a grödans initiala (potentiella) relativa tillväxthastighet, hur denna sjunker med ökad biomassa och hur tillväxten påverkas av temperatur, solinstrålning (globalstrålning) och vattentillgänglighet. Ursprungligen är modellen utvecklad för gräsvall (Angus m fl, 1980; Kornher och Torssell, 1983; Torssell och Kornher, 1983) och en utveckling av modellen (FOPROQ32) har använts för vårkornsimuleringarna. En vidareutveckling av modellen för fodermajs är gjord i Tyskland (MAISPROQ; Herrmann m fl, 2005a; 2006) och har använts för majssimuleringarna (Eckersten m fl 2011a).

Tillväxten antas börja då den ackumulerade summan av dygnsmedeltemperaturer över 0°C för vårkorn, och över 6°C för majs när ett visst tröskelvärde (230 d °C för vårkorn och 153 d °C för majs). Den dagliga tillväxten (dW_i/dt) av ovanjordisk biomassa (W_{i-1}) är initialt proportionell mot

den maximala relativa tillväxthastigheten (r_s) men reduceras med en åldersfaktor (AGE) och ett väderberoende tillväxtindex (GI):

$$dW_t/dt = W_{t-1} \cdot r_s \cdot AGE_t \cdot GI_t \quad \text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1} \quad (2)$$

t står för tid och tidssteget i beräkningarna är en dag. Åldersfaktorn $AGE_t (= 1/(1 + W_{t-1}/a_{Age})^{b_{Age}})$ återspeglar hur r_s minskar när grödan utvecklar sig, där a_{Age} (g m^{-2}) och b_{Age} (dimensionslös) är parametrar. Det väderberoende tillväxtindexet (GI) är produkten av index för effekten av temperatur, globalstrålning respektive vattentillgänglighet. Vattentillgängligheten simuleras som skillnaden mellan nederbörd och avdunstning i en 1-pools modell. Vattenindexet är kvoten mellan faktisk evapotranspiration begränsad av vattentillgången och potentiell evapotranspiration begränsad av väderförhållanden.

Foderkvalitet

Modellen för majsens foderkvalité beräknar torrsbstanshalten (%) och stärkelsehalten (%). Foderkvaliteten (Q) ökar gradvis från ett initialt minimivärde (Q_{Min}) mot ett maximalt värde (Q_{Max}) beroende på väderförhållandena (f_{Qt}). För en given dag t är kvalitén:

$$Q_t = Q_{\text{Min}} + (Q_{\text{Max}} - Q_{\text{Min}}) \cdot f_{Qt} \quad \% \quad (3a)$$

där f_{Qt} är en funktion av en variabel (S_t) som ackumulerar effekten av väder och vattentillgänglighet under tillväxtperioden:

$$f_{Qt} = (S_t/v)^c / (1 + (S_t/v)^c) \quad - \quad (3b)$$

där parametrarna v och c bestämmer formen på f_{Qt} -funktionen som ökar kontinuerligt under säsongen. Variabeln S är den ackumulerade summan av ett dagligt väderindex liknande det för tillväxtmodellen (GI).

Parametrarna v och c är empiriska och karakteriserar hur en specifik sort påverkas av S_t . En sort med ett lågt värde på v gör att vädret har en stor effekt på S , och ett lågt värde på c gör att effekten är större i början av säsongen än senare. Q_{Max} -värdet kalibreras för respektive sort och kan då bli orimligt högt, ur ett biologiskt och fysikaliskt perspektiv, för att modellen ska kunna simulera samma snabba utveckling av kvalitén som observerats (se tabell 2.4c). Mer detaljer ges av Fagerberg och Nyman (1994) och Herrmann m fl. (2005a).

Vin

För att beräkna effekten av klimatet på vinodling användes Huglin indexet enligt Trnka m fl (2011). Indexet beräknas för perioden 1:a april till 30:e september enligt:

$$HI = \Sigma ((T_{\text{DMax}} - 10)^+ (T_{\text{DMV}} - 10) \cdot K) / 2 \quad (4)$$

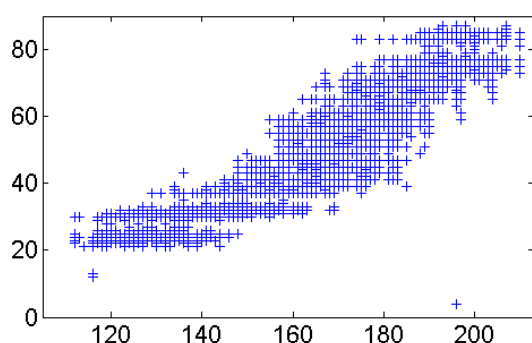
där T_{DMax} och T_{DMV} är dygnsmaximi- respektive medeltemperatur ($^{\circ}\text{C}$). K är en koefficient som ökar effekten av temperaturen på indexet vid högre latituder. K ökar från 1.02 vid 40°N till 1.06 vid 50°N (Trnka m fl., 2011). Det är oklart från Trnka m fl. (2011) om K ökar för latituder norr om 50°N . Om man antar en ökningen eller ej så blir skillnaden bara 2% (ca 20 enheter) för Luleå. Vi har antagit att K inte ökar norr om 50°N .

2.4 Parameterisering av modellerna

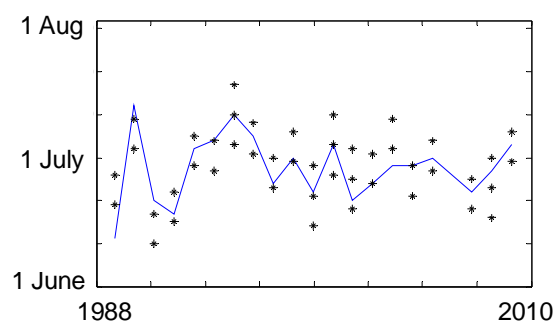
Utvecklingsstadier

Parametersättningen av utvecklingsmodellerna har baserats på jämförelser mellan modellförutsägelser och observerade utvecklingsstadier i kommersiell odling för perioden 1988 till 2010. Observationerna har gjorts regelbundet varje vecka (måndagar) av växtskyddscentralerna runt om i Götaland och Svealand. Ur dessa har vi valt ut de regioner (län) med flest observationer för att minimera effekterna av eventuella fel i enskilda observationer, och försökt få med en geografisk spridning mellan söder och norr. Urvalet har också styrts av tillgängliga klimatdata (Tabell 2.1c), så att dessa bedömts representativa för samma områden som utvecklingsobservationerna representerar. Observationerna anger i vilket DC stadium grödan befinner sig (Figur 2.4a). Värdena är sammanställda av Anders Arvidsson och Karin Jahr vid Jordbruksverket.

Vi har ur denna datamängd (totalt rör det sig om mer än 50 000 observationer) valt ut stadierna DC31 (toppsmåax bildat) för höstvetete och DC61 (start av blomning) för vårkorn och höstvetete, och DC65 (blomning) för höstraps. Detta reducerade antalet observationer och många län fick för få antal observationer för att kunna undvika effekter av osäkerheter i enskilda observationer. De observerade värdena uppvisar en stor variation inom året för en given region (Figur 2.4b). Vi valde ut länen med länsbokstäverna M, E och C för vårkorn och höstvetete, och M och E för höstraps. Även länen H och B har använts i vissa sammanhang (se avsnittet om osäkerheter). Länen O och R har utgått pga att väderobservationerna inte bedömts representativa för de områden DC observationerna representerar. Vi bestämde dagnumret för respektive observation. De länsvisa observationsserierna uppvisar olika avtagande trender. För M, H, E, B respektive C län var den genomsnittliga trenden -0.18, -0.27, -0.55, -0.50 respektive -0.14 dagar per år för DC31 i höstvetete (linjär regression; ej testad för statistiskt signifikansmått; se vidare figur 3.7a i avsnittet om osäkerheter). Utvecklingsmodellerna förutsägelse av dagnummer för dessa stadier baserat på temperaturförhållanden har sedan jämförts och kalibrerats mot dagnumren för observationerna. I vissa fall har de allra tidigaste och allra senaste värdena tagits bort i jämförelserna. Ett exempel på observationerna ges i figur 2.4a-b.

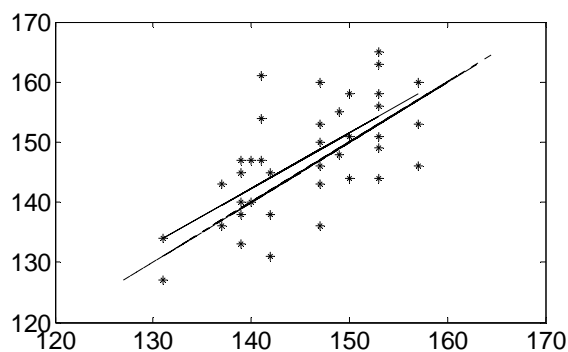


Figur 2.4a. Observerade utvecklingsstadier (DC) för höstvetete i M län under perioden 1988-2010 ritad mot dagnumret för observationen.



Figur 2.4b. Observerade dagar för inträffandet av DC61 för höstvetete i M län under perioden 1988-2010. Linjen är beräkning med modell T5HV61 (Modell A).

Utgångspunkten har varit en modell som bygger på en ackumulerad summa av temperaturer större än 5°C från 1:a januari. När denna summa blir större än ett visst värde (T_{sum}) så inträffar DC31 respektive blomning (Ekv. 1). T_{sum} har bestämts så att medeldagnumret som modellen beräknar överensstämmer med medelvärdet för observationerna. Regressionslinjens R^2 och lutning (A1) var relativt okänsliga för värdet på T_{sum} och användes därför inte för att välja värdet på T_{sum} .



Figur 2.4c. Observerat (y-axeln) jämfört med beräknat (x-axeln) dagnummer för inträffandet av DC65 i höstraps i M-län 1990-2010. Regressionslinjen är beräknad enligt (se tabell 2.4a):

$$DN(DC65)_{\text{Observerad}} = DN(DC31)_{\text{Beräknad}} * A1 + A0$$

De linjära regressionerna uppvisar ofta en lutning mindre än 1.0 ($A1 < 1$; se tabell 2.4a). Detta innebär att modellen systematiskt överskattar den observerade variationen i DC mellan år (se vidare avsnittet om osäkerheter).

Tabell 2.4a. Kalibrering av utvecklingsmodeller mot observationer i M-län för perioden 1988-2010. DN är medeldagnummer

Gröda	Modell	T _{Sum}	A1	A0	R ²	N	DN _{Modell}	DN _{Obs}
Vårkorn DC61	T5VK61	648	0.663	62.3	0.418	276	186	186
Höstvete DC31	T5HV31	207	0.699	41.7	0.481	932	139	140
Höstvete DC61	T5HV61	565	0.852	26.5	0.555	217	178	178
Höstraps DC65	T5HR65	276	0.969	4.5	0.557	147	146	147

Vårkorn; skörd

Tillväxtmodellen för vårkorn (FOPROQ32) har kalibrerats mot officiella regionala skördar i södra och mellersta Sverige publicerade av SCB för perioderna 1965-87 och 2003-09 (hopslagna). Kalibreringen har gjorts för respektive region (Tabell 2.4b). Det initiala vatteninnehållet i marken vid start av simuleringen antogs densamma för alla platser. När den ackumulerade summan av dygnsmedeltemperaturer större än 0°C från 1:a januari blev 230 d °C antogs vårkornet sås och när denna summa blev 1650 d °C antogs skörden ske. Dessa värden erhöles genom kalibrering till de av SLU ledda sortförsöken för vårkorn för perioden 2003 till 2009.

Tabell 2.4b. Kalibrering av FOPROQ32 för statistiska skördar av vårkorn åren 1965-87 för olika platser och områden (län). För Götaland och Svealand ingick också 2003-09 i kalibreringsperioden. Plats refererar till väderobservationer och län till skördestatistik.

Plats [Län]	Parametrar				Skörd (t/ha)	
	r _s (1/d)	a _{Age} (kg/ha)	b _{Age} (-)	R ²	simulerad	observerad
Lund [M]	0.310	1610	2.97	0.42	4.41	4.39
Halmstad [N]	1.211	440	2.30	0.30	3.76	3.76
Kalmar [H]	0.805	356	1.88	0.38	3.11	3.11
Visby [I]	0.430	764	2.21	0.56	3.19	3.19
Skara [R]	0.460	1650	5.32	0.28	3.81	3.81
Linköping [E]	0.876	359	1.70	0.48	3.91	3.89
Örebro [T]	0.600	577	2.16	0.31	3.58	3.61
Uppsala [C]	0.510	1157	3.41	0.32	3.80	3.80
Karlstad [S]	0.371	584	1.85	0.45	2.74	2.76
Falun [W]	0.109	1660	4.40	0.15	2.64	2.64
Sundsvall [Y]	0.258	1500	8.15	0.11	2.24	2.27
Umeå [AC]	0.166	1753	7.62	0.58	2.10	2.10
Luleå [BD]	0.239	1502	6.50	0.55	1.96	2.02

Fodermajs; skörd och kvalitet

Fyra sorter av fodermajs kalibrerades i tyska försök under perioden 1998-2001 för 28 platser runt om i Tyskland (Herrmann m fl. 2005b). Försöken har gödslats enligt en bedömd optimal nivå.

Initiala vatteninnehållet för de svenska platserna sattes till 180 mm grovt beräknat utifrån den maximala vattenlagringskapaciteten i mellanlera. Den initiala mängden av biomassa i simuleringen antogs densamma som för Herrmann m fl. (2005b), liksom beräkningen av sådatum för majs som antogs ske den dag då den ackumulerade summan av dygnsmedeltemperaturen > 6°C från 1:a januari överstiger 153 d°C. I tabell 2.4c anges parametervärden för en tidig sort (Janna), se vidare Eckersten m fl. (2011a).

Tabell 2.4c. Kalibrering av MAISPROQ mot försöksskördar av en fodermajssort (Janna) med en relativt hög utvecklingshastighet (efter Herrman m fl., 2005b; se Eckersten m fl., 2011a).

Sort	Tillväxt			Torrsbstanshalt			
	r_s (1/d)	a_{Age} (kg/ha)	b_{Age} (-)	Q_{Min} (%)	Q_{Max} (%)	v (-)	c (-)
Janna	0.210	500	2,32	11.70	73.40	105.34	5.15

2.5 Beräkningssystem

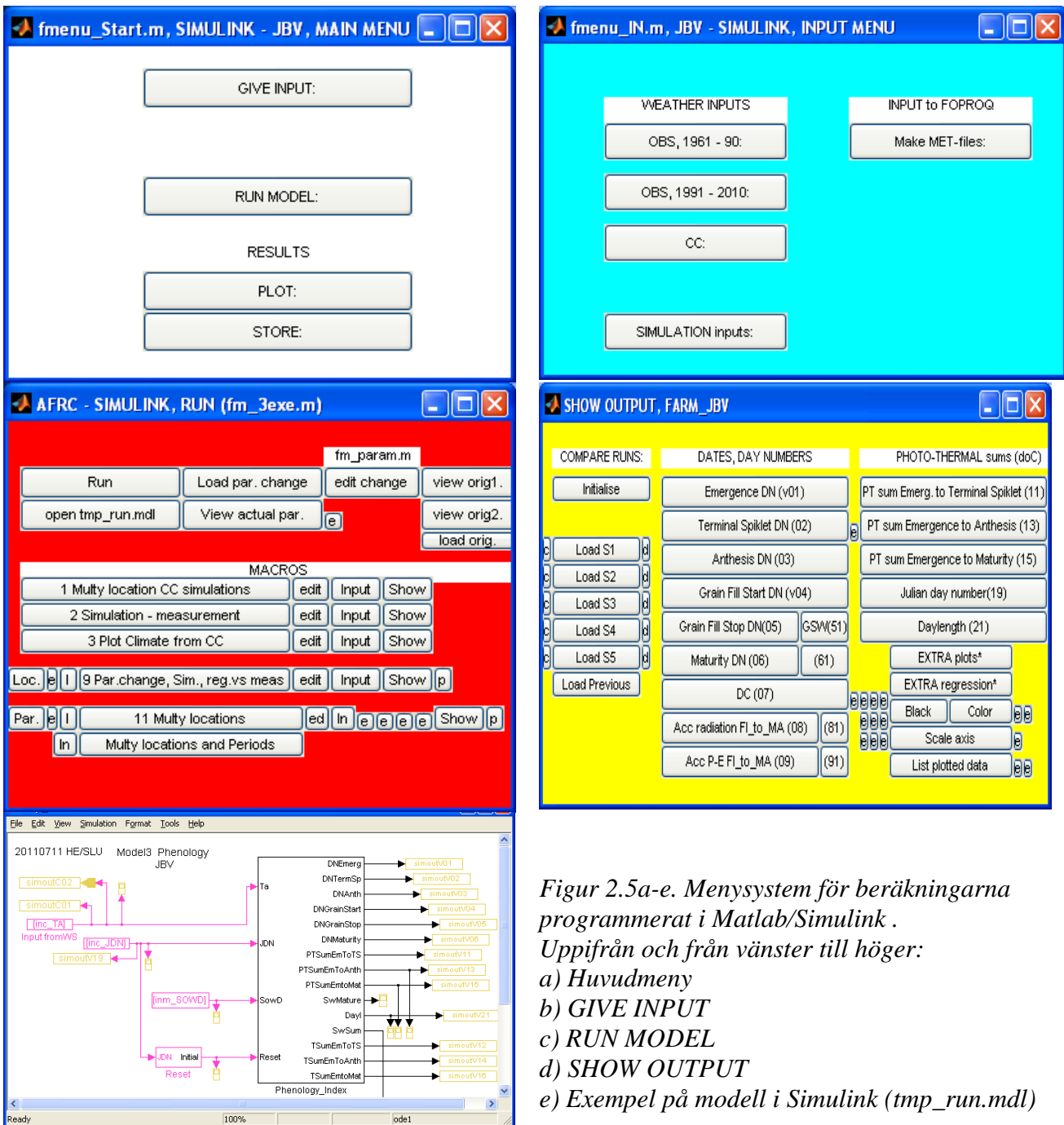
För hanteringen av alla data och modeller har ett existerande beräkningssystem i MATLAB/Simulink (jmf Eckersten m fl, 2001b) anpassats för att skapa klimatförändringsscenarioer, göra väderdatafiler till FOPROQ och MAISPROQ, lagra indata och valideringsdata till Simulink modeller, köra dessa modeller och analysera simuleringsresultaten.

Ett menystyrt program har skapats i Matlab/Simulink's program miljö (MathWork 2005). I huvudmenyn (Figur 2.5a) väljer man mellan att bearbeta/ladda indata till beräkningarna ("GIVE INPUT"), göra beräkningar/editera beräkningsmetod ("RUN MODEL"), studera/bearbeta resultaten ("SHOW OUTPUT") och lagra beräkningsresultaten på fil ("STORE OUTPUT")

"GIVE INPUT" (Figur 2.5b) flyttar användaren till input-katalogerna. Här både bearbetas indata och väljs (laddas) indata för beräkningarna. Vid laddningen av data kopieras filer från input-katalogerna till modellkörningskatalogen (se nedan) och data laddas upp i Matlab:s interna minne (Workspace; WS-minnet). Bearbetning och laddning sker i separata underkataloger. I "OBS, 1961-91" och "OBS, 1981-2010" bearbetas observerade klimatdata som erhållits från SMHI:s hemsida (SMHI, 2011), SLU:s klimatdatabas (FFE, 2009; SLU, 2009), eller tidigare forskningsstudier (Fagerberg och Nyman, 1994). Värden korrigeras m a p luckor mm och lagras i ASCCI filer (se tabell 2.1a). I "CC" lagras klimatförändringsscenarioer för perioden 1961-2100 som laddats ned från SMHI:s hemsida (se figur 2.1b). Ur dessa månatliga värden beräknas medelvärden för respektive månad för olika perioder (se figur 2.1c). Därefter beräknas skillnader mellan respektive periods medelvärden (se figur 2.1d). Skillnaderna interpoleras från månadsvärden till dagliga värden och adderas/multipliceras till de observerade dagliga värdena och lagras som klimatscenarioer på ASCCI-filer. Dessa värden är färdiga att använda i beräkningarna. Menyn innehåller plott-rutiner för att underlätta granskningen av data. I "SIMULATION Inputs" väljs modell, parametrar till modellen, samt observerade data som beräkningarna ska jämföras med vid en kalibrering eller test av modellen.

