

Bedömningar av klimatförändringars effekter på växtproduktion inom jordbruket i Sverige

**Henrik Eckersten, Lars Andersson, Fredrik Holstein,
Birgitta Mannerstedt Fogelfors, Elisabet Lewan,
Roland Sigvald, Bengt Torssell, Stig Karlsson**

Swedish University of Agricultural Sciences (SLU)
Department of Crop Production Ecology (VPE)
Uppsala 2008

Bedömningar av klimatförändringars effekter på växtproduktion inom jordbruket i Sverige
Eckersten, H.; Andersson, L.; Holstein, F.; Mannerstedt Fogelfors, B.; Lewan, E.; Sigvald, R.; Torssell, B. &
Karlsson, S.

Report from the Department of Crop Production Ecology (VPE) • No. 6
Swedish University of Agricultural Sciences (SLU)

Uppsala 2008

ISSN 1653-5375

ISBN 978-91-576-7237-7

Editor: Birgitta Båth

Förord

Denna studie är ett utredningsuppdrag för Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007. Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av klimat- och sårbarhetsutredningen. Statens offentliga utredningar, SOU 2007:60) och består av sex delstudier. SMHI:s klimatförändringsscenarioer har använts för bedömningar i avsnitt 2-6. I avsnitt 1 analyseras resultaten från studier som använt andra klimatscenarioer:

1. Markanvändningsscenarioer,

med uppdraget att utreda utifrån publicerade studier hur klimatförändringarna kommer att påverka olika delar av Europa och hur detta påverkar svenskt jordbruks konkurrenskraft. Analysera antaganden och eventuella resultat om prisskillnader mellan olika grödor, och deras respektive arealfördelning. (Henrik Eckersten och Fredrik Holstein)

2. Vattentillgång,

med uppdraget att bedöma effekter av förändrade vattenförhållanden på olika gröders produktivitet, baserat främst på förändringar i nederbörd, men i viss uträkning också temperatur. En uppskattning av förändrad produktivitet per gröda och totalt i olika tidsperspektiv. (Henrik Eckersten och Bengt Torssell)

3. Växtskadegörare,

med uppdraget att bedöma effekter av förändrade klimatförhållanden på risken för (både befintliga och potentiellt nya) virus-, svamp- och insektskador hos grödor, samt behovet av förändrade bekämpningsmetoder jämfört med dagsläget. (Roland Sigvald)

4. Ogräs,

med uppdraget att bedöma effekter av förändrade klimatförhållanden på ogräsförekomst. (Lars Andersson)

5. Kvalitet,

med uppdraget att bedöma effekter av förändrade klimatförhållanden på kvalitetsparametrar hos olika grödor och vall (Birgitta Mannerstedt Fogelfors, Bengt Torssell)

6. Växtnäringsläckage,

med uppdraget att bedöma effekter av förändrade klimatförhållanden på kväve- och fosforläckage från åkermarken. (Elisabet Lewan)

Studien har gjorts i samarbete med utredningsuppdraget ”Framtidsanalys av svenskt jordbruk – odlingssystem och jordbrukslandskap i förändring” vid Fakulteten för Naturresurser och Lantbruksvetenskap vid SLU, Uppsala (Fogelfors H, Wivstad M, Eckersten H, Holstein F, Johansson S, Verwijst T, 2008. Strategic analysis of Swedish Agriculture – Production systems and agricultural landscapes in a time of change. (2008-05-11: http://www2.vpe.slu.se/fanan_vpe_slu/Syntes_FANAN1s.pdf)).

Denna rapport är lik en tidigare rapporterad bilaga till klimat och sårbarhetsutredningen (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. 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>). Jämfört med den publikationen är datapresentation mer omfattande i denna rapport. Fler klimatscenarioer har analyserats, främst avseende annan indelning av södra Sverige, andra utsläppsscenarioer och andra tidsperioder, och en tydligare bild av osäkerheter i dataunderlaget ges i Appendix.

Innehållsförteckning

Summary, 8

Land use, 8
Growing period, 9
Water availability, 9
Crop pests, 10
Weeds, 11
Quality, 11
Nutrient leaching, 13
Adaption, 13
Research requirements, 15

Sammanfattning, 17

Markanvändning, 17
Odlingsperiod, 18
Vattentillgång, 18
Växtskadegörare, 19
Ogräs, 20
Kvalitet, 20
Växtnäringsläckage, 21
Anpassning, 22
Forskningsbehov, 24

Introduktion, 26

1. Markanvändning, 29

Bakgrund, 29
Faktorer som påverkar användningen av jordbruksmark, 29
Markegenskapernas effekter på markanvändning, 29
Markanvändningens historiska utveckling, 30
Konsekvenser av klimatförändringar, 32
Produktionsområden vandrar norrut, 32
Jordbrukets ekonomiska förutsättningar, 34
Globala socioekonomiska förutsättningar, 35
Priser på produkter och insatsvaror, 37
Produktivitet, 41
Teknikutveckling, 41
Koldioxideffekter, 42
Klimatförändring, 43
Markanvändning för Europa som en region, 44
ATEAM, 45
Markanvändning i enskilda länder, 47
ATEAM, 47
ACCELERATES, 49
Sammanfattande diskussion, 50
Jämförelse mellan ACCELERATES och ATEAM, 50
Bioenergiodling, 52
Referenser, 53

2. Vattentillgång, 54

Introduktion och bakgrund, 54

Odlingens påverkan av vattenklimatet, 54

Resursutnyttjande, 55

Skillnader inom landet, 55

Odlingsperiod för vårsådda grödor, 55

Tidpunkt för vårbruk, 55

Tidpunkt för skörd, 57

Odlingsperiod, 58

Odlingsperiod för höstsådda grödor, 59

Tidpunkt för höstsådd, 59

Start av tillväxt på våren, 59

Tidpunkt för skörd, 59

Odlingsperiod, 61

Vattenbalans, 62

Nettoinflöde vid markytan, 63

Avrinning, 63

Markvatten, 64

Avdunstning, 64

Vallens tillväxt samt vatten- och kvävebehov, 65

Vattenbehov, 67

Kvävebehov, 69

Alternativa skördeintervall, 71

Alternativa klimatscenarier, 71

Sammanfattande diskussion, 71

Vårgrödor, 71

Höstgrödor, 72

Tillväxt, 72

Vattenbehov, 73

Kvävebehov, 73

Anpassning, 73

Referenser, 74

3. Växtskadegörare, 75

Inledning, 75

Historik, 75

Nuvarande växtskyddsproblem, 76

Potentiella skördeförkluster av skadegörare, 76

Användning av kemiska medel, 77

Betydelsefulla skadegörare, 77

Vädrets inverkan på skadegörare, 80

Vindens betydelse, 81

Effekter av skadegörare och gröda vid förändrat klimat, 81

Insekter, 81

Inseksöverförda virussjukdomar, 83

Svampsjukdomar, 84

Ändrad synkronisering mellan grödors och skadegörares utveckling, 86

Regionala skillnader vid ett förändrat klimat, 88

Insekter och virussjukdomar, 88

Svampsjukdomar, 89

Effekter av förändrad odlingsstruktur och arealfördelning vid förändrat klimat, 89

Konsekvenser och anpassningsmöjligheter, 90

Insekter, 90

Svampsjukdomar, 90

Sammanfattning, 91

Effekter av skadegörare på grödor vid förändrat klimat, 91

Skillnader i angrepp mellan olika delar av landet, 92

Effekter och sårbarhet i jordbruket, 93

Referenser, 93

4. Ogräs, 96

Inledning, 96

Ogräsfloras artsammansättning, 97

Ogräsfloras förändring, 97

Direkt inverkan av klimatförändringar på ogräsfloras sammansättning, 98

Effekter av ökad CO₂-halt, 99

Indirekt effekt av klimatförändringar på ogräsfloras sammansättning, 99

Sammanfattning – förändringar i ogräsfloran, 100

Klimatförändringens effekt på bekämpningsbehovet, 100

Artrikare ogräsflora, 100

Herbicidresistens, 101

Konkurrenssvaga grödor, 101

Höstsädesdominerade växtföljder, 101

Odlingssystem med reducerad jordbearbetning, 101

Sammanfattande diskussion, 102

Referenser, 102

5. Kvalitet, 104

Bakgrund, 104

Kvalitetskrav för svenska växtprodukter I dagens jordbruk, 104

Kvalitetskrav för grödor idag, 105

Nischgrödor och ensilagemajs, 107

Konsekvenser av klimatförändringar till 2085 på olika grödor, 107

Vårvete, 107

Höstvete, 107

Korn, 108

Havre, 108

Vårraps, 108

Höstraps, 109

Potatis, 109

Sockerbeta, 109

Ärtor och bönor, 110

Sammanfattning, 110

Referenser, 111

6. Växtnäringsläckage, 112

Bakgrund, 112

Direkta climateffekter på utlakning, 113

Svealands slättbygder ~2085, 113

Övriga regioner ~2085, 115

~2025, 116

HADAM3H, 116

Indirekta climateffekter på utlakning, 116

Effekter av förändringar i markanvändning, 116

Sammanfattning och jämförelse med tidigare studier, 117

Kväveläckage, 117

Fosforläckage, 119

Möjliga åtgärder, 119
Slutsatser, 120
Referenser, 120

Appendix, 122

Markanvändning, 122

Bakgrund, 122

Jordbrukets ekonomiska förutsättningar, 123

Vattentillgång, 125

Vårsådda grödor, 127

Höstsådda grödor, 128

Vallens tillväxt samt vatten- och kvävebehov, 130

Näringsläckage, **131**

Nederbörd, 131

Nederbörd minus avdunstning, 139

Fotnoter till tabellerna i appendix, 141

Summary

An evaluation of climate change effects on crop production in Sweden

Henrik Eckersten¹, Lars Andersson¹, Fredrik Holstein², Birgitta Mannerstedt Fogelfors¹, Elisabet Lewan³, Roland Sigvald⁴, Bengt Torssell¹, Stig Karlsson¹

¹Department of Crop Production Ecology, P.O. Box 7043, Fax: +46-18672909

²Department of Economy

³Department of Soil and Environment

⁴Department of Ecology

Sweish University of Agriculture (SLU), 750 07 UPPSALA, Sverige

Corresponding e-mail: henrik.eckersten@vpe.slu.se

The aim of this report was to assess the effects of climate change on specific areas of crop production within Swedish agriculture, based on climate change scenarios from the Rossby Centre, SMHI (dated October 2006). The criterion for the selected sub-areas was that they could be expected to be negatively affected by climate change and thus require some form of adaptation. However, the overall ambition was to keep the analysis of various sub-areas neutral and to also report any positive effects. The section on land use is an analysis of the results from two major scientific research projects on climate change and use of agricultural land, and concerns the effects of other climate scenarios, i.e. not specifically those from SMHI.

Land use

The need for land to grow crops for food and feed is generally considered to be decreasing in Europe as a whole for the type of society in which we live at present, i.e. a world with a strong growth-orientated economy and a world that sets regional (e.g. EU versus USA) interests in the foreground. The major reason for the decreased requirement for arable land for these purposes is primarily the assumption of strongly increasing productivity per hectare, which is mainly explained by continued technological developments within agriculture at a pace based on that since the middle of the 1900s. For Europe as a whole, the effects of climate change on productivity are expected to be small in comparison with those of improved technology. In one estimate, climate change up to ~2050 will cause a ± 5 -10% change in the average yield per hectare in Europe, and in another estimate an approx. 25% increase compared with the current position. This can be compared with a 85-160% increase due to technological developments. The evaluations of technological developments lack a concrete explanatory foundation and are mainly based on empirical experiences of changes in productivity. The reasons for the differences in the technology factor between scenarios is unclear, but the evaluations differ so much that the effect of these uncertainties on the requirement for arable land is very significant in comparison with the actual predicted decrease in the land requirement. In a similar way, the uncertainties in the land use scenarios are affected as much by the assumptions regarding the factors that control land use (adaptation of production to consumption of a given quantity or to given product prices) as by the potential to evaluate the consequences of these assumptions. The third great uncertainty factor is societal (socio-economic) development. Alternative societal developments with less strong technological developments and more environment-orientated policy (the B2 scenario, the effect of the technology factor on productivity approx 10-25%) also affect the evaluation of the areal requirement to a considerable extent. In addition, the climate model used to calculate the climate scenarios has an effect. Together, all these uncertainties give a low credibility to the land use scenarios. However the evaluations presented in this report were made possible by the fact that large areas of the models are transparent, which in turn provides the potential for them to be refined and for the reasons for differences in the results to be identified. However, a general trend among the scenarios is that in a society that is developing in the direction of strong economic growth, a smaller proportion of Europe's arable area will probably be used for food and feed production than if society were to develop in the direction of increasing environmental protection.

The land use scenarios for Europe were used to produce scenarios for individual countries. The model, which adopts as its starting point the adaptation of profit-maximising farmers to prices, can be regarded as relatively more reliable as regards the relative distribution between countries. On the other hand it is perhaps less reliable on the total

European level due to propagation of errors in comprehensive calculations. The scenarios show that climate change alone, i.e. on the assumption that the current socio-economic conditions remain unchanged, would increase the competitive power of Swedish land for food and feed production. All scenarios except that with the least climate change (the B1 scenario) would give an increased use of land area. When changes in socio-economic conditions (cost of inputs, etc.) are also considered, it is only in the scenario with the highest climate impact (A1F1) that Swedish crop production would increase its competitive power. For scenario B2, the Swedish agricultural area decreases strongly and becomes limited mainly to southern Götaland, primarily due to the high costs of inputs and to the fact that the positive effects of climate change are not sufficiently great to compensate for this. It should be pointed out that the results appear to be very sensitive to variations in indata. Tests of the predictions of land use within Sweden have produced very poor results. Even if land use is only controlled to a minor extent by climate, the prevailing regional differences perhaps provide a better picture of the potential changes in land use in Sweden. If Mälardalen were to also acquire the land use of Skåne when it acquires the climate Skåne has today, then winter wheat would generally replace large parts of the oats area. For Västerbotten the corresponding reasoning would mean a large proportion of the cultivated grassland area being replaced by cereal growing, mainly winter wheat. In southern Sweden up to Mälardalen, the proportion of new crops such as maize and sunflower would increase.

Growing period

The growing period is generally predicted to be extended, primarily in the spring but also in the autumn, when the period of bare soil from harvest in late summer to autumn sowing may be extended. These evaluations were mainly made with agrarian expertise, but certain empirical data and model runs were also used. For spring-sown crops the start of spring tillage is mainly considered to be determined by drying of the soil, which occurs considerably later than the start of the growing period. Spring tillage in 2085 may start at the beginning of March in the southern and central plains areas of Götaland and at the end of March in the northern plains area and in Svealand. In Norrland, spring tillage will start at the beginning of April in the south and in the latter half of April in the north. Harvest of spring-sown crops is estimated to be approx. three weeks earlier than at present and the differences throughout the country may persist. For spring barley this would mean the latter half of July in the south of Sweden to the latter half of August in northern Norrland. It is somewhat uncertain when autumn tillage can occur but in view of the fact that the growing period will be more than a month longer in the autumn, autumn sowing should be delayed to a similar extent. Winter crops will grow until the end of December in both Götaland and Svealand. In southern Norrland, growth will stop in the latter part of November and in northern Norrland in the beginning of November. The increasing temperature will mean that growth in the spring will start in February in Götaland and Svealand, just over a week later in southern Norrland and in the middle of April in northern Norrland, i.e. approx. a month before spring tillage (somewhat less in the north). In the case of e.g. winter wheat, this will be reflected in stages of plant development being brought forward by approx. one month in the beginning of the spring and maturation occurring approx. 3 weeks earlier than at present.

Water availability

Increased temperature, changed precipitation conditions and increased CO₂-content in the atmosphere will lead to changes in water availability for agriculture. Increased temperature will lead to increased growth and transpiration, mainly in the spring when growth is currently strongly temperature-limited. Precipitation is expected to increase from October to March, remain unchanged in April and be lower than the present level from April to September, but this evaluation is complicated by the fact that the increased CO₂-content will mean that plants will be able to manage water better, i.e. that transpiration can decrease without growth being affected to the same extent. Calculations for fertilised grassland for ~2085 that consider all these factors together indicate that overall, soil water content will decrease from June to October, but that growth will not necessarily become lower than the current level. The calculations are supported by an alternative method where changes in evaporation are taken from climate scenario maps in which the cumulative increase in evaporation will be greatest in the central plains of Götaland (45 mm), somewhat lower in the rest of Sweden and considerably lower in northern Norrland, where evaporation will only increase by 15 mm in April-June. The decrease in August and September will be greatest in Svealand.

The few simulations that have been carried out indicate that there will be a water deficit and a potential to increase growth through irrigation. For certain locations, this irrigation requirement could be in the order of 15-80 mm/year, of which the greatest increase in requirement will be in May. The evaluations give no indication of how great the

water stress can become for individual extreme years on individual sites or on average. This would require many more simulations. However, it appears that there will generally be drier conditions from the end of July through September, while an increased intensity of rainfall indicates that there may be drier conditions locally than shown by the simulations. Winter crops can generally be assumed to have been harvested by the beginning of this dry period, while a larger proportion of grain filling could occur in drier conditions for the corresponding spring crops. This could affect grain yields, mainly through lower harvests and altered protein concentrations, and probably provide a further advantage for winter crops compared with spring-sown crops. These conditions would also act to the advantage of maize, since it thrives in heat and can withstand drought relatively well. For co-crop and catch crop systems, it is vital that the insown crop has a well-established root system before harvest of the main crop. Grassland may have reduced growth during this period compared with at present, which would create a need for complementary feeding of livestock. For vegetable crops, this dry period would mean an increased irrigation requirement. The majority of vegetable growers already have irrigation systems and the main issue will be whether sufficient water will be available to increase irrigation during these dry periods rather than whether to install new irrigation systems. However, irrigation systems might need to be modified so that the expected increases in precipitation during other periods of the year can be made available during these dry periods. The extra amount of irrigation that will be required remains to be determined. The individual calculations for fertilised grassland referred to above indicate that an additional quantity of water approximately corresponding to the decrease in summer rainfall caused by climate change may have to be applied in order to utilise the increased growth potential.

Crop pests

Insect, virus and fungus attacks on crops give rise to considerable crop protection costs, currently amounting to around half the total cost of crop protection chemical inputs within Swedish agriculture. The other half is represented by weed control. Calculations of the damage to crops as a function of climate are complicated and research within this area is working to develop methods for both understanding and predicting the effects of climate on the dynamics of insects and diseases (fungal, viral, bacterial) and on the damage they cause to crops. However, we did not use any quantitative methods but instead attempted to make qualitative evaluations of the potential effects of climate change.

Insect and virus attacks on crops can probably be expected to generally increase. The main reason for this is that insects will presumably be favoured by a warmer climate during the winter and will therefore be more numerous in the spring. The effects of insects on crops are direct since they feed on crops, but indirect damage through the ability of insects to spread various virus diseases is also of great importance. Every region in Sweden will probably experience increased problems with damage caused by insects and virus diseases, but the increase will be greatest in southern Sweden and in drier areas. Insects will be active considerably earlier in the spring than at the present time since the growing period will be extended, which will probably cause increased attacks on spring-sown crops. At present, spring tillage coincides rather well with the start of the growing period, but by ~2085 spring tillage will probably be delayed by up to a month compared with the growing period. The greater numbers of insects at spring sowing and the fact that spring crops will be exposed to virus diseases at an earlier stage of development will increase the need for pesticides unless there is an increase in other methods such as the use of resistant varieties. The assessment is that this effect will be of equal magnitude in Götaland and Svealand, but less in Norrland.

Insects are also favoured by high temperatures in the summer and pesticide requirements can be predicted to increase here too for most crops.

Insect and virus attacks in autumn in winter crops are currently limited by the fact that the number of insects is relatively low in the autumn and that there is no bridge between infected spring-sown crops and vulnerable newly-sown winter crops. In a future warmer climate, there will probably be more insects in the autumn, while newly introduced spring-sown crops such as maize that grow long into the autumn could act as a bridge for viruses from spring- to autumn-sown crops and thus virus attacks in winter crops could increase. New species of insects will become established in Sweden, e.g. depending on the types of crops grown, but it is difficult to predict the species involved and a monitoring system is needed to follow developments in this area.

Fungal diseases are favoured by both temperature and moisture. The moisture situation will be altered more irregularly in different parts of Sweden than the temperature. This means that we can expect large differences

between regions. In addition, there are fungal diseases that are favoured by high temperature but not specifically by high air humidity. Winter cereals will be particularly vulnerable since they will have a long infection period in the autumn. For spring crops, the effect can be less than at present in areas with a predicted relatively dry early summer period, such as southern areas of the country. In northern Sweden, however, these fungi will probably be of increased importance due to the generally wetter and warmer climate. In potatoes, leaf blight will probably increase somewhat.

In a future changed climate, seed crops, perhaps particularly seed potatoes, will run a greater risk of being subjected to insect and virus attack than at present. The need may then arise to establish some form of seed reservation area in which ordinary commercial crops with a high proportion of virus-infected plants are restricted. This need may arise for the whole of Sweden. An increased incidence of pests after climate change can be counteracted with an increased use of pesticides, but this is not desirable from a number of perspectives. Improved cropping technology, increased use of resistant varieties and a good crop rotation to decrease the spread of diseases will therefore be of increasing importance.

Weeds

In general, the need for weed control can be expected to increase with climate change. A strong reason for this conclusion is that in countries with a warmer climate than Sweden, the use of herbicides is considerably greater than in Sweden. There are a number of natural explanations for this. A warmer climate will probably give rise to a more species-rich weed flora, e.g. because more species will have time for their reproductive phase in the extended growing period. In addition, crops with poorly competitive stands (e.g. maize with its wide row spacing) will probably increase in scope. An increased proportion of autumn-sown crops, at the expense of spring-sown crops, will risk leading to propagation of winter annual weeds, which will in turn increase the herbicide requirement. More monotonous crop rotations and thus greater weed control intensity with increased use of herbicides will increase the risk of herbicide resistance, a problem that is predicted to increase with climate change. Strategies for adaptation to climate change mainly involve the development of methods of weed control and planning of cropping systems. There is of course a conflict relationship between weed control and the desire to decrease the use of herbicides, but also the desire to decrease nutrient leaching. Ploughless tillage limits this leaching but at the same time the grower loses an opportunity to control weeds by non-chemical methods.

Quality

The intention in crop production is to produce a product of a certain quality, where each product is defined by a number of different quality parameters. This leads to many conceivable effects of climate change and thus it is very difficult to present a general picture. The problems in presenting this picture are exacerbated by that fact that, with few exceptions, there is a lack of methods to predict the effects of given changes in climate. Greater problems can generally be expected with the hygiene quality, since pest attack is generally expected to increase. These difficulties will probably be greater in spring-sown crops than in autumn-sown, and greater in southern Sweden than in northern, since the risk of pest attack is predicted to be greatest in the former. Other factors that can cause changes in quality include changes in overwintering and snow cover conditions, but it is unclear whether this will lead to worse or better quality.

The nutritional quality of crops consists of elements taken up from the soil and air and synthesised in the plant. The protein content in the plant is proportional to the nitrogen content, which is determined by carbon uptake from the atmosphere (growth) and nitrogen uptake from the soil. In a cereal crop, the main amount of nitrogen is taken up during early summer up to the beginning of June and the main proportion of carbon is taken up thereafter. Our few calculations for fertilised grassland indicate that plant nitrogen requirements will increase considerably and that the increase in mineralisation will only be able to meet this requirement until the end of March, while there will be a large deficit in April and May. If fertilisation rates are not increased, this will mean lower protein concentrations. The decreasing soil water content in July could limit carbon uptake and give an increase in protein concentration, but the crop will probably be so near maturation at this time that the effect might be small. In the example of malting barley, where the protein content must not be too low or too high, this will exacerbate existing growing problems. Too large a nitrogen dose in the spring can give rise to excessively high protein content in the event of a dry summer. However, a high nitrogen dose is desirable if summer growth is to proceed at a high rate. This type of problem applies to many crops and must also be understood in various cropping systems with different pre-crops and co-

crops, which will require comprehensive analysis and synthesis work. In addition, high temperatures during grain filling can affect protein storage and protein composition, and these problems can generally be expected to increase. With climate change, protein storage in crops will also display a tendency to favour autumn-sown crops over spring-sown. Other quality parameters will also be affected by the climate but in most cases there is a lack of methods to evaluate whether the net effect will be positive or negative. However, higher temperatures during grain filling will generally cause increased problems in achieving planned quality standards.

The possibilities for adjustment will probably consist of breeding new crop varieties, both traditional and genetically modified, for local growing conditions but also the more quickly available option of changes in cropping methods and systems (when these are known). For example, harvest times for silage cutting can be brought forward and cuts can be made more frequently to obtain forage with the correct quality. The need for nitrogen fertilisers will probably increase to produce the same protein concentrations as in the present climate.

Table 1: Rough estimates of the effects of climate change on areas of Swedish crop production

Land use:

Reduced requirement for arable land for food and feed production

Uncertainty in calculations, e.g. due to uncertainty in evaluating the effects of technological developments on yields per hectare

Competitive ability of Swedish crop production in Europe is favoured by climate change but hampered by societal development

Winter sowing favoured at the expense of spring sowing

General increase in yields per hectare

Growing period:

Growing period extended mainly in spring but also in autumn

Spring tillage brought forward less than start of growing period

Harvest brought forward

Autumn sowing delayed

Changes greater in south than north

Water availability:

Spring growth favoured by temperature increase

Growth in July - September possibly restricted by increasing water deficit

Increased irrigation requirement for horticultural crops and potatoes in particular

Water deficit greater locally than regionally, and greater in Götaland and Svealand than in Norrland

Autumn-sown crops favoured compared with spring-sown

Crop pests:

Insect attack generally increased, particularly in southern and eastern Sweden

Spring-sown crops more vulnerable than autumn-sown

New insect species, crops and crop sequences causing new and possibly greater attacks

Fungal infection increased/decreased depending on regional differences in precipitation

Pesticide requirements increased

Weeds:

More weed species establishing in Sweden

Weed incidence generally increased

Increased incidence of winter annual weeds

Herbicide requirements increased

Quality:

Growth, nutrient requirements and nutrient uptake increased, especially in spring

Protein composition of cereal negatively affected by high temperature

Forage cuts brought forward to maintain good quality
Generally more difficult to control quality parameters in crops
Increased fertiliser requirement

Nutrient leaching:

Risk of nutrient leaching generally increased, mainly due to increased precipitation/runoff and nitrogen mineralisation

Increased leaching risks possibly dampened by increased plant uptake and removal with crops

Phosphorus losses expected to generally increase due to increased runoff and higher frequency of intensive rainfall, but can decrease in certain areas due to decreased surface runoff at snowmelt

Altered land use as a result of climate change can increase the risks of nutrient leaching

Nutrient leaching

The expected changes in climate will very probably bring about an increase in the leaching of both nitrogen and phosphorus from agricultural land. Quantifications of nitrogen leaching in a future climate have only been carried out for a few individual sites/areas in Sweden, but indicate an increase in leaching of 10-70% (depending on site and climate scenario). This tendency should be compared with the National Environmental Objective of decreasing nitrogen leaching from agricultural land to neighbouring water courses by 30% by the year 2015. The potential to decrease leaching in the current climate situation (1980-2000) with current cropping methods has been estimated to be a maximum of 20-25%. Current food and feed production on agricultural land is thus causing a leaching of nitrogen that is at or above the limit for the relevant Environmental Objective. This problem will probably be accentuated by climate change. To achieve the above-mentioned Environmental Objective in the future, there will most probably need to be a change in both cropping methods and land use. Several land use scenarios (see above) indicate a decreased requirement for agricultural land for food and feed production. The Environmental Objective could thus to a certain extent be achieved through alternative land uses that are aimed at decreasing leaching.

Adaptation

A large proportion of the adaptation to climate change within agriculture will occur through farmers adjusting the timing of sowing and cultivation measures to the start of the growing period and soil drying and adjusting the time of harvest to earlier crop ripening. It can be more difficult to predict when autumn sowing should occur, since farmers will not know what the weather will be like in the following autumn and winter. Experiences from previous years will then be central. Since the climate varies widely between years, there is a high risk that what worked in the previous year will perhaps not work in the coming year, especially when farmers attempt to adapt their cropping to a progressively warmer climate through introducing new crops, varieties and cultivation methods. Here, research should be able to assist farmers with strategic crop planning by developing models concerning the effects of climate on crop production and methods for calculating the statistical probability of yield levels of different crops based on climate change scenarios and climate statistics. This would provide farmers with support in evaluating the risks associated with new crops and the potential for introducing these in such a way that risk-taking is adjusted to the finances of the entire farm. In addition, the increased requirement for crop protection chemicals and irrigation and the increasing variability in the weather will probably create an increasing need for requirement-based cropping measures. Research should be able to help farmers by developing applicable models that can simulate e.g. the developments in crops, crop pests and weeds based on weather forecasts.