"RUN MODEL" (Figur 2.5c) flyttar användaren till modellkörningskatalogen, där alla modellapplikationsfiler är temporära och kan skrivas över av Meny-systemet. "Run" kör modellen (tmp_run.mdl) med de indata som för tillfället är uppladdade i Workspace (WS-minnet), alternativt kan modellen öppnas "open tmp_run.mdl" och köras inifrån Simulink. Modellen kan också editeras (programmeras) när modellen är öppen (Figur 2.5e). Original parametrar från "GIVE INPUT" finns lagrade på temporära filer för information "View orig..." och kan laddas upp i WS-minnet ("load orig"). Dessa parametervärden kan ändras ("edit change") och sedan laddas upp till WS-minnet igen ("load par change"). Aktuella parametervärden i WS-minnet kan visas med "View actual par". Dessa parametrar används vid körningen "Run" som lagrar föregående körning på fil (mat-fil) och gör en ny körning med Simulink-modellen och lagrar utdata i "WS-minnet". I många fall ska flera körningar göras i en följd, men med olika indata och utdata som ska bearbetas och lagras på önskat fil-format. För det ändamålet finns olika makro där nya indata väljs och nya körningar görs.

Intelligande ”I” editerar filen med indata till makrot. Editeringen av själva makrot görs i intelligande ”e”. Makrot skapas lättast genom att köra menysystemet, titta på kommandoutskriften i Matlab-prompten (>>) och kopiera in kommandot i makrofilen.



Figur 2.5a-e. Menusystem för beräkningarna programmerat i Matlab/Simulink. Uppifrån och från vänster till höger: a) Huvudmeny b) GIVE INPUT c) RUN MODEL d) SHOW OUTPUT e) Exempel på modell i Simulink (tmp_run.mdl)

”SHOW OUTPUT” (Figur 2.5d) flyttar användaren till resultatkatalogen. Här kan man rita, lista och bearbeta beräkningsresultaten samt jämföra beräkningarna med föregående körningar och/eller observationer. I ”STORE OUTPUT” kan man lagra den senaste körningen (current) på fil (mat-fil).

3. Resultat

3.1 Höstvete

Utvecklingsstadier

Bildningen av toppsmåax (DC31) i höstvete sker i dagsläget (~1995) ca 20:e maj i Lund och 1.5 veckor senare i Uppsala, vilket är knappt tio dagar innan höstrapsen blommar. Variationen mellan år är som mest drygt fyra veckor med en standardavvikelse på en dryg vecka. För ~1975 är de varma åren mindre varma vilket ger en mindre variation mellan tidigaste och senaste året och en halv vecka mindre standardavvikelse än i dagsläget.

Tabell 3.1a. Höstvete DC31. Beräknade utvecklingsstadier (DN) för olika platser och perioder. Medel-, min- och maxvärden för respektive period. Värden för ~1995 är faktiska dagnummer. Övriga värden, undantaget Max-Min, är skillnader till ~1995 (kursiv).

Plats	Period	DC31 _{Mv}	DC31 _{Min}	DC31 _{Max}	DC31 _{Std}	Max-Min
Lund	~1975	7	13	4	-4	24
	~1995	141	121	154	9	33
	~2025	2	5	-2	-3	26
	~2055	-4	-6	-6	-1	33
	~2085	-10	-14	-9	0	38
Uppsala	~1975	5	19	0	-4	17
	~1995	152	130	166	9	36
	~2025	1	13	-5	-4	18
	~2055	-4	7	-8	-3	21
	~2085	-16	-19	-17	0	38
Luleå	~1975	3	0	1	0	27
	~1995	171	156	182	7	26
	~2025	-1	-2	-3	-1	25
	~2055	-5	-4	-9	-1	21
	~2085	-11	-9	-12	-1	24
Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är skillnader till Lund						
Lund	~1975	148	134	158	5	24
	~2085	131	107	145	9	33
Uppsala	~1975	9	15	8	0	-7
	~2085	5	4	4	0	5
Luleå	~1975	26	22	25	2	3
	~2085	29	40	25	-3	-10

DN 121=1maj, DN 152=1juni, 182=1juli

I dagsläget inträffar DC31 tidigare än föregående 30-års-period, främst beroende på fler varma år. Mot slutet av århundradet inträffar DC31 i medeltal ca 10:e maj i Lund och ca 15:e maj i Uppsala (dvs 5 dagar tidigare än i Lund idag). I Luleå trakten, om höstvete skulle odlas där, skulle DC31 inträffa strax innan midsommar, i dagsläget, och vid en klimatförändring till slutet av århundradet ca 10:juni, dvs knappt 10 dagar senare än i Uppsala i dagsläget. Skillnaderna mellan söder och norr i Sverige minskar vid en klimatförändring från Lund till Uppsala, men ökar från Lund till Luleå (Tabell 3.1a).

Start av blomningen (DC61) av höstvete sker i dagsläget (~1995) i medeltal drygt fem veckor efter bildningen av toppsmåax, dvs i slutet av juni i Lund och en dryg vecka senare i Uppsala, och ytterligare 2.5 veckor senare i Luleå om höstvete skulle odlas där. Variationen mellan år och skillnaden mellan tidigaste och senaste året inom perioden är någon dag större än för DC31, men minskar vid en klimatförändring i Lund och Uppsala, dock ej i Luleå.

Tidigareläggningen av blomningen till slutet av århundradet (~2085) blir i medeltal lika stor som för DC31, dvs 1.5 till 2.5 veckor, mest i Uppsala. Tidigareläggningen av det varmaste respektive kallaste året skiljer sig dock från DC31. Mest tidigare läggs det kallaste året i Uppsala (drygt 3 veckor) och minst det varmaste året i Lund (0.5 vecka). Skillnaderna mellan Lund och Uppsala minskar med 0.5-1 vecka vid en klimatförändring, men består huvudsakligen mellan Lund och Luleå. Skillnaden mellan DC61 (start av blomning) och DC65 (full blomning) är endast en halv vecka i medeltal.

Tabell 3.1b. Höstvetete DC61. Beräknade utvecklingsstadier (DN) för olika platser och perioder. Medel-, min- och maxvärden för respektive period. Värden för ~1995 är faktiska dagnummer. Övriga värden (undantaget Max-Min och DC65_{Mv}-DC61_{Mv}) är skillnader till ~1995 (kursiv).

Plats	Period	DC61 _{Mv}	DC61 _{Min}	DC61 _{Max}	DC61 _{Std}	Max-Min	DC65 _{Mv} -DC61 _{Mv}
Lund	~1975	5	15	2	-5	22	4
	~1995	179	158	193	10	35	3
	~2025	0	9	-3	-5	23	3
	~2055	-5	2	-9	-5	24	2
	~2085	-11	-3	-14	-4	24	3
Uppsala	~1975	4	8	0	-2	23	3
	~1995	188	176	207	8	31	3
	~2025	-1	4	-5	-2	22	3
	~2055	-6	-1	-11	-3	21	3
	~2085	-16	-16	-23	-3	24	3
Luleå	~1975	4	4	7	2	28	3
	~1995	205	193	218	6	25	3
	~2025	-1	0	0	1	25	4
	~2055	-7	-6	-7	0	24	3
	~2085	-12	-13	-14	-1	24	3
Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är <i>skillnader till Lund</i>							
Lund	~1975	184	173	195	5	22	4
	~2085	168	155	179	6	35	3
Uppsala	~1975	8	11	12	1	1	-1
	~2085	4	5	5	-1	-11	0
Luleå	~1975	25	24	30	3	6	-1
	~2085	25	25	25	-1	-11	0

DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti

3.2 Höstraps

Utvecklingsstadier

Blomningen (DC65) av höstraps sker i dagsläget i medeltal i slutet av maj i Lund och 10 dagar senare i Uppsala, och om den skulle odlas i Luleå eller Östersund ytterligare knappt tre veckor senare, i slutet av juni. Från ~1975 fram till dagsläget har blomningen tidigare lagts med ca en vecka i södra och västra Götaland, men betydligt mindre längre norrut. Jönköping (se Appendix) utgör ett undantag där blomningen i medeltal senare lagts under den senaste 30-årsperioden, p g a att antalet kalla vårar med sen blomning ökat markant. Efter ~2025 sker det en betydande tidigareläggning (1-2 veckor) och mot slutet av århundradet sker blomningen ca 20:e maj i södra Sverige men också i Örebro och Uppsala, runt en vecka till tio dagar senare för övriga platser i Götaland och Svealand (ungefär som Lund idag). Från Sundsvall och norrut, om det blir möjligt att odla höstraps i dessa regioner (en fråga som inte dessa beräkningar avser besvara), sker blomningen någon eller några veckor in i juni, och i Luleå en vecka senare än i Uppsala i dagsläget.

Tabell 3.2a. Höstraps. Beräknade utvecklingsstadier (DN) för olika platser och perioder. Medel-, min- och maxvärden för respektive period. Värden för ~1995 är faktiska dagnummer. Övriga värden, undantaget Max-Min, är skillnader till ~1995 (kursiv).

Plats	Period	DC65 _{Mv}	DC65 _{Min}	DC65 _{Max}	DC65 _{Std}	Max-Min
Lund	~1975	7	19	3	-5	19
	~1995	150	127	162	9	35
	~2025	2	10	-1	-4	24
	~2055	-4	-1	-6	-2	30
	~2085	-9	-10	-9	0	36
Uppsala	~1975	4	12	0	-3	20
	~1995	160	145	177	8	32
	~2025	0	7	-5	-4	20
	~2055	-4	4	-11	-4	17
	~2085	-15	-22	-21	-1	33
Luleå	~1975	3	2	2	-1	24
	~1995	179	165	189	6	24
	~2025	-2	-5	-3	-1	26
	~2055	-6	-8	-8	-1	24
	~2085	-11	-12	-14	-1	22

Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är skillnader till Lund

Lund	~1975	157	146	165	4	19
	~2085	141	117	153	9	35
Uppsala	~1975	7	11	12	1	1
	~2085	4	6	3	-2	-2
Luleå	~1975	25	21	26	1	5
	~2085	27	36	22	-4	-13

DN 152=1juni, 182=1juli

Skillnaden mellan när blomningen inträffar det varmaste (tidigaste) jämfört med det kallaste året är i dagsläget ca 30 dagar (undantag Sundsvall 20 och Luleå 24 dagar). Datumet för den senaste blomningen i Skåne motsvarar ungefär den normala i Uppsala, i dagsläget, och den tidigaste i Östersund om höstraps skulle odlas där. Den senaste 30-årsperioden har varit speciell vad avser några betydligt varmare år än föregående 30-årsperiod, medan lika kalla år förkommit som förut. Detta gäller för södra Sverige upp till Uppsala, men inte norr därom. Förändringen i standardavvikelsen jämfört med perioden ~1975, antyder en liten förändring i standard avvikelsen (som är ca 5 dagar) men en ökning för ~2085, och skillnaden mellan det tidigaste och senaste året ökar (Max-Min ökar, dock ej i norr). Den jämförelsevis höga standardavvikelsen för dagsläget i Lund och Uppsala kan bero på olika observationsserier (se vidare avsnittet om osäkerheter). Skillnaden i blomningstid mellan Lund och Uppsala minskar i medeltal och speciellt för de extrema åren. För Luleå är det snarare tvärtom, där det kallaste året inte tidigareläggs i samma grad som längre söderut, med minskad variation inom perioden som följd.

3.3 Vårkorn

Skörd

Sådatum för vårkorn är i dagsläget i början av april i Lund och 3.5 veckor senare, i slutet av april, i Uppsala regionen. Skörd sker ca fyra månader efter sådd i Lund, dvs i början av augusti, och knappt 3 veckor därefter i Uppsala. Uppsala knappar alltså in 1 vecka på Lund från sådd till skörd. Skörden är ca 10% högre i Lund än i Uppsala, men 15% lägre än i Kiel. Vid en klimatförändring till ~2085 tidigareläggs sådden knappt tre veckor jämfört med dagsläget i Lund, vilket är ca en vecka tidigare än i centrala Tyskland idag.

Tabell 3.3a. Simuleringar av statistiska kornskördar för olika tidsperioder med modellen FOPROQ32 som har kalibrerats för skördeåren 1965-87 och 2003-09.

Plats	Period	Sådatum	Skördedatum	Skörd	Odlingsperiod
Regensburg	1981-2005	03-30	07-25	4.4	134
Kassel	1981-2005	03-20	07-24	4.5	125
Kiel	1981-2005	03-22	08-03	4.9	117
Lund (M)	~1975	04-19	08-14	3.9	119
	1981-2010	04-04	08-04	4.2	122
	~2025	04-11	08-07	3.8	118
	~2055	03-25	07-28	3.6	125
	~2085	03-14	07-07	3.3	115
Uppsala-1 (C)	~1975	05-03	08-26	3.8	115
	1981-2010	04-29	08-22	3.8	115
	~2025	04-30	08-21	3.5	113
	~2055	04-18	08-11	3.3	115
	~2085	04-03	08-01	3.2	120
Luleå (BD)	~1975	05-30	09-28	2.0	120
	1981-2010				
	~2025	05-24	09-21	2.2	120
	~2055	05-16	09-04	2.3	111
	~2085	04-30	08-23	2.3	115
Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är <i>skillnader till Lund</i>					
Lund	~1975	04-19	08-14	3.9	119
	~2085	03-14	07-07	3.3	115
Uppsala	~1975	+14	+12	-0.1	-4
	~2085	+24	+25	-0.1	+5
Luleå	~1975	+41	+46	-1.9	+1
	~2085	+47	+47	-1.0	0

För Uppsala är motsvarande tidigareläggning av sådden knappt 4 veckor och motsvarar Lund i dagsläget, och Luleå får ungefär samma såtid som Uppsala idag. Skördedatum tidigareläggs knappt 4 veckor i Lund, vilket är mer än för sådden vilket leder till att odlingsperioden minskar. I Uppsala tidigareläggs dock skörden mindre än sådden och odlings säsongen ökar med 5 dagar. De regionala skillnaderna i så- och skördedatum mellan Lund och Uppsala ökar vid en klimatförändring, och förblir oförändrat stora mellan Lund och Luleå.

Blomning

Start av blomningen (DC61) i vårkorn sker i genomsnitt i dagsläget (~1995) i början av juli i Lund, vilket är en vecka senare än för höstvetete. I Uppsala inträffar DC61 knappt 1.5 veckor senare än i Lund, dvs strax innan mitten av juli, medan i Luleå beräknas denna tidpunkt till ytterligare 2.5 veckor senare, dvs 1:a augusti. Tidigareläggningen jämfört med föregående 30-årsperiod (~1975) är ca en vecka i söder och en halv vecka i norr. Tidigareläggningen tilltar mot slutet av århundradet då DC61 inträffar i medeltal 1.5 till 2.5 veckor tidigare än i dagsläget, minst i Lund och mest i Uppsala. Denna tidigareläggning är ungefär densamma som för blomningen av höstvetete. För alla platser är det främst det kallaste året som tidigareläggs. Standardavvikelsen mellan år förblir relativt oförändrad i söder vid en klimatförändring, men minskar något i norr. Standardavvikelsen för dagsläget (~1995) är förhållandevis mycket stor för Lund och Uppsala. Detta kan bero på olikheter i observerade dataserier (se vidare avsnittet om osäkerheter).

Tabell 3.3b. Vårkorn DC61. Beräknade utvecklingsstadier (DN) för olika platser och perioder. Medel-, min- och maxvärden för respektive period. Värden för ~1995 är faktiska dagnummer. Övriga värden, undantaget Max-Min, är skillnader till ~1995 (kursiv).

Plats	Period	DC61 _{Mv}	DC61 _{Min}	DC61 _{Max}	DC61 _{Std}	Max-Min
Lund	~1975	6	16	2	-5	22
	~1995	186	165	201	10	36
	~2025	0	9	-4	-5	23
	~2055	-6	1	-11	-5	24
	~2085	-11	-5	-15	-4	26
Uppsala	~1975	4	6	0	-2	27
	~1995	195	184	217	9	33
	~2025	-1	2	-8	-3	23
	~2055	-6	-1	-13	-3	21
	~2085	-16	-18	-24	-3	27
Luleå	~1975	5	7	9	2	31
	~1995	213	199	228	6	29
	~2025	0	1	1	1	29
	~2055	-7	-5	-10	0	24
	~2085	-13	-11	-16	-1	24
Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är skillnader till Lund						
Lund	~1975	192	181	203	5	22
	~2085	175	160	186	6	36
Uppsala	~1975	7	9	14	2	5
	~2085	4	6	7	0	-9
Luleå	~1975	26	25	34	3	9
	~2085	25	28	26	-1	-12

DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti

3.4 Fodermajs

Skörd, Kvalitet, Såtid och Skördetid

Vid en framtida klimatförändring tidigareläggs sådden av majs med mer än en månad i Lund och ca 3 veckor i Skara och Uppsala. Detta tillsammans med det varmare klimatet på sommaren medför en snabbare kvalitetsutveckling och den eftersträvade torrsubstanshalten uppnås tidigare. Skörden har antagits ske då 34% torrsubstanshalt uppnås, dock senast sista oktober. I Uppsala och Skara innebär detta aldrig någon skörd med denna kvalitet i dagsläget men i slutet av århundradet för 6 år av 10. För Lund är motsvarande frekvens 7 år av 10 i dagsläget och alla år i slutet av århundradet. Skörden tidigareläggs mer än sådden och sker ~2085 i slutet av augusti i Lund och i början av oktober i Skara och Uppsala. Detta innebär att skördeökningarna är måttliga och t o m en liten minskning förutspås för Lund. Notera att för majssimuleringarna bygger på klimatförändringsscenarioer baserade på A2-utsläppsscenario och att "dagsläget" är en 20-årsperiod, se vidare Eckersten m fl. (2011a).

Tabell 3.4a. Simuleringar av fodermjäs (sorten Janna), torrsubstanshalt, ovanjordisk skörd och andelen framgångsrika år för olika tidsperioder med modellen MAISPROQ (medelvärden för respektive period). Framgångsrikt år definieras som att torrsubstanshalt = 34% (340 g kg⁻¹) uppnås före 1:a november ([] syftar på 28%). Framtidsscenarierna är gjorda med klimatscenarierna A2/Echam4. (efter Eckersten m fl 2011a)

Plats	Period	Så-datum	Skörde-Datum	Skörd (t/ha)	TS-halt (g kg ⁻¹)	Lyckad skörd (% år)
Lund	~1975	23-May	24-Oct	9.7	282	13 [43]
	1991-2009	17-May	6-Oct	11.0	329	71 [93]
	~2025	8-May	1-Oct	11.1	332	70 [100]
	~2055	2-May	19-Sept	11.2	342	90 [100]
	~2085	12-Apr	28-Aug	10.3	342	100 [100]
Skara	~1975	30-May	31-Oct	6.4	203	0 [0]
	1991-2009	24-May	31-Oct	9.7	250	0 [18]
	~2025	15-May	26-Oct	8.7	276	11 [48]
	~2055	11-May	18-Oct	10.1	301	27 [63]
	~2085	2-May	2-Oct	10.2	326	63 [89]
Uppsala	~1975	1-June	31-Oct	6.3	201	0 [0]
	1991-2009	27-May	31-Oct	9.2	241	0 [32]
	~2025	19-May	27-Oct	8.8	269	7 [43]
	~2055	14-May	18-Oct	10.2	304	40 [70]
	~2085	4-May	1-Oct	9.8	326	63 [87]
Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är <i>skillnader till Lund</i>						
Lund	~1975	23-May	24-Oct	9.7	282	
	~2085	12-Apr	28-Aug	10.3	342	
Skara	~1975	7	7	-3.3	-79	
	~2085	20	35	-0.1	-16	
Uppsala	~1975	9	7	-3.4	-81	
	~2085	22	34	-0.5	-16	

3.5 Vin

För de huvudsakliga vindistrikten i Europa (Medelhavsområdet och Balkan) är Huglin index (HI) ca 1800 i medeltal, eller mer. Inte ens vid slutet av århundradet når Lund dit, utan till den situation som idag återfinns i Alpområdet i dagsläget (1970 - 2000; Trnka, mfl 2011). Till ~2055 har Lund nått det HI som idag återfinns i Tyskland och Polen. Uppsala ligger i stort sett 30-år efter och Luleå ligger 100 år efter Uppsala med detta resonemang, och Östersund är allra minst gynnsamt. HI för de kallaste åren i medelhavsområdet är i dagsläget knappt 1600, dvs ungefär som medelvärdet i Lund ~2085. Det gynnsammaste året i Lund når till detta minimivärde ~2025, och också i Uppsala som uppvisar betydligt större mellanårsvariation än Lund.

Tabell 3.5a. Beräknat Huglin index (HI) för vin. Medel, minimum och maximum värden samt standard avvikelse för respektive period och plats.

Plats	Period	HI _{Mv}	HI _{Min}	HI _{Max}	HI _{Std}	HI _{Mv} - HI _{Std}
Lund	1981-2010	1252	1027	1465	133	1119
	~2025	1339	1106	1551	134	1205
	~2055	1470	1231	1679	135	1335
	~2085	1581	1338	1786	136	1445
Uppsala	1981-2010	1151	766	1497	157	994
	~2025	1239	845	1592	159	1080
	~2055	1375	973	1734	162	1213
	~2085	1489	1079	1856	165	1324
Luleå	1981-2010	716	474	988	109	607
	~2025	780	530	1057	112	668
	~2055	915	655	1199	117	798
	~2085	1015	750	1306	120	895

3.6 Vårfrost och sådatum

Beräkningen av förändrat sådatum för vårkorn och majs är baserat på temperatursumma. Ökad temperatur ger ett tidigare sådatum. Sådatum i praktisk odling styrs dock också av andra faktorer såsom frostrisken. I dagsläget är risken för frost (dygnsminimitemperatur < -2°C) efter sådd av vårkorn stor. För mer än hälften av åren händer det att frost uppträder efter sådd. Risken är speciellt stor i södra Sverige (speciellt Kalmar och Jönköping) och avtar norrut och norr om Sundsvall är det ovanligt med frost efter sådd. Att följa temperatursumman som ett mått för att undvika frost är alltså bra i norra Sverige men sämre i Södra Sverige.

Tabell 3.6a. Beräknad andel år av en 30-årsperiod som frost förekommer efter beräknad sådd av vårkorn respektive majs (%). Sådag för korn i "dagsläget" (~1995) är beräknad för 1981-2009.

Plats	Period	Sådatum vårkorn	%år med frost efter sådd, vårkorn	Sådag, majs DN	%år med frost efter sådd, majs
Lund	1990-2010	04-04	57	137	0
	~2025	04-11	43	134	0
	~2055	03-25	52	126	14
	~2085	03-14	57	119	19
Uppsala	1981-2009	04-29	37	146	7
	~2025	04-30	47	143	10
	~2055	04-18	63	138	7
	~2085	04-03	63	131	7
Luleå	~1975	05-30		169	0
	~1995				
	~2025	05-24	0	165	0
	~2055	05-16	7	161	0
	~2085	04-30	17	156	0

DN 121=1maj, DN 152=1juni, 182=1juli

Vid en klimatförändring är risken för frost efter sådd fortsatt stor i södra Sverige, men oförändrad. Längre norrut ökar risken och i Uppsala ökar den från 1 till 2 gånger per 3 år, vilket kan innebära att den beräknade tidigareläggningen av sådden (med 26 dagar till ~2085; se tabell 3.3a) är överskattad.

För majs är risken för frost (dygnsminimitemperatur < +1°C) nästan noll i dagsläget i hela Sverige, undantaget Kalmar, Jönköping och Linköping med risk för frost på 1 till 2 år per 5 år. Vid en klimatförändring är risken tämligen oförändrad, undantaget Lund där den ökar till 1 år per 5 år.

3.7 Osäkerhets test

Beräkningarna av hur olika grödvariabler kommer att utvecklas vid en framtida klimatförändring beror på flera bedömningar som alla i någon mån är osäkra. Nedan försöker vi först bedöma effekterna av osäkerheter kopplade till hur vi beräknar effekter på grödorna. Bedömningen av hur grödornas utveckling påverkas av temperatur är osäker och olika kalibreringar och olika modeller ger olika resultat. Det är osäkert hur såtidpunkten förändras, främst beroende på att förändrade vattenförhållanden på våren inte inkluderats i studien (frostrisken har studerats i avsnitt 3.6). Skördedatum är osäkert eftersom det är svårt att bedöma hur valet av sorter med större temperaturkrav än nuvarande sorter kommer att ske. Därefter studerar vi effekterna av att klimatscenerierna är osäkra, och vi beröra också hur valet av referensperiod med observerat klimat vid nedskälningen till dygn och enskild lokal (Deltametoden) kan påverka resultaten?

Kalibrering

Kalibreringen av utvecklingsmodellerna ovan gjordes mot observationsdata från M-län. I en separat studie undersöktes effekten av att kalibrera modellerna mot observationer från andra län (Tabell 3.7a). För vårkorn varierade temperatursummekravet (T_{Sum}) för DC61 med ca 10% beroende på om kalibreringen gjordes för M- eller E-län. Skillnaden mellan M och C-län var mindre än 5%. För E-län var temperaturkravet för inträffandet av blomningen lägst och mellanårsvariationerna nästan lika beroende av temperaturen som temperatursummemodellen förutser (A1 är närmre 1.0 än för de övriga länen).

Tabell 3.7a. Kalibrering av utvecklingsmodeller för olika län.. DN är medeldagnummer

Gröda	Län	T_{Sum}	A1	A0	R^2	N	DN_{Modell}	DN_{Obs}
Vårkorn DC61	M	648	0.663	62.3	0.418	276	186	186
	E	607	0.800	38.2	0.437	84	190	190
	C	678	0.676	63.6	0.472	39	197	197
Höstvete DC31	M	207	0.699	41.7	0.481	932	139	140
	E	196	0.625	55.5	0.304	735	148	147
	C	211	0.535	71.0	0.359	445	152	152
Höstvete DC61	M	565	0.852	26.5	0.555	217	178	178
	E	525	0.880	22.0	0.726	212	182	182
	C	545	0.792	39.2	0.538	151	186	186
Höstraps DC65	M	276	0.969	4.5	0.557	147	146	147
	E	243	0.997	0.7	0.390	73	155	153
<i>Alternativa kalibreringar</i>								
Vårkorn DC61	M ^a	648	0.956	8.5	0.358	223	185	185
Höstvete DC65	M	600	0.797	36.9	0.595	817	181	181

^aTagit bort de mest tidiga och sena värdena; DN 121=1maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti

Effekterna av variationerna i temperatursummekraven (T_{Sum}) mellan länen på det beräknade datumet för inträffandet av utvecklingsstadiet i fråga undersöktes för Lund, Uppsala och Luleå. E-läns kalibreringar gav den snabbaste utvecklingen för alla grödor och stadier. För vårkorn inträffar DC61 ca en vecka tidigare med E-läns kalibrering än med C-läns. För höstvete DC61 är motsvarande variation 4 dagar men med den skillnaden att M-län, istället för C-län ger den senaste utvecklingen. För höstvete DC31 är skillnaderna endast 2 dagar. Effekten av klimatförändring skiljer högst 1 dag mellan kalibreringar, och regionala skillnader med högst 2 dagar (Tabell 3.7b).

Tabell 3.7b. Beräknade utvecklingsstadiet (DN) med Modell A kalibrerad för olika län. Medelvärden för respektive plats och period. Värden för ~1995 är faktiska dagnummer. Övriga värden är skillnader till ~1995 (kursiv).

Plats	Period	Vårkorn DC61 _{Mv}			Höstvete DC31 _{Mv}			Höstvete DC61 _{Mv}			Höstraps DC65 _{Mv}	
		M	E	C	M	E	C	M	E	C	M	E
Lund	~1975	6	6	6	7	7	7	5	5	5	7	7
	~1995	186	182	188	141	140	142	179	175	177	150	146
	~2025	0	0	0	2	2	2	0	0	0	2	2
	~2055	-6	-5	-5	-4	-4	-4	-5	-5	-5	-4	-4
	~2085	-11	-11	-12	-10	-10	-10	-11	-11	-11	-9	-10
Uppsala	~1975	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4
	~1995	195	192	198	152	150	152	188	185	187	160	157
	~2025	-1	0	-1	1	1	1	-1	-1	-1	0	0
	~2055	-6	-6	-6	-4	-3	-4	-6	-6	-6	-4	-4
	~2085	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-15	-16
Luleå	~1975	5	4	5	3	2	2	4	4	4	3	3
	~1995	213	209	216	171	170	172	205	202	204	179	175
	~2025	0	0	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-2	-2
	~2055	-7	-7	-8	-5	-5	-6	-7	-7	-7	-6	-5
	~2085	-13	-13	-14	-11	-12	-12	-12	-12	-12	-11	-11

Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är skillnader till Lund

Lund	~1975	192	188	194	148	147	149	184	180	182	157	153
	~2085	175	171	176	131	130	132	168	164	166	141	136
Uppsala	~1975	7	8	8	9	8	8	8	9	9	7	8
	~2085	4	5	6	5	4	4	4	5	5	4	5
Luleå	~1975	26	25	27	26	25	25	25	26	26	25	25
	~2085	25	25	26	29	28	28	25	26	26	27	28

DN 121=1maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti,

Utvecklingsmodell

Utvecklingsstadierna för bildningen av toppsmåax (DC31) och start av blomning (DC61) beror enligt utvecklingsmodeller på temperatur huvudsakligen, men att denna påverkan modifieras av daglängden. Teoretiskt inverkar daglängden genom att påskynda utvecklingen för nordligare latituder efter vårdagjämningen och successivt mer fram till midsommar. Vi har i denna studie valt att främst beakta temperatureffekten på utvecklingshastigheten, men för höstvetet DC31 har vi också försökt att utvärdera effekter av daglängden.

Fyra alternativa modeller (A, B, C, D) för att beräkna temperaturens effekt på DC31 i höstvetet har använts. Modell A är den som använts i ovanstående beräkningar och utgår från att tidpunkten för DC31 bestäms av när den ackumulerade summan av dygnsmedeltemperaturer ovan 5°C sedan årets början når ett visst värde (T_{Sum}), där detta värde kalibrerats så att modellen förutser i medeltal, för hela perioden, samma dag som medeltalet för observationerna.

$$\text{DN}(\text{DC31})_{\text{ModA}} \text{ inträffar då: } \sum (T_{\text{DMv}} - 5) > T_{\text{Sum}} \quad (1)$$

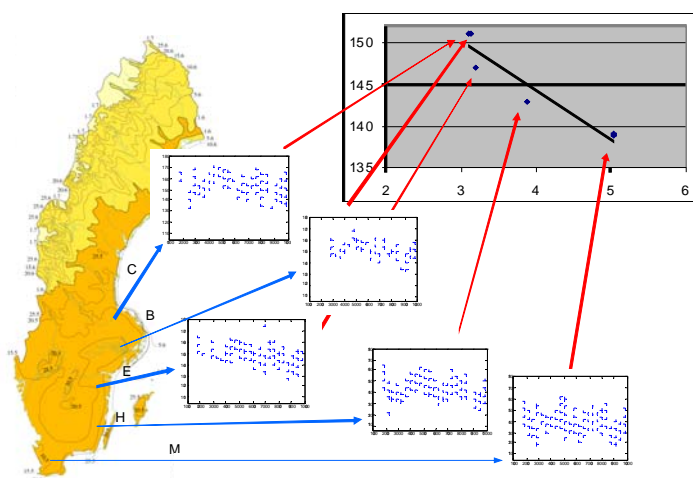
Modell B utgår från samma temperatursumma som Modell A men inkluderar också effekten av daglängden (D) och summan ska nå tröskelvärdet PT_{Sum} . Parametrarna till modellen (5°C, 7 h, 24 h) är tagna liknande de som använts i andra studier (Jörgen Olesen, EMTOX-projekt; muntlig kommunikation 2011). För kalibreringar av daglängdsmodellen, se Appendix (Tabell A3.7c1).

$$\text{DN}(\text{DC31})_{\text{ModB}} \text{ inträffar då: } \sum ((T_{\text{DMv}} - 5) * (D - 7)/(24 - 7)) > PT_{\text{Sum}} \quad (5)$$

Modell C (väderbaserade modellen) har härletts från mellan-årsvariationer i observerade DC31. Utgångspunkten är temperatursummemodellen ovan (Modell A) men som korrigerats så att den stämmer med observerade variationer mellan år. Det beräknade dagnumret för enskilda år jämförs med observationerna för respektive år. Linjär regression mellan dessa visar modellens förmåga att förutse de observerade värdena, utifrån information om endast temperatur. Lutningen på regressionslinjen ($A1$) anger om modellen över- ($A1 < 1$) eller underskattar ($A1 > 1$) utvecklingsstadiets variation i relation till temperaturvariationerna. R^2 anger hur många % av variationen som förklaras av modellen (förklaringsgraden). Den ideala modellen har alltså värdena $A1 = 1$, $A0 = 0$ och $R^2 = 1$. Modell C är alltså temperatursummemodellen korrigerad för dess systematiska avvikelse från observationerna, kalibrerad för M-län.

$$DN(DC31)_{ModC} = DN(DC31)_{ModA} * 0.652 + 48.1 \quad (6)$$

I den fjärde modellen (Modell D; klimatbaserade modellen) har temperatureffekten härletts från JBV:s observationsdata för flera regioner (modellerna A-C är anpassade (kalibrerade) enbart för M-län), genom att relatera skillnader mellan län för medelvärdet av DC31 under hela den observerade 23-årsperioden med motsvarande skillnader i medeltemperaturen. Den linjära relationen mellan medeltemperaturen och inträffandet av utvecklingsstadiet användes som ett mått på temperaturvariationers effekt på utvecklingsstadiet. Denna regression är gjord med mycket få värden (län), men varje värde är i sin tur baserat på många värden och troligen relativt tillförlitligt (Figur 3.7a; se tabell A3.7c2 i appendix för övriga stadier).



Figur 3.7a. Små grafer: Observerade dagnummer för DC31 (JBV-data) i höstvetete för länen M, H, E, B, C plottad mot år (1988-2010).

Stora grafen: Observerade medeldagnummer för respektive län plottad mot medeltemperaturen från januari till maj i dessa län (x-axeln). Regressionslinjen är Modell D:

$$DN(DC31)_{ModD} = -5.9528 T_{Jan-Maj} + 168.08 \quad (7)$$

Kartan (från SMHI) har endast syftet att visa länens placering.

Effekten av en klimatförändring på DC31 till ~2085 jämfört med dagsläget (~1995) är störst för temperatursummemodellen (Modell A) för Lund och Uppsala, ca 3-4 dagar större än för daglängdsmodellen (Modell B) och den väderbaserade modellen (Modell C). I Luleå är responsen på en klimatförändring ungefär lika mellan dessa modeller (A-C) och istället är det den klimatbaserade modellen (Modell D) som förutspår den största klimatförändringseffekten. Bästa överensstämmelse med observerade medelvärden i Lund och Uppsala ger temperatursummemodellen (Modell A), även för DC61. Daglängdsmodellen (Modell B), som i likhet med modellerna A och C är kalibrerad för M-län, förutspår 4-6 dagar för tidigt inträffande av DC31 och DC61 i Uppsala.

De största regionala skillnaderna för DC31 ges av den klimatbaserade modellen (Modell D) med en skillnad mellan Lund och Luleå på drygt 6 veckor för ~1975 perioden, men som minskar med en vecka till ~2085. Näst störst regionaleffekt ges av Temperatursummemodellen (Modell A) med

knappt 4 veckor i dagsläget, och minst för daglängdsmodellen (Modell B) med 2.5 veckor. Modellerna A och B:s förutsägelser av regionala skillnader skiljer sig ännu mer vad avser blomningen; 3.5 veckor jämfört 1.5 vecka skillnad i blomningstid mellan Lund och Luleå. Daglängdsmodellens (B) förutsägelser för alla platser för vårkorn och höstvetet är redovisade i Appendix (Tabell A3.7c3).

Tabell 3.7c. Höstvetet. Beräknade medeldagnummer för inträffandet av utvecklingsstadier för olika modellansatser (alla kalibrerade för M-län). Värden för andra perioder än ~1995 är angivna som skillnad till ~1995 i dagar.

Plats	Period	DC31				Obs- erv.	DC61		
		(T-5) Modell A	(T-5)*f(Dagl) Modell B	VäderDC Modell C	KlimatDC Modell D		(T-5) Modell A	(T-5)*f(Dagl) Modell B	Obs- erv.
Lund	~1975	7	5	5	7		5	3	
	~1995	141	139	140	140	140	179	178	178
	~2025	2	2	2	3		0	-1	
	~2055	-4	-2	-3	-4		-5	-4	
	~2085	-10	-6	-7	-8		-11	-8	
Uppsala	~1975	5	4	3	10		4	2	
	~1995	152	146	148	155	152	188	182	186
	~2025	1	1	1	4		-1	-2	
	~2055	-4	-2	-3	-3		-6	-5	
	~2085	-16	-11	-11	-15		-16	-12	
Luleå	~1975	3	0	2	11		4	-2	
	~1995	171	161	161	184		205	193	
	~2025	-1	-3	-1	4		-1	-6	
	~2055	-5	-6	-4	-4		-7	-10	
	~2085	-11	-10	-8	-15		-12	-14	

Regionala skillnader. Värden för andra platser än Lund är skillnader till Lund

Lund	~1975	148	144	145	147		184	181	
	~2085	131	133	133	132		168	170	
Uppsala	~1975	9	6	+6	+18		8	3	
	~2085	5	2	+4	+8		4	0	
Luleå	~1975	26	17	+18	+44		25	10	
	~2085	29	18	+20	+37		25	9	

DN 121=1maj, DN 152=1juni, 182=1juli

Såtid; majs

För majs tidigarelades sådden med mellan tre veckor och en månad tills slutet av århundradet, beräknat med en ackumulerad temperatursumma. För att testa betydelsen av osäkerheten av när sådden inträffar gjordes simuleringar där sådden senarelades med ca två veckor jämfört med vad denna temperatursummamodell föreslår. Effekten av detta senare sådatum var relativt liten på skördemängden, men både positiv och negativ. Effekten på andelen år då man uppnår hög foderkvalitet var dock stor. I Skara och Uppsala vid slutet av århundradet, halverades antalet år från ca 6 till ca 3 år per 10 år vid en senarelagd sådd.