Alternative uses of arable land (alternatives to annual crops) may be necessary to decrease nitrogen leaching from arable land to a level that meets the specified Environmental Objectives. The most extreme and probably most effective method would be to plant a part of that area with forest. Most land use scenarios predict a considerable proportion of excess land, which could be used for purposes other than agricultural production, except in a strongly growth-orientated society with a high degree of global trade, where Swedish arable land would probably be more competitive for food and feed production than it is at present. However, we must bear in mind that the land use scenarios showed great uncertainty in the assumptions of both societal development and climate, not least the assumption of productivity increases per hectare caused by technological developments. If technological

developments do not prove to be as strong as predicted, it is unclear whether Swedish food and feed production in the event of future climate change would not only be more competitive but also essential for food supply. Therefore in the perspective of these uncertainties, an alternative use of arable land to reduce nitrogen leaching should also consider the possible need for returning this land for use in supplying food. This means that alternative land uses for decreasing nutrient leaching should concentrate on crops that have a high capacity to take up nitrogen throughout the year, that do not have a negative effect on soil fertility and that are relatively simple to remove and replace with food and feed crops. In this perspective, forest is less suitable. Alternatively, or as a complement to altered land use, wetlands and barrier zones could be established to limit phosphorus and nitrogen leaching from agricultural soil. The need for such measures will increase in a climate change situation. Technical advances with the aim of improving crop nitrogen use efficiency through both plant breeding and cropping techniques can also contribute to decreased nitrogen leaching in the future.

Improved cropping techniques, increased use of resistant varieties and improved crop sequences will be required to limit the expected increased use of crop pesticides. This will require research and development of e.g. methods of crop protection tailored to need, development of new varieties, alternative pest control methods and development of new systems that limit the spread of diseases. Adaptation to limit the expected increased use of herbicides to control weeds will principally involve the same components. A frequently recurring problem in crop production is that a measure to achieve one Environmental Objective often counteracts another Environmental Objective. For example, reduced tillage of the soil to reduce nutrient leaching provides less scope for non-chemical control of weeds. Increased difficulties in simultaneously achieving the Environmental Objectives and production objectives should be counteracted with increased knowledge of how crop production systems can be optimised. Use of existing systems analysis knowledge and technology to optimise planning of crop production systems against certain predetermined objectives will be an essential process that will also provide tools for evaluating the potential benefits of the new potential adaptation measures.

The first adaptation to the expected decrease in water availability during the summer is to accept a moderate level of crop production increases in agriculture and perhaps increased variability between years. To utilise the production potential of climate change to the full, irrigation will probably be required. For horticultural crops and potatoes, the decrease in water availability must be covered by a corresponding increase in irrigation. The magnitude of this requirement could be approximately the same as the decrease in precipitation due to climate change. However, this figure is very rough and derives from individual cases. Model simulations must be performed to provide a measure of the magnitude of the water deficit for individual sites and years and its average value over years and regions. Such simulations will require organised indata for the various growing sites. These tools are available for individual locations and are used within research, but have not been applied in practical crop production in Sweden. Before irrigation measures are planned, the requirement must be mapped and the first adaptation measure must be to calculate the water deficit caused by climate change scenarios for different crops on different soil types in different parts of Sweden.

The predicted increase in crop nitrogen requirements to achieve the desired protein concentrations can be met by increased fertilisation and by including more nitrogen-fixing crops in the crop sequence. These adaptation measures will lead to increasing difficulties in fulfilling the Environmental Objective of decreasing nitrogen leaching from arable land, and alternative uses of areas of arable land may be a necessary consequence. Quantification of the additional fertiliser requirement will require extensive calculations of the same type as those required to calculate the decrease in water availability. In general, the nitrogen calculations can be regarded as more complicated. In environmental protection work within agriculture, this type of calculation tool has been used on a relatively large scale in Sweden to assess leaching risks, but has not been linked to modelling of crop dynamics in relation to climate. Corresponding calculations for crop growth dynamics and nitrogen requirement are lacking, but modelling tools for such calculations are available within research. These calculations are strongly linked to the calculations of water requirements.

Increasing problems will probably arise with the hygiene quality of crops. These will probably be counteracted by using alternative cropping systems, new varieties and increased inputs of crop protection chemicals. However, as regards a number of other quality parameters there is a lack of methods to evaluate the effects of climate change, even within research, and it is not possible to determine the net positive/negative effect. The first adaptation measure

within research must therefore be to find methods (i.e. weather-driven models) for evaluating the effects of climate on quality parameters. Scientifically-based measures can then be proposed. In practical cropping, farmers' experience and knowledge will have to be used to evaluate any patterns in how quality determination appears to react to weather, which will probably depend to a high degree on the specific growing conditions on the farm.

Table 2: Adaptation requirements within areas of Swedish crop production due to climate change

Measure	Aim
Weather-controlled, precision fertilisation	Efficient fertilisation, control of protein content and minimisation of leaching
Weather-controlled, precision crop protection	Decreased use of crop protection chemicals
Climate-controlled design of irrigation systems	Assured irrigation requirements for horticultural crops and potatoes in particular
Climate-driven quality model	Calculation of the effects of climate change on crop quality
Climate-controlled crop production planning	Basis for evaluating the risks and potential of growing new crops in a changing climate assessment
New varieties	Decreased crop chemical requirements, adaptation of sowing and harvest times, improved quality and yields per hectare, improved resource utilisation, decreased nutrient leaching
Alternative crop protection methods	Decreased use of crop protection chemicals
Alternative soil tillage	Decreased nutrient leaching, decreased use of crop protection chemicals
Alternative cropping systems	Decreased use of crop protection chemicals, improved resource utilisation, improved quality and yields per hectare, decreased nutrient leaching
Optimised crop production planning	Combined environmental and production objectives
Alternative land use	Decreased nutrient leaching

Research requirements

Perhaps the most obvious adaptation measure is to establish and enhance expertise in evaluating the effects of climate change on crop production within agriculture and to propose adaptation strategies and implement these. This report deals primarily with the former, but also provides some suggestions for adaptation measures and reveals great deficiencies in methods for evaluating the effects of climate change. For example, the evaluations in this report cannot be regarded as strictly scientific since we did not have the time for qualified calculations and since appropriate analytical methods are still lacking in a number of sub-areas. Within certain areas, research has made great progress in developing analytical methods and there is mainly a lack of systems for application and calibration to Swedish conditions (e.g. water), while in other areas there is still a lack of conceptual models (e.g. quality). Proposals for practical and strategic adaptation measures for crop production within Swedish agriculture thus currently rest on a weak scientific foundation. To strengthen research within this area, there is a need for increased concentration on the development and application of weather-driven and climate-driven models for crop production systems. A central precondition for the applicability of these models for future studies is that they can explain observed variations. Therefore model development must have strong links to observable data. The models can be of very different character depending on the issue. For example, in land use models crop production will probably have to be represented in a greatly simplified form, while models for evaluation of local water availability and irrigation requirements will require a detailed description of plant and soil characteristics etc. The modelling approach will determine the experimental data that have to be collected. It can be difficult or even impossible to identify climate effects from normal crop yield statistics, but well-documented long-term trials and other experimental series can provide valuable information. Otherwise, new experimental measurements must be planned for the purposes of model development. From this perspective, our study identified a number of areas with considerable research requirements (Table 3).

Table 3: Research requirements for adaptation of areas of Swedish crop production to climate change

General:

Identify existing effects of climate change on land use, crop access to water, incidence of pests and weeds and their effects on the crop, quality determination in crops and nutrient leaching.
Well-documented long-term monitoring systems are important for this

Land use:

Analyses of alternative modelling approaches for land use criteria, soil productivity and climate. Application to Swedish conditions with a dynamic link to European and global conditions
Analyses and development of cropping systems for optimisation of production and environmental objectives as a function of climatic conditions

Water availability:

Application of simulation models to evaluate the effects of climate change scenarios on crop water status and production at local and regional scale in Sweden. Calibration of these models to experimental data for extreme water conditions, new crops and varieties
Simulation of irrigation requirements, particularly in horticultural crops and potatoes

Crop pests:

Development of models for tailoring pesticide inputs to weather and need
Analysis and development of cropping methods and cropping systems for decreasing the risk of attack
Analysis of the effects of increased use of pesticides on cropping systems and the environment

Weeds:

Development of methods for tailoring herbicide inputs to weather and need
Analysis and development of cropping methods and cropping systems for decreasing competition from weeds
Analysis of the effects of increased use of herbicides on cropping systems and the environment

Quality:

Development of weather-driven crop models for field conditions that are tested against experimental data
Development of methods for tailoring fertiliser inputs to weather and need for different crops and varieties
Evaluation of the effects of an extended growing period on nutrient uptake and growth of different crops

Nutrient leaching:

Development of dynamic simulations of crop development and growth and of water and nutrient uptake as a function of climate, linked to existing calculation systems for simulation of nutrient leaching from arable land at regional level
Calculation and analysis of the effects of increased variability in climate and increased frequency of extreme weather situations for nitrogen and phosphorus leaching from agricultural soil
Analysis of the potential effects of changes in production level, production specialisation and land use, and analysis of new cropping systems including changes in management practices with regard to plant nutrient leaching

Sammanfattning

Bedömningar av klimatförändringars effekter på växtproduktion inom jordbruket i Sverige

Henrik Eckersten¹, Lars Andersson¹, Fredrik Holstein², Birgitta Mannerstedt Fogelfors¹, Elisabet Lewan³, Roland Sigvald⁴, Bengt Torssell¹, Stig Karlsson¹

¹Institutionen för Växtproduktionsekologi, Box 7043, Fax: +46-18672909

²Institutionen för Ekonomi

³Institutionen för Markvetenskap

⁴Institutionen för Ekologi

Sveriges Lantbruksuniversitet, 750 07 UPPSALA, Sverige

Korrespondens E-mail: henrik.eckersten@vpe.slu.se

Målet med rapporten är att bedöma effekter av klimatförändringar på specifika delar av växtproduktionen inom svenskt jordbruk, baserat på klimatförändringsscenarier från Rossby Centre, SMHI (daterade oktober 2006). Kriterierna för de valda delområdena är att de förväntas kunna påverkas negativt av en klimatförändring och därmed kräva anpassning av olika slag. Ambitionen är dock att analysen av respektive delområde ska vara neutral och även redovisa de positiva effekterna. Avsnittet om markanvändning är en analys av resultat från två stora vetenskapliga forskningsprojekt kring klimatförändring och användning av jordbruksmark, och avser effekter av andra klimatscenarier, dvs inte specifikt dem från SMHI.

Markanvändning

Behovet av areal för att odla grödor till livsmedel och foder bedöms allmänt att minska för Europa som helhet för den typ av samhälle som vi lever i för tillfället, dvs en värld med en starkt tillväxtorienterad ekonomi och en värld som sätter regionala (t ex EU respektive USA) intressen i förgrunden. Det stora skälet till det minskade behovet av åkermark för dessa syften är främst antagandet om en starkt ökad produktivitet per hektar vilket främst förklaras av en fortsatt teknologisk utveckling inom jordbruket i en takt baserat på den som rått sedan mitten av 1900-talet. För Europa som helhet förväntas klimatförändringarnas effekt på produktiviteten bli liten i jämförelse med teknologikutvecklingens. Klimatförändringarna till ~2050 orsakar i en bedömning en plus minus 5 till 10 %-ig förändring av Europas genomsnittliga hektarskördar, och i en annan bedömning ca 25 % ökning jämfört med i dagsläget. Detta kan jämföras med en 85-160 %-ig ökning pga teknologikutveckling. Bedömningarna av teknologikutvecklingen saknar en konkret förklaringsgrund utan bygger i huvudsak på empiriska erfarenheter av produktivitetsförändringar. Orsakerna till skillnader i teknologifaktorn mellan scenarierna är oklara. Av bland annat det skälet skiljer sig bedömningar åt så mycket att effekten av dessa osäkerheter på behovet av åkerareal är mycket betydande i jämförelse med själva förutsägelsen om arealbehovets minskning. På liknande sätt påverkas osäkerheterna i markanvändningsscenarierna lika mycket av utgångspunkten för vad som styr markanvändningen (produktionens anpassning till konsumtionen av en given kvantitet eller till givna produktpriser) och möjligheterna att bedöma konsekvenserna av dessa antaganden. Den tredje stora osäkerhetsfaktorn är samhälls- (socioekonomiska) utvecklingen. Alternativa samhällsutvecklingar med mindre stark teknologisk utveckling (teknologifaktorns effekt på produktiviteten är ca 10-25 % i scenario B2) och mer miljöinriktad politik påverkar också bedömningarna av arealbehovet till en betydande del. Även vilken klimatmodell som beräknat klimatscenarierna spelar roll. Sammantaget ger alla dessa osäkerheter en låg trovärdighet till markanvändningsscenarierna. Denna bedömning har dock möjliggjorts av att metoderna i stora delar är transparenta, vilket i sin tur ger möjligheter till att de kan utvecklas och att orsakerna till skillnaderna i resultaten kan identifieras. En allmän tendens bland scenarierna är dock att i ett samhälle som utvecklas i en riktning mot stark ekonomisk tillväxt kommer troligen en mindre andel av Europas åkerareal att användas till livsmedels- och foderproduktion, än om samhället utvecklas i riktning mot anpassning till miljön.

Markanvändningsscenarierna för Europa har använts för att få fram scenarier för enskilda länder. Modellen som tar sin utgångspunkt i vinstmaximerande jordbrukares anpassning till priser kan betraktas som relativt sett mer pålitlig vad avser fördelningen mellan länder. I gengäld kanske den är osäkrare på den totala Europeanivån pga fortplantning av fel vid omfattande beräkningar. Scenarierna visar att enbart klimatförändringar, dvs vid antagande om att nuvarande socioekonomiska förutsättningar förblir oförändrade, skulle öka svensk åkermarks konkurrenskraft för mat- och foderproduktion. För alla scenarier utom det med minst klimatförändring (B1:s klimatscenario) skulle ge en ökad arealanvändning. Med beaktande också av förändringar i de socioekonomiska förutsättningarna (priser på insatsmedel mm) blir det bara i scenariot med den högsta klimatpåverkan (A1F1) som svensk växtodling ökar sin konkurrenskraft. För B2 minskar svensk jordbruksareal till i stort sett bara södra Götaland främst pga höga priser på insatsmedel och att de positiva klimatförändringseffekterna inte är tillräckligt stora för att kompensera för detta. Det bör påpekas att resultaten verkar vara mycket känsliga för variationer i indata. Test av förutsägelseerna av markanvändning inom Sverige har gett ett mycket dåligt resultat. Även om markanvändningen bara till en mindre del styrs av klimatet ger rådande regionala skillnader kanske en bättre bild av möjliga förändringar i markanvändning inom Sverige. Om Mälardalen, när den får Skånes klimat av idag, också skulle få Skånes arealanvändning av idag skulle främst höstvete ersätta stora delar av havrearealen. För Västerbotten skulle motsvarande resonemang innebära att en stor andel av vallarealen skulle ersättas med stråsådesodling och främst höstvete. I södra Sverige upp till Mälardalen skulle andelen nya grödor såsom majs och solrosor öka.

Odlingsperiod

Odlingsperioderna bedöms allmänt förlängas, och då främst på våren men också på hösten, medan perioden med barmark från skörd på sensommaren till sådd på hösten kan komma att förlängas. Dessa bedömningar har främst gjorts med agrar expertis men vissa empiriska data och modellkörningar har också utnyttjats. För vårsådda grödor bedöms vårbrukets start huvudsakligen bestämmas av upptorkningen av marken vilket sker betydligt senare än vegetationsperiodens start. Vårbruket ~2085 kan komma igång i början av mars i Götalands södra slättbygder och mellanbygder och i slutet av mars i de norra delarna liksom i Svealand. I Norrland blir vårbruket i början av april i söder och i andra delen av april i norr. Skörden av den vårsådda grödan bedöms bli ca tre veckor tidigare än idag och skillnaderna över landet kan bestå, för vårkorn skulle detta innebära andra halvan av juli i söder till andra halvan av augusti i övre Norrland. Det är lite oklart när höstsådden kan ske, men med tanke på att vegetationsperioden blir mer än en månad längre på hösten, torde höstsådden fördröjas i liknande utsträckning. Höstgrödan tillväxer fram till början av december i både Götaland och Svealand. I nedre Norrland slutar tillväxten i senare delen av november och i övre Norrland i början av november. Den ökade temperaturen gör att tillväxten på våren börjar i februari i Götaland och Svealand, en dryg vecka in i mars i nedre Norrland och i mitten av april i övre Norrland, dvs ca en månad innan vårbruket (lite mindre i norr). För t ex höstvete avspeglar sig detta i en tidigareläggning av utvecklingsstadierna med ca en månad i början av våren och en blomning och mognad ca 3 veckor tidigare än idag.

Vattentillgång

Ökad temperatur, förändrade nederbördsförhållanden och ökad CO₂-halt i atmosfären leder till förändrade vattenförhållanden för jordbruket. Ökad temperatur leder till ökad tillväxt och transpiration främst på våren vars tillväxt i dagsläget är starkt temperaturbegränsad. Nederbörden förväntas öka från oktober till mars, vara oförändrad i april och sedan lägre än i dagsläget från maj till september. Det torde ge sämre vattentillgång för växterna från april till september, men bedömningen försvåras av att den förhöjda CO₂-halten gör att växterna kan hushålla bättre med vatten, dvs transpirationen kan minska utan att tillväxten gör det i samma utsträckning. Beräkningar för gödsblad gräsvall för ~2085 som beaktar alla faktorerna samtidigt tyder på att markvattenhalterna överlag sjunker från juni till oktober, men att tillväxten inte nödvändigtvis hämmas mer än att den i juli-augusti i kan komma att förbli på dagens nivå. Beräkningarna stöds av en alternativ metod där förändringar i avdunstning avläses från klimatscenarietkartorna. Den ackumulerade ökningen av avdunstningen var störst i Götalands mellanbygder (45 mm), något lägre i övriga Sverige och betydligt lägre i övre Norrland där avdunstningen bara ökade med 15 mm april-juni. Nedgången i augusti och september var störst i Svealand.

De fåtal simuleringar som utförts antyder att det uppstår ett vattenunderskott och en möjlighet att öka tillväxten genom bevattning. Detta bevattningsbehov skulle för vissa lokaler något år kunna vara i storleksordningen 15-80 mm/år varav den största behovsökningen skulle kunna bli i maj. Bedömningarna ger ingen uppfattning om hur stor vattenstressen kan bli för enskilda extrema år på enskilda platser och ännu mindre i medeltal. För detta skulle

behövas många fler simuleringar. Men det ser ut att allmänt bli torrare förhållanden från slutet av juli till och med september och en ökad intensitet i nederbörden antyder att det lokalt kan bli torrare förhållanden än simuleringarna visar. Höstgrödan kan allmänt antas ha skördats i början av denna torrperiod, medan en större andel av kärnfyllnaden kan komma att ske under torrare förhållanden för motsvarande vårgröda. Detta skulle kunna påverka kärnskördens främst genom minskad skördemängd och förändrade proteinhalter, och troligen ge ytterliggare en fördel till höstsådden jämfört med vårsådden. Dessa förhållanden talar också till majsens fördel eftersom den trivs i värme och kan motstå torra förhållandevis bra. För samodlings- och fånggrödesystem är det angeläget att den insådda grödan har ett väletablerat rotsystem innan skörden av huvudgrödan. Vallen kan få minskad tillväxt under denna period jämfört med idag, vilket skulle orsaka behov av stödutfodring. För grönsaksodlingar innebär denna torrperiod ett ökat bevattningsbehov. Den allra största andelen av grönsaksodlingar har redan i dag bevattningssystem och frågan blir snarare om det finns tillräckligt med vatten för att öka bevattningen under dessa torra perioder, än att anlägga nya bevattningssystem. Däremot kan bevattningssystemen behöva modifieras så att de förmodade nederbördsökningarna under andra delar av året blir tillgängligt för dessa torrperioder. Hur mycket mer bevattning som kommer att behövas återstår att utreda. De enstaka beräkningarna för en gödslad gräsvall ovan antyder att det skulle kunna behöva tillföras ytterliggare ungefär samma mängd vatten som den av klimatförändringen orsakade minskningen av nederbörden på sommaren för att utnyttja den ökade tillväxtpotentialen.

Växtskadegörare

Insekt-, virus- och svampangrepp på grödor orsakar omfattande bekämpningsbehov och svarar idag för ungefär halva kostnaden för bekämpningsinsatser inom svenskt jordbruk. Andra halvan svarar bekämpningen av ogräs för. Beräkningar av skadeeffekter på grödor som funktion av klimatet är komplicerat och forskning inom detta område utvecklar metoder både för att förstå och förutse klimatets effekter på insekters och sjukdomars (svampar, virus, bakterier) dynamik och effekter på grödan. Vi har dock här inte använt några kvantitativa metoder utan försökt göra kvalitativa bedömningar av klimatförändringars möjliga effekter.

Insekt- och virusangrepp på grödorna kan nog allmänt antas öka. Främsta skälet till detta är troligen att insekterna gynnas av ett varmare klimat under vintern och därför blir talrikare på våren. Insekternas inverkan på grödan är direkt genom att de livnär sig på grödan, men stor betydelse har de indirekta skadorna genom insekternas förmåga att sprida olika virussjukdomar. Alla regioner i Sverige får troligen ökade problem med skadeeffekter från insekter och virussjukdomar, men ökningen torde bli större i södra Sverige och i torrare områden. Insekterna kommer att bli aktiva betydligt tidigare på våren än idag eftersom vegetationsperioden tidigareläggs, vilket torde orsaka ökade angrepp på vårsådda grödor. I dagsläget sammanfaller vårbruket ganska väl med vegetationsperiodens start, men till ~2085 blir troligen vårbruket fördröjt med upptill en månad jämfört med vegetationsperioden. Större mängd insekter vid vårsådden och att vårgrödan utsetts för virussjukdomar i ett tidigare utvecklingsstadium kommer att öka behovet av bekämpning, om ej andra metoder kommer att öka så som användning av motståndskraftiga sorter. Denna effekt bedöms bli ungefär lika stor i Götaland och Svealand, men mindre i Norrland.

Insekterna gynnas också av höga temperaturer på sommaren och bekämpningsbehov kan tänkas öka även här, vilket torde gälla flertalet grödor.

Insekt- och virusangrepp i höstsådda grödor på hösten är i dagsläget begränsat av att mängden insekter är relativt lågt på hösten och att det inte finns en brygga mellan smittade vårsådda grödor och nysådda känsliga grödor på hösten. I ett framtida varmare klimat torde det finnas fler insekter på hösten och dessutom skulle nyintroducerade vårsådda grödor som växer långt in på hösten, såsom majs, kunna fungera som en brygga för virus från vårsådd till höstsådd, och virusangreppen i höstsådden torde öka. Nya insektsarter kommer att etableras i Sverige, bl a beroende på vilka grödor som odlas, men det är svårbedömt vilka arter och det behövs monitoring system för att följa utvecklingen.

Svampsjukdomar gynnas av både temperatur och fukt. Fuktighetssituationen kommer att ändras betydligt mer olika, för olika delar av Sverige, än temperaturen. Detta gör att vi kan förvänta oss stora skillnader mellan regioner. Dessutom finns det svampsjukdomar som gynnas av hög temperatur men inte specifikt av hög luftfuktighet. Speciellt utsatt är höstsådden som har en lång infektionsperiod på hösten. För vårsådden kan effekten bli mindre än i dagsläget i områden med förväntade relativt torr försommar såsom i södra delarna av landet. I norra Sverige torde dessa

svampar dock få en ökad betydelse pga ett allmänt fuktigare och varmare klimat. I potatis torde potatisbladmögel öka något.

I en framtida klimatförändring löper utsädesodlingar, av kanske speciellt potatis, större risk att drabbas av insekt- och virusangrepp än i dagsläget. Det kan då uppstå behov att inrätta någon form av utsädesreservat inom vilka vanliga bruksodlingar med stor andel virusmittade plantor begränsas. Behovet kan uppstå för hela Sverige. Ökad förekomst av skadegörare vid en klimatförändring kan motverkas med ökad användning av kemiska medel, men detta är ej önskvärt ur många aspekter. Förbättrad odlingsteknik, ökad användning av resistent sorter och en god växtföljd för att minska spridningen av sjukdomar torde därför få ökad betydelse.

Ogräs

Allmänt kan behovet av ogräskontroll antas öka vid en klimatförändring. Ett tungt skäl till denna slutledning är att i länder med varmare klimat än Sverige är användningen av bekämpningsmedel betydligt större än i Sverige. Det finns en hel del naturliga förklaringar till detta. Ett varmare klimat ger troligen en artrikare ogräsflora bl.a. därför att fler arter hinner nå sin reproduktiva utvecklingsfas i den förlängda vegetationsperioden. Dessutom kommer grödor med konkurrenssvaga bestånd (t ex majs med stort planteringsavstånd) troligen att öka i omfattning. Ökad andel höstsådda grödor, på bekostnad av vårsådda grödor, riskerar att leda till en uppförökning av de vinterannuella ogräsen vilket i sin tur ökar bekämpningsbehovet. En mer ensidig växtföljd och därmed större bekämpningsintensitet med färre preparat ökar risken för herbicidresistens, ett problem som bedöms öka vid en klimatförändring. Anpassningsåtgärder inrymmer till stor del utveckling av metoder för ogräskontroll och planering av odlingssystem. Det finns givetvis ett motsatsförhållande mellan bekämpning av ogräs och önskan om låga insatsmedel, men också önskan om låg näringsutlakning. Plöjningsfri odling begränsar utlakningen men samtidigt missar odlaren ett tillfälle att kontrollera ogräsen på icke-kemisk väg.

Kvalitet

Avsikten med växtodlingen är att få fram en produkt med en viss kvalitet, där varje produkt definieras av flera olika kvalitetsparametrar. Detta leder till många tänkbara effekter av en klimatförändring och därför är det mycket svårt att ge en allmän bild. Problemet att ge denna bild blir inte mindre av att det dessutom, med några få undantag, saknas metoder att förutse effekter av givna förändringar i klimatet. Vi kan förvänta oss allmänt större problem med den hygieniska kvaliteten i och med att växtskadeangreppen bedöms att allmänt öka. Dessa svårigheter torde bli större i vårsådda grödor, än i höstsådda grödor, och större i södra Sverige än i norra, i och med att risken för angrepp bedöms störst där. Andra faktorer som kan orsaka förändrad kvalitet är förändrade utvintrings- och snötäcksförhållanden, men det är oklart om detta kommer att leda till sämre eller bättre kvalitet.

Den näringsmässiga kvaliteten i grödor byggs upp av ämnen som tas upp från mark och luft och syntetiseras i växten. Proteinhalten i växten är proportionell mot kvävehalten som bestäms av koluttag från atmosfären (tillväxt) och kväveupptag från marken. I en stråsädesgröda tas huvudsakliga mängden kväve upp under försommaren fram till början av juni, och huvudsakliga mängden kol tas upp därefter. Våra fåtaliga beräkningar för gödsblad gräsval tyder på att växtens kvävebehov ökar betydligt, och att ökningen i mineraliseringen kan täcka detta behov endast t o m mars, men i april och maj blir underskottet stort. Om gödslingen inte ökar skulle detta antyda sänkta proteinhalter. Den minskande markvattenhalten i juli skulle kunna begränsa koluttaget och ge en ökning av proteinhalten, men troligen är grödan så nära mognad då att effekten kan vara liten. För t ex malkorn, där proteinhalten vare sig får vara för låg eller för hög, förstärker detta ett i dag existerande odlingsproblem. En för stor kvävegödsling på våren kan orsaka för höga proteinhalter om sommaren blir torr. En stor kvävegödsling är dock önskvärd om tillväxten på sommaren blir stor. Denna typ av problem gäller många grödor och ska dessutom förstås i olika växtodlingssystem med olika förfrukter och i samodling, vilket kräver ett omfattande analys- och syntesarbete. Till detta kommer att höga temperaturer under kärnfyllnaden kan påverka inlagringen av protein och proteinsammansättningen, och allmänt kan man anta att problemen ökar. Proteininlagring i grödor visar alltså också en tendens till förmån för höstsådda grödor framför vårsådda grödor vid en klimatförändring. Andra kvalitetsparametrar påverkas också av klimatet men det saknas i de flesta fall metoder att bedöma nettot av positiva och negativa effekter. Allmänt torde dock högre temperaturer under kärnfyllnaden orsaka ökade problem att erhålla planerad kvalitetsetablering.

Anpassningsmöjligheterna kommer troligen främst bestå i växtförädling av nya sorter, både traditionell och genmodifierande för lokala odlingsförhållanden, men också, och snabbare genomförbart, förändring av odlingsmetoder och odlingsystem (när dessa väl är kända). T ex kommer skördetillfällena för slättevallen att tidigareläggas och bli fler för att skörda vallen med rätt foderkvalitet. Behovet av kvävegödsling kommer troligen att öka för att nå samma proteinhalter som i dagens klimat.

Växtnäringsläckage

De förväntade förändringarna i klimatet kommer med stor sannolikhet att medföra en ökning av både kväveläckage och fosforläckage från jordbruksmark. Kvantifieringar av kväveläckaget i ett framtida klimat har endast genomförts för några få enskilda lokaler/områden i Sverige, men har indikerat en ökning av läckaget med 10-70 % (beroende på lokal och klimatscenario). Denna tendens ska jämföras med det nationella miljömålet att minska kväveutlakningen från åkermark till omgivande vattendrag med 30 % fram till år 2015. Möjligheterna att reducera utlakningen i rådande klimatsituation (1980-2000), med nuvarande odlingsmetoder har uppskattats till maximalt 20-25 %. Nuvarande livsmedels- och foderproduktion på åkermark orsakar alltså en utlakning av kväve som tangerar eller överskrider gränsen för de aktuella miljömålen. Detta problem kommer troligen att accentueras vid en klimatförändring. För att tillgodose ovan nämnda miljömål i framtiden krävs därför med stor sannolikhet en förändring av både odlingsmetoder och markanvändning. Flera markanvändningsscenarier (se ovan) visar på ett minskat behov av åkerareal för livsmedel- och foderproduktion. Miljömålen skulle alltså till viss del kunna uppfyllas genom alternativ markanvändning som syftar till sänkning av utlakningen.