Tabell 3.7d. Effekten av fördröjt sådatum med ca 2 veckor. Simuleringar av fodermajs, torrsbstanshalt, ovanjordisk skörd och andelen framgångsrika år för olika tidsperioder (medelvärden för respektive period). Framgångsrikt år definieras som att torrsbstanshalt = 34% (340 g kg⁻¹) uppnås före 1:a november ([] syftar på 28%). Framtidsscenarierna är gjorda med klimatscenarierna A2/Echam4. (efter Eckersten m fl 2011a)

Plats	Period	Standard scenario				Standard scenario men med fördröjt sådatum (dvs = ~2000) (skillnad=kursivt)			
		Så-datum	Skörde-datum	Skörd (t/ha)	Lyckad skörd %	ΔSå-datum	ΔSkörde-datum	ΔSkörd (t/ha)	Lyckad skörd %
Lund	~2025	8-May	1-Oct	11.1	70 [100]	11	16	0,3	37 [73]
	~2055	2-May	19-Sept	11.2	90 [100]	12	16	0,4	67 [90]
	~2085	12-Apr	28-Aug	10.3	100 [100]	16	15	0,7	100 [100]
Visby	~2025	18-May	9-Oct	7.0	57 [83]	11	16	0,6	17 [63]
	~2055	12-May	26-Sept	7.1	80 [100]	12	19	0,8	47 [80]
	~2085	18-Apr	25-Aug	6.1	100 [100]	15	13	0,7	100 [100]
Skara	~2025	15-May	26-Oct	8.7	11 [48]	12	3	-0,5	4 [11]
	~2055	11-May	18-Oct	10.1	27 [63]	12	11	-0,2	4 [33]
	~2085	2-May	2-Oct	10.2	63 [89]	12	16	0,3	30 [63]
Uppsala	~2025	19-May	27-Oct	8.8	7 [43]	11	2	-0,2	7 [10]
	~2055	14-May	18-Oct	10.2	40 [70]	10	10	0	7 [43]
	~2085	4-May	1-Oct	9.8	63 [87]	12	16	0,6	37 [67]

Skördetid; vårkorn

Vid en klimatförändring beräknades skördedatumet för vårkorn inträffa tidigare; 3.5 till 5.5 veckor, mest i söder. Detta påverkar skördemängden negativt. Beräkningen av skördedatum för korn är gjord med en temperatursumma. Hur det faktiska skördedatumet kommer att ändras beror också på vilka nya sorter som kommer att användas. Troligen används sorter som mognar senare. För ytterlighetssituationen att skördedatumet förblir oförändrad jämfört med dagsläget beräknas skörden bli 20-30% högre i slutet av århundradet (~2085) jämfört med om skördedatumet tidigareläggs i enlighet med temperatursummerresponser (Tabell 3.1a).

Tabell 3.7e. Simuleringar av statistiska kornskördar för olika tidsperioder med modellen FOPROQ32 som har kalibrerats för skördeåren 1965-87 och 2003-09. Effekten av oförändrat skördedatum.

Plats [Län]	Period	Standard scenario			Skillnad till standard scenario vid oförändrat skördedatum = ~2005		
		Skörde-datum	Skörd (t/ha)	Odlings period	ΔSkörde-datum (d)	ΔSkörd % ändring	ΔOdlings Period (d)
Lund [M]	~2025	08-07	3.8	118	7	3	8
	~2055	07-28	3.6	125	17	11	17
	~2085	07-07	3.3	131	38	18	22
Skara [R]	~2025	08-20	3.6	118	6	3	20
	~2055	08-09	3.5	123	17	6	13
	~2085	08-01	3.5	123	25	6	25
Linköping [E]	~2025	08-17	3.5	115	14	6	14
	~2055	08-07	3.2	118	24	16	25
	~2085	07-30	3.1	123	32	19	32
Uppsala-1 [C]	~2025	08-21	3.5	113	5	0	5
	~2055	08-11	3.3	115	15	9	15
	~2085	08-01	3.2	120	25	13	25

Klimatscenarier

Två alternativa klimatscenarier har testats för ett antal platser, och för Uppsala har ytterligare två testats och dessutom effekten av att använda en närliggande grid (Uppsala jämfört med Uppsala-1), för att testa effekten av att gridpunkten inte helt överensstämmer med platsen för väderobservationerna (Tabell 3.7f).

Tabell 3.7f. Olika klimatscenarier som testats. Standard anger de simuleringar som använts ovan i klimatförändringsberäkningarna . Referens anger de simuleringar som varit referens i testet av klimatscenarier. Ref. per. är period som används i Delta-metoden.

Klimat scenario	Global klimatmodell	Regional klimatmodell	Utsläpps-scenario	Grid; Latitud °N, Longitud °E	Kommentar
Lund	echam5-r3	rca3	A1b	55.6, 13.3	referens, standard
Lund-1	echam5-r1	rca3	A1b	55.6, 13.3	r1
Lund-5	echam5-r3	rca3	A1b	55.6, 13.3	Ref. per.=1981-2010
Kalmar	echam5-r3	rca3	A1b	56.6, 16.3	referens, standard
Kalmar-5	echam5-r3	rca3	A1b	56.6, 16.3	Ref. per.=1981-2010
Linköping	echam5-r3	rca3	A1b	58,3, 15.4	referens, standard
Linköping-5	echam5-r3	rca3	A1b	58,3, 15.4	Ref. per.=1981-2010
Uppsala	echam5-r3	rca3	A1b	60.1, 17.1	standard i körningar
Uppsala-3	echam5-r3	rca3	A1b	59.7, 17.9	Alt grid; referens
Uppsala-1	echam5-r1	rca3	A1b	59.7, 17.9	Alt grid; r1
Uppsala-2	echam5-r2	rca3	A1b	59.7, 17.9	Alt grid; r2
Uppsala-4	echam4	rca3	A2	59.7, 17.9	Alt grid;echam4, A2
Uppsala-5	echam5-r3	rca3	A1b	60.1, 17.1	Ref. per.=1981-2010
Umeå	echam5-r3	rca3	A1b	63.6, 19.8	referens, standard
Umeå-1	echam5-r1	rca3	A1b	63.6, 19.8	r1
Luleå	echam5-r3	rca3	A1b	65,3, 21.0	referens, standard
Luleå-5	echam5-r3	rca3	A1b	65,3, 21.0	Ref. per.=1981-2010

Klimatscenario (-1) är ca 0.7°C kallare än referensscenariot de närmsta 30-åren vilket fördröjer utvecklingsstadierna med ca 3 dagar, men därefter skiljer sig detta scenario från referensen endast lite. Klimatscenario (-2) är ca 0.3-0.6°C varmare än referensscenariot och för höstraps ger det 5 dagar tidigare blomning för ~2085. Ungefär lika stor blir skillnaden mellan Uppsalas grid (jmf. figur 2.2a) och griden närmast i sydost (Uppsala-3) till ~2085, men inte dessförinnan. Överlägset största skillnaden är det dock mellan det A2-utsläppsbaseade scenariot (Uppsala-4) och det A1b baseade (Uppsala-3). Det A2-baserade scenariot är ca 1.5°C varmare på våren och skillnaden tenderar att öka längre fram, dvs skillnaden är nära hälften av den beräknade ökningen på 100år för A1b (jmf. tabell 2.2a). Effekterna på utvecklingsstadierna är följaktligen över 2 veckor, dvs i samma storleksordning som hela den beräknade klimatförändringseffekten med de A1b-baserade klimatscenarierna.

Table 3.7g. Beräkningar av utvecklingsperioder för alternativa klimatscenarier. T_{DMv} MAM_{Mv} är medeltemperaturen ($^{\circ}C$) för mars, april och maj. Framtidsscenarierna är gjorda enligt tabell 3.7f. Värden med + och - är differenser till referensen.

Klimat scenario	Period	DC31	Max-Min	DC65	Max-Min	DC65	Max-Min	T_{DMv}	T_{DMv}
		Höstvete		Höstvete		Höstraps		MAM_{Mv}	$\bar{A}r_{Mv}$
Lund	~2025	143	26	182	23	152	24	7.1	8.5
	~2055	138	33	176	25	146	30	7.8	9.6
	~2085	131	38	171	25	140	36	8.5	10.4
Lund-3	~2025	+4	-1	+3	-2	+3	-4	-0.7	+0
	~2055	+1	-2	+1	-1	+1	-1	-0.1	+0
	~2085	+0	-2	-2	+0	+0	-1	+0	+0.3
Uppsala	~2025	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0
	~2055	+0	+1	+0	+1	+1	+1	+0	-0.1
	~2085	-5	+8	-4	+0	-5	+9	+0.6	+0.6
Uppsala -1	~2025	153	18	191	22	160	20	5.1	6.1
	~2055	148	20	185	21	156	16	6	7.3
	~2085	141	30	179	25	150	24	7.1	8.4
Uppsala -2	~2025	-3	+1	-2	-1	-2	-1	+0.3	+0.6
	~2055	-4	+7	-3	+4	-4	+5	+0.6	+0.6
	~2085	-4	+3	-4	1	-5	+4	+0.3	+0.3
Uppsala -3	~2025	+2	-3	+2	+0	+3	-1	-0.7	-0.1
	~2055	+1	-1	+1	+0	+1	+1	-0.1	+0
	~2085	+0	-2	-1	-1	-1	-1	-0.1	+0.2
Uppsala -4	~2025	-9	+6	-8	+4	-7	+0	+1.5	+1.2
	~2055	-9	+12	-8	+4	-8	+10	+1.4	+1
	~2085	-17	+25	-13	+1	-16	+16	+1.8	+1.4
Umeå	~2025	165	23	202	22	172	25	2.7	3.6
	~2055	159	19	195	21	167	22	3.9	5
	~2085	153	22	188	22	160	21	5.3	6.3
Umeå-3	~2025	+2	+2	+3	+0	+3	+2	-0.6	-0.2
	~2055	+1	+0	+1	-1	+0	+1	+0	+0
	~2085	+0	-1	-1	-1	-1	+0	-0.1	+0.1

Vårkornets skördemängder beräknas ändras relativt lite (10%) vid en klimatförändring. Effekten av klimatscenario baserat på A2 jämfört med A1b är också liten. I A2-scenariot är skörden ca 10% lägre främst beroende på torrare somrar (Tabell 3.7h).

Tabell 3.7h. Simuleringar av regionala kornskördar för olika tidsperioder med modellen FOPROQ32 som har kalibrerats för skördeåren 1965-87 och 2003-09. P JJA är medelnederbörden (mm) för sommaren (juni, juli och augusti). Framtidsscenarierna är gjorda enligt tabell 3.7f. Värden med + och - är differenser till referensen.

Klimat scenario	Period	Sådatum	Skördedatum	Skörd (ton/ha)	Odlingsperiod (dagar)	P JJA	P År
Lund	~2025	04-11	08-07	3.8	118	191	692
	~2055	03-25	07-28	3.6	125	198	731
	~2085	03-14	07-07	3.3	131	185	748
Lund-1	~2025	+5	+3	+0.03	-2	-11	-35
	~2055	+2	+0	-0.1	-1	-6	-17
	~2085	+1	+10	-0.2	-3	-10	-23
Uppsala -3	~2025	04-30	08-21	3.5	113	185	531
	~2055	04-18	08-11	3.3	115	196	577
	~2085	04-03	08-01	3.2	120	199	601
Uppsala-2	~2025	+0	+13	-0.01	+0	+1	+32
	~2055	+0	+10	-0.02	+0	-11	+6
	~2085	-7	-3	-0.06	+4	-16	+7
Uppsala-4	~2025	-17	-13	+0	+4	-7	+16
	~2055	-14	-11	-0.2	+3	-23	+4
	~2085	-18	-13	-0.3	+4	-41	-1

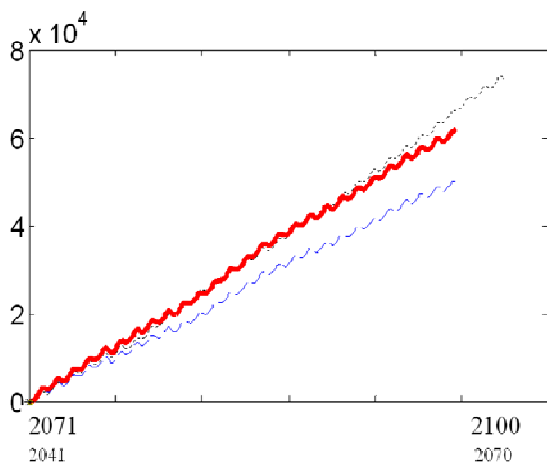
Referensperiod i Delta-metoden

Vi har använt Delta-metoden för att skala ned de månadsvisa gridvärdena från klimatscenarierna till dygnsvärden för enskilda lokaler, vilka i sin tur används för att beräkna effekter på utvecklingsstadier mm. Delta-metoden innebär att den beräknade förändringen i temperaturen enligt klimatförändringsscenarierna läggs ”ovanpå” observerade värden under en referens period. Denna referensperiod är i de allra flesta körningar i denna rapport 1961-90 (eller rättare sagt 1961-87). Då dygnsmaximum och minimum (T_{DMin} eller T_{DMax}) används är referensperioden 1981-2010 (beroende på tillgången på observerade väderdata). Beräknad framtida medeltemperatur beror på val av referensperiod (1961-87 eller 1981-2010). Vi har studerat effekterna av valet av referensperiod för några platser. Effekterna är stora i södra Sverige där Delta-metoden baserad på 1981-2010 (istället för 1961-87) ger en större temperaturförändring och att utvecklingsstadierna inträffar 1-2 veckor tidigare. Denna skillnad avtar dock norrut och är i Luleå endast några få dagar (Tabell 3.7i). För de varmaste åren i södra Sverige blir utvecklingen mycket tidig i slutet av århundradet och skillnaden mellan det tidigaste och senaste åren blir mycket stor (Max-Min i tabell 3.7i; DN_{Min} i tabell A3.7i i appendix). Denna skillnad är troligen kraftigt överskattad eftersom beräkningen är gjord med den temperaturbaserade modellen (Modell A, se tabell 3.7c) som inte explicit beaktar att en kortare daglängd på våren hämmar utvecklingstakten. Om daglängdseffekten inkluderas kan skillnaden mellan tidigaste och senaste år minska med upp till tre veckor (jämför tabellerna A3.1a-b och A3.7c3 i appendix). De beräknade absolutvärdena med Delta-metoden baserad på perioden 1981-2010 återfinns i tabell A3.7i i appendix.

Table 3.7i. Utvecklingsperioder beräknade med Delta-metoden baserad på referensperioden 1981-2010 (benämnd -5) jämfört med baserad på perioden 1961-87. T_{DMv} MAM_{Mv} är medeltemperaturen ($^{\circ}C$) för mars, april och maj. Framtidsscenarierna är gjorda enligt tabell 3.7f. Värden med + och - är differenser till beräkningen med referensperioden 1961-87.

Klimat scenario	Period	DC31 Höstvete	Max-Min	DC65 Höstvete	Max-Min	DC65 Höstraps	Max-Min	T_{DMv} MAM_{Mv}	T_{DMv} Δ_{Mv}
Lund (ref period: 1961-87)	~1995	141	33						
	~2025	143	26	182	23	152	24	7,1	8,5
	~2055	138	33	176	25	146	30	7,8	9,6
	~2085	131	38	171	25	140	36	8,5	10,4
Lund-5 (ref period: 1981-2010)	~1995	+0	+0						
	~2025	-8	+8	-6	+8	-8	+12	+1,0	+0,9
	~2055	-12	+23	-8	+16	-10	+14	+1,0	+0,9
	~2085	-13	+26	-9	+19	-12	+22	+1,0	+0,9
Kalmar	~1995	148	34	189	33	157	38	6,2	7,5
	~2025	150	28	189	24	158	22	6,0	7,6
	~2055	144	38	183	27	153	32	6,8	8,6
	~2085	138	42	176	23	146	38	7,7	9,5
Kalmar -5	~1995	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0,0	+0,0
	~2025	-6	+5	-4	+8	-6	+14	+0,7	+0,4
	~2055	-7	-1	-5	+9	-7	+7	+0,7	+0,4
	~2085	-8	+12	-6	+18	-7	+5	+0,7	+0,4
Linköping	~1995	148	34	189	32	157	38	5,7	6,8
	~2025	149	21	188	24	157	19	5,8	6,7
	~2055	145	31	183	26	153	24	6,5	7,9
	~2085	138	34	176	25	147	32	7,5	8,8
Linköping -5	~1995	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0,0	+0,0
	~2025	-4	+13	-3	+7	-4	+15	+0,6	+0,4
	~2055	-5	+14	-3	+9	-5	+15	+0,6	+0,4
	~2085	-7	+33	-4	+17	-6	+19	+0,6	+0,4
Uppsala	~1995	152	36	191	31	160	32	5,1	6,3
	~2025	153	18	191	22	160	20	5,1	6,1
	~2055	148	21	185	22	157	17	6,0	7,2
	~2085	136	38	175	25	145	33	7,7	9,0
Uppsala -5	~1995	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0,0	+0,0
	~2025	-8	+16	-7	+5	-7	+17	+1,2	+1,3
	~2055	-8	+13	-7	+6	-9	+20	+1,2	+1,3
	~2085	-4	+8	-4	+8	-5	+6	+0,6	+0,7
Luleå	~1995	171	26	209	26	179	24	1,0	2,5
	~2025	170	25	208	27	177	26	1,1	2,4
	~2055	166	21	202	24	173	24	2,2	3,8
	~2085	160	23	196	24	168	22	3,5	5,1
Luleå -5	~1995	+0	+0	+0	+0	+0	+0	+0,0	+0,0
	~2025	-1	+0	-3	-2	-1	-1	+0,5	+0,5
	~2055	-2	+0	-2	+1	-1	+0	+0,5	+0,5
	~2085	-2	+4	-2	+4	-2	+1	+0,5	+0,5

I figur 3.7b visas hur den ackumulerade temperaturen över framtida perioder kan skilja beroende på vilken referensperiod som används i Delta-metoden. Detta exempel gäller norra Sverige där valet av referensperiod är relativt liten. Effekten av valet är här betydligt mindre än den beräknade skillnaden i temperatur mellan framtida perioder (~2085 jämfört med ~2055). Inom "30"-årsperioden finns det dock skillnader. 1961-1987 är i förhållande till 1981-2010 varm i början av perioden och kall i slutet av perioden. Den ackumulerade temperatursumman ~2085 baserad på 1981-2010 är 9% högre än motsvarande summa baserad på 1961-1987:s referensperiod. Summan för ~2055 baserad på 1961-87 är 19% lägre än ~2085. Valet av referensperiod ger alltså i detta fall en skillnad i temperatur som är nästan hälften av den beräknade förändringen över 30 år. Översatt till medeltemperaturer är detta 6.25 $^{\circ}C$ för ~2085 baserat på ~1975, 6.73 $^{\circ}C$ för ~2085 baserat på ~1995, samt 5.08 $^{\circ}C$ för ~2055 baserat på ~1975.



Figur 3.7b. Ackumulerad dygnsmedeltemperatur ($d^{\circ}\text{C}$) i Sundsvall för olika framtida "30"-årsperioder, beräknade utifrån olika referensperioder.

Tjock linje= 2071-2097 baserat på 1961-87

Överst linje= 2071-2097 baserat på 1981-2010

Nederst linje= 2041-2067 baserat på 1961-87

4. Diskussion och slutsatser

Nya grödor

Resultaten från denna studie kan till viss del bidra till spekulationer om vilka grödor som kommer att öka sin andel i svensk växtodling vid en framtida klimatförändring. Hur attraktiv en gröda är att odla styr grödans utbredning vilket i sin tur beror på lönsamheten att odla grödan. Vilka grödor detta kan komma att bli frågan om kan vi ana från vilka som i dagsläget är attraktiva i södra Sverige och Centraleuropa. Majs, höstvetete och höstraps tar sig allt längre norrut liksom sojaböna, solros och vin.

Vår studie bidrar till bedömningen av utbredningspotentialen för *fodermajs* i den meningen att den beräknar hur sannolikt det är att majs når en erforderlig foderkvalitet vid ett givet klimat. Vid nuvarande klimatförhållanden är det sannolikt att nå 28% torrsbstanshalt med sorten Janna för 9 år av 10 i Lund. Det dröjer till slutet av århundradet, dvs 90 år innan sannolikheten blir lika hög i Skara och Uppsala. Detta kan dock vara en överskattad lång tid för dagsläget avser här en 20-års period som kan ha varit speciellt varm medan framtidsscenarioet avser en 30-årsperiod som inbegriper fler år vilka kan varit förhållandevis kallare. Snarare kan fördröjningen vara närmre 60 år vilket stöds av att för perioden ~1975 var sannolikheten ca 4 år per 10 år för Lund och denna sannolikhet beräknas uppnås ~2025 i Skara och Uppsala. Det bör dock noteras att detta var för det "varma" A2-Echam4-scenariet som troligen förutspår en snabbare utveckling än vad A1b-Echam5-scenariet skulle gjort. Det är svårt att förutse hur stor yta som kommer att odlas, men majs är ett alternativ till vall som utgör en mycket stor andel av svensk åkermark (i storleksordningen 40% eller 1 Mha; Fogelfors m fl 2009). Under senaste 10 åren har majsarealen främst ökat i M och H län, totalt till i storleksordningen 10-15 kha, och i Uppsala län till ca 500 ha. I Danmark har ytan först ökat sakta från ca 10 kha 1980 till ca 50 kha 2000 (2 kha/år) och därefter hastigt till ca 150 kha 2007 (ca 15 kha/år), en ökning som kan ha berott på ett varmare väder under dessa år. Ökningstakten i Sverige är under samma period 2001 till 2007 ca 1 kha/år, men har senare tillfälligt uppnått 5 kha/år. Totala ytan majs i Sverige är i dagsläget knappt 17 kha (JBV 2010; se vidare Fogelfors m fl., 2009). *Kärnmajs* utgör endast en mindre del av ökningen i Danmark, men är också på stark frammarsch. I Tyskland har skörden ökat från 8 till 10 ton/ha de senaste 20 åren, och andelen av odlingsarealen ökar och är nu ca 7% (Olesen m fl. 2011). I Belgien är skördeökningarna ännu större och andelen areal med kärnmajs har ökat lavinartat senaste 15 åren och är nu ca 20%. I Frankrike och Italien är andelen areal med kärnmajs ca 20 till 30% och visar ingen stadigt ökande trend, och skördenivåerna har stabiliserat sig på ca 9-10 ton/ha i Italien. Motsvarande analys för höstvetets skörd uppvisar liknande stabiliserande trend i norr (Norge och Finland) som kärnmajsen i Italien, men Tyskland visar en fortsatt ökande trend för höstvetete (Olesen m fl., 2011).

För höstvetete har arealen ökat stadigt i M-län från ca 35 kha på 1960-talet till ca 50 kha på 1990-talet (0.5 kha/år). Även i Uppsala (C-län) har arealen ökat, först på 1970-talet, sedan en nedgång under 1980-talet då flera år hade mycket låga arealer på omfattande utvintring. Därefter har arealen ökat igen från 15 kha till 30 kha på 15 år (1 kha/år). Höstvetets expansion norrut styrs till stor del av övervintringsförhållandena. Fram till mitten av 1980-talet var höstvetets avkastning välkorrelerad med vintertemperaturen, men därefter har denna relation försvagats (Eckersten, m fl 2010), vilket delvis kan bero på att vintrarna blivit varmare. Vintertemperaturen har stort inflytande på årsmedeltemperaturen som delvis alltså återspeglar övervintringsförhållandena. Uppsalas årsmedeltemperatur för perioden ~1975 vandrar relativt sakta norrut, det tar mer än 60 år till Falun (dvs ca ~2025), nästan 90 år till Sundsvall (ca ~2055), och knappt 110 år till Östersund (strax före ~2085) och når inte Luleå under detta århundrade (se tabell 2.1a). I jämförelse med majsens utbredning som den beskrivits ovan bör det noteras att höstvetets beräkningar gjordes med A1b:s utsläppsscenario medan beräkningarna för fodermajsen gjordes för A2 scenariot vilket visar indikationer på att ligga i storleksordningen 30 år före. Å andra sidan var referensperioden i Delta-metoden ~1975 istället för ~1995 vilket torde orsakat en betydande underskattning av klimatförändringen (se vidare nedan).

Inte inom detta århundrade får Sverige samma temperaturförutsättningar för vinodling som Medelhavsområdet har idag. För Lund dröjer det enligt A1b-scenariet till ~2055 innan vinindexet blir detsamma som i Tyskland, Polen, Tjeckien mm har idag, och till ~2085 innan det blir som Alpmrådets nuvarande förhållanden.

Effekter av väder på tillväxt och skörd av sojaböna har studerats med processbaserade grödmodeller (SOYBEANW och CROPGRO) för franska förhållanden av Wolf (2002a) och därefter tillämpats för klimatförändringsscenarier i Frankrike, Spanien och England (Wolf 2002b). Enligt observationer i Toulouse i Frankrike på 1980-talet såddes sojaböna runt 10:e maj och beroende på år började kärnfullnadsperioden mellan ca 25:e juli och 5:e augusti och slutade mer än 50 dagar senare mellan mitten av september och slutet av september, och fröskörden varierade mellan 1.5 och 4.5 ton/ha beroende på marktyp och bevattning. Modellen simulerade en långsammare utveckling vid vattenbrist, fram till kärnfullnadsperioden. Därefter sker utvecklingen snabbare vid en vattenbrist, såväl som vid en kvävebrist. Maximal bladyta uppnås i mitten av juli (LAI > 5). Klimatförändringsscenarier med HadCM2 GCM modell ökade skörden nästan med det dubbla i England (från ca 2 till 4 ton/ha för bevattnade grödor och från 1.5 till 2.5 ton/ha för obevattnade). I Frankrike och Spanien påverkade klimatscenarierna skördarna mycket mindre än i England. Skördenivåerna var betydligt högre för de bevattnade grödorna (ca 5.5 ton/ha) och betydligt mindre för de obevattnade (0.5-1 ton/ha) jämfört med i England (Wolf 2002b). CROPGRO modellen användes också för klimatförändringsstudier i Österrike, där sojabönans skörd minskade vid ökad temperatur men ökade vid ökad nederbörd (Vesselin mfl, 2002). Jämfört med höstvetete (simulerad med CERES modellen) var responsen på temperaturförändringar mycket mindre i de fall då nederbörden inte ökade. Allmänt var de relativa förändringarna i skörden dock större för sojaböna än för höstvetete.

Effekter av klimatförändringar på solros studerades för 15 år sedan av Harrison och Butterfield (1996). Observerade medelskördar för solros 1975-1990 varierade från mindre än 1 ton/ha i Spanien till drygt 2 ton/ha i Frankrike och Österrike och knappt 3 ton/ha i Tyskland (EUROSTAT). Beräknat mognadsdatum för ~1975 var i september i centrala Tyskland, och i oktober i nordligaste Tyskland. Beräkningarna utgick från att sådd skedde första dagen medeltemperaturen översteg 10°C. Vid en måttlig klimatförändring, 0.68°C ökning av den globala medeltemperaturen jämfört ~1975, dvs en klimatförändring som nästan redan skett, beräknades solros knappast kunna expandera sitt odlingsområde till Sverige. Vid en ökning på +1.76°C expanderar dock solrosens potentiella odlingsområde in i södra Sverige, och i norra Tyskland förutses mognaden ske mer än 1.5 månad tidigare än ~1975 och skörden öka med 1-2 ton/ha.

Relativa skördeförändringar för sojaböna och solros vid en klimatförändring motsvarande en global temperaturhöjning på 2°C, har nyligen undersökts på Europanivå av Moriondo m fl (2010). I deras studie är södra Sverige inkluderat i produktionsområdet med sin nordliga gräns strax söder om Göteborg respektive Gotland, dvs främst N, M, L, K och H län ingår i produktionsområdet. Studien har använt den detaljerade processmodellen CropSyst för att simulera vädrets och koldioxidhaltens effekter på vatten och kvävetillgänglighet, grödans tillväxt, utveckling och skörd och för att beräkna effekterna av klimatförändringsscenario från HadCM3 GCM-modellen baserat på A2-utsläpps scenario. De har använt nedskalningsmetodik för att bl a studera effekter av förändrade frekvenser av extremväder. Detta scenario gav en temperaturökning från ~1990 till ~2045 på ca 1.0°C på våren (MAM) och 1.5°C på sommaren (JJA) för södra Sverige. Jämfört med våra A1b-scenario så motsvarar denna ökning nästan ändringen från ~1995 till ~2085, dvs nästan en 40 år längre period (Tabell 2.2a). Vad avser nederbörden förutser deras A2 baserade klimatförändringsscenario en ökning på sommaren (JJA; 5-15%), medan vårt A1b scenario föreslår en 5% ökning till ~2055 och en liten minskning till ~2085. Deras beräkningar föreslår att skördenivåerna minskar svagt (-4%) för sojaböna i norra Europa (norr om 55°N), men betydligt mer söder därom (-13%). För solros ökar skördarna med 8% i norra Europa och minskar med 5% i södra Europa, i genomsnitt för regionerna som helhet. Tittar man mer i detalj är det en liten ökning för Skånekusten för sojabönan och en 25% ökning för solros i M och L län. I studien har de undersökt effekten av ett 15 dagar tidigare respektive senare sådatum. Tidigare sådd orsakade lite högre skördar för sojaböna och allmänt också för solros, dock inte i södra Sverige. Senarelagd sådd orsakade allmänt lägre skördar än i dagsläget. Sena respektive tidiga sorter testades också genom att korta respektive förlänga varje utvecklingsperiod med 20%, vilket för t ex Frankrike kan innebära ±10 dagar för kärnfyllnadsperioden (Wolf, 2002a). Detta hade en stor inverkan på skörden, med en ca 30% minskning jämfört med dagsläget vid en förkortning och ca 25% ökning vid en förlängning av odlingsperioden. Resultaten var ungefär desamma för vårvete. Bevattningsbehovet för solros ökade betydligt mer än för sojaböna vid en klimatförändring (se vidare Moriondo m fl, 2010).

Variation

Våra beräknade standardavvikelser för utvecklingsstadiernas variationer mellan år för dagsläget (~1995) är betydligt större än för den föregående perioden (~1975; se t ex tabell 3.1a), och skillnaden mellan tidigaste och senaste året är knappt fem veckor jämfört med 3.5 veckor för ~1975. Därefter, för nästkommande 30-årsperiod (~2025), förutspås en lägre variation igen. Detta är sannolikt inte en korrekt trend, utan en effekt av att det är ~1975 som är referensperioden till vilken klimatförändringen adderats. Trenden i klimatförändringsberäkningarna i denna studie borde alltså jämföras med ~1975, och inte ”dagsläget” ~1995. En sådan jämförelse visar att för ~2055 och speciellt ~2085 i Lund och Uppsala ökar variationen mellan år. Det bör noteras att förändringen inte beror på förutsedda förändringar av mellanårsvariationen i temperatur. I Deltametoden är det enbart medelförändringen i temperaturen för en hel 30-årsperiod som adderats till de uppmätta dagliga temperaturerna under perioden 1961-87, dvs varje år inom denna period i klimatscenariot får samma förändring av temperaturen, dock olika inom året. Istället beror de beräknade förändringarna i variation inom perioderna på att förhållandena mellan temperaturförändringen och de temperaturberoende utvecklingsmodellerna inte är helt proportionella.

Det vore troligen mer korrekt att göra motsvarande klimatscenarioberäkningar med ~1995 som referensperiod, istället för ~1975, som inte enbart ger en annan variation mellan år men också en skillnad i klimatförändring i medeltal. Av det skälet utförde vi beräkningar också med ~1995 som referensperiod för de lokaler där vi har i stort sätt fullständiga dataserier (Tabell A3.7i i appendix). Effekten av en klimatförändring mellan ~2055 och ~2085 i norr var stor (t ex för Sundsvall +1.2°C) jämfört med effekten av val av referensperiod som var 0.5°C för ~2085's medeltemperatur (se figur 3.7b). För Lund var motsvarande värden betydligt mer lika, 0.8°C mellan perioderna och 0.9°C mellan val av referensperiod (Tabell 3.7i), och därmed var betydelsen av val av referensperiod ungefär lika stor som den beräknade klimatförändringen över 30 år. Dessutom blev variationen mellan år större, främst därför att de varma (tidiga) blev betydligt varmare. Detta orsakade en mycket snabb utveckling av grödan. Denna snabba utveckling är dock antagligen kraftigt överskattad därför att den hämmande effekten av korta daglängder på utvecklingstakten inte

beaktades explicit i den enbart temperaturbaserade modellen (Modell A). Men det var Modell A som bäst efterliknade de observerade nuvarande regionala skillnaderna, vilket inkluderar effekter av sortskillnader mellan regioner. Anledningen till att vi inte använde ~1995 som referensperiod istället för ~1975 i de flesta beräkningarna i rapporten är att vi saknade fullständiga väderdatabaser för ~1995. Skälet till att valet av referensperiod i Delta-metoden har så stor inverkan kan vara om klimatscenerierna överskattar temperaturerna ~1975, vilket kan medföra att framtida förändringar är underskattade. Skälet kan också vara om klimatscenerierna underskattar temperaturerna ~1995, vilket kan medföra att framtida förändringar överskattas. Dessutom använde vi inte alltid exakt samma klimatstationer för ~1975 och ~1995. Skälen återstår att utredas vidare.

Sammanfattning

Den beräknade effekten av klimatförändringar på utvecklingsstadierna var relativt lika för höstvetete, höstraps och vårvete. Förändringarna som redan skett sedan ~1975 är stora i Götaland och Svealand och förändringen från "dagsläget" till kommande 30-årsperiod (~2025) beräknas bli mindre. Vid slutet av århundradet inträffar utvecklingsstadierna från knappt 2 till drygt 3 veckor tidigare än i dagsläget i Lund och Uppsala, och Uppsalas datum idag återfinns i Umeå. I vilken utsträckning höstvetets och höstrapsens odlingsområde vandrar norrut beror dock på övervintringsfaktorer vilka inte utreds i denna studie. Den förutsedda tidigareläggningen av sådatum är större än för utvecklingsstadierna. Frostrisken efter sådd ökar dock något vilket kan innebära att sådatumet beräknat på enbart en temperatursumma kan överskatta tidigareläggningen. Även större nederbörds mängder på våren kan göra att den beräknade tidigareläggningen är överskattad (jmf. Trnka m fl., 2011). Till vilken grad utvärderas dock inte i denna studie. Expansionen av fodermjajsens odlingsområde beror på hur frekvent acceptabel foderkvalitet kan uppnås. I slutet av århundradet kan Uppsala erhålla samma frekvens av lyckosamma år som Lund har i dagsläget. Detta innebär en tidigareläggning av skördedatum till slutet av augusti i Lund och början av oktober i Uppsala, vid en önskad torrsustanshalt på 34% för sorten Janna.

Osäkerheterna i dessa beräkningar var dock betydande, främst pga osäkerheter i klimatscenerier, nedskalningen av dessa scenarier till dagliga värden på lokal skala (Delta-metoden) och i utvecklingsmodeller. Utvecklingsstadierna tidigarelades med 10-16 dagar till ~2085 jämfört med ~1995 i beräkningarna baserade på A1b-utsläppsscenario och den temperatursummebaserade utvecklingsmodellen (Modell A) och ~1975 referensperiod i Delta-metoden. Om referensperioden ~1995 används istället i Delta-metoden är motsvarande tidigareläggning 13-23 dagar (Tabell A3.7i). Kalibreringsstrategin för utvecklingsmodellerna (vilket län de kalibrerades för) orsakade bara en dags osäkerhet i dessa beräkningar, men upptill en knapp vecka i bestämningen av de absoluta datumen. Vilken modell som användes hade större betydelse. Den daglängdsbaserade modellen (B) och den modell som anpassats till mellanårsvariationer i observerade utvecklingsstadier (C) gav liknade resultat och upptill 4-5 dagar mindre klimatförändringsrespons än temperatursummemodellen (A). Modellerna B och C förutsåg dock observerade regionala skillnader sämre. Resultaten tyder på att den daglängdsbaserade modellen (Modell B) är bättre än temperatursummemodellen (Modell A) vad avser att förutse variationer mellan år för en given plats men sämre att förutse skillnader mellan regioner över längre tidsperioder. Det bör noteras att modellerna kalibrerats för Götaland och Svealand men ej testats mot observationer i Norrland.

Effekter av skillnader mellan olika klimatförändringsscenerier var relativt små för de scenarier som hade A1b-utsläppsscenario som bas. Klimatförändringssceneriet baserat på A2-utsläppsscenario gav dock stora skillnader, dvs ungefär dubbelt så stor klimatförändringseffekt som scenarierna baserade på A1b. Översätter man detta till tid verkar det som det A2-baserade scenariet är i storleksordningen 30 år före de A1b-baserade. Vi har dock bara undersökt detta för Uppsala och en allmän slutsats kräver fler beräkningar. Till sist tillkommer osäkerheter i samband med valet av referensperiod vid nedskalningen till dags- och lokalnivå, som i södra Sverige var nästan i samma storleksordning som skillnaden mellan A1b och A2. I tabell 4a återfinns en sammanfattning av osäkerhetsfaktorernas effekter på utvecklingsstadium DC31 i höstvetete.

Tabell 4a. Sammanfattning av alternativa metoder att beräkna dagnumret för inträffandet av DC31 i höstvetete. Värden är skillnaden i dagnummer mellan ~2025 och ~1975 respektive mellan ~2085 och ~1975. Referensen är beräknad med DC Modell A kalibrerad för län M, Delta referensperiod 1961-1987 samt klimatscenario A1b-r3. För övriga beräkningar har en faktor i taget ändrats jämfört med referensen, Klimatscenario A1b-r1 värdena för Luleå är beräknade för Umeå.

Plats	Period	Refer.	Kalib. län		DC	Delta ref.	Klimatscenario		
			E	B	Modell	period	A1b-r2	A1b-r1	A2
Lund	~2025	-5	-5	-3		-13		-1	
	~2085	-17	-17	-11		-30		-17	
Uppsala	~2025	-4	-4	-3		-12	-7	-2	-13
	~2085	-21	-21	-15		-25	-25	-21	-38
Luleå	~2025	-4	-4	-3		-5		-2	
	~2085	-14	-14	-10		-16		-14	

För skördeberäkningarna tillkommer en osäkerhetsfaktor därför att effekten av ökad koldioxidhalt i atmosfären inte beaktats i våra beräkningar, vilket troligen underskattat skördarna i ett framtida klimat, speciellt för vårkornet. Effekten av ökad koldioxidhalt är omdiskuterad men bedöms öka grödans vatten- och strålningsutnyttjande, och i många framtidsscenario har skördeeffekten uppgått till 25-30% (jmf Eckersten m fl 2001a; Ewert m fl 2005). I en studie av vårkornskördar i Finland beaktades positiva effekter av ökad koldioxid. Vid en temperaturhöjning större än 4 °C dominerade dock den negativa temperatureffekten och sjunkande skördar förutsågs (Rötter m fl. 2011). Denna dominanta negativa effekt av ökad temperatur har också beräknats för höstvetete (Patil m fl. 2011).