Tabell 1. Grovt uppskattade effekter av klimatförändringar på delar av svensk växtproduktion

Markanvändning:
Minskat behov av åkermarksareal för mat- och foderproduktion
Beräkningar är osäkra bl a pga bedömningar av teknologiutvecklingens effekter på hektarskördar
Svensk växtproduktions konkurrenskraft i Europa gynnas av klimatförändring men missgynnas av samhällsutveckling
Höstsådd gynnas på bekostnad av vårsådd
Allmänt ökande hektarskördar

Odlingsperiod:
Vegetationsperioden förlängs främst på våren men också på hösten
Vårbruket tidigareläggs mindre än vegetationsperiodens start
Skörd tidigareläggs
Höstsådd senareläggs
Förändringarna större i söder än i norr

Vattentillgång:
Tillväxten på våren gynnas av temperaturhöjning
Tillväxten i juli – september kan hämmas av ökande vattenunderskott
Ökat bevattningsbehov i trädgårdsodling och potatis
Vattenunderskottet blir större lokalt än regionalt och större i Götaland och Svealand än i Norrland
Höstsådd gröda gynnas jämfört med vårsådd

Växtskadegörare:
Insektsorsakade angrepp ökar allmänt och främst i södra och östra Sverige
Vårsådd gröda mer utsatt än höstsådd
Nya insektsarter, grödor och växtföljder ger nya och möjligen större angrepp
Svampinfektioner både ökar och minskar bl a beroende på regionala skillnader i nederbördsmönster
Bekämpningsbehovet ökar

Ogräs:
Fler ogräsarter etablerar sig i Sverige
Ogräsförekomsten ökar allmänt

Vinterannuella ogräs ökar i förekomst
Bekämpningsbehovet ökar

Kvalitet:

Tillväxt, näringsbehov och –upptag ökar speciellt på våren
Proteinsammansättningen i stråsäd påverkas negativt av höga temperaturer
Vallskördar tidigareläggs för att erhålla god kvalitet
Allmänt mer svårstyrd kvalitetsetablering i grödor
Gödslingsbehovet ökar

Näringsläckage:

Risken för kväveläckage ökar generellt, främst pga: ökad nederbörd/avrinning och kväveminerisering
Den ökade kväveutlakningsrisken kan dämpas av ökat växtupptag och bortförsel via skörd
Fosforförlusterna förväntas öka generellt pga ökad avrinning och högre frekvens av intensiv nederbörd, men kan i vissa områden minska pga minskad ytavrinning vid snösmältning
Ändrad markanvändning till följd av klimatförändring kan öka risken för näringsläckage

Anpassning

En stor del av anpassningen inom jordbruket till klimatförändringarna kommer att ske genom att jordbrukaren anpassar tidpunkter för sådd och odlingsåtgärder till start av vegetationsperioden och upptorkning, liksom skördetidpunkt till grödornas tidigare mognad. Det kan bli svårare att bedöma när höstsådden bör ske eftersom jordbrukaren inte vet hur vädret kommer att bli under kommande höst och vinter. Erfarenheterna från tidigare år blir då central. Eftersom klimatet varierar kraftigt mellan år är risken stor att det som fungerade förra året kanske inte fungerar kommande år, speciellt när jordbrukaren försöker anpassa sin odling till ett allt varmare klimat genom att introducera t ex nya grödor, sorter och brukningsmetoder. Forskningen skulle här kunna hjälpa jordbrukaren med den strategiska växtodlingsplaneringen genom att utveckla modeller för klimatets inverkan på växtodlingen och metoder för att beräkna den statistiska sannolikheten för skördenivåer för olika grödor, baserat på klimatförändringsscenarioer och klimatstatistik. Detta skulle ge jordbrukaren underlag för att bedöma risken med nya grödor och möjlighet att introducera dessa på ett sätt där risktagandet anpassas till hela gårdens ekonomi. Dessutom orsakar det ökade behovet av bekämpningsinsatser och bevattning samt ökande variabilitet i väder troligen ett ökat behov av behovsanpassade odlingsåtgärder. Forskningen skulle kunna hjälpa jordbrukaren genom att utveckla tillämpbara modeller som kan simulera t ex utvecklingen av grödor, växtskadegörare och ogräs baserat på väderprognoser.

Alternativ användning av åkermarken (alternativ till ettåriga grödor) kan bli nödvändig för att minska kväveutlakningen från åkermarken till en nivå som uppfyller de uppställda miljömålen. Den mest extrema och sannolikt också mest effektiva metoden är att plantera en del av marken med skog. De flesta markanvändningsscenarioerna förutsätter en betydande andel överskottsmark, som skulle kunna användas för annat än jordbruksproduktion, utom i ett starkt tillväxtorienterat samhälle med stor global handel där svensk åkermark skulle vara mer konkurrenskraftig på livsmedel- och foderproduktionsmarknaden än idag. Vi måste emellertid beakta att markanvändningsscenarioerna uppvisade stora osäkerheter för antaganden om både samhällsutveckling och klimat, och inte minst för antaganden om produktivitetsökningar per hektar orsakat av teknologisk utveckling. Om inte den teknologiska utvecklingen blir lika stark som förutspått, är det oklart om svensk livsmedel- och foderproduktion vid en framtida klimatförändring inte bara blir mer konkurrenskraftig utan också nödvändig för livsmedelsförsörjningen. I perspektivet av dessa osäkerheter bör därför en alternativ användning av åkermarken för att minska kväveläckaget även beakta eventuella behov av att åter kunna ta marken i bruk för livsmedelförsörjning. Detta innebär att alternativ markanvändningen för att minska näringsläckage bör inriktas på grödor med stor förmåga att ta upp kväve året runt och som inte påverkar markbördigheten negativt, samt är förhållandevis enkla att bryta upp och ersätta med mat- och fodergrödor. I detta perspektiv är skog mindre lämpligt. Alternativt, eller som komplement till ändrad markanvändning kan våtmarker och kantzoner i odlingslandskapet etableras för att begränsa fosfor och kväveläckage från jordbruksmark. Behovet av dessa åtgärder kommer att öka i en förändrad klimatsituation. Tekniska framsteg i syfte att förbättra grödornas kväveutnyttjande genom såväl växtförädling som odlingsteknik kan också bidra till minskat kväveläckage i framtiden.

För att begränsa den förmodade ökade användningen av bekämpningsmedel mot växtskadegörare behövs förbättrad odlingsteknik, ökad användning av resistent sorter och förbättrade växtföljder. För detta krävs forskning och utveckling av bl.a. metoder för behovsanpassad bekämpning, framtagande av nya sorter, alternativa bekämpningsmetoder och utveckling av odlingssystem där spridningen av sjukdomar begränsas. Anpassningen för att begränsa den troliga ökade användningen av bekämpningsmedel mot ogräs inrymmer i princip samma moment. Som exempel på ett ofta återkommande problem inom växtodlingen, att en åtgärd för att nå ett miljömål motverkar ett annat miljömål, kan vi nämna att minskad bearbetning av jorden för att minska näringsläckaget medför minskat utrymme för icke-kemisk bekämpning av ogräs. Ökade svårigheter att nå flera miljömål och produktionsmål samtidigt behöver mötas med ökad kunskap om hur växtodlingssystemen kan optimeras. Att utnyttja rådande systemanalytisk kunskap och teknik för att optimera planeringen av växtodlingssystem mot uppställda mål blir en nödvändig åtgärd vilket dessutom ger verktyg för att värdera den potentiella nyttan med nya möjliga anpassningsåtgärder.

Den första anpassningen till den förmodade minskade vattentillgången under sommaren är att acceptera en måttlig växtproduktionsökning inom jordbruket och kanske ökad variabilitet mellan år. Vill man utnyttja klimatförändringens produktionsmöjligheter fullt ut krävs troligen bevattning. För trädgårdsväxter och potatis måste den minskade vattentillgången täckas med en motsvarande ökning av bevattning. Storleken på detta behov skulle kunna vara ungefär lika stort som minskningen i nederbörd pga klimatförändringen. Denna siffra är dock oerhört grov och kommer från några enstaka fall. För att få en uppfattning om hur stort vattenunderskottet kan bli för enskilda platser och år, liksom i medeltal över år och regioner, måste modellsimuleringar utföras. Dessa kräver organiserade indata för respektive odlingsplats. Dessa verktyg finns tillgängliga för enskilda lokaler och utnyttjas inom forskningen, men har inte tillämpats i praktisk växtodling i Sverige. Innan bevattningsåtgärder planeras måste behovet kartläggas, och den första anpassningsåtgärden är att beräkna vilket vattenunderskott klimatförändringsscenarierna orsakar för olika grödor på olika marktyper för olika delar av Sverige.

Det förmodade ökade kvävebehovet hos grödorna för att nå de önskade proteinhalterna kan täckas med ökad gödsling och mer kvävefixerande grödor i växtföljden. Dessa anpassningsåtgärder kommer att leda till ökade svårigheter att nå miljömålet att minska kväveutlakningen från åkermark, och alternativ användning av delar av åkermarken kan bli en nödvändig följdåtgärd. Kvantifiering av hur mycket mer gödsling det kan bli frågan om kräver omfattande beräkningar av samma typ som de som behövs för att beräkna den minskade vattentillgången. Allmänt kan kväveberäkningarna betraktas som mer komplicerade. Inom jordbrukets miljöarbete har denna typ av beräkningsverktyg använts i relativt stor skala i Sverige för att bedöma utlakningsrisker, men har ej kopplats till modellering av grödornas dynamik i relation till klimatet. Motsvarande beräkningar för växters tillväxtdynamik och kvävebehov saknas, men modellredskap för sådana beräkningar finns att tillgå inom forskningen. Dessa beräkningar kopplar starkt till beräkningarna av vattenbehovet.

Det kommer troligen att uppstå ökade problem med hygienisk kvalitet hos grödor. Detta kommer troligen att åtgärdas med alternativa odlingssystem, nya sorter och ökade bekämpningsinsatser. För flertalet övriga kvalitetsparametrar hos grödor saknas dock metoder att värdera effekten av en klimatförändring, även inom forskningen och det är inte möjligt att värdera nettot av positiva och negativa effekter. Första anpassningsåtgärd inom forskningen är därför att finna metoder (dvs väderdrivna modeller) för att värdera effekter av klimat på kvalitetsparametrar. Därefter kan man föreslå vetenskapligt baserade åtgärder. I praktisk odling får man utnyttja agrar erfarenhet och kunskap för att bedöma eventuella mönster för hur kvalitetsetableringen verkar förhålla sig till vädret, vilket troligen i hög grad beror på gårdens specifika odlingsförhållanden.

Tabell 2. Anpassningsbehov inom delar av svensk växtproduktion pga klimatförändringar

Åtgärd	Syfte
Väderstyrd behovsanpassad gödsling	Effektiv gödsling, styrning av proteinhalter och minimerad utlakning
Väderstyrd behovsanpassad bekämpning	Minskad användning av bekämpningsmedel
Klimatstyrd dimensionering av bevattningssystem	Säkra bevattningsbehov för främst trädgårdsodling och potatis
Klimatdrivna kvalitetsmodeller	Beräkna effekter av klimatförändring på grödors kvalitet
Klimatstyrd växtodlingsplanering	Underlag för att bedöma risk och möjlighet med att odla nya grödor i ett föränderligt klimat
Nya sorter	Minskat bekämpningsbehov, anpassning av så- och skördetidpunkt, förbättrad kvalitet och hektarskördar, förbättrat resursutnyttjande, minskat näringsläckage
Alternativa bekämpningsmetoder	Minskad användning av kemiska bekämpningsmedel
Alternativ jordbearbetning	Minskad näringsutlakning, minskad användning av bekämpningsmedel
Alternativa odlingssystem	Minskad användning av bekämpningsmedel, förbättrat resursutnyttjande, förbättrad kvalitet och hektarskördar, minskat näringsläckage
Optimerad växtodlingsplanering	Kombinera miljö- och produktionsmål
Alternativ markanvändning	Minskad näringsutlakning

Forskningsbehov

Den kanske mest självklara anpassningsåtgärden är att upprätthålla och förstärka kompetensen att värdera effekter av klimatförändringar på växtproduktionen inom jordbruket, att kunna föreslå anpassningsåtgärder och att kunna utföra dem. Denna rapport behandlar främst den förstnämnda, men också förslag till anpassningsåtgärder, och visar på stora brister i metoder att kunna utvärdera effekterna av en klimatförändring. T ex. kan bedömningarna i denna rapport ej betraktas vara strikt vetenskapliga eftersom vi ej haft tidsutrymme för kvalificerade beräkningar och att lämpliga analysmetoder ännu saknas inom flera delområden. Inom vissa områden är forskningen långt kommen i utvecklandet av analysmetoder och det saknas främst system för tillämpning och kalibrering till svenska förhållanden (t ex vatten), medan det på andra områden fortfarande saknas konceptuella modeller (t ex kvalitet). Förslagen på praktiska och strategiska anpassningsåtgärder för växtproduktionen inom svenskt jordbruk står alltså i dagsläget på en svag vetenskaplig grund. För att stärka forskningen inom detta område krävs ökad satsning på utveckling och tillämpning av väder- och klimatdrivna modeller för växtodlingssystem. Det är centralt för dessa modellers tillämpbarhet för framtidsstudier att de kan förklara observerade variationer. Därför måste modellutvecklingen ske med en stark koppling till observerbara data. Modellerna kan ha mycket olika karaktärer beroende på frågeställning. T ex i markanvändningsmodeller måste troligen växtproduktionen representeras kraftigt förenklad, medan modeller för en bedömning av lokal vattentillgång och bevattningsbehov kräver detaljerad beskrivning av växt- och markegenskaper mm. Modellansatsen avgör vilka experimentella data som ska samlas in. Det kan vara svårt och rent av omöjligt att identifiera klimateffekter från normal skördestatistik, men väldokumenterade långliggande försök och andra försöksserier kan ge betydande information. I övrigt måste nya experimentella mätningar planeras för modellutvecklingen. Ur detta perspektiv har vår studie identifierat ett antal områden med betydande forskningsbehov (Tabell 3).

Tabell 3. Forskningsbehov för anpassning av delar av svensk växtproduktion till klimatförändringar

Allmänt:

Identifiera redan inträffade effekter av klimatförändring på markanvändning, grödors vattentillgång, skadegörarens och ogräs förekomst och effekter på gröda, kvalitetsetablering i gröda och näringsläckage. Valdokumenterade långsiktiga monitoring-system är betydelsefulla för detta

Markanvändning:

Analyser av alternativa modellansatser för markanvändningskriterier, markproduktivitet och klimat. Tillämpning för svenska förhållanden med en dynamisk länk till europeiska och globala förhållanden
Analysera och utveckla odlingssystem för optimering av produktions- och miljömål som funktion av klimatförhållanden med beaktande av socioekonomiska förutsättningar
Analysera klimatets effekt på kopplingen mellan markanvändning till mat- och foderproduktion å ena sidan och biobränslen å den andra

Vattentillgång:

Tillämpning av simuleringsmodeller för att utvärdera effekter av klimatförändringsscenarioer på grödors vattenförhållanden och produktion på lokal och regional skala i Sverige. Kalibrering av dessa modeller till experimentella data för extrema vattenförhållanden, nya grödor och sorter
Simulering av bevattningsbehov i främst trädgårdsodling och potatis

Växtskadegörare:

Utveckla metoder för väder och behovsanpassade bekämpningsinsatser
Analysera och utveckla odlingsmetoder och odlingssystem för minskade angreppsrisker
Analysera effekter av ökad användning av kemiska bekämpningsmedel på odlingssystem och miljö

Ogräs:

Utveckla metoder för väder och behovsanpassade bekämpningsinsatser
Analysera och utveckla odlingsmetoder och odlingssystem för minskad konkurrens från ogräs
Analysera effekter av ökad användning av kemiska bekämpningsmedel på odlingssystem och miljö

Kvalitet:

Utveckling av väderdrivna grödmodeller för fältförhållanden som testas mot experimentella data
Utveckla metoder för väder och behovsanpassade gödslingsinsatser med olika grödor och sortmaterial
Utvärdera effekter av förlängd vegetationsperiod på näringsupptag och tillväxt för olika grödor.

Näringsläckage:

Utveckling av dynamisk simulering av grödors utveckling och tillväxt samt vatten- och näringsupptag som funktion av klimatet kopplad till befintliga beräkningssystem för simulering av näringsläckage från åkermark på regional nivå
Beräkning och analys av effekten av ökad variabilitet i klimatet och ökad frekvens av extrema vädersituationer för kväve- och fosforläckage från jordbruksmark
Analys av potentiella effekter av ändringar i produktionsnivå, produktionsinriktning och markanvändning och analys av nya odlingssystem inkl förändringar i skötselåtgärder med avseende på växtnäringsläckage

Introduktion

Målet med rapporten är att bedöma effekterna av klimatförändringsscenarier för Sverige på specifika delar av växtproduktion inom svenskt jordbruk. Det första avsnittet (1) behandlar dock markanvändning i Europa och är en analys av resultat från två stora forskningsprojekt kring klimatförändring och användning av jordbruksmark. Målet har varit att analysera på vilka grunder dessa scenarier gjorts och möjligheterna att bedöma konsekvenser för svensk markanvändning. De andra avsnitten (2-6) avser alltså att bedöma effekter av SMHI:s klimatförändringsscenarier.

Första steget har varit att avläsa värden från regionala klimatförändringsskator för perioden 2071-2100 (betecknad ~2085), framtagna utifrån socioekonomiska scenariet A2 (se t ex IPCC 2000), den globala klimatmodellen Echam4, och den regionala klimatmodellen RCA3 (oktober 2006 från Rossby Centre, SMHI 2007; se t ex Fig. 2). I allmänhet är det differenskartorna mellan perioden 2071-2100 (~2085) och referensperioden 1961-90 (betecknad ~1975) som utvärderats. I vissa fall har modellerade absoluta värden använts för referensperioden som kalibrerats mot observerat klimat 1961-90 (ERA40; Rossby Centre, SMHI). Dessa värden har betecknats med $\sim 1975_{ERA40}$. Denna typ av värden har också använts i de fall vi kommenterat skillnader mellan 15-års perioden 1991-2005 (betecknad $\sim 1998_{ERA40}$) och $\sim 1975_{ERA40}$. I ett fall har vi använt differenser mellan observerad klimatstatistik från SMHI ($\sim 1998_{Obs}$ - $\sim 1975_{Obs}$). I vissa fall har gjorts bedömningar av effekter av klimatscenarier för perioderna 2011-2040 (betecknad ~ 2025) och 2041-2070 (~ 2055), samt av scenarier som baserar sig på en alternativ global klimatmodell (HADAM4).

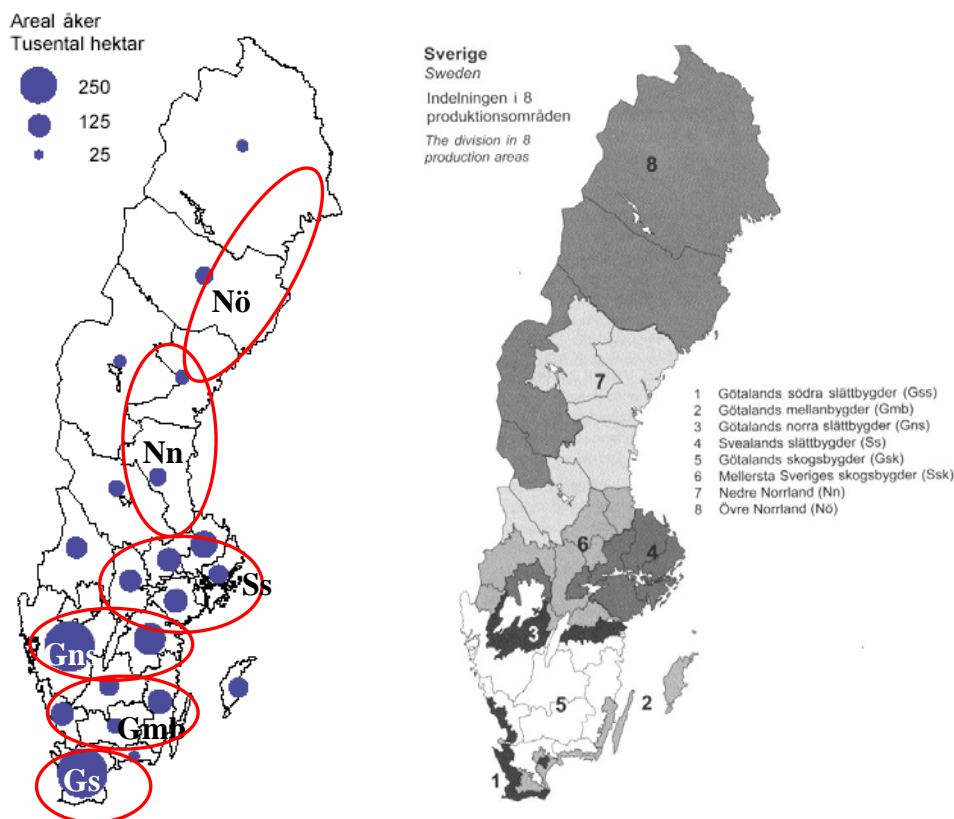


Fig. 1. Vänster: Total åkerareal 2006 per län (SCB). Höger: SCB:s produktionsområden. Röda cirklar symboliserar avläsningsområden på kartorna som ska ungefärligt motsvara SCB:s "produktionsområden": 1) Götalands södra slättbygder (Gss), 2) Götalands mellanbygder (Gmb), 3) Götalands norra slättbygder (Gns), 4) Svealands slättbygder (Ss), 7) Nedre Norrland (Nn) och 8) Övre Norrland (Nö). (källa SCB)

Kartorna har avlästs visuellt för 6 områden i Sverige. Grovt motsvarar dessa SCB:s produktionsområden för Götalands norra slättbygder och norrut. För södra Götaland har avläsningen uppdelats mer latitudinellt jämfört med SCB:s indelning som är mer longitudinell för denna del av Sverige. Istället har skillnader inom respektive områden noterats. Det sydligare området har benämnts Götalands södra slättbygder (Gss) och det nordligare Götalands mellanbygder (Gmb). Skogsbygder har ej avlästs (se Fig. 1). Exakta avläsningar har varit omöjliga att göra av främst tre skäl: Klimatförändringskartornas mönster överestämmer inte med indelningen i produktionsområden, samt i vissa fall har det varit svårt att bedöma färgskalorna korrekt och avläsningen kan vara en skalenheter fel. Det tillkommer dessutom osäkerheter förknippat med skalans noggrannhet, t ex. har värdet 3 antecknats för intervallet 0-5. Som underlag för att kunna bedöma effekterna av dessa osäkerheter har alternativa avläsningar av olika personer utförts för vissa variabler och finns redovisade i appendix, liksom avläsningar som mer strikt följer SCB:s produktionsområden.

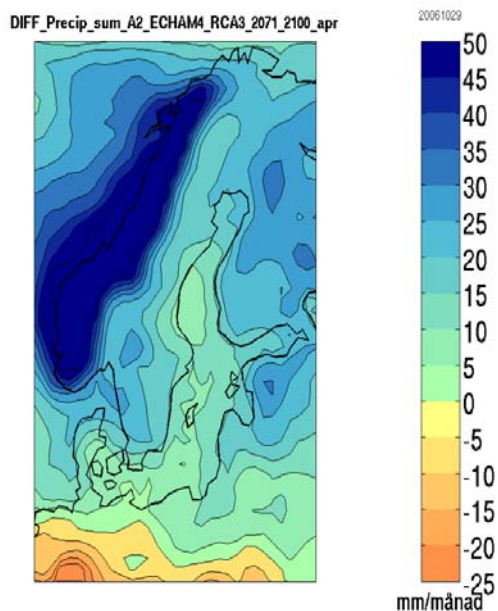


Fig. 2: Exempel på de klimatförändringskartor som använts som indata till denna studie: Ändringen av nederbörd från perioden 1961-90 (~1975) till perioden 2071-2100 (~2085) för april (mm/månad), framtagna mha socioekonomiska scenariet A2, den globala klimatmodellen Echam4, och den regionala klimatmodellen RCA3. (Rosaby Centre, SMHI 2007).

För att erhålla ett underlag för bedömningar av klimatförändringseffekter på vattentillgång, skadegörare, utlakning och kvalitet har vi först försökt utvärdera odlingsårssäsongens förändring i termer av tidpunkt för vårbruk, skörd och höstbruk för vår- respektive höstgröda, se vidare avsnittet för Vattentillgång.

Studien avser att göra förutsägelser vid givna förändringar i omgivningsfaktorer, dvs. klimatet. För detta behövs extrapoleringsmetoder som kan analysera effekterna av förändringar i klimatet. Vi har, så långt begränsningar i tillgänglig tid, kompetens och underlag tillåtit, försökt använda transparenta vetenskapligt testade metoder. Analoga modeller, där vi t.ex. antagit att Sverige kommer att erhålla samma produktion som områden som idag har ungefär det temperaturklimat som Sverige förväntas få enligt klimatscenerierna, har vissa uppenbara brister (såsom effekter av markförhållanden och daglängd) men är enkla att använda och transparenta och ibland effektiva modeller för integrerade fenomen. Empiriska modeller, där t.ex. trender och korrelationer mellan klimat och produktion extrapoleras, är ofta svåra att använda i jordbrukssystem bl a därför att systemet i hög grad också styrs av samhällsfaktorer. Dessutom har korrelationsmodeller en svag bas i generella vetenskapliga teorier om systemets funktioner, och tilliten till förutsägelsena har ett bristande vetenskapligt underlag. Metoden är dock transparent och

enkel, och ibland den enda möjliga, samt dessutom kan den ju ge den mest korrekta framtidsbilden. Den mest önskvärda metoden har varit matematiska modeller som representerar principiella funktioner för hur växtproduktionen påverkas av klimatet. Mekanistiska modeller har dock varit svåra att använda p g a att mycket information behövts för beräkningarna. Information har varit svårtillgänglig varvid förenklande antaganden behövt göras och därför har beräkningarna bara kunnat representera en mindre del av systemet. Dessutom saknas mekanistiska klimatdrivnamodeller för många delar av växtproduktionssystemet. I brist på möjligheter att använda ovanstående vetenskapliga extrapoleringsmetoder har dock flera bedömningar gjorts utan referens till metodik, där alltså bedömningarna är kopplad till expertens subjektiva extrapoleringsmodell. Denna modell är ej transparent och ej vetenskapligt testad mot observationer men kan likväl vara den som givit den mest realistiska bedömningen.

Speciellt att tänka på när du läser denna rapport:

Alla klimatscenarier avser medelvärden över en 30-års period, men av praktiska skäl uttrycker vi dem med enbart ett årtal och beteckningen ”~” som här alltså betyder att årtalet representerar medelförhållanden för 30 år kring detta år (med undantag för ~1998 som avser en 15-års period). Vi ber dessutom läsaren att hålla i minnet att alla redovisade resultat alltså är förutsägelser, som dessutom bygger på klimatscenarier som också är förutsägelser, och resultaten bör användas med detta i åtanke. Trots att alla beräkningar alltså i grunden är ytterst osäkra uttrycker vi oss oftast säkert, t ex. det blir så här och så här. Skälet till detta är att det blir onödigt tyngande att ständigt upprepa osäkerheten. Studien är ett tidsbegränsat utredningsuppdrag som utförts av vetenskapligt utbildade forskare. Och som sagt, bedömningarna kan i många fall ej betraktas vara strikt vetenskapliga eftersom vi avläst klimatförändringskartorna visuellt och oftast saknat väldokumenterade analysmetoder.

Referenser anges efter respektive avsnitt:

IPCC, 2000. Emissions Scenarios - Summary for Policymakers. A Special Report of IPCC Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK [ISBN 92-9169-113-5]; ca 20 pp. Available at: <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>

SCB (Statistiska Centralbyrån). Jordbruksstatistisk årsbok.

SMHI (2007) Rossby Centre klimatscenariokartor <http://www.smhi.se/sgn0106/leveranser/mallar.htm>

1. Markanvändning

Bakgrund

Faktorer som påverkar användningen av jordbruksmark

Den faktor som ytterst bestämmer bondens val av gröda och användning av jordbruksmark anses oftast vara ett önskemål om högsta möjliga lönsamhet för gårdens ekonomi. Detta innebär att bonden hela tiden försöker maximera vinsten, det vill säga skillnaden mellan intäkter från produktion av grödor och bidrag, å ena sidan, och kostnader för insatsmedel, skötsel mm, å den andra. Man kan tänka sig att också andra preferenser kan styra den enskilde bondens val av markanvändning, och i vissa fall beaktas t ex en viss benägenhet hos bonden att hålla sig till ettåriga grödor och en ovilja att t ex börja odla vedartade växter med en längre rotationsperiod. Speciellt kan detta tänkas bli fallet i händelse av att framtiden ter sig osäker. Vidare kan det finnas en viss tröghet i anpassningen till nya omständigheter, men antagandet om vinstmaximering är sannolikt en bra utgångspunkt för att beskriva genomsnittligt beteende på längre sikt.

Vinsten för olika typer av markanvändning, och därmed valet av markanvändning, bestäms alltså av intäkter från försäljning av produkter och eventuella bidrag och kostnader för produktionen.

De ekonomiska villkoren för markanvändningen styrs av både socioekonomiska och naturliga förutsättningar. Bland de naturliga förutsättningar ingår klimatet som kanske främst påverkar produktiviteten (vanligen skörden per hektar, men i princip avkastningen relaterat till också andra insatsmedel). Därmed påverkar klimatförutsättningarna åtgången av insatsmedel (bland annat mark) per producerad enhet och därmed produktionskostnaderna. Ett mer gynnsamt klimat leder därmed, allt annat oförändrat, till lägre produktionskostnader. För den enskilde lantbrukaren finns också en indirekt påverkan av klimatförändringar genom att priserna på produkter förändras till följd av förändrade produktionsvillkor för övriga lantbrukare som bjuder ut produkter på samma marknad. Allmänt kan de föreslagna klimatscenarierna karaktäriseras av en temperaturhöjning vilken kan förmodas ha en gynnsam effekt på produktiviteten eftersom vegetationsperioden i Sverige är starkt temperaturreglerad. Också den ökade koldioxidhalten i atmosfären förväntas ge en viss positiv effekt på produktiviteten. Effekterna av förändrade vatten- och näringstillgång är dock ej nödvändigtvis produktivitetshöjande.

Klimatförändringar kan också förmodas påverka jordbrukets produktionskostnader, till exempel genom ökade problem med skadegörare (vilket leder till sänkta skördar, ökade kostnader för bekämpning och/eller förändrade odlingsmetoder, t ex alternativa växtföljder). Förändrat klimat kan vidare medföra ett ökat behov av insatsmedel t ex genom ökat behov av gödning för att upprätthålla proteinhalter, och kostnader relaterade till negativa miljöeffekter såsom näringsutlakning.

Markanvändningen styrs till betydande del av bidragssystem. I dagsläget erhålls det arealstöd oavsett vad som odlas på marken. Summan är i många fall betydande i jämförelse med intäkter från försäljning av den skördade grödan i avsikt att styra markanvändningen bort från hög produktion av matråvara. På liknande sätt kan man tänka sig att även i framtiden kan politiska faktorer påverka markanvändningen i riktning mot alternativa målsättningar, såsom produktion av specificerade ekosystemtjänster.

Markegenskapernas effekter på markanvändning

Markens egenskaper påverkar dess produktivitet bland annat genom sin vattenhållande förmåga och som näringskälla och därmed gårdens produktionskostnader. Vid sjunkande produktpriser, exempelvis på spannmål, är det först och främst de lågproduktiva markerna, med stort behov av insatsmedel per producerad enhet, som ställs om till alternativ markanvändning. Sannolikt skulle minskad vattentillförsel och ökat vattenbehov vid en klimatförändring ge marker med en högre lerhalt en ekonomisk fördel relativt mer sandig mark. Även behovet av gödning kan tänkas öka mindre på en mark med god vattenhållande förmåga därför att den mikrobiella nedbrytningen av organiskt material ofta kan vara vattenbegränsad på sommaren. Marker med hög mullhalt har god näringsleveransförmåga, förutsatt att vattenförhållandena är relativt goda. De marginella arealerna för

jordbruksproduktion bestäms slutligen av möjligheterna för rationellt jordbruk (t ex arrondering etc. kan omöjliggör utnyttjande av stordriftsfördelar) och att kostnaderna för insatsmedlen blir högre än inkomsterna från produktionen.

Markanvändningens historiska utveckling

Den totala åkerarealen under perioden 1994-1999 uppgick i genomsnitt till 2,8 miljoner ha (SCB, 2000). Den största delen användes för vall- och stråsädesodling, medan grödor som potatis, sockerbeter, oljeväxter och baljväxter upptog en mindre del (Figur 1.1). Ca en tiondel av åkermarken var ej utnyttjad för produktion (uttagen träda eller outnyttjad åkermark).

Fördelningen av produktionsvärdet liknar i stort fördelningen av odlingsarealen och vall och stråsäd står för största delen av det totala produktionsvärdet, men högavkastande grödor som potatis och sockerbeter utgör också en betydande del trots att de odlas på relativt små arealer (Figur 1.2). Det totala värdet av vegetabilieproduktionen åren 1994-1999 uppgick till ca 14,2 miljarder kr/år (Tabell A1.1). Dessutom uppgick år 1999 växtodlingsrelaterade EU-stöd till totalt 5,4 miljarder kr. (3,4 miljarder kr i arealersättning och ersättning för uttagen areal samt 2 miljarder kr i miljöstöd) (SCB, 2000).

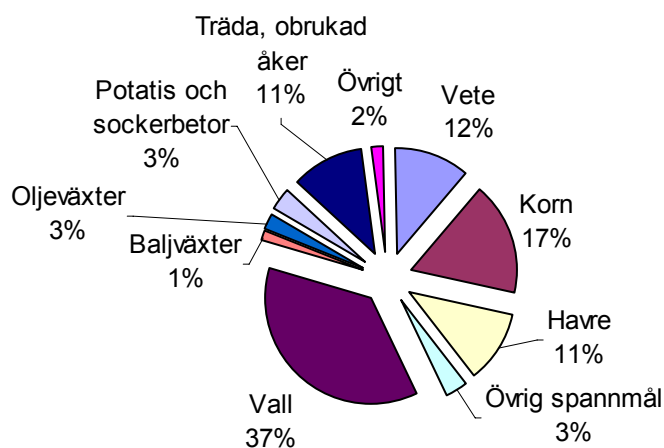


Fig. 1.1. Åkerarealens användning (genomsnitt åren 1994-1999). Total areal 2,8 miljoner ha. (SCB, 2000; Efter Sigvald m fl. 2001).

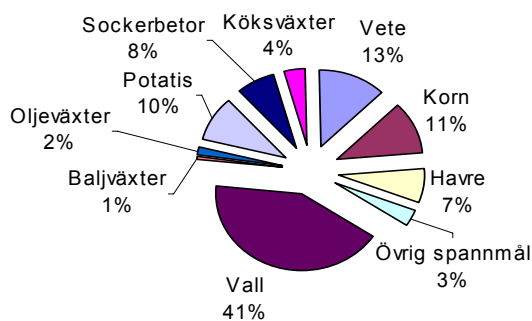


Fig. 1.2. Genomsnittligt värde av vegetabilieproduktionen åren 1994-1999. Totalt värde ca 14,2 miljarder kr. Data från Tabell A1.1. (Efter Sigvald m fl. 2001)

Variation i avkastning och användningen av åkermarken varierar från år till år beroende på prissättning och väderleksförhållanden. I slutet av 1900 minskade t ex arealen oljeväxter medan arealen baljväxter ökade. De senaste åren har dock arealen oljeväxter ökat med i storleksordningen 10 % och var år 2006 uppe i 90 tusen ha. Arealen korn i Sverige visar en neråtgående trend men är fortfarande större (ca 400 tusen ha) än arealen höstvetete som visar en uppåtgående trend, speciellt i södra Sverige (Fig. 1.3).

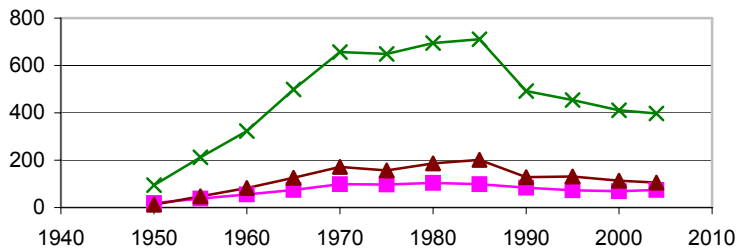
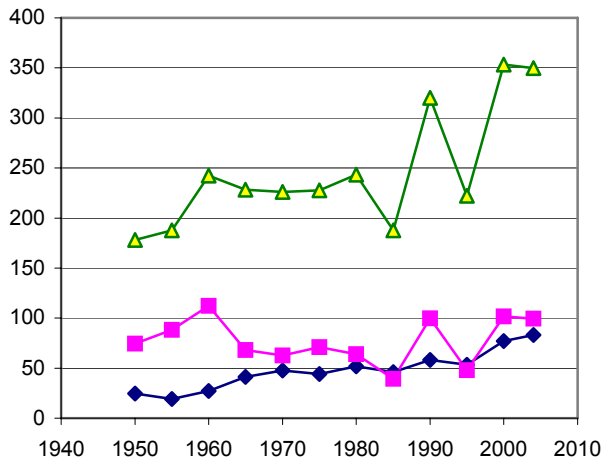


Fig. 1.3. Areal (1000 ha) för odling av vår- och höstkorn. Övre bilden: Höstvetete. Undre bilden: Vår- och höstkorn. Översta linjen = hela Sverige, näst översta = Svealands slättbygder och nedersta = Götalands södra slättbygder. (Stig Karlsson, SLU, Pers. komm.)

Fördelningen mellan grödor skiljer sig mellan olika delar av Sverige. Klimatet är en av flera faktorer som orsakar dessa skillnader. En annan faktor är skillnader i markegenskaper där t ex Svealands mer lerhaltiga jordar i medeltal blir mer lämplig för torkkänsliga grödor så som havre. Ytterligare en faktor är rollen en region spelar i den allmänna jordbruksproduktionen, såsom att det i Svealand till stor del odlas stråsäd som används till foder i animalieproduktion i sydligare delar av Sverige. Beroende på en kombinerad effekt av alla dessa faktorer är den allmänna bilden för slättbygdsområdena i Götaland och Svealand att en stor andel (knappt en tredjedel) av arealen används till vallodling, och en nästan lika stor del till vårkorn. I övrigt skiljer sig regionerna åt så att i Skåne odlas en stor andel höstvetete medan i Svealand denna andel är mindre till förmån för havre. I norra Sverige är vall den helt dominerande grödan och vårkorn den helt dominerande andra grödan (se Tabell 1.2).

På senare tid har andelen majs i dansk växtodling ökat stadigt. 1993 var arealen med fodermajs omkring 25 kha som ökade svagt och fördubblades till år 2000. Efter år 2000 har ökningen tagit fart på allvar och på fyra år ökat till ca 130 kha, dvs en ökningstakt på ca 25 kha per år. I Sverige är odlingsarealen för majs betydligt mindre och på 7 kha, år 2006, även om den relativa ökningstakten just nu är hög (ca 25% senaste året).

Konsekvenser av klimatförändringar

För att belysa effekterna av klimatförändringar på markanvändningen utgår vi från ett antal studier som gjort extrapoleringar m h a väldefinierade modeller som möjliggör en transparent analys av vilka antaganden som orsakat resultaten.

Produktionsområden vandrar norrut

Den enklaste metodiken att studera effekten av klimatet på markanvändningen är att anta att latitudinella skillnader i dagens markanvändning i Sverige beror på skillnader i temperaturklimat, och sedan antar vi att framtida klimatförändringar kan representeras av dagens regionala skillnader. I Sverige är det stor skillnad i temperaturklimat mellan sydliga och nordliga jordbruksområden (Clason & Granström, 1992). För att kunna bedöma betydelsen av dessa skillnader i termer av produktion antar vi att framtida produktivitet i nordliga (kalla) regioner kommer att bli i samma storleksordning som nutida produktivitet i de sydliga områdena Sigvald m fl. (2001). Tre produktionsområden har undersökts; Skåne, Mälardalen (Södermanland, Stockholm och Uppsala län) och Västerbotten (SCB, 2000; Fig. 1.4). Medeltemperaturen (1951-80) för de tre områdena var 7-8, 5-7 respektive 2-3°C (Clason & Granström, 1992).

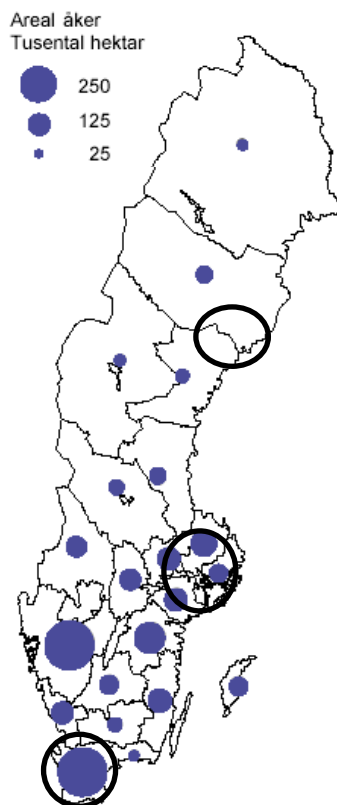


Fig. 1.4. Cirklar symboliserar ungefärligt tre produktionsområden för jordbruk i Sverige. Från norr till söder är dessa Västerbotten, Mälardalen och Skåne. Årsmedeltemperaturen (1951-80) var i storleksordningen 2-3 °C för Västerbotten, 5-7 °C för Mälardalen, och 7-8 °C för Skåne. Motsvarande värden för årsmedelnederbörden var i storleksordningen 700-800 mm, 600-700 mm respektive 700-800 mm och för vegetationsperioden 300-350, 400-450 respektive 500-550 mm (Clason & Granström, 1992). (Fyllda cirklar markerar åkerareal 2006 per län (källa SCB))

För att se effekten av val av gröda på den regionala produktionen studerades sex grödor (vall, höstvetete, vårkorn, havre, vårvetete och vårraps) som representerar olika odlingssystem och vanliga grödor. Värden på hektarskördar (normaliserade med avseende på mellanårsvariationer) och arealanvändning togs från den officiella jordbruksstatistiken år 2000 (SCB, 2000). Hektarskördarna var högre i sydligare regioner och högre för höstgrödor än vårgrödor (Tabell 1.1).

Tabell 1.1. Regionala hektarskördar (normaliserade med avseende på mellanårsvariationer) för 2000 och tre regioner (ton ha⁻¹). Data från Sigvald m fl. (2001)

	Vall	Höstvetete	Vårkorn	Havre	Vårvetete	Vårraps
Västerbotten	5.0	-	2.3	2.1	-	-
Mälardalen	7.5	6.0	4.4	3.9	4.4	1.5
Skåne	9.0	7.5	5.1	4.5	5.7	1.5

Den totala arealen för dessa sex grödor inom respektive region var drygt 300 tusen hektar i Skåne och 15 % mindre i Mälardalen. I Västerbotten var arealen endast ca 60 tusen hektar (Tabell 1.4). I Skåne var en knapp tredjedel av denna areal odlad med vall, en fjärdedel med höstvetete och en knapp tredjedel med vårkorn. För Mälardalen var mönstret lika förutom att endast en tiondel var odlad med höstvetete och istället utgjorde havre en knapp femtedel av arealen. I Västerbotten upptar vårkorn också ungefär en fjärdedel av arealen, men resten är i stort sett vall (Tabell 1.2).

Tabell 1.2. Relativ arealfördelning (%) mellan sex grödor inom respektive region år 2000 (SCB, 2000).

	Vall	Höstvetete	Vårkorn	Havre	Vårvetete	Vårraps
Västerbotten	75	-	23	2	-	-
Mälardalen	34	11	29	18	5	3
Skåne	33	25	30	4	6	2

I en framtida klimatförändring, här alltså representerad av att vi flyttar den sydliga regionerna norrut, ökar hektarskördarna för alla grödor och båda regionerna (Tabell 1.3). De relativa ökningarna blir väsentligt högre för Västerbotten än för Mälardalen och varierar mellan grödor.

Tabell 1.3. Relativa förändringar (%) i regionala hektarskördar vid en klimatförändring.

	Vall	Höstvetete	Vårkorn	Havre	Vårvetete	Vårraps
Västerbotten	+ 50	+	+ 95	+ 86	+	+
Mälardalen	+ 20	+ 25	+ 15	+ 15	+ 31	+ 3

Den sammanlagda regionala produktionsökningen för dessa sex grödor blir i Västerbotten över 50 % (Tabell 1.4) vilket motsvarar ungefär hektarskördeökningen för vall, eftersom vall upptar 75 % av arealen. Emellertid om Västerbotten skulle få samma arealfördelning mellan grödor som Mälardalen har idag skulle en stor del av den areal som idag odlas med vall istället odlas med främst höstvetete och havre och ökningen av den regionala produktionen skulle bli endast ca 25 % (Tabell 1.4). För Mälardalen skulle en motsvarande förändring av arealen (dvs Skånes arealfördelning) ge en betydligt mindre effekt och det motsatta resultatet. Havre skulle ersättas med höstvetete och den regionala produktionen skulle öka mer än om dagens markanvändning skulle bestå. För Skånes del krävs här en jämförelse med andra länder vilket skulle antyda ökad andel höstsådd (se Tabell 4.4).

Tabell 1.4. Total regional produktion för sex grödor under nuvarande klimat och relativa förändringen vid en klimatförändring, dels om arealfördelning mellan grödor skulle bestå, dels om den skulle ändras.

	År 2000		Ändring i regional skörd vid en klimatförändring	
	Total areal (10 ³ ha)	Total regional skörd (10 ³ ton/y)	Ingen ändring i areal fördelning	Areal fördelning enligt den sydligare regionen
Västerbotten	59	257	+ 56%	+ 26%
Mälardalen	280	1527	+ 19%	+ 27%
Skåne	307	2128		

Resultaten indikerar att valet av gröda på jordbruksmarken kan komma att ha lika stor betydelse för en regions samlade produktion som ändringar i hektarskördar p g a förändringar i temperaturklimatet.

Jordbrukets ekonomiska förutsättningar

Syftet med denna studie är att analysera två olika modelltillämpningar för att beräkna effekten av ett förändrat klimat på markanvändningen i Sverige, nämligen ACCELERATES (Audsley *et al*, 2006)(Abildtrup *et al*, 2006)(Rounsevell *et al*, 2006) och ATEAM (Rounsevell *et al*, 2005). Modelltillämpningarna har syftat på markanvändningen i Europa, och eftersom Sverige är en del av Europa finns resultat också för Sverige. Det bör dock redan här noteras att ATEAM:s modellering syftat till bedömningar på Europeanivå och att anknytningen till den rumsliga fördelningen av arealminskningar är oklart redovisad. De två tillämpningarna både liknar varandra och skiljer sig åt i struktur och principiella angreppssätt. Vi har valt att strukturera vår presentation efter den struktur vi själva finner mest logisk och beskriver för respektive del hur de två modelltillämpningarna behandlar dessa delar.

Markanvändningen bestäms ytterst av lönsamheten för olika markanvändningsalternativ. Lönsamheten, i sin tur, beror i mycket stor utsträckning på för jordbrukaren givna och opåverkbara förutsättningar. Lantbrukarens val av markanvändning görs alltså utifrån de givna socioekonomiska och naturliga förutsättningar som i stor utsträckning påverkar kostnader och intäkter för jordbruket. Markanvändningen klassificeras av val av gröda som bestäms av vilken gröda som är mest lönsam att odla i kombination med andra grödor. Vid för låg lönsamhet odlas ingen jordbruksgröda och marken används till något annat. Endast grödor för mat- och foderproduktion ingår i denna studie. För att bedöma lönsamheten måste intäkterna respektive kostnaderna för olika markanvändningsalternativ beräknas, och för detta måste utvecklingen av bland annat framtida priser, på såväl produkter som insatsvaror, och av produktiviteten bedömas.

Priser på produkter som insatsvaror bestäms av det samlade agerandet på marknaden för respektive produkt och av eventuella politiska regleringar. Det betyder att de priser som påverkar den enskilde svenske jordbrukarens markanvändning är ett resultat av utbud och efterfrågan på hela marknaden. Hur stor ”hela marknaden” är och i vilken mån förändringar i omvärlden påverkar de svenska priserna bestäms i huvudsak av politiska beslut om handelsregler. Allmänt kan de huvudsakliga drivkrafterna bakom framtida förändringar av markanvändning i Europa sammanfattas i termer av utbud och efterfrågan samt politiskt styrda drivkrafter, se tabell 1.5. Det bakomliggande antagandet kan uttryckas som att markanvändningen styrs av utbud och efterfrågan och de institutionella ramar som dessa verkar inom. Klimatförändringar kan tänkas påverka alla dessa faktorer, t ex hektarskördar (utbud), hektarskördar i andra länder än Sverige (utbud och efterfrågan), och att klimatförändringar ställer miljökrav på jordbruket (institutionella ramar).

Tabell 1.5. Drivkrafter bakom markanvändning. Viss omarbetning utifrån Rounsevell et al,(2005).

Politiska	Socioekonomiska	
	Efterfrågan	Utbud
Marknadsinterventioner	Befolkningsmängd	Priser på insatsvaror
Landsbygdsutveckling	Inkomstnivå (BNP)	(konkurrens om
Miljöpolitik	Konsumentpreferenser	resurser)
Marknadliberalisering	Tillgång till substitut	Klimatförändringar
(WTO)		Teknologi och
EU-utvidgning		management

Av tabell 1.5 framgår det att det är många andra faktorer än klimatförändringarna som påverkar framtida markanvändning. Klimatförändringarna kommer att ske i en framtid som också inbegriper stora samhällsförändringar och jordbrukets markanvändning kommer att påverkas av samtida effekter av både klimat och socioekonomiska förändringar. Dessutom beror dessa förändringar av varandra och t ex har expertpanelen bedömt att en hög och billig tillgång på insatsmedel inte är förenlig med en låg koldioxidemission och liten klimatförändring. Samtliga faktorer ovan beror alltså på samhällsutvecklingen i någon utsträckning. Exempelvis beror efterfrågan på spannmål på befolkningsmängden och därmed på befolkningstillväxten. Tillgång och pris på insatsmedel, t ex energi/drivmedel eller mark, beror på efterfrågan på dessa varor från övriga sektorer i samhället. Även denna efterfrågan beror i sin tur av samma socioekonomiska faktorer som ligger bakom efterfrågan på jordbruksprodukter. Klimatförändringarna har, för den enskilde bonden eller det enskilda landet, i princip två effekter. Dels påverkas de egna produktionskostnaderna och dels påverkas övriga producenters produktionskostnader vilket i sin tur påverkar utbudet och därmed priset på marknaden.

För att göra förutsägelser om framtida markanvändning måste någon form av uppskattning eller bedömning av ovanstående faktorer göras. Inte minst de politiska förändringarna är, särskilt på lång sikt, mycket svåra att förutsäga. Bakom båda modellernas bedömningar av hur ovanstående faktorer utvecklas ligger fyra olika övergripande framtidsbilder utifrån vilka man, med mer eller mindre säkra underlag, har gjort bedömningar av hur enskilda faktorer kommer att förändras.

Globala socioekonomiska förutsättningar

Framtida förutsättningar för arealanvändning påverkas av samhällsfaktorer som ej är direkt klimatrelaterade. Dessa beskrivs i specifika s.k. socioekonomiska scenarier, som ger olika ”basbeskrivningar” av möjliga riktningar för samhällsutvecklingen, utifrån vilka man sedan kan spekulera kring jordbruksrelevanta parametrars utveckling. De socioekonomiska faktorerna påverkar också utsläpp av CO₂ till atmosfären och andra klimatpåverkande gaser vilket betyder att framtida klimatförändringar beror av utvecklingen av de socioekonomiska faktorerna.

Förutsägelser om förändringar av socioekonomiska faktorer behövs alltså både för att förutsäga klimatförändringarna och dess påverkan på framtida svensk markanvändning och för att förutsäga hur det framtida jordbruket kommer att påverkas av klimatförändringar. Förändringar i de socioekonomiska förutsättningarna är svåra att förutse i ett längre perspektiv. Av det skälet har ett antal kontrasterande scenarier föreslagits som utgångspunkt. Man har tänkt sig alternativa utvecklingar i speciellt två dimensioner. I den ena dimensionen är samhälls övergripande mål en hög ekonomisk tillväxt (A) alternativt miljöanpassning och jämlikhet (B). Notera att alternativen definieras av vad som karakteriserar de övergripande och prioriterade målen och att respektive samhällsutveckling inte utesluter att andra mål, om än sannolikt i mindre omfattning, också realiseras. Exempelvis utesluter inte en samhällsutveckling inriktad mot miljöhänsyn och jämlikhet en ekonomisk tillväxt. I den andra dimensionen utvecklas världen mot mer ”globalisering” (1) där utbyten över gränser sker förhållandevis lätt och globala intressen blir ledande, alternativt mot mer ”regionalisering” där de enskilda regionerna själva definierar sina intressen och vad som ska prioriteras och där globala utbyten är underställda dessa intressen. Notera att regionerna är stora geografiska enheter (som Europa eller EU) snarare än mindre regioner inom ett land. De två dimensionerna kombineras så att fyra alternativ utvecklingslinjer definieras:

- A1: Tillväxtinriktad (A) och globaliserad (1) värld
 A2: Tillväxtinriktad (A) och regionaliserad (2) värld
 B1: Miljöinriktad (B) och globaliserad (1) värld
 B2: Miljöinriktad (B) och regionaliserad (2) värld

Med utgångspunkt från dessa, i sig tämligen ospecifika, beskrivningar måste scenarierna preciseras i en rad steg för att resultera i scenarier för hur olika drivkrafter förändras i framtiden. I tabell 1.6 redovisas möjliga tolkningar av scenarierna på global nivå i fem olika dimensioner enligt den tolkning som gjordes i ACCELERATAS (Abildtrup *et al.*, 2006).

Tabell 1.6. SRES-scenarierna och socioekonomiska dimensioner, antaganden på global nivå. (Abildtrup *et al.*, 2006; Tabell 1) (ACCELERATES)

Dimension	SRES-scenarie			
	A1FI/VM	A2/RE	B1/GS	B2/LS
Demografi	Låg befolkningstillväxt	Hög bef. tillväxt	Låg befolkningstillväxt	Måttlig bef.tillväxt
Ekonomisk tillväxt, nivå och fördelning	Mycket ekonomisk och konvergens	hög ekonomisk tillväxt och global	Ojämn ekonomisk tillväxt	Hög ekonomisk tillväxt och global konvergens
Nivå och inriktning på teknologisk utveckling	Hög innovationsnivå Omvandling mot tjänste-ekonomi	Långsam och fragmenterad teknologisk förändring, långsamt spridning	Ny teknologi främjar övergång till tjänste- och informations ekonomi	Långsammare och mer diversifierad teknologisk förändring än i A1 och B1
Styrelseskick	Marknadsorienterade lösningar och frihandel	Beslutsfattande decentraliserat	Globaliserat styrelseskick, starkt samarbete mellan regeringar, organisationer och affärsföretag.	Fokus på lokala lösningar och betoning på livsmedelssjälvförsörjning
Sociala och politiska mål/värden	Medvetenhet och betalningsvilja för livskvalitet ökar	Fokus på lokala miljöfrågor men svagare omsorg rörande globala miljöproblem	Stort engagemang för miljöfrågor och sociala frågor	Ökad allmän medvetenhet om, och fokus på, utbildning

Utifrån ovanstående generella karaktärisering av scenarierna tog man, inom ACCELERATES fram en lista på globala drivkrafter som beskrevs eller kvantifierades för respektive scenario.

Tabell 1.7. SRES-scenarierna och relativa globala drivkrafter 2020. (ACCELERATES)

Global drivkraft	Nuvarande situation	A1	A2	B1	B2
Befolkning	100	109.0	111.2	109.8	107.2
Årlig BNP-tillväxt	100	150	75	100	50
“Grön BNP”-avvikelse (ISEW) ^b	100	75	50	200	150
Social diskonteringsränta	Hög	Hög	Hög	Låg	Låg
Global styrning	Svag	Svag	Svag	Stark	Svag
Lokal styrning	Blandad	Svag	Stark	Blandad	Stark
Global marknadsmakt	Blandad	Stark	Svag	Stark	Svag
Lokal marknadsmakt	Stark	Svag	Stark	Svag	Stark
Miljöpolitikens påverkan	Låg	Låg	Låg	Hög	Hög
Utveckling av landsbygd	Låg	Låg	Låg	Blandad	Hög
Klimatkonvention	Ingen styrning	(svag) Utsläppshandel	Misslyckad styrning	Stark styrning	Svag styrning
Jämlikhet	Stabil	- Minskande	Minskande	Förbättrad	Förbättrad
Tillväxtsektorer	Hälsovård, fritid, Distribution	Hälsovård, fritid, Distribution	Privat hälsovård Underhåll Försvar	Förnybar energi Hushållstjänster, Information, Kärnkraft	Småskalig tillverkning och småskaligt jordbruk
Minskande sektorer	Tillverkning Jordbruk	Tillverkning Jordbruk	Högteknol. tjänster Finansiella tjänster	Fossilbränsle-baserade aktiviteter, intensivt jordbruk och tillverkning	Handel, fritid, turism

a BNP (bruttonationalprodukten) är ett lands samlade årliga förädlingsvärde och BNI (bruttonationalinkomsten) är BNP + nettovärdet av primära inkomster från utlandet. På global nivå måste summan av alla länders BNP alltid vara lika stor som summan av alla länders BNI (eftersom en positiv nettointkomst för ett land motsvaras av en negativ nettointkomst för ett annat land). På global nivå kan kvoten BNI/BNP därför aldrig avvika från 1 varför det är oklart hur de index som ACCELERATAS har använt definierats.

b ISEW: Index of Sustainable Economic Welfare. ISEW är ett matt där BNP justerats för bland annat ojämlik fördelning och miljöslitage. Det är oklart, men indexet förefaller syfta på reaktionen mellan ISEW och BNP.