Rent klimatmässigt förväntas höstsådda grödor kunna odlas längre norrut i framtiden, liksom majsen. Det är främst fodermajs som expanderar norrut, men kärnmajs förmodas också öka, men i mindre omfattning och med en betydande eftersläpning jämfört med fodermajs. Trender och beräkningar på Europeanivå föreslår att även sojaböna och solros kan bli aktuella i södra Sverige. När detta sker är svårt att säga, beroende på osäkerheterna i klimatförändringsscenarioerna. I våra beräkningar ovan har vi använt det ”måttliga” A1b-baserade klimatscenariot (utom för majsen) vilket förutspådde att det kan dröja till mitten av kommande århundradet innan vinodling i Skåne kan nå de nivåer som Tyskland har i dagsläget.

5. Referenser

- Angus, J.F., Kornher, A., & Torssell, B.W.R. (1980). A systems approach to estimation of Swedish ley production. XIV International Grassland Congress. Lexington, Kentucky, USA.
- Audsley, E., Pearn, K. R., Simota, C., Cojocar, G., Koutsidou, E., Rousevell, M. D. A., Trnka, M., and Alexandrov, V. 2006. What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not? *Environmental Science & Policy* 9 (2), 148-162.
- Eckersten H, Andersson L, Holstein F, Mannerstedt Fogelfors B, Lewan E, Sigvald R, Torssell B, 2007. Bedömningar av klimatförändringars effekter på växtproduktion inom jordbruket i Sverige (Evaluation of climate change effects on crop production in Sweden). Bilaga 24 i: Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter, SOU 2007:60, Bilagedel B, bilaga B 23-27: 26-277. (summary in English) (<http://www.regeringen.se/sb/d/8704/a/89334>)
- Eckersten, H.; Andersson, L.; Holstein, F.; Mannerstedt Fogelfors, B.; Lewan, E.; Sigvald, R.; Torssell, B. & Karlsson, S., 2008. Bedömningar av klimatförändringars effekter på produktion inom jordbruket i Sverige (An evaluation of climate change effects on crop production in Sweden). Report No 6, Department of Crop Production Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 145 pp (In Swedish with English summary). http://pub.epsilon.slu.se/3366/1/No_6.pdf
- Eckersten, H., Blombäck, K., Kätterer, T., Nyman, P. (2001a). Modelling C, N, water and heat dynamics in winter wheat under climate change in southern Sweden. *Agriculture Ecosystems and Environment*. vol 86(3), pp 221-235
- Eckersten H, Herrmann A, Kornher A, Halling M, Sindhøj E, Lewan, E. (2011a) Predicting silage maize yield and quality in Sweden as influenced by climate change and variability, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, DOI:10.1080/09064710.2011.585176

- Eckersten, H., Kornher A., Bergkvist, G., Forkman, J., Sindhoj, E., Torssell, B. & Nyman, P. 2010. Crop yield trends in relation to temperature indices and a growth model. *Climate Research* 42, 119-131.
- Eckersten H, Kornher A, Jahr K, Arvidsson A. (2011b). Assessing crop development in Sweden under climate change. In: NJF (Nordic Associations of Agricultural Scientists) proceedings - NJF seminar 446: Risk assessments/risk management, forecasting pests and diseases of field crops in a changing climate, Kristianstad, Sweden, 30 November – 1 December 2011. ISSN 1653-2015, pages 1-5. www.njf.nu
- Eckersten H, Noronha-Sannervik A, Nyman P, Torssell B (2001b) Modelling mass flows in soil plant systems using Matlab/Simulink. In: Björneå, T.I., Ed. Nordic MATLAB Conference – Program & Proceedings. October 17-18, Oslo, Norway. ISBN 82-995955-0-9. pp II:44-49.
- Ewert, F., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Metzger, M.J., & Leemans, R. (2005). Future scenarios of European agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107, 101-116.
- Fagerberg, B., & Nyman, P. (1994). Modeling weather effects on nutritional value of grassland leys. Estimation and validation of parameters in a model for changes in metabolizable energy content. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 24, 147-156.
- FFE (2009). Fältforskningsenheten, Swedish University of Agricultural Sciences. www.ffe.slu.se.
- Fogelfors, H., Wivstad, M., Eckersten, H., Holstein, F., Johansson, S., & Verwijst, T. (2009). Strategic Analysis of Swedish Agriculture - Production systems and agricultural landscapes in a time of change. *Report 10*, Department of Crop Production Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 68 pp. <http://pub.epsilon.slu.se/4626/>
- Hay, R.K.M, Porter, J.R, 2006. The physiology of crop yield. Second Edition. Blackwell Publishing, Oxford, UK. ISBN-13: 978-14051-0859-1. 314 pp.
- Harrison, P.A., Butterfield, R.E. (1996) Effects of climate change on Europe-wide winter wheat and sunflower productivity. *Clim Res*, Vol. 7: 225–241
- Herrmann, A., Kelm, M., Kornher, A., & Taube, F. (2005a). Performance of grassland under different cutting regimes as affected by sward composition, nitrogen input, soil conditions and weather – a simulation study. *European Journal of Agronomy*, 22, 141-158.
- Herrmann, A., Kornher, A., & Taube, F. (2005b). A new harvest time prognosis tool for forage maize production in Germany. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130, 95-111.
- Herrmann, A., Kornher, A., Höppner, F., Greef J.M., & Taube, F. (2006). Harvest time prediction, validation, and implementation in practical agriculture. *Grassland Science in Europe*, 11, 559-651.
- JBV (2010). Jordbruksverket. <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/odling/andrajordbruksgrador/majs/skordestatistik.html>.
- Kornher, A., & Torssell, B.W.R. (1983). Estimation of parameters in a yield prediction model for temporary grasslands using regional experimental data. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 13, 137-144.
- MathWork Ltd (2005) Matlab version 7.1 with Simulink, release 14.
- Moriondo, M., Marco Bindi, Zbigniew W. Kundzewicz, M. Szwed, A. Chorynski, P. Matczak, M. Radziejewski, D. McEvoy, Anita Wreford (2010). Impact and adaptation opportunities for European agriculture in response to climatic change and variability. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 15:657–679
- Olesen, J.E., Carter, T.R., Diaz-Ambrona, C.H., Fronzek, S., Heidmann, T., Hickler, T., Holt, T., Minguuez, M.I., Morales, P., Palutikof, J.P., Quemada, M., Ruiz-Ramos, M., Rubaek, G.H., Sau, F., Smith, B., & Sykes, M.T. (2007). Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climatic Change*, 81, 123-143.
- Olesen, J.E., M. Trnka, K.C. Kersebaum, A.O. Skjelvåg, B. Seguin, P. Peltonen-Sainio, F. Rossi, J. Kozyra, F. Micale (2011). Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY Volume: 34 Issue: 2 Pages: 96-112
- Patil R.H., Laegdsmand M., Olesen J.E. and Porter JR (2011): Sensitivity of crop yield and N losses in winter wheat to changes in mean and variability of temperature and precipitation in Denmark using the FASSET model, *Acta Agriculturae Scandinavica*, Section B - Soil & Plant Science, DOI:10.1080/09064710.2011.615758
- Quilbé, R. Rousseau, A.N., Moquet, J.-S., Savary, S., Ricard, S., & Garbouj, M.S. (2008). Hydrological responses of a watershed to historical land use evolution and future land use scenarios under climate change conditions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 101–110.
- Rötter, R.P., T. Palosuo, T., N.K. Pirttioja et al., 2011b. What would happen to barley production in Finland if global warming exceeded 4°C ? A model-based assessment. *Eur. J. Agron.* 35, 205-214.
- SLU (2009). Ultuna climate station. Swedish University of Agricultural Sciences. http://grodden.evp.slu.se/slu_klimat/index.html.
- SMHI (2011). <http://www.smhi.se/klimatdata/klimatscenarier/scenariodata/1.6200>
- Torssell BWR, Kornher A (1983) Validation of a yield prediction model for temporary grasslands. *Swedish Journal of Agricultural Research* 13:125-135
- Trnka M, Olesen JE, Kersebaum KC, Skjelvåg AO, Eitzinger J, Seguin B, Peltonen-Sainio P, Rötter R, Iglesias A, Orlandini S, Dubrovský M, Hlavinka P, Balek J, Eckersten H, Cloppet E, Calanca P, Gobin A, Vusetic V, Nejedlik P, Kumar S, Lalic B, Mestre A, Rossi F, Kozyra J, Alexandrov V, Semerádová D, Žalud Z. (2011). Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology*. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x

- Vesselin, A, Eitzinger, J., Cajic, V., Oberforster, M. (2002) Potential impact of climate change in selected agricultural crops in north-eastern Austria. *Global Change Biology* 8:372-389
- Wolf J (2002a) Comparison of two soya bean simulation models under climate change. I. Model calibration and sensitivity analyses. *Clim Res*, Vol. 20: 55–70
- Wolf J (2002b) Comparison of two soya bean simulation models under climate change. II. Application of climate change scenarios. *Clim Res*, Vol. 20: 71-81

6. Appendix - Tabeller

Rött värde är första period då temperatur \geq Lund ~1975 eller DN \leq Lund ~1975

Grönt värde är första period då temperatur \geq Uppsala ~1975 eller DN \leq Uppsala ~1975 (för platser norr om Uppsala).

Tabell A2.1a. Korrigeringar av observerade väderdata

Korrigeringar av observerade väderdata, huvudsakligen 1961-87

Plats	Korrigeringar	Plats	Korrigeringar
Lund	%19630501-31: HR=69%, Evapo=3.4mm/d %19730328: Ta, HR, Evapo interpolated %19860301-12: HR=68, u=1.8, Evap=0.4, CI=0.5 %19860519-25: HR=68, u=2.5, Evap=3.6, CI=0.5 %19860930: P interpolated %19861001: All, but not Radiation, interpolated %19870524: Evap interpolated %19870708: P interpolated %Missing: 1999-2002	Arvika	%19760701-31=Karlstad %19850701-31=Karlstad %Interpolerade värden: 1975,1983-1987
Visby	%19860918: P interpolated %19861105 and 10: P interpolated %19950515=14 following Rs Uppsala. ej nbd %19950601=Interpol following Uppsala %19950703-06=Interpolated %19950804=03 %19950805=Interpolated %19950806=07 %19950819=Interpolated %19950902=Interpolated	Karlstad	%Interpolerade värden 1985-87
Växjö	%19870802=19870801 %19860919: p interpolated %19860701-31= Kalmar 19860701-31 %19860328,30: e interpolated %19800721-25: e interpolated %19800728-29: e interpolated %19790507-13: e interpolated %19790516-18: e interpolated	Örebro	%19850701-31=Karlstad %19860701-31=Karlstad Interpolerade värden 1979, 1984,1986-87
Göteborg	%198610141200 p interpolated %198612271200 p interpolated %198703131200 p interpolated %198707081200 p interpolated %198712081200 p interpolated	Uppsala	%19620824-26: Ep missing replaced %19860917,19861016,19870521,19870820: P missing replaced by 0 %20020626= Ta ersatt med 20020625 %20030405= Ta interpolated %20031230=ersatt med 20040101 %19880101-2005 = Ultuna
Skara	% 1962=Göteborg %19880101-19900404=f(Satenas) %19900405- korrigerade mha Satenas %19930101=19930102 %19930211=interpolated %Missing: 1999-2002	Falun	%19820701-31= Sundsvall %19820901-1031= Sundsvall %19830101-0228= Sundsvall %Interpolerade värden 1982,1986-87
Linköping	%196109301200 h, Epot %19870305,13-15: P=0 %19870831: P=0		
		Sundsvall	%198704201200 p interpolated
		Umeå	%198705081200: p interpolated
		Luleå	%19861014,24,26: p interpolated %19870113: p interpolated %19870618: p=0 %19870629: p interpolated %19870726: p interpolated %19870824: p=0

Tabell A2.2a. Temperatur

Medeltemperatur (°C) för perioderna mars till maj (MAM), juni till augusti (JJA) och år. Medel, minsta respektive högsta temperatur inom respektive period.

Plats	Period	MAM _{Mv}	MAM _{Min}	MAM _{Max}	JJA _{Mv}	JJA _{Min}	JJA _{Max}	År _{Mv}	År _{Min}	År _{Max}
Lund	~1975	6.3	4.8	8.1	16.1	14.3	17.8	7.8	6.7	9.2
1	~1995	7.2	4.8	9.9	16.7	14.3	19.1	8.5	6.7	10.2
1	~2025	7.1	5.6	8.9	16.7	14.9	18.4	8.5	7.4	9.9
1	~2055	7.8	6.3	9.6	17.6	15.8	19.2	9.6	8.4	11.0
1	~2085	8.5	7.0	10.3	18.3	16.5	19.9	10.4	9.3	11.8
Halmstad	~1975	5.8	4.3	7.4	15.5	13.6	16.9	7.3	6.3	8.7
2	~1995									
2	~2025	6.6	5.0	8.2	16.1	14.2	17.4	8.0	7.0	9.4
2	~2055	7.3	5.8	9.0	16.9	15.0	18.3	9.0	8.1	10.5
2	~2085	8.0	6.5	9.7	17.6	15.7	18.9	9.9	8.9	11.3
Kristianstad	~1975	6.0	5.0	8.1	15.9	14.2	17.2	7.5	6.7	9.0
3	~1995									
3	~2025	6.9	5.8	8.9	16.5	14.8	17.8	8.2	7.4	9.7
3	~2055	7.6	6.6	9.6	17.4	15.7	18.6	9.3	8.4	10.8
3	~2085	8.3	7.3	10.4	18.1	16.4	19.3	10.1	9.3	11.6
Kalmar	~1975	5.0	3.4	7.1	15.4	13.8	16.9	6.7	5.4	8.4
54	~1995	6.2	3.5	8.2	15.8	13.0	17.6	7.5	5.2	8.8
4	~2025	6.0	4.4	8.1	16.2	14.6	17.7	7.5	6.2	9.2
4	~2055	6.8	5.3	8.9	17.0	15.4	18.6	8.6	7.3	10.3
4	~2085	7.7	6.2	9.8	17.8	16.2	19.4	9.5	8.2	11.2
Visby	~1975	4.5	2.8	6.2	15.4	13.5	17.1	6.8	5.5	8.5
5	~1995	5.3	2.8	7.3	15.8	13.7	18.0	7.5	5.5	8.6
5	~2025	5.6	3.9	7.4	16.4	14.5	18.1	7.8	6.5	9.5
5	~2055	6.6	4.9	8.3	17.3	15.4	19.0	8.9	7.6	10.6
5	~2085	7.7	6.0	9.4	18.3	16.3	19.9	10.0	8.7	11.7
Jönköping	~1975	5.3	3.5	6.9	15.2	13.1	16.8	6.3	4.9	7.9
56	~1995	4.9	2.0	7.5	14.7	12.2	16.7	6.0	3.7	7.5
6	~2025	6.2	4.4	7.8	15.8	13.6	17.3	7.0	5.6	8.6
6	~2055	7.0	5.2	8.6	16.7	14.5	18.2	8.1	6.7	9.7
6	~2085	7.8	6.0	9.4	17.3	15.2	18.9	9.1	7.6	10.6
Göteborg	~1975	5.7	4.1	7.4	15.5	13.6	17.1	7.1	5.8	8.8
57	~1995									
7	~2025	6.5	4.9	8.2	16.1	14.2	17.7	7.7	6.4	9.4
7	~2055	7.3	5.7	9.0	17.0	15.1	18.5	8.8	7.5	10.5
7	~2085	8.1	6.5	9.8	17.6	15.7	19.1	9.7	8.4	11.4
Skara	~1975	4.9	3.2	6.7	14.9	13.4	16.5	5.9	4.4	7.7
8	~1995	5.3	3.3	7.7	14.8	12.7	17.0	6.5	4.4	7.7
8	~2025	5.8	4.0	7.6	15.4	13.9	17.1	6.6	5.1	8.3
8	~2055	6.5	4.8	8.4	16.4	14.9	18.0	7.7	6.2	9.4
8	~2085	7.4	5.7	9.2	17.0	15.4	18.6	8.6	7.1	10.3
Linköping	~1975	4.8	2.6	6.5	15.4	13.2	17.1	6.0	4.5	7.8
59	~1995	5.7	3.5	8.4	15.7	13.6	17.7	6.8	4.5	8.3
9	~2025	5.7	3.6	7.5	15.9	13.7	17.6	6.7	5.2	8.6
9	~2055	6.5	4.4	8.3	16.9	14.7	18.6	7.9	6.3	9.7
9	~2085	7.5	5.3	9.2	17.5	15.3	19.2	8.8	7.3	10.7
Arvika	~1975	4.6	1.8	6.2	15.3	12.9	17.4	5.2	3.2	7.4
10	~1995									
10	~2025	5.5	2.7	7.1	15.9	13.5	18.0	5.8	3.8	8.1
10	~2055	6.4	3.5	8.0	16.9	14.4	18.9	7.0	5.0	9.3

10	~2085	7.4	4.6	9.0	17.4	15.0	19.5	8.1	6.1	10.3
Karlstad	~1975	4.4	2.0	6.3	15.5	13.1	17.4	5.7	3.6	7.9
61	~1995	5.2	2.0	7.5	15.6	13.1	18.3	6.3	3.6	7.7
11	~2025	5.3	2.9	7.2	16.1	13.7	18.0	6.3	4.3	8.6
11	~2055	6.2	3.8	8.0	17.0	14.6	19.0	7.5	5.5	9.8
11	~2085	7.2	4.8	9.1	17.6	15.2	19.6	8.5	6.5	10.8
Örebro	~1975	4.7	2.9	6.2	15.7	13.6	17.6	5.8	3.7	7.9
12	~1995									
12	~2025	5.2	3.3	6.6	16.8	15.3	18.5	6.6	4.4	8.6
12	~2055	6.6	4.8	8.0	18.1	16.6	19.8	7.7	5.6	9.8
12	~2085	8.2	6.5	9.7	19.2	17.7	20.9	8.7	6.6	10.8
Uppsala	~1975	4.1	2.3	5.8	15.2	12.6	17.1	5.4	3.6	7.3
13	~1995	5.1	2.4	7.3	15.8	12.6	18.1	6.3	3.6	7.4
13	~2025	5.1	3.3	6.7	15.8	13.2	17.6	6.1	4.3	8.0
13	~2055	6.0	4.2	7.6	16.8	14.1	18.6	7.2	5.5	9.2
13	~2085	7.7	5.5	9.4	17.6	15.3	19.2	9.0	7.4	10.8
Falun	~1975	3.5	1.0	5.2	15.0	12.9	17.0	4.2	2.3	6.5
64	~1995									
14	~2025	4.5	2.0	6.2	15.6	13.5	17.5	4.9	3.0	7.1
14	~2055	5.4	2.9	7.1	16.5	14.4	18.5	6.1	4.2	8.3
14	~2085	6.5	4.0	8.2	17.2	15.1	19.1	7.2	5.3	9.4
Sundsvall	~1975	2.2	0.2	4.4	14.1	12.3	15.5	3.1	1.1	5.0
65	~1995	3.0	0.7	5.0	14.6	12.2	16.9	4.0	1.1	5.3
15	~2025	3.3	1.3	5.5	14.7	12.8	16.0	3.9	1.9	5.7
15	~2055	4.2	2.3	6.4	15.7	13.8	17.0	5.2	3.2	7.0
15	~2085	5.4	3.4	7.6	16.3	14.5	17.7	6.3	4.3	8.2
Östersund	~1975	1.7	-0.8	3.0	12.9	10.6	15.3	2.7	1.3	4.2
66	~1995	2.3	0.0	4.4	13.0	10.5	15.8	3.4	0.8	4.8
16	~2025	2.7	0.1	4.0	13.4	11.1	15.8	3.4	2.0	4.9
16	~2055	3.6	1.0	4.9	14.5	12.1	16.8	4.7	3.3	6.2
16	~2085	4.7	2.1	6.0	15.0	12.6	17.4	5.7	4.4	7.3
Umeå	~1975	1.4	-0.8	3.3	13.9	11.8	15.5	2.6	0.6	4.5
17	~1995									
17	~2025	2.7	0.5	4.7	14.8	12.8	16.5	3.6	1.7	5.6
17	~2055	3.9	1.7	5.9	15.9	13.9	17.6	5.0	3.0	6.9
17	~2085	5.3	3.1	7.3	16.8	14.8	18.4	6.3	4.3	8.3
Luleå	~1975	0.0	-3.0	2.2	13.9	12.2	15.5	1.5	-0.5	3.5
68	~1995	1.0	-0.9	3.0	14.4	12.5	16.7	2.5	-0.5	4.0
18	~2025	1.1	-1.9	3.4	14.4	12.8	16.0	2.4	0.4	4.4
18	~2055	2.2	-0.8	4.4	15.5	13.8	17.1	3.8	1.8	5.8
18	~2085	3.5	0.5	5.8	16.2	14.5	17.8	5.1	3.2	7.2

Tabell A2.2b. Nederbörd

Nederbördssumma (mm) för perioderna mars till maj (MAM), juni till augusti (JJA) och år. Medel, minsta respektive högsta nederbörd inom respektive period.