Priser på produkter och insatsvaror

Det svenska jordbrukets förutsättningar påverkas naturligtvis av ovanstående globala drivkrafter. Men, för att kunna göra förutsägelser måste mer jordbruksnära drivkrafter preciseras. Inom ACCELERATES har detta gjorts med hjälp av expertpaneler som, utifrån ovanstående globala förändringar, har gjort tolkningar av hur dessa grundläggande drivkrafter påverkar de drivkrafter som mer direkt påverkar europeiskt jordbruk. Denna ”skalning” av drivkrafter har gjorts i ett par steg där första steget var att beskriva innebörden av respektive scenario på en mer jordbruksnära nivå. Detta möjliggjorde en identifiering av de drivkrafter som något mer direkt påverkar europeiskt jordbruk samt att bedöma hur viktiga respektive drivkraft är i respektive scenario. Bedömningen gjordes för 2020 och betydelsen av respektive drivkraft, relativt dagens, redovisas i tabell A1.2 (appendix).

I A1FI-scenariet (som i ACCELERATES också benämns WM, ”världsmarknad”) antas att alla stöd inom CAP minskar drastiskt vilket leder till minskning av jordbruk i marginalområden. Lägre livsmedelspriser leder till ökad press på jordbruket och förbättrad produktivitet. En snabb utvidgning av EU bidrar också till stora förändringar för EU:s jordbruk. I en värld som är inriktad på konsumtion och där handeln är liberaliserad kommer konkurrensen om resurserna att öka. Liberaliserade handelsregler leder till att påverkan från hela världens utbud och efterfrågan blir hög. Jordbruksproduktionen ökar och blir mer koncentrerad, industrialiserad och globalt inriktad och storleken på enheterna ökar till följd av stordriftsfördelar. Befolkningstillväxt och en ökad efterfrågan på kött påverkar efterfrågan på gräsmarker och beten. En viss ökning av bioenergi väntas samtidigt som ett antal andra energikällor också är tillgängliga.

I A2-scenariet (som i ACCELERATES också benämns RE, ”regionalt företagande”) kommer CAP att förbli som före ”mid-term” reformen. Liten inriktning på glesbygdsområden leder till minskat jordbruk i de flesta marginella områden. Självförsörjningsgraden för livsmedel kommer att öka något och att EU-utvidgning inte är så viktig leder till skydd mot konkurrens. Konkurrensen om resurser kommer att öka (något) till följd av liberalisering av ekonomiska aktiviteter och konsumtion. Betydelsen av WTO och världsmarknadens utbud och efterfrågan minskar. Jordbruket intensifieras (hög användning av pesticider och handelsgödsel) och produktiviteten ökar. Mängden tekniska innovationer blir dock lägre i en regionalt orienterad värld. Biobränslen ökar något.

I B1-scenariet (som i ACCELERATES också benämns GS, ”global uthållighet”) utvecklas CAP till landsbygdpolitik som syftar till att minska miljöproblem och sociala problem. Intensivare jordbruksmetoder utvecklas och tekniskt avancerat jordbruk leder till minskad användning av pesticider. Produktiviteten ökar och mark används för naturvårdsändamål. Krav på att nya medlemmar skall leva upp till höga miljökrav leder till en långsammare EU-utvidgning. Konkurrensen om resurser minskar genom ekonomiska incitament för minskad naturresursanvändning. WTO och internationellt utbud och efterfrågan blir viktigare. Ökad mängd bioenergigrödor.

I B2-scenariet (som i ACCELERATES också benämns LS, ”lokal uthållighet och självstyre”) ersätts CAP med lokal, heterogen, miljöpolitik med syfte att öka självförsörjningsgraden med traditionella jordbruksmetoder. Forskning och teknologisk utveckling leder till ökad produktivitet i ”låg-insats” jordbruk. Jordbruket är kraftigt subventionerat för att gynna lokal produktion på små enheter. Efterfrågan på kött minskar, EU utvidgas inte och jordbruket skyddas från konkurrens med handelshinder. Betydelsen av WTO och handelsliberaliseringar minskar. Konkurrensen om resurser minskar. Kraftig ökning av bioenergigrödor till lokal energiproduktion.

Tabell 1.8. Drivkrafter, med relativ betydelse över tiden, för europeisk jordbrukssektor, nuvarande situation och situationen 2020.

Drivkrafter för jordbrukssektor	Europeisk nuvarande situation	A1, 2020	A2, 2020	B1, 2020	B2, 2020
CAP “marknad”	100	52	90	74	85
CAP “landsbygdsutveckling”	100	58	106	100	163
Miljöpolitisk press	100	85	97	183	173
EU utvidgning	100	108	67	92	53
Resurs-konkurrens	100	161	123	92	52
Utbud och efterfrågan på världsmarknaden	100	172	106	121	79
WTO's betydelse	100	188	70	124	61

Enligt grundantagandet att markanvändningen bestäms av lönsamheten för olika markanvändning är priserna, på såväl produkter som insatsvaror, tillsammans med produktivitet och eventuella politiskt bestämda subventioner och/eller skatter avgörande för utvecklingen. Priser bestäms av det samlade utbudet och efterfrågan på den aktuella marknaden givet de institutionella ramar som denna marknad verkar inom. Generellt kan man alltså säga att den

enskilde jordbrukarens beslut påverkas av priser samtidigt som den samlade effekten av alla jordbrukares beslut påverkar priserna. På samma sätt påverkas konsumenternas val av livsmedel av deras priser samtidigt som summan av alla konsumenters val påverkar priserna. För att bedöma hur priser utvecklas över tiden behövs därför kunskap om hur såväl producenter som konsumenter reagerar på prisförändringar samt hur detta beteende förändras i framtiden. Ekonomiska modeller bygger i regel på antaganden om beteenden som grundas på historiska data och ju fler av denna typ av parametrar som ligger till grund för modellerna desto känsligare blir förutsägelseerna av framtida priser och markanvändning för osäkerheter i informationen. Av bl a det skälet sträcker sig prognoser för framtida produktion av, och priser på, jordbruksprodukter som OECD och FAO årligen publicerar (Agricultural Outlook), endast 10 år framåt i tiden. Detta är sannolikt anledningen till att vare sig ACCELERATES eller ATEAM har utgått från några ekonomiska modeller över den globala livsmedelsmarknaden.

I ACCELERATES-projektet har man, istället för att använda sig av en modell som genererar priser och produktionskvantiteter, låtit experter göra bedömningar av hur priser, och några andra parametrar, kommer att utvecklas till år 2020. Utifrån ovanstående beskrivning av utvecklingen under respektive scenario har man, i första steget, gjort en bedömning av i vilken riktning och i vilken storleksordning olika faktorer kommer att förändras (tabell A1.5).

Tabell 1.9. Socioekonomiska parametrar relevant för europeiskt jordbruk: Semikvantitativa bedömningar av specifika socioekonomiska parametrar som påverkar gårdens ekonomi samt beskrivning av huvudsakliga drivkrafter bakom dessa. +++ anger stark ökning och --- stark minskning. (Abildtrup et al., 2006; Tabell 6). (ACCELERATES)

A1	A2	B1	B2
++	+++	+	++
Låg bef. tillväxt Hög inkomst	Hög bef. tillväxt Låg ekon. tillväxt	Låg bef. tillväxt Måttlig ekon. tillväxt	Måttlig bef. tillväxt Måttlig ekon. tillväxt
++	+	+	-
Rik värld ökar efterfr. på lyx	Ökad efterfr. på lyx endast i i-världen	Rikare värld men uthålliga produkter föredras	Uthålliga produkter föredras
+++	+	++	+
Snabb utveckling och spridning av teknologi	Långsam utveckling och spridning av teknologi	Måttlig utveckling och spridning av teknologi	Långsam utveckling och spridning av teknologi
---	-	--	-
Avreglering	Produktsubv. och kvoter	Endast miljömotiverade subventioner	Frikopplade arealstöd och stöd till regionala grödor
--	0	++	+++
Nya energikällor, låga skatter	Ökad befolkning men låga skatter	Höga skatter på energi	Hög bef. tillväxt och låg energieffektivitet
+++	+	++	+
Hög ekonomisk tillväxt	Låg ekonomisk tillväxt	Hög ekonomisk tillväxt	Stor landsbygdsbefolkning
++	0	+++	+++
Marknadpriser	Utbudet subventionerat	Restriktioner på jordbrukets användning	Restriktioner på jordbrukets användning
---	--	-	0
Kraftigt minskade restriktioner på pesticidanvändning	Minskade restriktioner på pesticidanvändning	Ökade restriktioner på pesticidanvändning	Ökade restriktioner på pesticidanvändning, liten effekt av ny teknik
+++	++	++	+
Inga legala restriktioner. Konkurrens driver kostnadsbesparingar	Mindre utsatt för internationell konkurrens	Miljörestriktioner minskar incitament för ökad storlek	Restriktioner på storlek och incitament för småskaligt jordbruk

ACCELERATES har, för att bedöma framtida markanvändning, använt sig av en linjär programmeringsmodell, där enskilda jordbrukare antas maximera sina vinster givet priserna under respektive scenario. Ett problem med denna

metod är att det saknas en återkoppling från de samlade produktionsbesluten tillbaka till priserna. För att generera de priser som behövs i den linjära programmeringsmodellen lät man inom ACCELERATES ett antal experter göra bedömningar grundade på ovanstående beskrivningar av globala drivkrafter och jordbruksrelevant drivkrafter. Det skall alltså noteras att expertbedömningarna som ligger till grund för prisuppskattningarna 2020 inte är transparenta och det är oklart hur bedömningarna beror på val av experter. Bedömningarna för priserna år 2050 och 2080 bygger dessutom på det enkla antagandet att alla förändringar fortsätter linjärt. Detta antagande är troligen gjort i brist på andra teorier vilket innebär att förutsägelserna för 2050 och 2080 sannolikt bör betraktas som en förstärkt signal av den uppskattade utveckling fram till 2020. Bedömningar och extrapoleringar av priser enligt ACCELERATES redovisas i Tabell A1.2 och bör alltså tolkas med stor försiktighet. Notera alltså att parametervärdena *inte* har skattats med hjälp av några modeller och att man noterade att det var svårt att göra konsistenta bedömningar av priserna via expertbedömningar.

I grova termer bedöms priser på insatsmedel öka pga miljörestriktioner i miljöscenarierna. Priserna på arbete är mer lika mellan scenarierna, men med en tendens att öka långsammare i de regionala scenarierna. Avsalupriser på grödor sjunker i främst tillväxtscenarierna (A1 och A2), och inkomsterna genom bidrag försvinner i A1 och vad avser matproduktion i B1. Köttpriserna förändras på liknande sätt som matpriserna, men allmänt mindre. Mjölken blir påtagligt billigare i A1 och dyrare i B2 än i dagsläget. Kostnaderna för, och användningsrestriktionerna mot, bekämpningsmedel ökar kraftigt i miljöscenarierna, medan priset på vatten ökar kraftigt i alla scenarier (Tabell A1.2).

I ATEAM modellen finns inte priser explicit med som en drivkraft utan istället definieras ett antal nyttofunktioner som antas styra efterfrågan och därmed markanvändningen. De bakomliggande antagandena går inte att tolka men modellens utformning implicerar ett antagande om att den givna (alltså prisoberoende) kvantitet som konsumeras i framtiden också kommer att produceras (oberoende av priser). Det som i modellen kallas för efterfrågan skall alltså snarare tolkas som konsumerad kvantitet. ATEAM-skattningarna har gjorts för regionen EU15 plus Norge och Schweiz (EU15+2). Den relativa konsumerade kvantiteten ("efterfrågan"), jämfört med dagens (2000) hämtades från en beräkning med IMAGE-modellen där såväl inhemsk europeisk efterfrågan som efterfrågan från övriga världen beaktats. I tabell 1.10 redovisas den framtida konsumtionen relativt dagens för "åkermarksprodukter" respektive "gräsmarksprodukter". Efterfrågan på "åkermarksprodukter" ökar mest i A1FI-scenariet till följd av antagandet att export är viktigare i en "ekonomiskt inriktad globaliserad" värld och minst i B2-scenariet eftersom export antagits vara mindre viktig. Efterfrågan på gräsmarksrelaterade produkter antas minska till följd av antagandet att konsumenterna i allt större utsträckning kommer att föredra gris och kyckling till förmån för nöt och får. Minskningen i den efterfrågan är minst i A1FI-scenariet eftersom detta scenario antar en rikare värld med en högre efterfrågan än 2000.

Tabell 1.10. Konsumtion/efterfrågan på jordbruksprodukter relativt år 2000, baserad på IMAGE-modellen. Källa (Rounsevell et al, 2005). (ATEAM)

Scenario	"Åkermarksprodukter"			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	1.25	1.51	1.46	0.85	0.87	0.85
A2	1.14	1.31	1.38	0.91	0.67	0.64
B1	1.18	1.39	1.29	0.91	0.67	0.64
B2	1.06	1.09	1.07	0.91	0.67	0.64

I ATEAM antar man alltså att den kvantitet som konsumeras (och eventuellt exporteras) kommer att produceras. Utöver att producera för konsumtion är det möjligt att en viss överproduktion upprätthålls med hjälp av jordbrukspolitik. I ATEAM har man antagit att det i framtiden eventuellt, beroende på scenario, kommer att ske en viss överproduktion. I samtliga fall, förutom de ekonomiskt inriktade scenariernas (A-scenariernas) åkermarksprodukter, har man antagit att en överproduktion på cirka 10 % kvarstår också i framtiden. Det betyder att överproduktionen, relativt dagens överproduktion, av "åkermarksprodukter" för A-scenarierna blir cirka 0.9¹ och för

¹ Mer exakt borde den relativa överproduktionen vara 0,91 (=1/1,1).

B-scenarierna 1.0 (dvs en fortsatt överproduktion med 10 %; tabell 1.11). Detta betyder att det i A-scenarierna i framtiden *inte* sker någon överproduktion, byggt på antagandet att de ”ekonomiskt inriktade” scenarierna medför en marknadsanpassning av jordbruket som leder till en balansering av utbud och efterfrågan.

För B2-scenariot (samt för gräsmarker i B1-scenariot) har man antagit att man inte kommer att acceptera någon minskning av jordbruksarealen i framtiden. Detta innebär att modellen i princip skulle kunna användas för att beräkna antingen ett framtida värde på överproduktionsfaktorn, alltså vilken relativ överproduktion som måste accepteras, eller för att beräkna vilken minskning i produktivitet, genom extensivering, som krävs för att nå målet om bibehållen areal.

Tabell 1.11. Antagen relativ förändring i överproduktion av jordbruksprodukter Källa (Rounsevell et al, 2005). (ATEAM)

Scenario	”Åkermarksprodukter”			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00
A2	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00
B1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Sammanfattningsvis skulle man kunna tolka ATEAM-modellen så att det inte finns några priser som jordbrukarna anpassar sig till utan att man istället tänker sig en anpassning till den kvantitet som konsumeras (inhemskt och via export) och som ”efterfrågas” som överproduktion via jordbrukspolitiken.

Produktivitet

Som ovan nämnts är det inte bara priser som påverkar den enskildes beslut om markanvändning utan också produktiviteten hos marken och andra resurser. Högre produktivitet innebär möjlighet att minska resursåtgången per producerad enhet vilket också innebär att kostnaderna per producerad enhet, allt annat lika, kan bli lägre vilket stärker gårdens konkurrenskraft. Bedömningar av produktivitetens utvecklingen är därför central för att bedöma framtida markanvändning. Det är främst tre faktorer som antas bestämma produktivitetens utvecklingen; teknisk utveckling, ökad koldioxidkoncentration i atmosfären samt klimatförändring. För att bedöma de framtida utvecklingarna av dessa faktorer behövs det extrapoleringsmetoder. För att bedöma koldioxid och klimateffekter finns det grundläggande naturvetenskapliga teorier att utgå från, medan för den tekniska utvecklingen blir mer spekulativa resonemang basen för extrapoleringar. Även om koldioxid- och klimateffekter kan bedömas utifrån naturvetenskaplig teorier så behövs det i praktiken så mycket data att beräkningarna blir komplicerade och risken är stor att resultaten blir osäkra. Av bl a det skälet skiljer sig metoder åt och ATEAM använder en mer statistisk ansats och ACCELERATES en mer mekanistisk ansats.

Teknikutveckling

Produktiviteten kan påverkas kraftigt av den tekniska utvecklingen. I ATEAM modellen antas den i medeltal årliga produktivitetens ökning (kg/ha/år) från 1960 till 2000 bestå under 2000-talet. Detta innebär att åkermarksprodukter i A1-scenariet får en 134 % ökning av produktiviteten fram till år 2080. De andra scenarierna får en lägre ökning; 116 % för A2, 86 % för B1 och bara 27 % för B2. Det är emellertid oklart hur de andra scenariernas avvikelse neråt från A1 har beräknats. För ”gräsmarksprodukter” är produktivitetens ökningarna betydligt mindre; 50, 43, 32 respektive 10 % till 2080 (0).

Tabell 1.12. Antagen relativ produktivitet till följd av förändringar i teknologi och management i ATEAM. Källa (Rounsevell et al, 2005). (ATEAM)

Scenario	”Åkermarksprodukter”			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	1.37	1.87	2.34	1.14	1.32	1.50
A2	1.36	1.81	2.16	1.14	1.30	1.43
B1	1.29	1.62	1.86	1.11	1.23	1.32
B2	1.19	1.27	1.27	1.07	1.20	1.10

I tabell 1.13 redovisas en jämförelse mellan antagandena i ACCELERATES och ATEAMs antagande för åkermarksprodukter. Den största skillnaden är att ACCELERATES antar en betydligt högre produktivitetsökning till följd av teknikutvecklingen än ATEAM. Fram till 2080 blir skillnaden mycket påtaglig (268 % ökning i ACCELERATES jämfört med 134 % i ATEAM). De andra scenarierna visar liknande öknings för respektive modell.

Tabell 1.13. Jämförelse mellan prognoser för produktivitet utveckling mellan ATEAM och ACCELERATES.

Relativ produktivitet till följd av teknologisk utveckling	Nu	2020				2050				2080			
		A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
ACCELERATES	100	167	131	130	104	268	177	176	109	368	223	221	115
ATEAM (åkermarksprod.)	100	137	136	129	119	187	181	162	127	234	216	186	127

Det är rimligt att tro att potentialen i produktivitetsökning via teknikutveckling kan bero på klimatet. Exempelvis har produktivitetsökningen från 1960 till 2000 varit betydligt lägre i torra sydliga länder i Europa, såsom Spanien, än i mer nordliga länder såsom Nederländerna. Det framgår inte att någon sådan bedömning är beaktad i någon av modellerna. Det bör slutligen noteras att teknologiförändringar är okända och att förutsägelseerna är mycket osäkra men att de har potentiellt mycket stor påverkan på bedömningar av framtida markanvändning.

Koldioxid effekter

Produktiviteten påverkas också av CO₂-koncentration i atmosfären och därmed påverkas produktiviteten olika eftersom de olika scenarierna innebär olika socioekonomiska utvecklingar vilka leder till olika CO₂ halter i atmosfären och därmed till olika CO₂-effekter på grödors tillväxt. Största atmosfäriska CO₂ koncentrationen kommer att uppnås i A1, därefter A2, sedan B2 och lägst i B1. I ATEAM bedöms ökad CO₂-koncentration öka produktiviteten med 32, 27, 11 respektive 15 % till år 2080 för A1, A2, B1 respektive B2 till 2080 (0).

Tabell 1.14. Antagen relativ produktivitet till följd av förändringar i CO₂-koncentration enligt ATEAM. Källa (Rounsevell et al, 2005).

Scenario	”Åkermarksprodukter”			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	1.04	1.16	1.32	1.04	1.16	1.32
A2	1.04	1.13	1.27	1.04	1.13	1.27
B1	1.04	1.09	1.11	1.04	1.09	1.11
B2	1.04	1.11	1.15	1.04	1.11	1.15

ACCELERATES redovisar ingen bedömning av hur ändrad CO₂-halt påverkar produktiviteten.

Klimatförändring

Klimatförändringarna innebär såväl ändrade temperatur- som nederbördsförhållanden. Såväl årsmedelvärden som variationer inom året (månader) ändras.

I ATEAM beräknas effekterna av klimatförändringsscenarierna på produktiviteten indirekt via effekten på naturlig vegetation. Europa har delats upp i vegetationszoner utifrån omgivningsparametrar. Modellen härleder ett statistiskt samband mellan skördenivåer för jordbruksgrödor (SCB för Sverige och databasen NUTS2 för Europa; Ewert et al., 2005) å ena sidan och vegetationszoner å den andra. Detta förhållande härleds för "dagens förhållanden" (dvs 1990) och antas sedan bestå vid ett förändrat klimat. Detta påminner om extrapoleringen av de regionala skillnaderna som beskrevs i ovanstående stycke, men är en betydligt mer sofistikerad metod där vegetationszonerna m h a en statistisk modell (PCA modell) beräknas som funktion av 14 variabler inom kategorierna klimat, mark, latitud, höjd över havet och markens lutning ("Environmental stratification"; Metzger, 2005). Klimatförändringsscenarierna resulterar i nya klimatdata som indata till PCA-modellen och nya "Environmental zones" beräknas. ATEAM metoden inkluderar förändringar i hela odlingssystem och dess effekter på produktivitet, men extrapoleringarna baserar sig på ett statistiskt skapat matematiska samband vars relation till odlingssystemets biogeofysikaliska och -kemiska funktioner är oklara. Att dessa samband rimligen gäller under förändrade klimatiska förhållanden är ett antagande som ej är vederlagt teoretiskt (per definition är det ju inte vederlagt empiriskt, eftersom framtiden ännu inte inträffat).

ATEAM beräkningarna visar på en mycket liten effekt av klimatförändringarna på Europas genomsnittliga produktivitet fram till 2080 för samtliga scenarier. För åkermarksprodukter pekar scenarierna på en viss minskning (på mellan 7 och 3 %) och för gräsmarksprodukter en viss ökning (på mellan 6 och 11 %), se tabell 1.15. Inom dessa genomsnittliga förändringar kan stora regionala skillnader rymmas. Vissa publicerade kartor visar just på sådana stora skillnader inom Europa, men några sammanställda resultat redovisas inte.

Tabell 1.15. Antagen relativ produktivitet genomsnittligt i Europa till följd av klimatförändringar, enligt ATEAM. Källa (Rounsevell et al, 2005).

Scenario	"Åkermarksprodukter"			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	0.99	0.92	0.93	0.95	0.91	1.09
A2	1.01	0.97	0.95	1.01	1.00	1.06
B1	1.01	0.98	0.97	1.03	1.05	1.11
B2	1.01	0.98	0.97	1.03	1.03	1.08

I ACCELERATES markanvändningsmodell bedöms effekterna av en klimatförändring huvudsakligen utifrån biogeofysikaliska funktioner hos växtodlingssystemet och speciellt förändringar i vattenförhållanden. Hur produktiviteten förändras med variationer i vattenförhållanden och temperatur beräknas med en tillväxtmodell (ROIMPEL) som beräknar grödans fenologiska utveckling, vattenomsättning och tillväxt. Detta innebär att markstruktur och väder är indata till modellen. En fördel med denna modell är att den ger mer transparenta och begripliga resultat utifrån en förståelse av systemets naturliga funktioner. En annan fördel är att systemets funktioner är formulerade på ett sätt som vetenskapen tror ska fortsätta vara giltig vid en klimatförändring. En nackdel är att resultaten bara gäller för en begränsad del av all odling därför att de antaganden som förts in i modellen inte är fullständigt uppfyllda i den praktiska växtodlingen. Det finns också risk att relativt små men många osäkerheter i indata till modellen kan ge stora osäkerheter i de simulerade resultaten. Den stora mängden indata, t ex markparametrar, minskar metodens transparens. I tabell 1.16 redovisas de procentuella förändringarna av skördarna per hektar för de länder som får den minsta ökningen (alternativt största minskningen) samt för de länder som får den största ökningen av avkastningen.

Tabell 1.16. % Ändring av hektarskördar i Europa till 2050 (ej nya grödor för en region; ACCELERATES)

Europa	Höstvete	Vårvete	Majs	Potatis	Vall				
Min	-4, +10	Öst., Port, It, Irl.	-1, +6	Öst., Irl.	-15, -10	Grekl, Port	+30	-6, +4-8	Öst, Irl,Lux,N L
Max	+25	Grek.	+70, +40	Fin, Skot, Grekl	+40	Tyskl.	+55	+35, +30	Finl, Sver

Södra Finland kommer att få ganska lika relativa skördeökningar som södra Sverige eller kanske rentav högre. Både majs (9 t/ha) och solros (4t/ha) blir nya grödor. Norra Finland bedöms få stora skördeökningar och speciellt höga skördar av höstvete (12 t/ha) och vårvete (9 t/ha) som blir nya grödor, liksom bomull (0.2 t/ha). Norra Finland kommer att få den största relativa skördeökningen för vall (45 %) i Europa (norra Sverige finns inte analyserad). Att norra Finland får mycket högre skördeökningar än Sverige förklaras med att Finland får betydligt varmare somrar. En egen reflektion är att de höga höstveteskördarna i stor utsträckning bör bero på milda vintrar. Danmark får skördenivåer som liknar södra Sverige, något mindre kanske.

Den övervägande bilden för Europa är ökande skördar. De relativa skördeökningarna varierar ofta mer inom nationer än mellan nationer. Ingen omedelbar enkel geografisk bild syns. För vete uppstår det minskningar i Österrike, och lägsta ökning i Portugal och Italien, men bland de högsta ökningarna i Grekland, och främst i norra Finland och centrala Sverige. Majsen uppvisar de största minskningarna av alla grödor och då främst i Grekland och Portugal, och ökar mest i Tyskland. Potatis ökar ganska jämt i hela Europa. Vall, som i stor utsträckning avspeglar förändringar i vattentillgången minskar i Österrike, ökar svagast i Irland, Luxemburg och Nederländerna och ökar mest i Finland och Sverige.

I Sverige kommer hektarskördarna att, till 2050, öka för alla grödor. Störst effekt på avkastningen per hektar har A1FI-scenariet medan de övriga scenarierna har något lägre men likartade effekter på avkastningen. För A2-scenariet kommer den relativa ökningen att bli större i mellersta Sverige (från 20 % för vårkorn till 58 % för potatis) än i södra Sverige (från 17 % för vårkorn till 70 % för höstraps). Södra Sverige kommer erhalla majs som ny gröda med en skörd på 11 ton/ha, och solros (3 t/ha). Mellersta Sverige kommer att få höstraps som ny gröda med en skörd på 3.5 ton/ha. Sojabönor och bomull bedöms inte kunna odlas i Sverige.

Tabell 1.17. % Ändring av hektarskördar i Sverige mellan 2000 och 2050 i A2-scenariet med klimatmodellen HadCM3 (ACCELERATES)

Region	Höstvete	Vårvete	Majs	Höstraps	Potatis	Solros	Höstkor	Vårkorn	Vall
Södra	20	20	11 t/ha	70	40	4 t/ha	30	15	20
Mellerst	60*	15*	-	3.5 t/ha	60	-	40	20	35

a

*=jämfört med SCB:s normskörd

Sammanfattningsvis kan det konstateras att ATEAM utgår från att klimatförändringarna får såväl positiva som negativa effekter på produktiviteten men att den genomsnittliga effekten för hela Europa blir försumbar. ACCELERATES, å andra sidan, förutspår att klimatförändringarna, bara med några få spridda undantag, ger positiva effekter på produktiviteten i hela Europa.

Markanvändning för Europa som en region

ATEAM modellerar markanvändningen med huvudsakligt syfte på europainivå. Man utgår vad avser delar av modellen från områden inom Europa men det är oklart hur dynamiken mellan dessa områden är representerad. ACCELERATES, å andra sidan, modellerar markanvändningen utgående från den enskilda gårdens lönsamhet och

konkurrensen mellan områden i Europa, och syftar inte direkt till att erhålla resultat för Europa som en region. I detta avsnitt redovisas därför endast resultat från ATEAM.

ATEAM

ATEAM modellen tar sin utgångspunkt på europainivå och betraktar i ett första steg åkerarealen i Europa som en enhet. Arealen används till odling av grödor för att möta konsumtionen. Konsumtionen av en viss grödkategori bestäms av antalet konsumenter multiplicerat med den årliga konsumtionen av respektive produktkategori. Man skiljer på produkter från åker (eng. crop) och från gräsmark (eng. grassland). Konsumenterna kan vara såväl invånare i Europa som utanför Europa, beroende på socioekonomiska antaganden om internationell handel.

Modellen är uppbyggd utifrån antagandet att

$$\text{Produktion (kg/år)} = \text{Konsumtion (kg/år)} * \text{Överskottfaktor (-)}$$

där konsumtionen alltså är beräknad med en annan modell (se ovan). Överskottsfaktorn representerar den överproduktion, relativt konsumtionen, som kan åstadkommas med politisk styrning och bestäms utifrån antaganden under respektive socioekonomiskt scenarium (se ovan). Arealbehovet för att åstadkomma denna produktion bestäms av produktiviteten (som också den bestäms med en annan modell, se ovan) enligt:

$$\text{Areal (ha)} * \text{Produktivitet (kg/ha/år)} = \text{Konsumtion (kg/år)} * \text{Överskottfaktor (-)}$$

Detta innebär att arealåtgången kan beräknas som

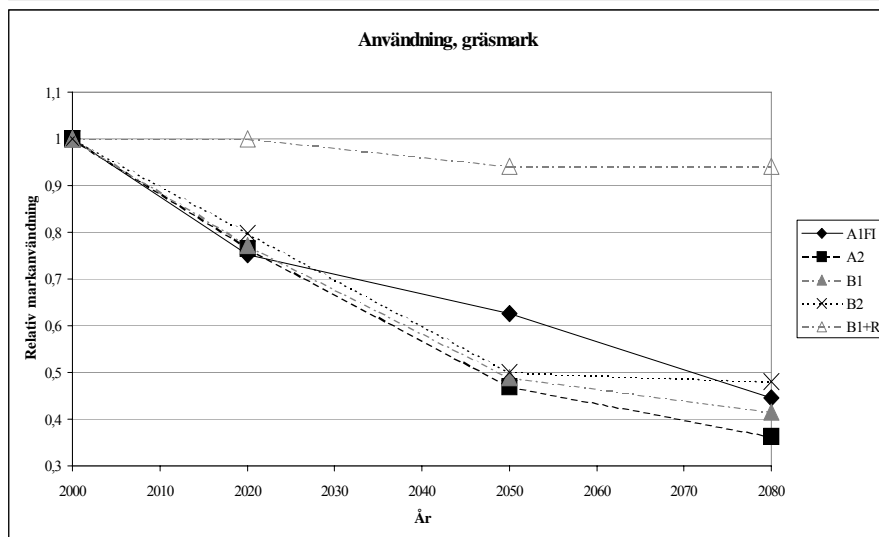
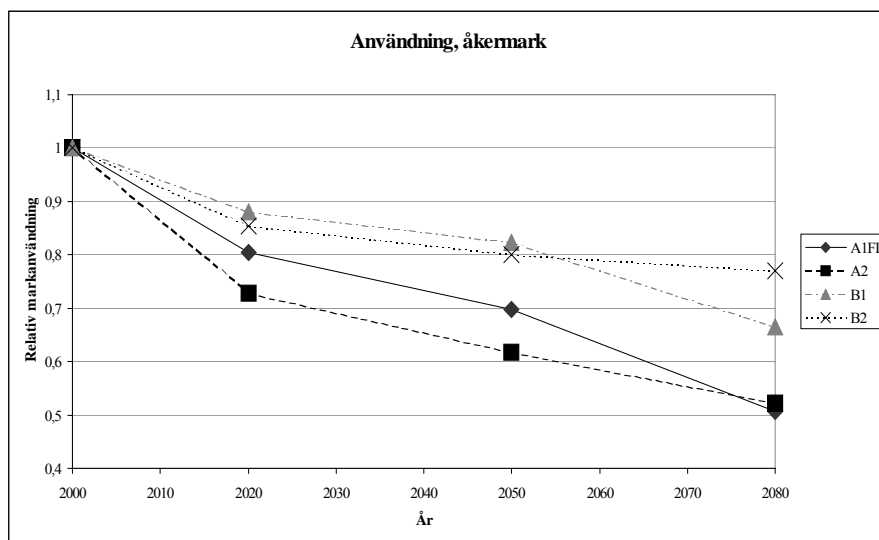
$$\text{Areal (ha)} = [\text{Konsumtion (kg/år)} * \text{Överskottfaktor (-)}] / \text{Produktivitet (kg/ha/år)}$$

Konsumtion påverkas bland annat av befolkningstillväxt men också av befolkningens inkomstnivå, som påverkar konsumentens val mellan olika typer av produkter. Exempelvis ökar efterfrågan på åkermarksprodukter (fläsk och kyckling) relativt gräsmarksprodukter (nötkött) när inkomstnivån stiger. Konsumtionen inom specifika regioner påverkas också av antaganden om omfattningen av världshandeln.

Efter att beräknat/uppskattat förändringarna i konsumtion och produktivitet (se nedan) och gjort antaganden om eventuell överproduktion har förändringarna i den totala arealen för respektive grödkategori beräknats för de olika socioekonomiska scenarierna för åkermarksprodukter. Resultatet från modellberäkningarna visar att det totala behovet av åkerareal inom EU15+2 minskar successivt och fram till 2080 behövs 50 % mindre areal för matgrödor och 30 % mindre areal för fodergrödor för A2. I stort sett är bilden densamma för B2. I tabell 1.18 och Fig. 1.5 redovisas resultaten översiktligt och mer i detalj i tabellerna A1.3 och A1.4.

Tabell 1.18. Arealanvändning för åkermarksprodukter (och gräsmarksprodukter) 2080 relativt 2000 av åker respektive gräsmark i Europa beräknad med ATEAM modellen (relativ faktor, år 2000 = 1.00)

Komponent	i A1	A2	B1	B2
massbalans				
Konsumtion	1.46 (0.85)	1.38 (0.64)	1.29 (0.64)	1.07 (0.64)
Produktivitet				
Teknik	2.34 (1.50)	2.16 (1.43)	1.86 (1.32)	1.27 (1.10)
Koldioxid	1.32 (1.32)	1.27 (1.27)	1.11 (1.11)	1.15 (1.15)
Klimat	0.93 (1.09)	0.95 (1.06)	0.97 (1.11)	0.97 (1.08)
Överproduktion	0.9 (1.0)	0.9 (1.0)	1.0 (1.0)	1.0 (1.0)
Areal	0.53 (0.49)	0.55 (0.42)	0.70 (0.94)	0.72 (0.62)



Figur 1.5. ATEAM modellens beräkning av framtida relativ markanvändning (-) för åkermark (överst) och gräsmark (nederst). Resultaten för B1-scenariet avviker från det som redovisas i Rounsvell et al. (2005), där det i "B1+R" inte tillåts någon minskning av arealen.

Markanvändning i enskilda länder

De två modellerna beräknar markanvändningen på nationell eller regional nivå på olika sätt. I ATEAM finns i princip ingen fördelning inom modellen vilket betyder att den spatiala fördelningen av areal har gjorts enligt en särskild procedur efter det att arealbehovet för hela Europa har beräknats med modellen. ACCELERATES, däremot, modellerar direkt markanvändningen på regional nivå.

ATEAM

Tillgång-Efterfrågan modellen beräknar den totala jordbruksarealen för Europa. Denna ska sedan fördelas på olika delar av Europa. Europa delas in i så kallade ATEAM-celler som är 10 X 10 latitudminuter stora (dvs ca 20 km i nord-sydlig riktning). Nuvarande fördelning av jordbruksmark är utgångspunkten liksom indelningen av denna i "Less Favoured Areas" (LFA) och ej LFA, enligt CAP. Dessutom beaktas skyddsområden speciellt, och markanvändningen inom dessa områden får inte ändras under något av scenarierna. I övrigt gäller utgångspunkter och fördelningsregler enligt tabell 1.19.

Tabell 1.19. Spatiala fördelningsregler för respektive scenario, ATEAM.

	A1	A2	B1	B2
Bakomliggande antagande om lokalisering	Produktionen om lokaliserar optimala produktions områden	Viss grad av regional protektionism till	Bevara miljövänliga marker och optimera övrigt	Ingen arealminskning tillåts.
Fördelningsnyckel för att prognostisera förändring av jordbruksmark inom Europa (som delas upp i sk ATEAM-celler)	CAP definierar "Less Favoured Areas" (LFA). Nedskärningar sker först av LFA.	Relativa förändringar av Europas totala jordbruksareal tillämpades lika för alla ATEAM-celler.	Gräsmarker tillåts ej förändras ¹ . Åkermark minskar först på LFA.	Inga förändringar att fördela

¹ Detta betyder att man har tillåtit överproduktion från gräsmarker och att man frångått de parametervärden för relativ överproduktion som redovisats. Någon redovisning av vad det nya antagandet, om oförändrad areal, innebär i form av överproduktion görs dock inte. Utifrån modellen kan man dock beräkna den relativa överproduktionen till 1,3 (2020), (2050) samt 2,4 (2080). Notera att detta är framtida överproduktion relativt basårets (10 %). Det innebär att produktionen måste vara 40 % ($1,3 * 1,1 = 1,4$), 130 %, respektive 160 % högre än konsumtionen för att gräsmarksarealen skall bevaras oförändrad.

Konsekvensen av arealfördelningskriterierna i tabell 1.19 är att Sveriges relativa minskning av åkermark är större än för Europa som helhet. För gräsmarker är minskningen ungefär lika stor som för Europa som helhet, eller något mindre, se tabell 1.20.

Tabell 1.20. Effekter på åkermarksanvändning 2080, för Sverige, Europa samt några utvalda exempel. Den relativa markanvändningen redovisas som procent av dagens landareal. Det är oklart vad siffrorna för Europa+ hänvisar till. (ATEAM)

	2000	A1FI		A2		B1		B2	
	% av	% av		% av		% av		% av	
	areal	areal	relativ	areal	relativ	areal	relativ	areal	relativ
Sverige	8.99	4.23	47%	4.71	52%	5.37	60%	6.05	67%
Europa+	23.02	12.27	53%	12.66	55%	16.01	70%	16.65	72%
Jämförelse-exempel									
Störst minskning		Span.	26%	Alla	52	- Finl.	41%	Irl.	60%
		Lux.	26%		55%	Lux.	45%		
		Grek.	32%			Port.	46%		
		Finl.	33%			Irl.	47%		
Minst minskning		Dan.	83%			Dan.	92%	Ital.	79%
		NL	83%			NL	90%		
		Belg.	80%			UK	90%		
		UK	79%			Belg.	88%		

Tabell 1.21. Effekter på svensk gräsmarksanvändning 2080, för Sverige, Europa samt några utvalda exempel. Den relativa markanvändningen redovisas som procent av dagens. Det är oklart vad siffrorna för Europa+ hänvisar till. (ATEAM)

	2000	A1FI		A2		B1		B2	
	% av	% av		% av		% av		% av	
	land	areal	relativ	areal	relativ	areal	relativ	areal	relativ
	areal								
Sverige	17.51	7.47	43%	7.68	44%	17.50	100%	12.65	72%
Europa+	17.23	8.50	49%	7.19	42%	16.17	94%	10.56	62%
Jämförelse-exempel									
Störst minskning		Span.	38%	Alla	36	- Port.	49%	Irl.	42%
		Port.	38%		44%	Ital.	53%	Span.	45%
		Lux.	39%					Dan.*	47%
		Grek.	39%						
Minst minskning		NL	99%			Dan.*	100%	Span.	75%
		Dan.*	83%			Fin.	100%	Sve.	72%
						Sve.	100%	Schw.	70%

*Danmark har väldigt lite gräsmarker initialt

Inga av grödorna som tas upp i studien är nya för Europa, men vissa är nya för vissa länder eller delar av länder. Således kommer vår- och höstveten bli ny gröda för norra Finland och centrala Sverige. Majs blir ny gröda för S Sverige (11 t/ha), S Finland (9), Danmark (10), Belgien (9), Luxemburg (6), Nederländerna (8), Storbritannien (8), Irland (9), NW Spanien (7), Grekiska övärlden (6 t/ha). Solros blir ny gröda för S Sverige (4 t/ha), S Finland (4), Danmark (4), Nederländerna (3), Skottland (4), Irland (3), NW Spanien (2) och Portugal (3). Sojaböna blir ny gröda för Tyskland (5 t/ha), Österrike (6), Luxemburg (5), NW Frankrike (4) och NW Spanien (4). Höstraps blir ny gröda i centrala Sverige och bomull i norra Finland.

ACCELERATES

ACCELERATES modell utgår från att gårdens ekonomi avgör arealfördelningen, och förändringar i dessa förutsättningar i framtiden styr förändringar i arealanvändningen. Rounsevell et al. (2002a, b) har utvärderat och föreslagit denna modell. De både utgår från och drar slutsatsen att företagen kan antas vara vinstmaximerande och att priser därmed har stor betydelse för markanvändningen.

Modellen väljer den markanvändning som maximerar vinsten givet priser och andra restriktioner. Klimatet kommer in i modellen eftersom det påverkar produktiviteten och därmed produktionskostnaderna. Med en förändrad produktivitet förändras mängden resurser (arbetskraft, drivmedel, mark etc.) som åtgår per producerad enhet och därmed produktionskostnaderna.

Tågordningen vid bestämningen av markanvändningen var:

Hur stor andel av ett område var urban? Denna mark tas bort.

Vilka ytor kan odlas med en viss given hög lönsamhet. Dessa klassas som intensivt jordbruk

Beräkna produktionen från det intensiva jordbruket

Om den totala produktionen är större än efterfrågan så definieras överskottsland som urban.

Om den totala produktionen är mindre än efterfrågan beräknas vilka ytor som kan odlas med en viss lägre lönsamhet

Definiera all övrig mark som övergiven vad avser jordbruk

För respektive klimat och socioekonomiskt scenarium bestäms landanvändningen på motsvarande sätt (1-6) och sedan beräknas hur andelarna intensiv/extensiv/övergiven mark ändrats samt hur den odlade markens fördelning mellan åkermarksgrödor ("arable crops") och gräsmarker ("grasslands") ändrats.

Val av gröda beräknas på gårdsnivå med modellen SFARMMOD. Val av gröda bestäms av dess lönsamhet. Profit tröskelvärdet för intensiv var 350 Euro/ha. En karaktäristisk respons hos modellen är att "Grasslands" gynnas av hög nederbörd, och i de fall temperaturen stiger och det samtidigt blir torrare gynnas istället "Arable" därför att man har antagit att tillgång på vatten kan ordnas genom bevattning, vilket dock är kopplat till en kostnad som beaktas.

Sveriges samlade intensivt odlade jordbruksareal av idag är i ACCELERATES 2.9 Mha. Under antagandet att det inte skulle ske några socioekonomiska förändringar till år 2050 skulle klimatförändringarna (för A2-, A1- och B2-scenarierna) förbättra den svenska jordbruksmarkens konkurrenssituation och arealen öka till 3.5-4.3 Mha, se tabell 1.22. Den måttligare klimatförändringen i B1-scenariet skulle innebära att Sveriges åkermark marginaliseras lite ytterligare och arealen minskar till 2.6 Mha.

Emellertid påverkar förändringar i de socioekonomiska förutsättningarna också arealanvändningen och om dessa förändringar också beaktas så blir det en ökning av arealen endast för A1-scenariet där arealen ökar till 3.5 Mha. I A2 och B1 scenarierna minskar arealen till omkring 2.3 Mha medan Sveriges jordbruk starkt marginaliseras i B2 scenariet, där endast 0.8 Mha blir kvar. Skälet till marginaliseringen i B2 är höga kostnader för insatsmedel i kombination med att låga skördeökningar motverkar effekten av högre produktpriser vilket sammantaget minskar marginella markers konkurrenskraft. Effekten av detta är att markerna med låg produktivitet inte blir lönsamma och därför inte kommer att användas för intensiv jordbruksproduktion.

Ovanstående resultat uppnåddes när HadCM3-modellen använts för att prognostisera klimatförändringarna. Beroende på vilken GCM models klimatscenarium man antar kan resultatet bli det helt motsatta. För att testa känsligheten för typ av klimatmodell användes PCM-modellen (som ger en måttligare klimatförändring) för A2-scenariet. Resultatet blev, vilket också redovisas i tabell 1.22, att arealen i Sverige reduceras kraftigt, till 1.1 Mha, under antagande om dagens socioekonomiska förutsättning. Om också de socioekonomiska förutsättningarna antas ändras enligt A2-scenariet så får Sverige en ökad areal till 3.5 Mha. Skälet till detta är att arealen för de stora jordbruksländerna (Tyskland, Estland, Spanien, Finland, Frankrike, Italien, Storbritannien) undantaget Storbritannien, minskar i detta scenarium.

Tabell 1.22. Arealer intensiv jordbruksmark för olika scenarier, 2050. Miljoner hektar och procentuell förändring relativt 2000. (ACCELERATES)

			Nuvarande areal, milj. ha	HadCM3				PCM A2
				A1FI	A2	B1	B2	
Enbart klimat- scenarier, milj ha (% förändring)	Sverige		2,9	4,3	3,7	2,6	3,5	1,1
				+48%	+28%	-10%	+21%	-62%
		EU15	137,7	166,8	159,6	154,5	157,8	141,4
				+21%	+16%	+12%	+15%	+3%
Klimat och socioekonomiska scenarier, milj ha (% förändring)	Sverige		2,9	3,5	2,3	2,2	0,8	3,5
				+21	-21%	-24%	-72%	+21%
		EU15	137,7	100	136,8	140,6	144,5	121,9
				-27%	-1%	+2%	+5%	-11%

I ACCELERATES drar man den allmänna slutsatsen att effekten av enbart klimatförändringar är relativt liten jämfört med effekterna när också socioekonomiska förändringar inkluderats. Det kan noteras att för flera länder (som inte redovisas här) är skillnaderna orsakat av olika klimatmodeller större än skillnaderna orsakat av olika socioekonomiska scenarier. För hela Europa pekar A1-scenariet, inklusive socioekonomiska förändringar, mot en kraftig minskning av arealerna. Detta förklaras huvudsakligen av den stora ökningen i hektarskördar.

De samlade effekterna på Europeanivå (EU15) redovisas också i tabell 1.22. Om enbart klimatförändringen beaktas, dvs om man antar samma socioekonomiska förhållanden som i dagsläget, ökar Europas totala jordbruksareal (138 Mha 2020) med 10-20%. Ökningen är proportionell till temperaturhöjningen och 29 Mha för A1:s klimatscenarium, 22 Mha för A2, 20 Mha för B2 och minst för B1 (17 Mha) som har den minsta klimatförändringen. Ökningen av odlingsarealen i Finland stod för 60-100% av denna ökning. Om vi bortser från Finland så bestod ordningen mellan de olika scenarierna i alla fall. En fråga som uppstår är: om Finlands ökning är överskattad ska denna överskattning fördelas ut på odling i andra länder? Och hur sker det? Frånsett Finland, så är det Italien som ökar sin areal mest i absoluta termer (3-4 Mha) och därefter Irland och Portugal (1.5 Mha) och därefter Sverige (0-1.5 Mha). Spanien minskar sin areal mest (-2.5 till +1Mha), följt av Österrike (-1 till -0.5Mha).

Om man dessutom beaktar de socioekonomiska förändringarna minskar Europas samlade jordbruksareal för A1-scenariet med drygt 25 %, men förblir i princip oförändrad för de övriga scenarierna (ökar några få % för B1 och B2). Bortsett från Finland som fortfarande ökar sin areal otroligt mycket (12-16 Mha; utom för B2 där det minskar med 1 Mha) står speciellt Spanien för de stora arealminskningarna (-16 Mha för A1, -9 Mha för A1 och -2.5 för B1) men också Frankrike vad avser A1 och A2 scenarierna. Storbritannien har en stor minskning för A2 och B1 scenariot. För B1 får också Portugal betydande minskningar (-2 Mha). Allmänt för B1 och B2 är att jordbruksareal med lägst vinstmarginal i dagens förhållanden kommer att vara de som kommer få svårast att överleva när vinstmarginalerna krymper i samband med högre priser för insatsmedel och större krav för miljöhänsyn. I B2-scenariet förväntas Portugal, Sverige och Storbritannien minska sin jordbruksareal mest (-4.5 till -2.5 Mha).

I ACCELERATES modelleringen beräknas andelen åkermark av jordbruksmarken inom Sverige och kan avläsas från kartor. Modellen testades för nuvarande förhållanden, och enligt grova avläsningar från kartorna verkar skillnaden mellan modellens förutsägelser om dagens förhållanden vara större än de förutsedda förändringarna inom Sverige till 2050, vilket antyder problem i applicerbarheten av modellen på regional nivå Tabell 1.19.

Sammanfattande diskussion

Jämförelse mellan ACCELERATES och ATEAM

Den allmänna slutsatsen vad det gäller markanvändning i ATEAM är att arealen jordbruksmark kommer att minska kraftigt i Europa fram till 2050 i samtliga scenarier. I ACCELERATES, däremot är det bara A1-scenariet som förutsäger en minskning för klimatförändringar enligt HadCM3 (fig. 1.6). Denna minskning är i princip lika stor som enligt ATEAM. För övriga scenarier förutsägs endast marginella förändringar av arealen. Notera dock att

klimatmodellen PCM, som endast kombinerats med A2-scenariet, förutsäger en arealminskning. Denna minskning är dock betydligt mindre än enligt ATEAMs A2-scenarium.

Hur kan skillnaderna i resultat förklaras? Den faktor som påverkar detta mest, i ATEAMs modell, är produktivitet utvecklingen till följd av teknologisk utveckling. Liksom författarna till ATEAM påpekar så är förutsägelser om hur produktiviteten kommer att utvecklas svåra att göra och de är därmed mycket osäkra. Ett sätt att hantera osäkerheten i antagandena vore att göra en känslighetsanalys, men någon sådan redovisas inte². Är det då någon skillnad i antagandena om teknologisk utveckling mellan modellerna? En jämförelse mellan dessa antaganden redovisades ovan i tabell 1.13. Där kan man notera att ACCELERATES, just för A1, har antagit en betydligt högre produktivitetökning än ATEAM. Om samma produktivitetökning (2.68 istället för 1.87) används i ATEAMs modell skulle detta resultera i en minskning av arealen med 50 % för A1. För övriga scenarier är skillnaderna i antagandena mindre. Sammantaget innebär detta att det alltså inte är skillnaden i förväntad teknologisk utveckling som förklarar skillnaderna i modellernas resultat.

Vidare skiljer sig antagandena vad det gäller förväntad effekt av klimatförändringarna på produktiviteten. ATEAM har utgått ifrån att den genomsnittliga effekten är i stort sett försumbar, se tabell 1.15, medan ACCELERATE, med några få undantag, utgår från produktivetsförbättringar i hela Europa. Utifrån ATEAMs modell borde ACCELERATES antaganden innebära än ännu kraftigare arealminskning än vad ATEAM kommit fram till.

Eftersom resultaten av ATEAMs modell kan återskapas, på europeisk nivå kan man använda ACCELERATES antaganden i ATEAMs modell. Om ATEAMs modell beräknar markanvändningen utifrån ACCELERATES antaganden om teknologiförändringar (enligt tabell 1.13) och med ett antagande om 20 % produktivitetökning till följd av klimatförändringarna³ leder detta till ännu kraftigare arealminskningar.

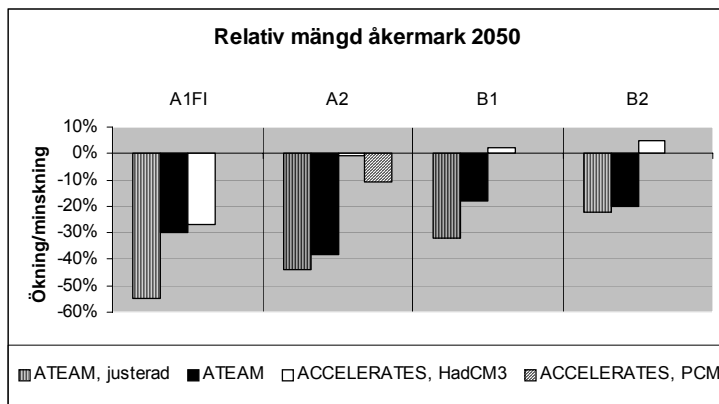


Fig. 1.6. Relativ förändring av arealanvändning med (i) ATEAM-modellen men med produktivitet från ACCELERATES (ii) ATEAM original, (iii) ACCELERATES original och (iv) ACCELERATES original men med PCM klimatmodell istället för HadCM3 (bara A2). Jämförelserna avser förändringar 2050 relativt 2000 av mängden åkermark i Europa.

² Det är dock möjligt att göra sådan utifrån den redovisade beskrivningen av modellen och de redovisade data. Beräkningen kan dock endast göras på europeisk nivå eftersom den exakta spatiala fördelningsprincipen inte kan härledas. För A1-scenariet har man antagit att produktiviteten för spannmål kommer att öka med 134 % till år 2080, se tabell 1.12. Detta motsvarar genomsnittligt en årlig produktivitetökning på 1,14 % och resulterar (i kombination med övriga antaganden) i en 50-procentig minskning av arealen. En känslighetsanalys visar att en årlig produktivitetökning på 0,5 % skulle leda till 23 % minskning av arealen och att en årlig produktivitetökning med 1,5 % skulle leda till 60 % minskning av arealen.

³ Det går inte att beräkna någon korrekt genomsnittlig ökning men 20 % förefaller vara en rimlig bedömning utifrån redovisade siffror.

Slutsatsen blir att det alltså knappast är skillnaderna i antaganden om produktivitetsförändringar som förklarar skillnaderna i resultat mellan modellerna. Det är tvärtom så att när skillnaderna i dessa antaganden elimineras så ökar skillnaderna mellan modellernas resultat. Så, vad finns det för alternativa förklaringar till skillnaderna i resultat?

Slutsatsen blir att det alltså knappast är skillnaderna i antaganden om produktivitetsförändringar som förklarar skillnaderna i resultat mellan modellerna. Det är tvärtom så att när skillnaderna i dessa antaganden elimineras så ökar skillnaderna mellan modellernas resultat. Så, vad finns det för alternativa förklaringar till skillnaderna i resultat?

Övriga ingångsvärden i modellerna går inte att jämföra eftersom modellerna inte har fler gemensamma parametrar. Skillnaden i resultat kan sannolikt förklaras just utifrån att man har modellerat markanvändningen på helt olika sätt. Ingen av modellerna har modellerat efterfrågan på livsmedel som en funktion av priset på livsmedel. Det kan diskuteras hur priskänslig efterfrågan är, och kommer att vara i framtiden, men det förefaller rimligt att anta att mängden livsmedel som efterfrågas i viss mån påverkas av priset så att ett högre pris innebär att en mindre mängd efterfrågas och vice versa. Ett rimligt antagande är att utbud och efterfrågan tillsammans bestämmer pris och kvantitet av livsmedel och att eventuella förändringar i utbud och/eller efterfrågan innebär att såväl priser som kvantiteter justeras. Genom att använda en modell som bortser från efterfrågans beroende av priset bortser man från vissa av de anpassningsmekanismer som normalt kan förväntas på marknader. Hur påverkar då detta resultat av respektive modell?

Det är naturligtvis omöjligt att helt förutsäga hur modellresultaten skulle påverkas om modelleringen av efterfrågan på livsmedel justerades. Principiellt kan man dock ge en rimlig förklaring till de stora skillnaderna i resultat. Något förenklat skulle man kunna karaktärisera modellerna som att ATEAM har antagit att en given kvantitet efterfrågas och att denna kvantitet inte påverkas av prisförändringar som skulle kunna uppstå till följd av ett förändrat utbud. ACCELERATE, å andra sidan, har antagit att efterfrågan kan beskrivas i termer av givna priser och att allt som kan produceras till dessa priser konsumeras utan att priserna påverkas. I båda fallen har man antagit att produktiviteten kommer att öka i framtiden. Detta innebär att produktionskostnaderna sjunker och att utbudet, vid varje given prisnivå, ökar. På en marknad med en normal prisberoende efterfrågan skulle ett ökat utbud leda såväl till ökad konsumtion/produktion som till ett sänkt pris. Hur hanterar då de två modellerna situationen med ett ökat utbud?

I ATEAM tillåts ingen kvantitetsförändring vilket betyder att all anpassning måste göras via priserna. Detta innebär att konsumtions- och produktionsmängden inte påverkas av att produktionen blir billigare. Den enda effekten i ATEAM (som ju inte redovisar några priser) blir att arealen som krävs för produktionen minskar till följd av att avkastningen stiger. Sannolikt överskattar ATEAM arealminskningen eftersom man bortser från att en ökad konsumtion hade motverkat minskningen som följer av den ökade produktiviteten.

I ACCELERATE tillåts ingen prisförändring vilket innebär att all anpassning måste göras via kvantiteterna⁴. Detta innebär att priserna inte påverkas av att produktionen blir billigare. Effekten blir istället en kraftigare ökning av produktionen än om priserna hade sjunkit. Sannolikt underskattar ACCELERATE därmed arealminskningen eftersom man bortser från sjunkande priser hade lett till minskad produktion, relativt oförändrade priser. Ökningen i konsumtion, som motverkar det minskade arealbehovet till följd av ökad produktivitet, överskattas alltså sannolikt. Detta leder till att minskningen i areal, relativt situationen innan produktivitetsförändringen, sannolikt underskattas i ACCELERATE.

Bioenergiodling

I ovanstående framställning har eventuell produktion av bioenergigrödor inte behandlats. Anledningen till detta är att bioenergiodling inte alls behandlas i ACCELERATES och att den behandlas som en oklar restpost i ATEAM frikopplat från själva markanvändningsmodellen. Om vi utgår från ACCELERATES priser på drivmedel (se Tabell A1.2) och antar att priset på bioenergigrödor är proportionellt mot detta så ökar detta pris i B scenarierna, jämfört

⁴ Vid körningen av ACCELERATE gjordes iterativa körningar med justerade priser för att de producerade kvantiteterna skulle bli kopatibla med respektive scenario. Om detta helt motverkat problemet med grundmodellens implicita antagande om efterfrågan är dock oklart.

med 2000, mer än priset för mat och foder-grödor. Detta innebär att konkurrensen om mark ökar varvid priser på mat och foder-grödor kan tänkas öka, som kan hålla tillbaka bioenergigrödornas expansion. Effekten av denna dynamik kräver modelltillämpningar. För A1 scenariot sjunker priserna ungefär lika för båda grödorna vilket skulle kunna tyda på att konkurrenssituationen mellan de två förblir relativt oförändrad jämfört med dagens nivå. A2 verkar inta en mellanposition.