Plats	Period	MAM _{Mv}	MAM _{Min}	MAM _{Max}	JJA _{Mv}	JJA _{Min}	JJA _{Max}	År _{Mv}	År _{Min}	År _{Max}
Lund	~1975	133	45	247	189	76	389	664	477	895
1	~1995	116	40	169	196	103	400	652	443	874
1	~2025	133	46	247	191	77	388	692	499	926
1	~2055	150	50	279	198	81	412	731	538	980
1	~2085	158	53	294	185	74	384	748	555	976
Halmstad	~1975	126	48	201	218	69	326	690	446	849
2	~1995									
2	~2025	130	49	208	216	68	320	714	465	880
2	~2055	144	54	231	222	70	323	752	495	934
2	~2085	153	58	245	209	65	306	768	516	948
Kristianstad	~1975	113	40	184	157	69	234	550	377	669
3	~1995									
3	~2025	119	42	194	151	68	225	565	391	688
3	~2055	130	45	214	162	69	242	606	413	744
3	~2085	139	47	232	149	66	224	616	416	753
Kalmar	~1975	95	39	157	146	32	270	482	295	625
54	~1995									
4	~2025	98	44	154	151	35	282	499	308	653
4	~2055	104	44	170	169	37	319	541	322	715
4	~2085	113	47	188	168	36	316	565	339	732
Visby	~1975	93	25	154	121	59	192	503	342	677
5	~1995									
5	~2025	91	29	154	131	65	208	538	358	732
5	~2055	102	30	169	138	68	225	578	386	789
5	~2085	111	30	179	143	71	236	599	403	817
Jönköping	~1975	129	54	217	183	64	280	635	471	761
56	~1995									
6	~2025	133	57	223	175	63	263	639	476	764
6	~2055	144	60	238	179	64	273	673	504	816
6	~2085	156	66	257	170	60	260	691	518	845
Göteborg	~1975	140	46	212	203	51	358	758	565	972
57	~1995									
7	~2025	141	46	215	203	50	357	796	597	1041
7	~2055	158	50	237	208	52	365	837	631	1117
7	~2085	169	54	255	205	51	360	877	673	1146
Skara	~1975	113	51	193	179	76	292	590	420	837
8	~1995									
8	~2025	112	50	187	178	76	291	597	429	849
8	~2055	123	56	211	181	77	293	633	447	899
8	~2085	133	60	228	186	80	298	668	474	946
Linköping	~1975	99	37	173	168	50	258	513	354	684
59	~1995	528								
9	~2025	99	39	174	167	51	256	515	362	683
9	~2055	109	41	190	171	52	260	548	374	735
9	~2085	120	46	212	174	54	263	575	386	777
Arvika	~1975	112	39	181	208	81	352	650	417	831
10	~1995									
10	~2025	109	39	175	214	81	366	671	429	862
10	~2055	122	42	198	215	85	363	696	452	908

10	~2085	128	44	208	214	83	362	734	478	955
Karlstad	~1975	115	38	211	181	77	339	625	442	841
61	~1995									
11	~2025	111	36	208	188	76	352	642	453	857
11	~2055	127	40	229	189	81	354	674	480	904
11	~2085	134	44	244	195	83	365	721	510	960
Örebro	~1975	110	35	187	186	73	321	606	455	766
12	~1995									
12	~2025	107	34	184	168	72	235	595	452	756
12	~2055	118	42	206	208	90	293	653	481	832
12	~2085	137	48	241	213	91	297	690	510	877
Uppsala	~1975	84	27	157	181	80	311	526	351	727
13	~1995									
13	~2025	79	28	149	182	81	321	527	351	730
13	~2055	93	30	173	194	85	331	571	384	781
13	~2085	115	44	203	183	55	277	580	391	777
Falun	~1975	111	34	196	210	95	325	612	414	843
64	~1995									
14	~2025	105	34	188	214	99	339	619	414	847
14	~2055	120	37	213	216	97	333	657	445	907
14	~2085	124	38	219	217	97	337	686	468	953
Sundsvall	~1975	101	33	187	171	91	238	565	364	808
65	~1995									
15	~2025	95	29	172	177	93	250	576	378	806
15	~2055	110	36	205	184	96	260	620	398	861
15	~2085	114	37	210	194	103	271	657	434	940
Östersund	~1975	97	34	150	200	72	319	533	391	713
66	~1995									
16	~2025	98	35	151	208	75	333	555	409	745
16	~2055	108	37	168	224	80	359	607	446	810
16	~2085	109	38	169	233	83	376	642	472	855
Umeå	~1975	122	34	214	163	85	292	646	530	876
17	~1995									
17	~2025	122	37	212	165	87	294	658	533	896
17	~2055	128	35	231	164	86	293	696	573	925
17	~2085	137	40	233	185	99	323	755	618	1009
Luleå	~1975	93	27	172	139	53	263	496	336	625
68	~1995									
18	~2025	100	32	189	135	53	258	507	337	640
18	~2055	100	30	187	131	52	252	529	357	663
18	~2085	107	33	194	153	60	296	581	399	726

Tabell A3.1a-b. Höstvetet DC31 och DC61

Höstvetet. Utvecklingsstadier för olika platser och perioder. Medel, tidigaste respektive senaste dagnummer inom respektive period.

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Plats	Period	DC31 _{Mv}	DC31 _{Min}	DC31 _{Max}	DC31 _{Std}	DC61 _{Mv}	DC61 _{Min}	DC61 _{Max}	DC61 _{Std}
Lund	~1975	148	134	158	5	187	177	199	5
1	~1995	141	121	154	9	182	161	197	10
1	~2025	143	126	152	6	182	170	193	5
1	~2055	138	115	148	8	176	162	187	5
1	~2085	131	107	145	10	171	157	182	5
Halmstad	~1975	151	142	160	5	191	184	204	5
2	~1995								
2	~2025	146	134	157	6	186	177	199	5
2	~2055	140	123	151	8	180	169	193	6
2	~2085	134	110	148	10	174	163	183	5
Kristianstad	~1975	150	134	159	6	189	178	200	5
3	~1995								
3	~2025	144	126	153	7	183	171	193	5
3	~2055	138	113	149	9	177	162	184	5
3	~2085	131	105	143	10	171	157	178	5
Kalmar	~1975	156	146	167	5	196	185	210	6
54	~1995	148	128	162	8	189	175	208	8
4	~2025	150	133	161	6	189	177	201	5
4	~2055	144	118	156	8	183	168	195	5
4	~2085	138	107	149	9	176	161	184	5
Visby	~1975	159	150	169	6	198	189	212	6
5	~1995	154	133	171	9	195	185	210	7
5	~2025	153	143	163	6	190	182	202	6
5	~2055	147	134	158	7	184	174	194	6
5	~2085	139	118	151	8	176	163	187	6
Jönköping	~1975	152	145	162	5	192	185	207	6
56	~1995	154	131	172	9	197	183	217	8
6	~2025	148	136	159	5	187	179	202	5
6	~2055	143	123	152	7	182	170	196	5
6	~2085	137	115	149	8	176	163	188	5
Göteborg	~1975	151	141	160	5	191	183	204	5
57	~1995								
7	~2025	148	134	157	5	187	176	199	5
7	~2055	142	124	151	7	181	168	193	5
7	~2085	135	112	147	9	174	161	187	6
Skara	~1975	154	145	160	5	194	186	205	5
8	~1995	151	132	167	9	194	181	209	8
8	~2025	150	139	158	5	190	181	200	5
8	~2055	145	127	156	6	184	172	194	5
8	~2085	139	118	152	8	178	165	188	4
Linköping	~1975	154	146	166	5	193	185	211	6
59	~1995	148	126	160	8	189	173	205	7
9	~2025	149	140	161	5	188	180	204	5
9	~2055	145	126	157	7	183	172	198	5
9	~2085	138	115	149	8	176	164	189	5
Arvika	~1975	154	147	167	5	193	186	212	6
10	~1995								
10	~2025	150	142	162	5	188	182	205	6

10	~2055	146	137	158	5	183	176	198	5
10	~2085	138	123	149	7	176	167	190	5
Karlstad	~1975	156	147	167	5	194	188	210	6
61	~1995	152	133	167	8	192	181	209	7
11	~2025	152	142	162	5	190	182	204	5
11	~2055	148	135	158	6	185	174	200	5
11	~2085	141	121	151	8	178	166	194	6
Örebro	~1975	153	146	161	4	191	183	205	5
12	~1995								
12	~2025	151	142	156	4	186	179	194	4
12	~2055	144	137	150	4	176	171	182	3
12	~2085	136	123	144	5	167	162	175	3
Uppsala	~1975	157	149	166	5	196	186	211	6
13	~1995	152	130	166	9	191	180	211	8
13	~2025	153	143	161	5	191	183	205	6
13	~2055	148	137	158	6	185	178	200	5
13	~2085	136	111	149	9	175	162	187	5
Falun	~1975	158	152	169	5	197	186	214	6
64	~1995								
14	~2025	154	147	164	5	192	183	207	6
14	~2055	151	141	160	5	187	180	200	5
14	~2085	144	132	152	5	181	171	192	5
Sundsvall	~1975	168	156	178	5	209	200	221	6
65	~1995	166	155	178	6	205	193	221	6
15	~2025	164	153	171	5	203	195	214	5
15	~2055	160	150	166	4	197	190	206	5
15	~2085	154	143	161	5	191	181	201	5
Östersund	~1975	171	161	193	7	218	204	261	13
66	~1995	171	155	188	9	217	197	251	11
16	~2025	167	158	188	7	212	199	244	11
16	~2055	162	155	179	6	203	192	229	9
16	~2085	156	143	173	7	197	188	221	8
Umeå	~1975	171	155	182	6	211	200	227	7
17	~1995								
17	~2025	165	152	175	5	202	193	215	6
17	~2055	159	149	168	5	195	185	206	6
17	~2085	153	140	162	6	188	177	199	5
Luleå	~1975	173	156	183	6	213	201	230	8
68	~1995	171	156	182	7	208	196	222	6
18	~2025	170	154	179	6	208	196	223	7
18	~2055	166	152	173	5	202	190	214	6
18	~2085	160	147	170	6	196	183	207	6

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Tabell A3.2a. Höstraps DC65

Höstraps. Beräknade utvecklingsstadier (DN) för olika platser och perioder. Medel, tidigaste respektive senaste dagnummer inom respektive period, samt 1 standard avvikelse (dagar). Värden för perioder senare än 1975 är angivna som skillnad till 1975 i dagar.

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Plats	Period	DC65 _{Mv}	DC65 _{Min}	DC65 _{Max}	DC65 _{Std}
Lund	~1975	156	146	165	5
1	~1995	150	127	162	9
1	~2025	152	137	161	5
1	~2055	146	126	156	7
1	~2085	140	117	153	9
Halmstad	~1975	159	153	168	5
2	~1995				
2	~2025	155	146	164	5
2	~2055	150	137	160	7
2	~2085	143	123	156	9
Kristianstad	~1975	158	146	165	5
3	~1995				
3	~2025	153	137	162	6
3	~2055	147	125	157	8
3	~2085	140	115	152	10
Kalmar	~1975	164	156	174	5
54	~1995	157	136	174	9
4	~2025	158	146	168	5
4	~2055	153	132	164	7
4	~2085	146	119	157	8
Visby	~1975	167	157	177	6
5	~1995	163	148	180	8
5	~2025	160	152	169	6
5	~2055	155	145	164	6
5	~2085	147	130	158	7
Jönköping	~1975	160	153	170	4
56	~1995	164	144	182	9
6	~2025	156	149	167	4
6	~2055	152	138	162	5
6	~2085	146	126	157	7
Göteborg	~1975	160	153	168	4
57	~1995				
7	~2025	156	145	164	5
7	~2055	151	135	160	7
7	~2085	144	123	155	8
Skara	~1975	162	154	172	4
8	~1995	161	146	178	8
8	~2025	158	151	165	4
8	~2055	154	140	161	5
8	~2085	148	129	159	6
Linköping	~1975	162	154	173	5
59	~1995	157	131	169	9
9	~2025	157	150	169	4
9	~2055	153	140	164	5
9	~2085	147	126	158	7
Arvika	~1975	162	155	174	5
10	~1995				

10	~2025	158	151	170	5
10	~2055	154	144	165	5
10	~2085	147	135	157	6
Karlstad	~1975	164	157	178	5
61	~1995	161	146	178	8
11	~2025	160	153	173	5
11	~2055	156	146	167	6
11	~2085	150	134	160	7
Örebro	~1975	161	150	173	4
12	~1995				
12	~2025	158	149	163	3
12	~2055	151	144	156	3
12	~2085	142	134	150	4
Uppsala	~1975	164	157	177	5
13	~1995	160	145	177	8
13	~2025	160	152	172	5
13	~2055	157	149	166	5
13	~2085	145	123	156	7
Falun	~1975	166	158	178	5
64	~1995				
14	~2025	162	155	173	5
14	~2055	158	151	168	4
14	~2085	153	143	161	5
Sundsvall	~1975	176	165	187	5
65	~1995	174	161	187	6
15	~2025	171	159	181	5
15	~2055	167	156	176	5
15	~2085	161	152	171	5
Östersund	~1975	180	171	203	8
66	~1995	180	161	198	10
16	~2025	176	167	197	7
16	~2055	170	162	190	6
16	~2085	164	157	183	6
Umeå	~1975	178	161	190	6
17	~1995				
17	~2025	172	157	182	5
17	~2055	167	154	176	5
17	~2085	160	149	170	5
Luleå	~1975	181	167	191	6
68	~1995	179	165	189	6
18	~2025	177	160	186	6
18	~2055	173	157	181	6
18	~2085	168	153	175	5

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Tabell A3.3a. Vårkorn sådd och skörd

Simuleringar av statistiska kornskördar för olika tidsperioder med modellen FOPROQ32 som har kalibrerats för skördeåren 1965-87 och 2003-09. Blått värde är första period med datum \leq Kassel 1981-2005.

Plats [Län]	Period	Så-datum	Skörde-datum	Skörd	Odlings period
Regensburg	1981-2005	03-30	07-25	4.4	134
Kassel	1981-2005	03-20	07-24	4.5	125
Kiel	1981-2005	03-22	08-03	4.9	117
Lund [M]	~1975	04-19	08-14	3.9	119
	1981-2009	04-04	08-04	4.2	122
	~2025	04-11	08-07	3.8	118
	~2055	03-25	07-28	3.6	125
	~2085	03-14	07-07	3.3	115
Halmstad [N]	~1975	04-23	08-20	3.1	119
	~1995				
	~2025	04-18	08-12	3.0	120
	~2055	04-05	08-02	3.0	127
	~2085	03-23	07-24	2.8	131
Kalmar [H]	~1975	04-28	08-22	2.9	119
	~1995				
	~2025	04-18	08-15	2.7	119
	~2055	04-05	08-05	2.7	122
	~2085	03-23	07-27	2.5	126
Visby [I]	~1975	05-05	08-28	2.6	116
	1981-2009	04-22	08-20	3.3	120
	~2025	04-28	08-15	2.5	115
	~2055	04-08	08-06	2.4	120
	~2085	03-21	07-26	2.2	129
Skara [R]	~1975	05-03	08-29	3.6	118
	1981-2009	04-21	08-20	3.8	121
	~2025	04-24	08-20	3.6	118
	~2055	04-12	08-09	3.5	123
	~2085	03-31	08-01	3.5	123
Linköping [E]	~1975	05-08	08-31	3.6	115
	~1995				
	~2025	04-24	08-17	3.5	115
	~2055	04-11	08-07	3.2	118
	~2085	03-29	07-30	3.1	123
Örebro [T]	1961-1983	05-05	08-24	3.4	112
	~1995				
	~2025	05-02	08-15	3.0	105
	~2055	04-22	08-05	2.6	93
	~2085	04-09	07-21	2.0	103
Karlstad [S]	~2025	05-07	08-28	2.3	113
	~1995				
	~2025	04-18	08-19	2.2	123
	~2055	04-05	08-09	2.0	126
	~2085	03-24	07-31	1.8	130
Uppsala-1 [C]	~1975	05-03	08-26	3.8	115
	1981-2009	04-29	08-22	3.8	115
	~2025	04-30	08-21	3.5	113

	~2055	04-18	08-11	3.3	115
	~2085	04-03	08-01	3.2	120
Falun [W]	~1975	05-12	09-05	2.6	115
	~1995				
	~2025	05-06	08-26	2.5	112
	~2055	04-27	08-15	2.3	110
	~2085	04-15	08-06	2.3	113
Sundsvall [Y]	~1975	05-21	09-21	2.3	123
	~1995				
	~2025	05-12	09-09	2.3	120
	~2055	05-03	08-26	2.3	115
	~2085	04-19	08-16	2.3	119
Umeå [AC]	~1975	05-26	09-25	2.1	122
	~1995				
	~2025	05-15	09-10	2.3	117
	~2055	05-05	08-25	2.2	112
	~2085	05-15	08-12	1.9	114
Luleå [BD]	~1975	05-30	09-28	2.0	120
	~1995				
	~2025	05-24	09-21	2.2	120
	~2055	05-16	09-04	2.3	111
	~2085	04-30	08-23	2.3	115

Tabell A3.3b. Vårkorn DC61

Vårkorn. Utvecklingsstadier för olika platser och perioder. Medel, tidigaste respektive senaste dagnummer inom respektive period.