Referenser

- Abildtrup, J., Audsley, E., Fekete-Farkas, M., Giupponi, C., Gylling, M., Rosato, P., and Rounsevell, M. 2006. Socio-economic scenario development for the assessment of climate change impacts on agricultural land use: a pairwise comparison approach. *Environmental Science & Policy* 9 (2), 101-115.
- Audsley, E., Pearn, K. R., Simota, C., Cojocaru, 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.
- Clason & Granström, 1992
- Metzger, M.J. 2005. European vulnerability to global change – a spatially explicit and quantitative assessment. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 192pp
- Rounsevell, M. D. A., Berry, P. M., and Harrison, P. A. 2006. Future environmental change impacts on rural land use and biodiversity: a synthesis of the ACCELERATES project. *Environmental Science & Policy* 9 (2), 93-100.
- Rounsevell, M. D. A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R., and Carter, T. R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use II. Projecting changes in cropland and grassland. *Agriculture Ecosystems & Environment* 107 (2-3), 117-135.
- SCB (Statistiska Centralbyrån), 2000. Jordbruksstatistisk årsbok 2000
- Sigvald, R., Lindblad, M., Eckersten, H., 2001. Jorbrukets känslighet och sårbarhet för klimatförändringar - Underlag för Sveriges nationalrapport till Klimatkonventionen. Naturvårdsverket, rapport 5167. 40 sidor

2. Vattentillgång

Introduktion och bakgrund

Detta avsnitt avser att bedöma hur förändrade vattenförhållanden i samband med klimattförändringar kan påverka jordbrukets växtproduktion. Allmänt gäller att alla bedömningar avser effekter av klimatscenerierna för ~2085, socioekonomiskt scenario A2 och klimatmodell Echam4. I vissa fall behandlas effekter för motsvarande ~2025 års scenarier. Dessutom har detta avsnitt tagit fram bakgrundsinformation till andra bedömningar i andra avsnitt i denna rapport, och specifikt har det gjorts bedömningar av hur odlingsperioderna kan påverkas.

Odlingen påverkas av vattenklimatet

Vattenförhållandena är helt avgörande för grödors etablering, tillväxt och den skördade produktens kvalitet. Grödor är dock olika känsliga för vattenförhållandena i olika faser av sin utveckling. Sådden kräver att marken är bärkraftig för traktorer vilket kräver att vattenhalten inte är alltför hög. Groning och etablering kräver fuktiga markförhållanden. Under den första månaden av tillväxten är det också främst fuktiga markförhållanden som är betydelsefull för god tillväxt, men allteftersom börjar mängderna vatten växten behöver för sin tillväxt bli allt större. En mycket liten del av vattnet behövs dock för att bygga biomassa. Den allra största delen förloras genom transpiration vilket reglerar bladens energibalans och temperatur och förhindrar höga temperaturer vid hög solinstrålning. Under kärnfyllnadsperioden och nära mognad blir växtens beroende av vattentillgången allt mindre, och några veckor innan skörd är torra väderförhållanden önskvärda, medan fuktiga atmosfärsförhållanden kan främja sjukdomar och orsaka groning av kärnorna.

God vattentillgång kan, i de fall det innebär gynnsamma betingelser för skadegörare, vara negativt för växten. Detta är en ofta återkommande situation under hösten för höstsådda grödor, och vall, och mer slumpvis återkommande under andra delar av vegetationsperioden i samband med extremt långa fuktiga perioder. Behovet av bekämpning av skadegörare påverkas. Dålig vattentillgång kan påverka huvudgrödans konkurrenskraft mot ogräsen och behovet av ogräsbekämpning kan öka.

Olika grödor är olika känsliga för vattenförhållanden. Bland stråsåden är vårtorka besvärligare för vårsådda grödor än höstsådda grödor som har ett mer etablerat och djupare rotsystem på våren. Ingen av de höstsådda stråsåden bedöms som torkkänsliga på våren. Bland de vårsådda stråsåden bedöms havren som extra känslig för vårtorka, vilket kan leda till besvärande konkurrens från ogräs. Det motsatta gäller för vårkorn. Havre är istället tålig för våtare förhållanden medan t ex malkorn kan i sådana situationer få för höga proteinhalter pga en hög kväve mineralisering och kvävuupptag samtidigt som tillväxten kan ha hämmats av att solinstrålning minskat pga ökad molnighet. Ärtor behöver god vattentillgång vid blomning och baljsättning. God vattentillgång försenar dock mognaden vilket inte alltid är önskvärt. Potatis har ett liknande förhållande till vatten med stimulerad knölbildning vid god vattentillgång och en påskyndad avmognad vid torra förhållanden. Sockerbetan kräver god vattentillgång på sommaren för att erhålla god kvalitet. Vallbaljväxter ((klöver, lusern, käringtand) är allmänt mindre vattenkänsliga än vallgräsen (timotej, rajgräs) men undantag finns som t ex rödsvingel. (Fogelfors red., 2001)

Allmänt påverkar vattentillgången grödors tillväxt. I vissa enkla modeller bedöms tillväxten vara proportionell mot vattentillgången. Även om många och stora avvikelser påvisats från denna regel kan man i viss utsträckning anta att en ökad transpiration är relaterad till en ökad tillväxt. På våren tar stråsåden och vallgräsen upp mycket kväve i relation till ökningen av biomassa än senare under säsongen. En vårtorka kan därför antas påverka växtens kväveinnehåll mer än biomassan, vilket kan ge sänkt kvävehalt vid skörd. Proteinhalterna är direkt proportionella till kvävehalterna. I fallet med mer torka senare på säsongen kan det motsatta förväntas, dvs lägre tillväxt och ökning av biomassa med högre proteinhalter som följd. Utfallet mildras av återkopplingar i växternas funktion så att en minskad kvävehalt orsakar en minskad tillväxt, och vice versa.

Ökad avdunstning kan vara ett tecken på ökad transpiration från växten, men kan också vara orsakad av ökad markytavdunstning, och därmed inte nödvändigtvis relaterad till en ökad tillväxt, utan tvärtom transpirationen kan ha minskat. För att kunna göra denna bedömning måste växtens tillväxt och bladytans utveckling skattas.

Tillväxtmodeller som beaktar de komplicerade sambanden mellan tillväxt å ena sidan och klimat och vattentillgång å den andra utnyttjas för att kunna bedöma hur mycket transpirationen ändrats.

Resursutnyttjande

Ökad atmosfärisk koldioxidhalt leder till ett ökat resursutnyttjande hos växten. Experimentella resultat har visat att tillväxten ökar i förhållande till tillgänglig solstrålning, vatten och kväve. Detta uttrycks ofta i ökad strålningsutnyttjande (på engelska: radiation use efficiency), ökad vattenutnyttjande effektivitet (water use efficiency) och en sänkt maximal kvävekoncentration i bladen. Vid en förhöjd CO₂-halt i atmosfären påverkas markvattensituationen både negativt av en ökad tillväxt och transpiration och positivt av en bättre vattenhushållning genom ökat klyvöppningsmotstånd.

Växtegenskaper som är gynnsamma för god skörd vid torra förhållanden är främst en snabb etablering av ett effektivt rotsystem, och att bladen kan begränsa vattenförlusterna vid transpiration i samband med upptaget av koldioxid från luften. Det senare påverkar bladens energibalans och höjer deras temperatur. Allmänt är ingen av dessa egenskaper direkt avgörande för val av gröda under rådande klimat i Sverige, men kan tänkas bli mer betydelsefulla i ett framtida torrare klimat. Det är dock känt att vissa grödor (t ex havre) är känsliga för vårtorka, medan andra grödor är känsliga för torka under sommaren, t ex vall.

Anpassningar till torra förhållanden består i val av gröda, art- och sortblandningar i vall, samt förädling till sorter med effektivare rotsystem och vattensnålare fotosyntes (högre vattenutnyttjande effektivitet). I nuvarande klimat är denna anpassning inte noterbar bland andra anpassningsåtgärder inom växtodlingen.

Skillnader inom landet

Regnet som tillförs marken lagras upp i markprofilen. Markens fysikaliska egenskaper (vattenhållande förmåga mm) bestämmer i samspel med klimatvariationer och växtens utveckling hur detta vatten fördelas mellan avdunstning och avrinning. Främst är det olika marktypers förmåga att lagra vatten som avgör om vattnet kan allokeras mer till produktiv transpiration än till avrinning eller marktyvavdunstning, även om t ex. infiltration och kappilaritet också är viktiga faktorer. Markens lerhalt är ett mått på dess textur och används ofta som indikator för att jämföra olika marktypers vattenhållande förmåga. Lerhalten har kartlagts för svensk åkermark för de översta 20 cm av markprofilen och visar på en stor variation mellan olika regioner i Sverige (Eriksson m fl. 1999). Störst andel av åkerareal med hög lerhalt återfinns i Svealands slättbygder (Ss) och speciellt i den ostliga delen. Mer än halva arealen har hög lerhalt (dvs klassas som mellanlera, eller lerigare) men varierar från ~35 % i Värmland och Dalarna till ~85 % i Uppland. I Värmland finns det dock en stor andel mark som innehåller någon andel lera (~70%). Sedan avtar andelen areal med hög andel lerhalt ju mer söder- och norrut man går från Svealand. I Götalands norra slättbygder är andel areal lerjordar ca 40-50 % och varierar från ~30 % i Skaraborg till ~60 % i Östergötland. I Götalands mellanbygder och södra slättbygder är andelen mycket låg ca 10 % och arealen mark med någon lerhalt varierar från ~5 % i Kronoberg till ~50 % i Malmöhus län. Andelen areal lerjordar minskar ännu mer markant norrut från Svealand och är 10-25 % i nedre Norrland och bara 2% i övre Norrland. I nedre Norrland är dock andelen mark med någon lerhalt stor, över 50 % (Tabell A2.1, Fig. A2.1 i appendix).

Syftet med denna studie är att bedöma effekter av förändrade vattenförhållanden på olika gröders produktivitet, baserat främst på förändringar i nederbörd, men i viss uträkning också temperatur. För att erhålla ett underlag för bedömningarna har vi först försökt utvärdera odlingsårsårens förändring i termer av tidpunkt för vårbruk, skörd och höstbruk för vår- respektive höstgröda. Denna analys beskrivs först mer utförligt för Svealands slättbygder och därefter för olika regioner i Sverige.

Odlingsperiod för vårsådda grödor

Tidpunkt för vårbruk

Vegetationsperiodens start

Tidpunkten för sådd ~2085 kan bli tidigarelagd i enlighet med att vegetationsperiodens start blir redan i februari i Götaland, vilket innebär en tidigareläggning med bara en vecka i sydligaste delarna till två månader i inlandet i mellersta och norra Sverige. Avläsningen för Skåne är visserligen enligt Tabell A2.2 (appendix) först dagarna i mars,

men vi antar att en korrektare bedömning är i februari som för övriga Götaland. I Götalands mellanbygder blir det tidigare, dvs första halvan av februari, i inlandet. I Svealand får östra delarna två månaders tidigareläggning av vegetationsperiodens start och lika tidig start som i Götaland, medan i västra Svealand blir starten en och en halv månad tidigare än ~1975 dvs en vecka in i mars. I sydligaste delarna av nedre Norrland startar perioden redan i februari, men tidigareläggningen minskar snabbt norrut och blir i nordligaste delarna bara en månad dvs i slutet av mars. I övre Norrland startar vegetationsperioden i mitten av april, en tidigareläggning med två veckor jämfört med ~1975. (Tabell A2.2).

Sista vårfrosten

Om man pga tidigare vårbruk kan så tidigare, kan då vårsådden äventyras mer av vårfroster än i dagsläget? Dvs kommer sista vårfrosten att tidigareläggas i motsvarande grad som andra faktorer som styr vårbruket? Detta påverkar val av tidpunkt för vårbruket. Om tidpunkten för sista vårfrosten avgör såtidpunkt ~2085 kommer den att kunna ske från slutet av januari till mitten av februari i Södra Götaland (södra Skåne redan i början av januari) och från mitten av februari till början av mars i övriga Götaland (tidigare i väst). I Svealand skulle vårsådden kunna ske i början av mars och i Norrland från början av mars i de södra delarna till början av april i de norra delarna. Med samma logik skulle vårbruket i medeltal 1961-90 ha skett i Skåne i första halvan av april, i Svealand i andra halvan av april och i Norrland från slutet av april till början av maj, vilket ganska väl överensstämmer med tidpunkterna för dagens vårbruk (Tabell 2.3). En tredjedel till knappa hälften av tidigareläggning av sista vårfrosten till ~2085 kommer att ha inträffat redan ~2025. Den observerade redan inträffade tidigareläggningen från ~1975_{ERA40} till 15-årsperioden 1991-2005 (~1998_{ERA40}) är en knapp vecka vilket är relativt lite jämfört med vad klimatförändringsscenarierna förutspår (35-75 dagar). (Tabell A2.3)

Markvattenhalt

Även om vegetationsperiodens start och dagen för sista vårfrost tidigareläggs kan hög markvattenhalt förhindra att marken bär såmaskiner mm (jämför med de Toro och Hansson, 2004). I dagsläget är detta redan en begränsande faktor och avgör den faktiska såtidpunkten. Kan det bli mer frekvent med långa torrperioder som förmår torka upp så pass att vårbruket kan börja tidigare? Vi har utnyttjat simuleringar med en tillväxt- och vattenbalansmodell för vall för att göra en kvalitativ bedömning av huruvida markförhållandena kan bli torrare eller våtare på vår och höst. Simuleringarna beräknar effekter av månadsvis förändringar i temperatur och nederbörds-klimatet, samt ökad CO₂-halt, på vallens tillväxt och vattenbalans. Simuleringarna gäller för specifika lokaler i Svealand och Götaland, med specifika markegenskaper, och för specifika väderförhållanden. Även om markegenskaperna i någon mening är karaktäristiska för regionen så är extrapoleringen till medelförhållanden för hela regionen och över tiden mycket osäker. Simuleringarna måste därför ses som ett mycket litet urval från den stora datamängd som karaktäriserar markvattenförhållandena i medeltal (se vidare avsnittet för Vall nedan).

Som en konsekvens av ändrade vattenbalanser för ~2085 ändras upptorkningsförloppet på våren, liksom uppblöttningsförloppet på hösten. Vi har försökt att åskådliggöra ändringarna genom att subjektivt uppskatta hur första dagen med tendens till upptorkning från mättad rotzon förskjutits. För hösten har på motsvarande sätt första dag för en period med sammanhängande mättade förhållanden uppskattats. Antalet dagar på våren som jorden varit torrare ~2085, än 1985, är i medeltal ca 3 veckor, medan motsvarande antal torrare dagar på hösten är betydligt färre beroende på att vattenmättnad av profilen i många fall aldrig inträffade innan årets slut (Tabell 2.1).

Tabell: 2.1. Senaste dag med mättad markvattenhalt på våren och tidigaste dag på hösten. Idag avser minst två av åren 1985 till 1988.

Gödslad gräsvall	Vår		Höst	
	Idag (dag nummer)	Δ (dagar)	~2085 (dag nummer)	Δ (dagar)
Halmstad (moig sand)	15	-5	-	0
Jönköping (sandig mo)	85	-30	-	0
Skara (mellanlera)	115	-20	340	+10
Örebro (mellanlera)	95	-20	-	0
Uppsala (styv lera)	110	-25	250	+20

Simuleringarna antyder att perioder med tidvis upptorkningen skulle inträffa redan i januari i södra Halland (Halmstad), i slutet av februari i norra Småland (Jönköping), och sista veckorna i mars på de övriga lokalerna. De månadsvisa kvalitativa förändringarna är redovisade i Tabell 2.2. Det måste påpekas att tabellerna 2.1 och 2.2 bygger på enstaka år och enstaka platser och generaliseringen från dessa värden till medelvärden över tid och region är mycket vanskelig. I alla de studerade fallen verkar dock förlusterna av vatten stimulerats mer än tillförseln i en välgödslad gräsvall.

Tabell 2.2. Förändring i markvattenhalt i gödslad gräsvall (kvalitativ förändring ~2085-1985; 0 = ingen förändring)

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Halmstad	0-											0
Jönköpin	0	0	-	-	+	0-	-	-	-	-	-	0
Skara	0	0	0	-								-0
Örebro	0	0	-									0
Uppsala	0	0	0-	-	-	-	-	-	-	-0	0	0

Tidpunkt för skörd

Stråsådens utveckling går snabbare i ett varmt än i ett kallt klimat och snabbare vid lång än kort daglängd. Denna respons på klimatet är ofta sortspecifik och jordbrukaren väljer för området lämpliga sorter. Det finns fenologiska modeller som kan beräkna utvecklingshastigheter men dessa används sällan i praktiskt jordbruk och finns därför bara kalibrerade för enstaka sorter (se vidare höstsådda grödor). Sätidpunkten påverkar under vilka förhållanden en gröda utvecklas. Sen sådd gör att grödan utvecklas under förhållandevis längre daglängder och varmare väder. Man har också funnit rent empiriskt att tidigare sådd ger tidigare skörd, dock inte i lika stor utsträckning. I Svealand sköras vårkorn i dagsläget i genomsnitt ca 1:a september. Empiriskt har 3 dagars tidigare sådd visat sig motsvara 1 dags tidigare skörd (Pettersson och Eckersten, 2007) vid nutida klimatvariabilitet. Vårbrukets tidigareläggning med ca 45 dagar till ~2085 skulle då motsvara en tidigareläggning av skörden med två veckor. Dessutom borde ett allmänt varmare klimat ge en snabbare mognad av grödan. För höstveten i Svealand beräknades denna effekt till knappt 3 veckor (se Tabell 2.4, nedan). Detta borde vara en överskattning av effekten på vårgrödan eftersom höstgrödan växer under en längre tid. Det är svårt att utifrån detta skatta hur många dagar skörden tidigareläggs; mer än två veckor men mindre än fem. Vi föreslår helt grovt tre veckors tidigareläggning av skörden av den vårsådda grödan.

Odlingsperiod

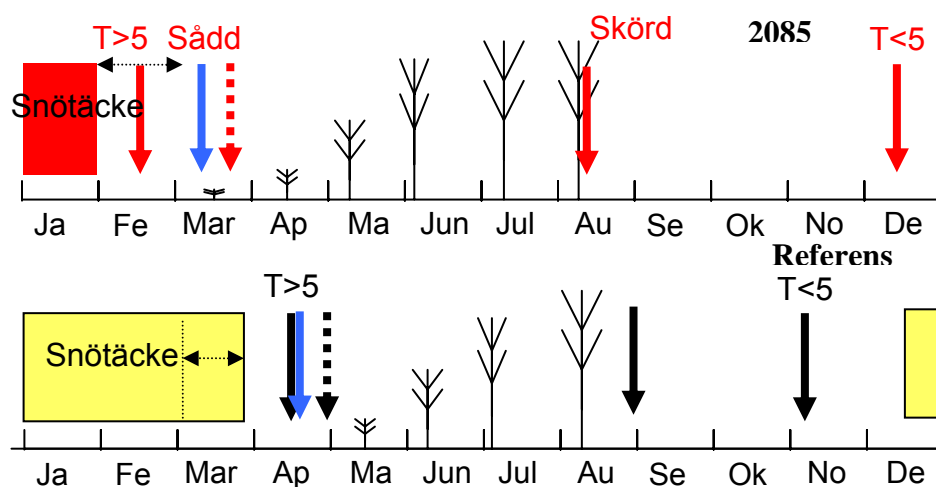


Fig. 2.1. Odlingsperiod för vårkorn i Svealands slättbygder ~2085 (överst) och referens (~1975, 2000; nederst). Pil mellan T>5 och sådd visar sista vårfrost. Den streckade horisontella dubbelpilen indikerar spridningen inom regionen.

Sammantaget för Svealands slättbygder startar vegetationsperioden ~2085 i mitten av februari (två månader tidigare än ~1975) (se Fig. 2.1). Sista vårfrosten inträffar drygt en vecka in i mars (en och en halv månad tidigare än ~1975). Upptorkning av marken börjar strax efter mitten av mars och vårbruket kan antas vara i gång runt 25:e mars, en knapp månad tidigare än ~1975. Skörden inträffar drygt en vecka in i augusti (3 veckor tidigare än ~1975).

Sammantaget för alla regioner kommer vegetationsperioden ~2085 att starta vid ganska lika tidpunkt i Götaland och Svealand, dvs i första halvan till mitten av februari, en månad senare i nedre Norrland och ytterligare en månad senare i övre Norrland, dvs i mitten av april (Tabell 2.3). Sista vårfrosten sammanfaller ungefär med vegetationsperiodens start i Götaland och övre Norrland, medan den inträffar en månad in i vegetationsperioden i Svealand och en halvmånad i nedre Norrland. Upptorkning av marken kan ske redan i januari Götalands södra slättbygder, i början av februari i mellanbygderna medan i norra Götaland och Svealand kan den ske strax efter mitten av mars. Start av vårbruk bedöms bli bestämt av upptorkningen i Götalands mellan- och norra slättbygder till början respektive slutet av mars. För Södra Götaland och övre Norrland föreslår en agrar bedömning en månads tidigareläggning jämfört med ~1975 vilket betyder i början av mars respektive i andra halvan av april. Skörden bedöms ske i andra halvan av juli i söder, knappt tre veckor senare i Svealand och ytterligare en dryg vecka senare i norr, dvs en månad senare än i söder, precis som i dagsläget.

Tabell 2.3. Grovt uppskattade datum för vårkornets odlingsperiod ~2085 i olika regioner i Sverige

	Gss	Gmb	Gns	Ss	Nn	Nö
Start av veg. period	10/2 (20/2*)	10/2	15/2	15/2 (10/3*)	10/3	15/4 (10/4*)
T>5						
Sista vårfrost	5/2	15/2	15/2	10/3	25/3	10/4
Mättad mark t.o.m.	15/1	1/3	20/3	20/3		
Vårbruk	5/3* (5/4+*)	5/3	25/3	25/3 (1/4*)		20/4*
				(20/4+*)		(20/5+*)
Skörd	20/7* (5/8+*)			10/8 (10/8*)		20/8* (5/9+*)
				(1/9+)		

* = H. Fogelfors, SLU pers. komm.; + = ~1975 alt. ~2000

Odlingsperiod för höstsådda grödor

Tidpunkt för höstsådd

Höstsådden ska ske i god tid innan vegetationsperiodens slut för att växten ska kunna etablera sig och erhålla en viss mängd reservnäring inför vintern. Växten får dock inte ha tillväxt för mycket innan vintern för att inte störa invintringen och göra växten mindre vinterhärdig, samt för att undvika att skadegörare kan frodas i grödan under vintern. Nuvarande såtidpunkt av höstvetete i Svealand är ca 15:e september (ca DN 260), dvs ca 7 veckor innan vegetationsperiodens slut. En agrar uppfattning är att höstsådden redan senarelagts drygt en vecka de senaste årtiondena. Senareläggning av höstsådden följer inte utan vidare senareläggningen av vegetationsperiodens slut. Senareläggningen begränsas nämligen av att den tillgängliga solinstrålningen minskar alltmer framåt hösten, och växtens möjlighet att lagra in tillräckligt med reservnäring tar då längre tid. Senareläggningen av höstsådden kan också begränsas av att markvattenhalterna ökar alltmer framåt hösten. Tidpunkten för höstsådden måste också ta hänsyn till växtskadegörarens effekter på grödan under hösten.

Vegetationsperiodens slut

Vegetationsperioden kommer att förlängas på hösten med knappt sex veckor i Svealand och pågå fram till första halvan av december (Tabell A2.4). Höstsådden skulle alltså kunna senareläggas i motsvarande grad med en viss reduktion pga att ljusförhållandena minskar alltmer framåt hösten. Vi har uppskattat denna förlängning av perioden till en vecka och höstsådden föreslås till andra halvan av oktober för höstvetete. Fram till och med oktober bedöms inte markens bärighet begränsas av hög markfuktighet mer än vad det gör i dagsläget, snarare mindre (Tabell 2.2), vilket skulle kunna tillåta höstsådd i oktober.

Förlängningen av vegetationsperioden blir störst i Svealand och södra nedre Norrland och minst i södra Götaland. Följden blir att vegetationsperiodens slut inträffar ungefär samtidigt i Götaland och Svealand men betydligt senare i övre Norrland.

Vinter

Snötäcket ser ut att minska markant och kommer troligen inte att påverka tillväxtens start på våren. Snötäckets varaktighet ~2085 ser ut att kunna bli ungefär en månad i Götaland, Svealand och nedre Norrland, vilket betyder en stor minskning speciellt för nedre Norrland (knappt tre månader). I övre Norrland kan snötäcksperioden minska mindre och bli drygt 3 månader ~2085 (se Tabell A2.5). Enligt observerade förändringar de senaste 23 åren (från ~1975_{ERA40} till ~1998_{ERA40}) har de föreslagna förändringarna av snötäcket till ~2085 redan skett i Södra Götaland, och till mer än hälften för övriga Götaland. I Svealand har ca en tredjedel av den föreslagna förkortningen redan skett medan det i Norrland inte skett så stora förändringar ännu.

Mildare vintrar kan påverka övervintringen av grödan på olika sätt. Övervintringen gynnas av att risken för köldskador minskar men missgynnas av att den ökade temperaturen ökar respirationen vilket kan utarma och avhärda växten och öka dess känslighet. Klimatscenarierna visar på ökat nettoinflöde av vatten vid markytan från oktober till februari (nederbörd minus avdunstning; Fig. 2.5a). Detta, tillsammans med varma perioder under snöperioden, torde leda till att förekomsten av vattensamlingar på markytan ökar, och om de tillfrysar kan grödorna skadas av isbrännor. I vilken utsträckning dessa faktorer leder till ökad eller minskad utvintring är mycket svårbedömt.

Start av tillväxt på våren

För de växter som överlever vintern kan tillväxten ~2085 börja tidigt i och med att vegetationsperiodens start kan bli redan i februari i Götaland, östra Svealand och sydligaste delarna av nedre Norrland. I västra Svealand startar den i början av mars och i Norrland blir starten från slutet av februari i de sydligaste delarna (som sagt) till mitten av april i de nordligaste delarna (se avsnittet Vegetationsperiodens start ovan).

Tidpunkt för skörd

Varmare väder påskyndar utvecklingen av stråsädesgrödor som då mognar tidigare, men effekten beror på ljusförhållandena. För höstvetete gynnas utvecklingen av långa dagar. En temperaturökning på vintern påskyndar därför utvecklingen mindre än motsvarande ökning på sommaren. Vi har försökt bedöma effekten av ett ändrat

temperaturklimat m h a en utvecklingsmodell för höstvetete (se t ex Hay och Porter, 2006). Vi har avläst temperaturhöjningar för ~2085 från klimatscenariet kartorna och korrigerat dem för redan observerad inträffad temperaturhöjning från ~1975_{Obs} till ~1998_{Obs} (SMHI). Som ett exempel har tidpunkten för höstvetets skörd simulerats för Uppsala utgående från observerade dygnsmedeltemperaturer vid Ultuna under en femårsperiod (1996-2000; SLU-data). Skördetidpunkt för ~2085 har simulerats genom att addera den beräknade temperaturhöjningen från 1998_{Obs} till ~2085 till temperaturklimatet 1996-2000 (Tabell A2.6). Den observerade förändringen av temperaturen från ~1975_{Obs} till ~1998_{Obs} var större än den modellerade (ERA40; Tabell A2.6) vilket möjligen innebär en underskattning av $\Delta T(\sim 2085)$ och utvecklingshastigheten i Tabell 2.4.

Tabell 2.4. Simulerade utvecklingsstadier för höstvetete dels för basår, dels för basår + ändring av temperatur enligt skillnaden mellan ~2085 och ~1975 klimatsimuleringar (dagnummer från 1:a januari).

	Dubbelringstadiet		Blomning		Mognad	
Basår	DN från 1jan	+ $\Delta T(\sim 2085)$		+ $\Delta T(\sim 2085)$		+ $\Delta T(\sim 2085)$
1996	134	111	187	170	239	229
1997	125	73	181	164	229	213
1998	123	82	183	163	239	227
1999	111	83	170	155	236	201
2000	113	79	170	152	239	213
Medel	121	86	178	161	236	217
Variation	21/4–14/5 (23)	14/3–21/4 (38)	20/6–5/7 (17)	1/6–19/6 (18)	17–27/8 (10)	20/7–17/8 (28)

Dubbelringsstadiet är ett utvecklingsstadium för axanlaget som växten når på våren och här kan fungera som ett mått på hur mycket tidigare växten ligger i tillväxtfasen vid en klimatförändring. Detta stadium nås i genomsnitt 5 veckor tidigare än nu, blomning 2-3 veckor tidigare och skörd 2-3 veckor tidigare, vilket främst innebär en 2-3 veckors förlängning av vårens tillväxtperiod. Det är också noterbart att spridningen i växtens utveckling på våren mellan år verkar öka för ~2085, troligen till följd av att utvecklingen sker förhållandevis tidigare på våren då daglängden är kortare, och går då långsammare.