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Plats	Period	DC61 _{Mv}	DC61 _{Min}	DC61 _{Max}	DC61 _{Std}
Lund	~1975	191	181	203	5
1	~1995	186	165	201	10
1	~2025	186	174	197	5
1	~2055	180	166	190	5
1	~2085	174	160	186	5
Halmstad	~1975	195	188	208	5
2	~1995				
2	~2025	190	182	203	5
2	~2055	184	174	197	6
2	~2085	178	167	189	5
Kristianstad	~1975	193	182	204	5
3	~1995				
3	~2025	188	175	198	5
3	~2055	181	166	190	5
3	~2085	175	160	183	5
Kalmar	~1975	200	189	215	6
54	~1995	193	179	215	8
4	~2025	193	181	206	5
4	~2055	187	172	199	6
4	~2085	180	164	189	5
Visby	~1975	202	192	217	7
5	~1995	199	189	214	7
5	~2025	194	186	206	6
5	~2055	188	178	199	6
5	~2085	180	167	190	6
Jönköping	~1975	196	188	213	6
56	~1995	202	188	226	8
6	~2025	191	183	206	5
6	~2055	186	175	200	5
6	~2085	180	167	193	5
Göteborg	~1975	195	187	208	5
57	~1995				
7	~2025	191	182	203	5
7	~2055	185	172	197	5
7	~2085	178	165	191	6
Skara	~1975	199	192	210	5
8	~1995	199	186	214	8
8	~2025	194	185	204	5
8	~2055	189	177	198	5
8	~2085	182	168	192	5
Linköping	~1975	197	188	216	6
59	~1995	193	177	209	7
9	~2025	192	185	209	5
9	~2055	187	177	202	5
9	~2085	180	168	194	5
Arvika	~1975	197	191	217	6
10	~1995				
10	~2025	192	186	210	6

10	~2055	187	181	203	5
10	~2085	180	171	194	5
Karlstad	~1975	198	193	215	6
61	~1995	196	185	215	7
11	~2025	194	185	209	6
11	~2055	189	179	203	5
11	~2085	182	170	198	6
Örebro	~1975	195	189	208	5
12	~1995				
12	~2025	190	183	199	4
12	~2055	179	175	186	3
12	~2085	171	167	178	2
Uppsala	~1975	200	190	217	7
13	~1995	195	184	217	9
13	~2025	195	186	209	6
13	~2055	189	183	204	6
13	~2085	179	166	193	5
Falun	~1975	201	191	220	7
64	~1995				
14	~2025	196	186	212	6
14	~2055	191	183	204	5
14	~2085	185	175	196	5
Sundsvall	~1975	213	203	228	7
65	~1995	209	196	229	7
15	~2025	208	199	220	6
15	~2055	201	193	210	5
15	~2085	195	185	205	5
Östersund	~1975	224	209	277	16
66	~1995	223	202	277	14
16	~2025	217	205	255	12
16	~2055	208	197	235	9
16	~2085	201	192	226	8
Umeå	~1975	216	203	236	8
17	~1995				
17	~2025	207	196	219	6
17	~2055	199	190	211	6
17	~2085	192	182	202	5
Luleå	~1975	218	206	237	8
68	~1995	213	199	228	6
18	~2025	212	200	229	8
18	~2055	206	194	218	6
18	~2085	200	188	212	6

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Tabell A3.5a. Huglin index (HI) för vin

Beräknat Huglin index (HI) för vin. Medel, minimum och maximum värden samt standard avvikelse för respektive period och platser. **Rött** värde är första period då temperatur \geq Lund ~1995 eller DN \leq Lund ~1995. **Grönt** värde är första period då temperatur \geq Uppsala ~1995 eller DN \leq Uppsala ~1995 (för platser norr om Uppsala).

Plats		HI _{Mv}	HI _{Min}	HI _{Max}	HI _{Std}
Lund	~1995	1252	1027	1465	133
1	~2025	1339	1106	1551	134
1	~2055	1470	1231	1679	135
1	~2085	1581	1338	1786	136
Kalmar	~1995	1116	705	1388	142
54	~2025	1216	796	1492	144
4	~2055	1346	918	1625	146
4	~2085	1476	1040	1759	148
Visby	~1995	1007	688	1343	145
5	~2025	1122	792	1462	148
5	~2055	1268	929	1611	150
5	~2085	1416	1066	1765	153
Jönköping	~1995	942	581	1205	134
56	~2025	1016	647	1283	137
6	~2055	1142	765	1413	140
6	~2085	1247	864	1516	141
Linköping	~1995	1087	771	1380	133
59	~2025	1168	844	1462	135
9	~2055	1300	971	1597	137
9	~2085	1405	1071	1703	139
Karlstad	~1995	1020	639	1319	138
61	~2025	1098	708	1403	141
11	~2055	1231	832	1540	143
11	~2085	1336	926	1655	147
Uppsala	~1995	1151	766	1497	157
13	~2025	1239	845	1592	159
13	~2055	1375	973	1734	162
13	~2085	1489	1079	1856	165
Sundsvall	~1995	844	564	1155	120
65	~2025	913	621	1230	123
15	~2055	1051	748	1375	126
15	~2085	1151	840	1482	129
Östersund	~1995	625	357	994	129
66	~2025	675	395	1055	133
16	~2055	803	505	1198	140
16	~2085	882	573	1290	144
Luleå	~1995	716	474	988	109
68	~2025	780	530	1057	112
18	~2055	915	655	1199	117
18	~2085	1015	750	1306	120

Tabell A3.6a. Vårfrost

Beräknad andel år av en 30-årsperiod som frost förekommer efter beräknad sådd av vårkorn, respektive majs (%). **Rött** värde är första period då temperatur \geq Lund ~1995 eller DN \leq Lund ~1995. **Grönt** värde är första period då temperatur \geq Uppsala ~1995 eller DN \leq Uppsala ~1995 (för platser norr om Uppsala).

Plats	Period	%år med frost efter sådd, vårkorn	%år med frost efter sådd, majs	sådag, majs DN
Lund	~1995	57	0	137
	~2025	43	0	134
	~2055	52	14	126
	~2085	57	19	119
Kalmar	~1995	67	40	146
	~2025	73	27	143
	~2055	83	27	137
	~2085	87	33	129
Visby	~1995	47	7	152
	~2025	40	13	147
	~2055	63	3	142
	~2085	57	7	133
Jönköping	~1995	73	43	152
	~2025	63	40	149
	~2055	83	37	144
	~2085	90	40	139
Linköping	~1995	50	20	146
	~2025	60	20	143
	~2055	77	27	138
	~2085	70	33	130
Karlstad	~1995	47	7	150
	~2025	43	10	147
	~2055	63	10	143
	~2085	60	10	136
Uppsala	~1995	37	7	146
	~2025	47	10	143
	~2055	63	7	138
	~2085	63	7	131
Sundsvall	~1995	7	7	163
	~2025	3	3	159
	~2055	17	0	155
	~2085	37	7	149
Östersund	~1995	3	0	168
	~2025	0	0	165
	~2055	17	0	160
	~2085	20	0	154
Luleå	~1995	3	0	169
	~2025	0	0	165
	~2055	7	0	161
	~2085	17	0	156

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Tabell A3.7c1. Kalibrering av daglängdsbaserade utvecklingsmodeller

Kalibrering av daglängdsbaserade utvecklingsmodeller. DN är medeldagnummer.

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Gröda,var	Län	PT _{Sum}	A1	A0	R2	N	DN _{Obs}	DN _{Model}
Vårkorn, DC61	M	346	0.856	27	0.433	276	186	190
	E	356	0.902	18.5	0.403	84	190	194
	C	420	0.666	65.7	0.436	39	197	194
Höstvete DC31	M	86	0.652	48.1	0.295	1041	139	143
	E	98	0.778	33.5	0.303	735	147	149
	C	113	0.69	46.8	0.34	445	152	151
Höstvete DC61	M	298	1.103	-17.8	0.584	279	178	180
	E	303	1.104	-19.2	0.747	212	182	185
	C	336	0.932	11.9	0.576	151	186	185

Tabell A3.7c2. Parameterisering av klimatbaserade utvecklingsmodeller

Parameterisering av klimatbaserade DC-modeller

Gröda/Variabel	Modell [Län]	R ²	n
Vårkorn			
DC31	DN = -4.1903 T _{Jan-Maj} + 179.5 [M,H,E,B,C]	0.69	5
DC61	DN = -4.5675 T _{Jan-Juni} + 217.07 [M,H,E,C]	0.78	4
Höstvete			
DC31	DN = -5.9528 T _{Jan-Maj} + 168.08 [M,H,E,B,C]	0.88	5
DC61	DN = -3.9096 T _{Jan-Juni} + 206.81 [M,H,E,B,C]	0.85	5

T_{DMv}=dygnsmedeltemperatur (oC)

T_{Jan-Maj}, T_{Jan-Juni} = medeltemperatur från 1:a januari till sista maj respektive sista juni (oC)

Tabell A3.7c3. Daglängdsbaserad utvecklingsmodell

Beräknade utvecklingsstadier (DN) för olika platser och perioder. Medel, tidigaste respektive senaste dagnummer inom respektive period. Daglängdsbaserad modell (Modell B), kalibrerad för M-län.

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Plats	Period	Vårkorn			Höstvete			Höstvete		
		DC61 _{Mv}	DC61 _{Min}	DC61 _{Max}	DC31 _{Mv}	DC31 _{Min}	DC31 _{Max}	DC61 _{Mv}	DC61 _{Min}	DC61 _{Max}
Lund	~1975	189	181	200	144	134	153	181	174	192
1	~1995	185	171	198	139	125	150	178	164	190
1	~2025	185	177	195	141	128	148	178	170	187
1	~2055	180	172	190	137	122	143	174	165	183
1	~2085	176	168	185	133	118	140	170	162	179
Halmstad	~1975	191	185	204	146	139	153	184	178	196
2	~1995									
2	~2025	187	180	199	142	133	149	180	173	192
2	~2055	183	176	194	139	128	146	176	168	186
2	~2085	178	171	189	135	123	142	172	165	180
Kristianstad	~1975	190	182	200	145	135	154	183	175	193
3	~1995									
3	~2025	186	178	195	142	129	149	178	170	186
3	~2055	181	173	190	138	123	145	175	166	181
3	~2085	177	168	183	134	118	141	171	162	176
Kalmar	~1975	195	186	209	151	144	162	188	181	200
54	~1995	191	179	209	145	129	156	184	173	200
4	~2025	189	182	201	146	137	156	182	175	192
4	~2055	185	177	195	142	128	151	178	170	185
4	~2085	179	171	187	138	121	145	173	165	179
Visby	~1975	196	187	210	153	143	163	189	179	202
5	~1995	194	184	209	149	133	164	187	176	200
5	~2025	189	180	201	148	139	158	182	175	192
5	~2055	184	177	194	144	134	152	178	171	187
5	~2085	178	171	187	138	127	146	172	164	181
Jönköping	~1975	192	185	207	147	141	158	184	178	199
56	~1995	196	186	215	149	130	163	189	179	204
6	~2025	188	182	202	144	135	151	180	174	194
6	~2055	183	177	197	141	129	147	177	170	189
6	~2085	179	171	191	136	123	143	172	165	182
Göteborg	~1975	190	184	203	146	138	153	183	176	195
57	~1995									
7	~2025	186	179	198	143	133	150	179	171	190
7	~2055	182	173	192	140	127	147	175	167	186
7	~2085	177	169	188	135	122	143	171	163	182
Skara	~1975	192	185	203	148	141	155	185	179	194
8	~1995	193	181	207	146	131	159	186	174	199
8	~2025	188	182	198	145	137	151	181	174	190
8	~2055	184	177	192	142	130	149	177	169	186
8	~2085	179	171	188	137	124	146	173	165	182
Linköping	~1975	191	183	207	148	141	160	184	178	200
59	~1995	189	178	202	144	127	155	182	171	193

9	~2025	186	180	202	145	136	156	179	174	193
9	~2055	182	177	196	142	130	150	176	171	188
9	~2085	178	172	190	137	124	146	172	166	182
Arvika	~1975	189	181	206	148	141	159	182	175	198
10	~1995									
10	~2025	185	178	201	145	138	156	178	172	193
10	~2055	181	175	194	142	136	150	175	169	188
10	~2085	176	171	189	137	127	145	170	165	182
Karlstad	~1975	190	185	205	150	140	160	184	179	199
61	~1995	189	178	205	146	131	158	183	171	199
11	~2025	186	181	201	147	138	156	180	173	194
11	~2055	182	176	196	144	135	151	176	169	190
11	~2085	178	170	191	139	128	146	172	164	185
Örebro	~1975	188	180	202	148	140	154	181	172	194
12	~1995									
12	~2025	183	176	190	145	139	149	177	168	182
12	~2055	175	169	179	140	134	145	169	164	174
12	~2085	168	164	174	134	123	140	162	159	168
Uppsala	~1975	191	183	206	150	141	158	184	177	199
13	~1995	188	177	206	146	130	158	182	171	199
13	~2025	187	179	201	147	139	154	180	174	193
13	~2055	183	177	195	144	134	150	176	171	189
13	~2085	176	170	187	135	122	144	170	164	180
Falun	~1975	191	182	206	151	143	160	185	178	197
64	~1995									
14	~2025	187	179	200	148	140	157	180	174	192
14	~2055	183	177	194	145	138	152	176	170	188
14	~2085	178	172	189	140	130	148	173	165	183
Sundsvall	~1975	198	190	209	159	150	166	191	184	203
65	~1995	196	184	209	156	145	164	189	176	203
15	~2025	194	186	205	155	147	162	187	179	198
15	~2055	189	181	199	152	145	159	183	174	192
15	~2085	184	176	193	147	140	153	179	171	188
Östersund	~1975	204	190	243	160	149	176	196	182	227
66	~1995	206	188	234	160	145	176	198	179	216
16	~2025	199	185	233	157	145	173	192	180	219
16	~2055	192	181	216	154	142	168	186	177	208
16	~2085	188	179	210	150	139	162	182	174	202
Umeå	~1975	198	188	210	160	149	169	191	181	204
17	~1995									
17	~2025	191	180	203	155	146	163	185	174	196
17	~2055	185	175	196	151	142	158	180	170	189
17	~2085	180	170	189	146	138	152	175	163	183
Luleå	~1975	196	184	209	162	150	169	190	178	203
68	~1995	199	187	211	161	149	171	193	180	205
18	~2025	192	180	205	158	148	166	186	174	198
18	~2055	188	176	199	155	145	162	182	171	191
18	~2085	184	172	193	151	141	159	179	167	187

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Tabell A3.7e. Vårkorn oförändrat skördedatum

Simuleringar av statistiska kornskördar för olika tidsperioder med modellen FOPROQ32 som har kalibrerats för skördeåren 1965-87 och 2003-09. Effekten av oförändrat skördedatum.

Plats [Län]	Period	Standard scenario				Skillnad till standard scenario vid oförändrat skördedatum = ~2005		
		Så-datum	Skörde-datum	Skörd	Odlings period	ΔSkörde-datum (d)	ΔSkörd % ändring	ΔOdlings Period (d)
Lund [M]	~2025	04-11	08-07	3.8	118	7	3	8
	~2055	03-25	07-28	3.6	125	17	11	17
	~2085	03-14	07-07	3.3	131	38	18	22
Halmstad [N]	~2025	04-18	08-12	3.0	120			
	~2055	04-05	08-02	3.0	127			
	~2085	03-23	07-24	2.8	131			
Kalmar [H]	~2025	04-18	08-15	2.7	119	10	4	7
	~2055	04-05	08-05	2.7	122	20	7	18
	~2085	03-23	07-27	2.5	126	29	16	26
Visby [I]	~2025	04-28	08-15	2.5	115	13	8	23
	~2055	04-08	08-06	2.4	120	22	17	38
	~2085	03-21	07-26	2.2	129	30	23	31
Skara [R]	~2025	04-24	08-20	3.6	118	6	3	20
	~2055	04-12	08-09	3.5	123	17	6	13
	~2085	03-31	08-01	3.5	123	25	6	25
Linköping [E]	~2025	04-24	08-17	3.5	115	14	6	14
	~2055	04-11	08-07	3.2	118	24	16	25
	~2085	03-29	07-30	3.1	123	32	19	32
Örebro [T]	~2025	05-02	08-15	3.0	105	9	3	9
	~2055	04-22	08-05	2.6	93	19	15	31
	~2085	04-09	07-21	2.0	103	34	30	34
Karlstad [S]	~2025	04-18	08-19	2.2	123	9	5	-2
	~2055	04-05	08-09	2.0	126	19	20	8
	~2085	03-24	07-31	1.8	130	28	33	17
Uppsala-1 [C]	~2025	04-30	08-21	3.5	113	5	0	5
	~2055	04-18	08-11	3.3	115	15	9	15
	~2085	04-03	08-01	3.2	120	25	13	25

Tabell A3.7i. Temperaturbaserad utvecklingsmodell; Delta-ref. period ~1995

Beräknade utvecklingsstadier (DN) för olika platser och perioder. Medel, tidigaste respektive senaste dagnummer inom respektive period. Temperaturbaserad modell (Modell A), kalibrerad för M-län. **Rött** värde är första period då $DN \leq$ Lund ~1995. **Grönt** värde är första period då $DN \leq$ Uppsala ~1995 (för platser norr om Uppsala).

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.

Plats	Period	Höstvete			Höstvete			Höstraps		
		DC31 _{Mv}	DC31 _{Min}	DC31 _{Max}	DC61 _{Mv}	DC61 _{Min}	DC61 _{Max}	DC65 _{Mv}	DC65 _{Min}	DC65 _{Max}
Lund	~1995	141	121	154	179	158	193	150	127	162
1	~2025	136	116	150	173	158	189	144	125	161
1	~2055	126	86	142	166	141	183	136	109	153
1	~2085	118	73	137	159	131	175	128	91	149
Kalmar	~1995	148	128	162	186	172	205	157	136	174
54	~2025	145	125	158	182	167	199	153	131	167
4	~2055	138	114	151	176	158	193	147	123	162
4	~2085	129	92	146	168	144	186	139	113	156
Visby	~1995	154	133	171	192	181	208	163	148	180
5	~2025	149	128	163	186	172	200	158	138	173
5	~2055	143	118	158	180	165	194	152	127	166
5	~2085	134	95	149	171	151	187	143	114	160
Jönköping	~1995	154	131	172	194	180	212	164	144	182
56	~2025	151	128	166	190	175	206	160	137	177
6	~2055	146	122	160	185	165	200	155	128	170
6	~2085	140	108	156	179	155	194	149	122	163
Linköping	~1975	148	126	160	186	169	200	157	131	169
59	~2025	145	123	157	182	164	195	153	129	163
9	~2055	140	109	154	177	156	189	148	122	161
9	~2085	131	83	150	170	140	184	141	106	157
Karlstad	~1995	152	133	167	189	178	206	161	146	178
61	~2025	150	131	162	186	173	202	158	141	174
11	~2055	144	123	159	180	166	198	153	129	169
11	~2085	137	106	154	174	155	192	145	119	162
Uppsala	~1995	152	130	166	188	176	207	160	145	177
13	~2025	145	126	160	181	169	195	153	132	169
13	~2055	140	120	154	176	163	190	148	126	163
13	~2085	132	104	150	169	152	185	141	117	156
Sundsvall	~1995	166	155	178	202	190	217	174	161	187
65	~2025	162	151	174	198	185	211	170	159	183
15	~2055	157	139	168	192	179	205	165	153	177
15	~2085	151	128	163	187	173	200	159	139	172
Östersund	~1995	171	155	188	213	194	243	180	161	198
66	~2025	168	153	184	209	190	233	177	159	192
16	~2055	163	148	178	201	182	217	171	156	186
16	~2085	155	135	169	195	171	210	165	147	180
Luleå	~1995	171	156	182	205	193	218	179	165	189
68	~2025	168	155	180	202	189	214	176	161	186
18	~2055	164	153	174	197	182	208	171	158	182
18	~2085	158	144	171	191	174	203	166	153	176

DN121=1Maj, DN 152=1juni, 182=1juli, 213 =1 augusti, 244=1 september.