Odlingsperiod

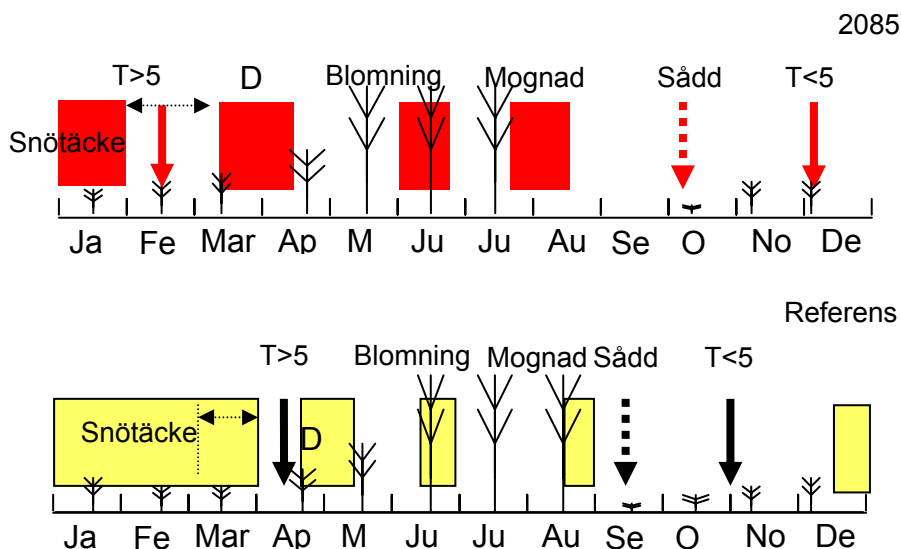


Fig. 2.2. Odlingsperiod för höstvetete i Svealands slättbygder ~2085 (överst) och referens (~1975, 2000; nederst). Den streckade horisontella dubbelpilen indikerar spridningen inom regionen. DR betyder dubbelringstadium.

Sammantaget för Svealands slättbygder kommer höstvetete ~2085 at sås en vecka in i oktober och tillväxer (alternativt respirera mer än den tillväxer) fram till början av december, vilket är ca en månad senare än i dagsläget. Tillväxten på våren startar i mitten av februari och ca 1:a april (± 2 veckor) inträffar dubbelringstadiet vilket är ca en månad tidigare än 1998. Blomningen inträffar ca 10:e juni (± 10 dagar) och mognaden 5:e augusti (± 1.5 veckor) (Fig. 2.2).

Sammantaget för Svealands slättbygder kommer höstvetete ~2085 at sås en vecka in i oktober och tillväxer (alternativt respirera mer än den tillväxer) fram till början av december, vilket är ca en månad senare än i dagsläget. Tillväxten på våren startar i mitten av februari och ca 1:a april (± 2 veckor) inträffar dubbelringstadiet vilket är ca en månad tidigare än 1998. Blomningen inträffar ca 10:e juni (± 10 dagar) och mognaden 5:e augusti (± 1.5 veckor) (Fig. 2.2).

För olika regioner i Sverige bedöms höstsådden ske tidigare i söder än i norr. Höstgrödan tillväxer fram till början av december i både Götaland och Svealand. I nedre Norrland slutar tillväxten i senare delen av november och i övre Norrland i början av november. Tillväxten på våren börjar i februari i Götaland och Svealand, en dryg vecka in i mars i nedre Norrland och i mitten av april i övre Norrland (Tabell 2.5).

Tabell 2.5. Grovt uppskattade datum för höstvetets odlingsperiod ~2085 i olika regioner i Sverige. Värden inom parentes avser andra uppskattningar, se noteringar.

	Gss	Gmb	Gns	Ss	Nn	Nö
Höstsådd	15/10* (15/9+*)			10/10 (1/10*)		15/9*
Stopp av veg. period T>5	5/12 (10/12*)	5/12	5/12	10/12 (20/11*)	20/11	5/11 (1/11*)
Mättad mark fr o m		1/12		10/10		
Start av veg. period T>5	10/2 (20/2*)	10/2	15/2	15/2 (10/3*)	10/3	15/4 (10/4*)
Blomning				10/6		
Skörd				5/8		

*) H. Fogelfors, SLU pers. komm., +) ~1975 alt. ~2000

Vattenbalans

Vattentillgången för en växt bestäms av samspelet mellan nederbörd, avdunstning (inklusive transpiration), avrinning och grödans tillväxt och vattenutnyttjande. Värden på detta kan erhållas genom simulering av grödors tillväxt, vilket dock kan vara komplicerat att utföra på ett korrekt sätt (se avsnittet Vall nedan). För att göra en enklare uppskattning, och igengäld kunna göra bedömningar för fler regioner har vi här valt att se på vattenbalansen och dess enskilda komponenter, som de beräknats av klimatmodellen (dvs modellen som beräknat klimatscenarietkartorna). Vissa komponenter i vattenbalansen har erhållits direkt från klimatscenarietkartorna (nederbörd och avrinning) och vissa har beräknats som differensen mellan två kartor (avdunstning och markvatten) varvid felet kan fördubblas jämfört med felet i de direkta avläsningarna. Vattenbalansen för mark-växt systemet innebär att förändringar i nederbörd (ΔP) ska fördelas mellan en förändring i avrinning (ΔA), en förändring i avdunstning (ΔE), samt en förändring i mängd markvatten (ΔS). Förändringar av mängden vatten i växten är i dessa sammanhang försumbara. Förändringar i avdunstningen ΔE kan till viss del betraktas som relaterad till tillväxten hos grödorna och är i någon mening ett mått på förändringar av denna. Förändringar i avrinningen ΔA ger en uppfattning om hur mycket vatten som rinner igenom markprofilen och som kan utlaka näringsämnen. Förändringar i markvattnet ΔS ger ett mått på fuktighetsförhållandena i marken vilket är betydelsefullt för t ex den mikrobiella aktiviteten och därmed omsättningen av näringsämnen, såsom kväve mineralisering och kvävefixering.

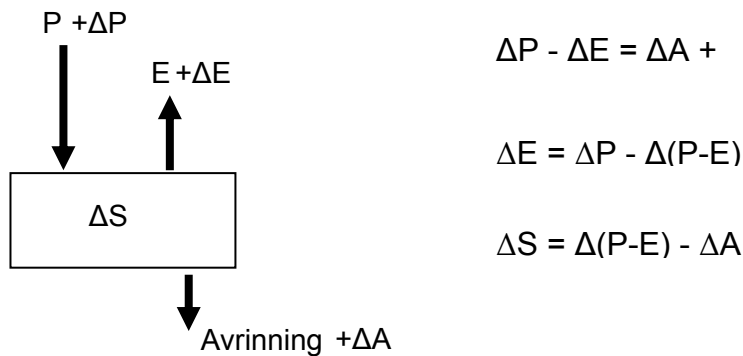


Fig. 2.3. Förändringar i nederbörd (ΔP) ska fördelas mellan en förändring i avrinning (ΔA), en förändring i avdunstning (ΔE), samt en förändring i mängden markvatten (ΔS)

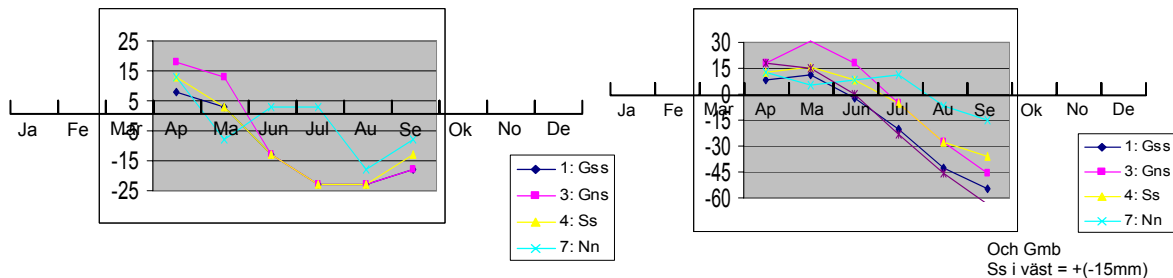


Fig. 2.4a. Förändring av nederbörd ~2085 – ~1975 (mm/månad). Torraste delen av respektive augusti-september är Gmb, och sedan i tur och ordning uppåt: Gss, Gns, Ss och Nn.

Klimatsceneriekartorna har avlästs för år ~2085, och de mest torra delarna av respektive region har valts ut (dvs med minsta ökning eller största sänkning av nederbörden), så när som för Svealand, där Värmland inte tagits med därför att förändringarna där varit annorlunda regionen i övrigt. Allmänt har Värmland varit torrare under sommaren än övriga Svealand. För Sverige i allmänhet visar scenarierna att nederbörden ~2085 blir större i april och maj än ~1975, medan juni, juli, augusti och september får mindre nederbörd. I april är ökningen 5-20 mm medan i maj är den mindre (Fig. 2.4a). Minskningen av nederbörden är störst under juli och augusti med 20-25 mm/månad i Götaland och Svealand. Sammantaget leder detta till att nederbörden från april till september minskar minst i Norrland (15mm), näst minst i Svealand (35 mm, utom Värmland 50 mm) och mest i Götalands mellanbygder (65 mm) (Figur 2.4b).

Nettoinflöde vid markytan

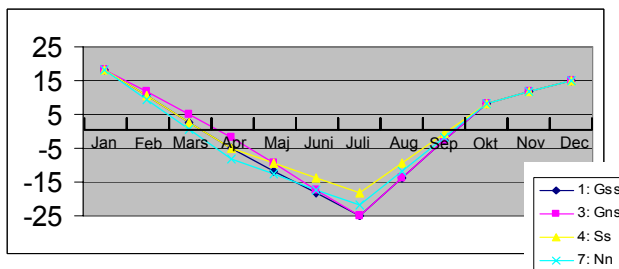


Fig. 2.5a. Förändring av nettoinflödet vid markytan ~2085 - ~1975 ($\Delta(P-E)$; mm/månad). Torraste delen av respektive regionen (ej Ss)

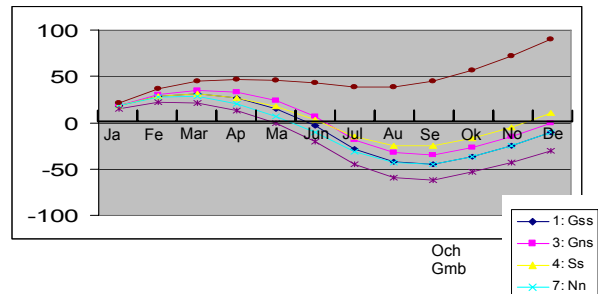


Fig. 2.5b. Ackumulering av $\Delta(P-E)$ (mm). Lägsta kurvan är Gmb och , och sedan i tur och ordning uppåt: Nn, Gss, Gns, Ss och Nö.

Också avdunstningen påverkas av en klimatförändring och nettoinflödet vid markytan (nederbörd - avdunstning) minskar i Götaland, Svealand och nedre Norrland för hela perioden april till september och minskningen är som störst i juli med ca 25 mm/månad för Götalands mellanbygder och ca 15 mm/månad för Svealand. Övriga delar av året ökar nettoinflödet vid markytan (Fig. 2.5a). Ackumulerat för hela året minskar nettoinflödet med ca 10 mm i Svealand och ca 40 mm i Götalands mellanbygder. För perioden april till september är motsvarande minskningar ca 35 respektive ca 75 mm. Övre Norrland skiljer sig markant från övriga Sverige och får en minskning enbart i juni och juli och för perioden april till september sker ingen ändring jämfört med ~1975 och för hela året ökar nettoinflödet vid markytan med ca 70 mm (Fig. 2.5b).

Avrinning

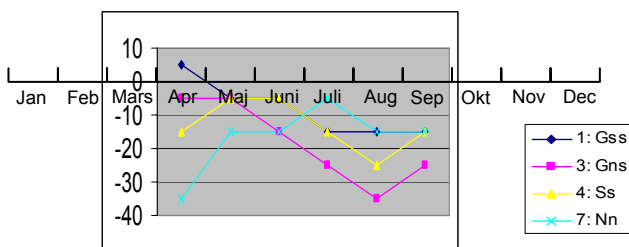


Fig. 2.6a. Förändring av avrinningen ~2085 - ~1975 (ΔA ; mm/månad). Torraste delen av respektive regionen (ej Ss)

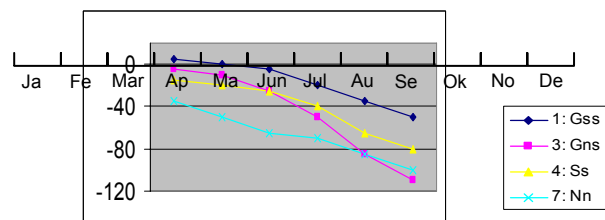


Fig. 2.6b. Ackumulering av ΔA (mm). Lägst värde i september är Gns, och sedan i tur och ordning uppåt: Nn, Ss och Gss

Förändringarna i avrinningen påverkas av förändringarna i nettoinflöde vid markytan och kan antas minska om nettoinflödet minskar och vice versa. Följaktligen minskar avrinningen för alla månader april till september, med ett

undantag för april i Götalands södra slättbygder som uppvisar en svag ökning (Fig. 2.6a). Ackumulerat över hela perioden minskar avrinningen med 50 till 110 mm, minst i Södra Götalands slättbygder och mest i Götalands mellanbygder och nedre Norrland (Fig. 2.6b).

Markvatten

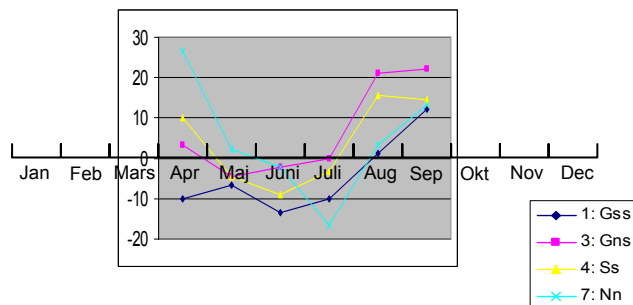


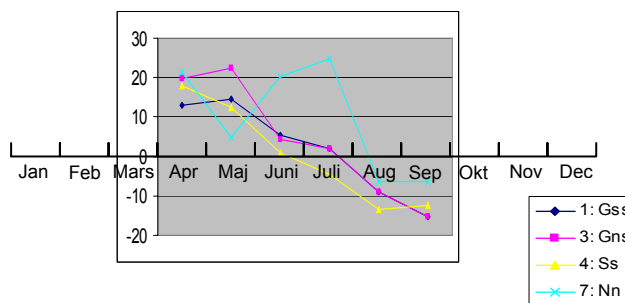
Fig. 2.7. Förändring ~2085 - ~1975 av förändring i mängden markvatten ($\Delta S =$ skillnaden mellan förändringarna i nettoinflödet av vatten vid markytan ($\Delta(P-E)$) och avrinningen (ΔA)). (mm/månad).

Lägst värde i september är Gss, och sedan i tur och ordning uppåt: Nn, Ss och Gns

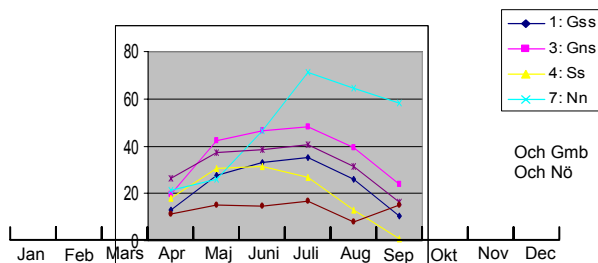
Skillnaden mellan nettoinflödet vid markytan och avrinningen visar hur markvattenförrådet ändrats. Förändringen i denna skillnad från ~1975 till ~2085 kan tolkas på två alternativa sätt. Antigen antar vi att beräkningarna är korrekta, då tyder det på att markvattenförrådet fylls på i april jämfört med ~1975, och mest i nedre Norrland. Under maj, juni och juli torkar marken upp jämfört med ~1975 och i augusti och september sker en större påfyllnad än ~1975. Detta innebär inte att marken behöver vara våtare i t ex augusti september ~2085 jämfört med ~1975, utan troligare är att påfyllnaden efter en större upptorkning är större (Fig. 2.7). Sett över hela perioden april till september ser det ut som att det inte blir så stora förändringar i markvattenförrådet (ackumulering av ΔS ; data visas ej). Det blir störst upptorkning (alternativt minst uppblötning) i Södra Götaland och minst i nedre Norrland. Övre Norrland får överlägset största uppblötningen av markprofilen.

Det andra alternativet att tolka de beräknade förändringarna i markvattenbalansen är att vi antar att det inte ska vara några förändringar t ex i april, för att marken är mättad redan idag, och kan inte blir mer mättad. Den beräknade ökningen i markvattenhalt är då ett mått på felet i avläsningen av kartorna, som då skulle kunna uppgå till 25 mm/månad. Kanske ligger sanningen någonstans mitt emellan dessa båda alternativ.

Avdunstning



Figur 2.8a. Förändring av avdunstningen ~2085 - ~1975 ($\Delta E = \Delta P - \Delta(P-E)$; mm/månad). Torraste delen av respektive regionen (ej Ss)



Figur 2.8b. Ackumulering av $\Delta(E)$ (mm). Lägst värde i juli är Nö, och sedan i tur och ordning uppåt: Ss, Gss, Gmb, Gns och Nn.

Slutligen kan vi utifrån skillnaden mellan förändringarna i nederbörd respektive nettoinflödet vid markytan beräkna avdunstningen. Avdunstningen ökar i april och maj och även lite i juni. I juli är avdunstningen i stort sett oförändrad jämfört med ~1975 och i augusti och september minskar den (Fig. 2.8a). Ackumulerat fram till juni är det frågan om en ökning med 30 mm för Södra Götaland och Svealand till 45 mm för Götalands mellanbygder. För hela perioden april till september är det bara Svealand som inte får någon ökning i avdunstning medan Götaland får ökning på 10 till 25 mm. Norrland faller inte in i det allmänna mönstret och nedre Norrland får en kraftig ökning av avdunstningen i juni och juli och sammanlagt för hela perioden blir det 60 mm. Övre Norrland får en ökning av avdunstningen med 15 mm i april men därefter inga förändringar jämfört med ~1975 (Fig. 2.8b).

Avdunstningen ökar främst i början av säsongen vilket antyder att produktionsökningarna blir högre i grödor som tillväxer tidigt på säsongen och i vallens 1:a skörd. Höstsådda grödor torde gynnas framför vårsådda grödor och speciellt de som skördas sent, t ex vårvete, eller de som är vattenstresskänsliga t ex havre. Klimatsceneriernas simuleringar av avdunstningen representerar förändringar i avdunstning från stora områden där jordbruksarealen bara är en del. Åkermark har en större vattenhållande förmåga än mark i allmänhet, och därför kanske beräkningarna underskattar avdunstningen från jordbruksmarken vid vattenstress, speciellt i områdena med stor andel skogsmark, såsom Götalands mellanbygder och nedre Norrland, samt kanske speciellt Svealand vars åkermark har hög lerhalt och vattenhållande förmåga.

Vallens tillväxt samt vatten- och kvävebehov

Bedömningen av hur vattentillgången kan komma att ändras i ett förändrat klimat inbegriper ett antal tolkningsproblem. Det första är, som redan sagts, i vilken utsträckning simuleringarna av avdunstning i klimatscenerierna (Fig. 2.8) representerar förändringar i avdunstning från åkermark som har en större vattenhållande förmåga än mark i allmänhet och andra växter. Det andra problemet är i vilken utsträckning förändringarna i avdunstning motsvarar förändringar i transpiration, och det tredje problemet är hur tillväxtförändringar är kopplade till transpirationsförändringar. Den senare faktorn brukar kallas vattenutnyttjandeeffektiviteten och har i experiment visat sig såväl kunna öka som minska vid en ökad vattenstress.

För att försöka bedöma effekten på tillväxten av förändrade klimatförhållanden har vi använt en tillväxtmodell för gräsvall som testats på fältexperiment i Götaland och Svealand (Eckersten m fl., 2004, in press; Torssell m fl., 2007). Modellen simulerar vädrets effekter på processer för tillväxt, biomassans allokering och bladytans utveckling, återväxt, förnafall, transpiration, markytavdunstning, interceptionsavdunstning, infiltration och perkolation, kappilär uppstigning, avrinning, samt kol-kvävedynamiken i marken och växtens upptag av kväve. Modellen är byggd på samma principer som SOIL-SOILN modellerna (Jansson och Halldin 1979, Johnsson m fl. 1987, Eckersten och Jansson 1991) och Coup modellen (Jansson och Karlberg, 2001) och är utvecklad som en förenklad version av dessa modeller.

Fem lokaler med odling av gräsvall för vilka modellen testats har studerats: Halmstad (Tönnersa, moig sand), Jönköping (Klevarp, sandig mo), Skara (Lanna, mellanlera), Örebro (Karlslund, mellanlera) samt Uppsala (Kungsängen, styv lera). Effekter av de föreslagna klimatförändringarna (definierade som skillnader i simulerat klimat ~2085 och ~1975) har utvärderats genom simuleringar för några specifika år under perioden 1985-88. Till de observerade dagliga väderförhållandena under dessa år, vilka är indata till tillväxtmodellen, har vi adderat de absoluta förändringarna i temperatur och multiplicerat de relativa förändringarna i nederbörd från klimatförändringsscenerierna (Tabell A2.7a och b, Tabell A2.8a och b). Vi har utvärderat vad effekterna av de föreslagna klimatförändringarna kan bli på vallproduktionen. Vi har testat effekterna av dels förändrad lufttemperatur och nederbörd, dels samma förändringar men också effekter av ökad CO₂-halt (dvs vi har ökat klyvöppningsmotståndet med 20 % och ökat strålningsutnyttjandeeffektiviteten med 20 %).

Simuleringarna med förändrat klimat kan betraktas som en extrapolering av tillväxten hos dessa observerade fältexperiment in i ett förändrat klimat om vi utgår från rådande teorier om hur klimatet påverkar tillväxten. Det måste dock påpekas att simuleringens resultat måste tolkas med stor försiktighet. Först och främst har inte modellen testats för klimatförändringssituationer, och för betydande torkstress. Dessutom gäller simuleringarna för specifika

lokaler, med specifika markegenskaper och väderförhållanden. Även om markegenskaperna i någon mening är karaktäristiska för regionen så är extrapoleringen till medelförhållanden för hela regionen och över tiden mycket osäker. Simuleringarna måste därför ses som ett enstaka urval i den stora datamängd som ska karaktärisera ”medelvallen”. Modellen simulerar inte effekten av växtens kvävehalt på tillväxten. Vi har därför antagit att växten har samma kvävekoncentrationsnivåer som i dagsläget (1985-88). Utvärderingarna inbegriper ibland både 1:a och 2:a årsvall, även om vi försökt fokusera på 1:a året för att minska inverkan av otastade simuleringar av övervintringsförhållanden i ett förändrat klimat.

I stora drag orsakade den rena klimatförändringen en mycket högre tillväxt under första tillväxtperioden, främst orsakat av en tidigareläggning av tillväxtstarten på våren med en och en halv månad (Fig. 2.9; i praktisk växtodling orsakar detta en tidigareläggning av första skörden, se vidare nedan). Från mitten av juni t o m augusti (2:a skörd i 1985-års system) orsakade klimateffekten en minskning av produktionen av biomassa. Introduktion av CO₂-effekten var lika betydelsefull som klimateffekten i 1:a skörden medna den i 2:a skörden kompensterade för den av vattenstress orsakade minskning i biomassan. Tillväxten under hösten påverkades positivt av både klimat och CO₂-effekten, ungefär som tillväxten under 1:a-skörden (Fig. 2.9).

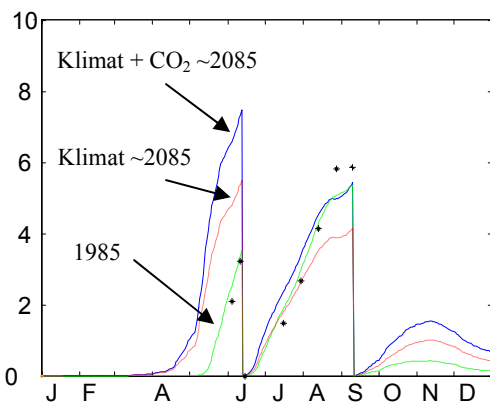


Fig. 2.9. Simulerad ovanjordisk biomassa hos en gödslad gräsvall på lerig jord i Uppsala (ton torrvt/ha), dels 1985, dels ~2085 med och utan koldioxideffekt. Punkter är observerade värden 1985.

Allmänt blev det en stor tillväxtökning i samtliga fall, undantaget det ogödslade beståndet i Jönköping som ett år uppvisade en stor minskning i andra skörden (Tabell 2.6a och b). Den relativa skördeökningen var i medeltal dubbelt så stor för de ogödslade bestånden (ca 85 %; 105 % i 1:a skörden och 55 % i 2:a skörden) som för de gödslade bestånden (ca 45 %; 80 % i 1:a skörden och 15 % i 2:a skörden). Detta orsakades främst av en högre ökning i 2:a skörden för de ogödslade bestånden vilket kan bero på att dessa pga lägre tillväxtnivåer också hade lägre transpiration och utsattes för en lägre grad av vattenstress. Men vi måste komma ihåg att detta resultat förutsatte att kvävekoncentrationen i växten kunde hållas på samma nivå som 1985 (eller mer korrekt uttryckt, att kvävekoncentrationens effekt på tillväxten förblir oförändrad). För de ogödslade bestånden är det inte troligt att en ökad mineralisering kan komma att förse växten med den extra mängd kväve som skulle behövas för att upprätthålla kvävekoncentrationen vid dagens nivåer. Detta skulle i så fall leda till att simuleringen i Tabell 2.6b överskattar biomassan för ett ogödslat bestånd ~2085 (se vidare avsnittet Kvävebehov, nedan).

De relativa skördeökningarna varierade kraftigt mellan olika platser och var överlag störst i Örebro, och minst för Jönköping, och speciellt mycket varierade de ogödslade bestånden. I Jönköping verkar andra skörden ha varit utsatt för en stark vattenstress, som t o m orsakat en skördeminskning för den ogödslade vallen (Tabell 2.6b). Den stora variationen i skördeförändringar för dessa mycket begränsade antal simuleringar antyder ett behov av ett mycket stort antal simuleringar för att erhålla pålitliga medelvärden liksom karaktäristiska extrema förhållanden.

Tabell 2.6a. Simulerad skörd (ton torrs substans per hektar) för gödslad gräsvall för fem lokaler i Sverige och relativa förändringen i skörd till ~2085 inbegripet koldioxideffekter.

	1:a skörd		2:a skörd		Totalt per år	
	1985-88 (ton ts/ha)	Δ ~2085 (%)	1985-88 (ton ts/ha)	Δ ~2085 (%)	1985-88 (ton ts/ha)	Δ ~2085 (%)
Halmstad (moig sand)	4.7	+65	4.6	+20	9.3	+42
Jönköping (sandig mo)	5.0	+75	9.2	+0	14.2	+27
Skara (mellanlera)	4.4	+70	6.3	+15	10.7	+36
Örebro (mellanlera)	6.0	+105	7.3	+35	13.3	+66
Uppsala (styv lera)	4.0	+90	6.4	+15	10.4	+42

Tabell 2.6b. Simulerad skörd för ogödslad gräsvall för fem lokaler i Sverige och relativa förändringen i skörd till ~2085 inbegripet koldioxideffekter.

	1:a skörd		2:a skörd		Totalt per år	
	1985-88 (ton ts/ha)	Δ ~2085 (%)	1985-88 (ton ts/ha)	Δ ~2085 (%)	1985-88 (ton ts/ha)	Δ ~2085 (%)
Halmstad	2.0	+105	0.3	+97	2.3	+105
Jönköping	4.4	+20	8.8	-20	13.2	-5
Skara	2.8	+80	1.5	+10	4.3	+56
Örebro	2.0	+170	1.2	+135	3.2	+158
Uppsala	2.1	+155	2.3	+55	4.4	+103

Vattenbehov

Tillväxten påverkar vattenförhållandena. Modellen simulerade kompletta vattenbalanser på dygnsbasis. På årsbasis var bilden den att allmänt orsakade klimatförändringarna en ökning av nederbörden 5-25 %. Detta stimulerade avrinningen som ökade för alla platser (5-50 %) utom för Örebro (-10 %) vars nederbörd ökade minst. Avdunstningen stimulerades av ökad temperatur och tillväxt, en ökning som dock hämmades av det ökade vattenutnyttjande effektiviteten vid förhöjd CO₂-halt. Avdunstningen ökade för alla platser (20-75 mm/år; 5-20 %) och mest för Örebro. Det var alltså en stor skillnad mellan platser vad avser hur den ökade nederbörden allokerades mellan avdunstning och avrinning på årsbasis. Allmänt ökade dock förlusttermerna i vattenbalansen ~2085 förhållandevis mer än nederbörden och markens relativa vatteninnehåll blev i de flesta fall lägre ~2085 än 1985, dvs marken blev genomgående torrare (Fig. 2.10). Stora delar av perioden från december till mars var hela markprofilen i praktiken mättad. Ett ökat nederbördsöverskott under denna tid kan inte göra marken nämnvärt mer vatteninnehållanden, utan nederbörden orsakar i praktiken ökad avrinning. För torrperioder under denna period kan dock marken tillfälligt torra upp mer ~2085 än 1985 pga ett varmare klimat (Fig. 2.10). Effekten av ökad CO₂-halt på markens vatteninnehåll studerades separat och var mycket liten, vilket tyder på att stimuleringen av avdunstningen pga ökad tillväxt neutraliserades av att växten utnyttjade vattnet effektivare vid ökad CO₂-halt i atmosfären p g a ökat klyvöppningsmotstånd.

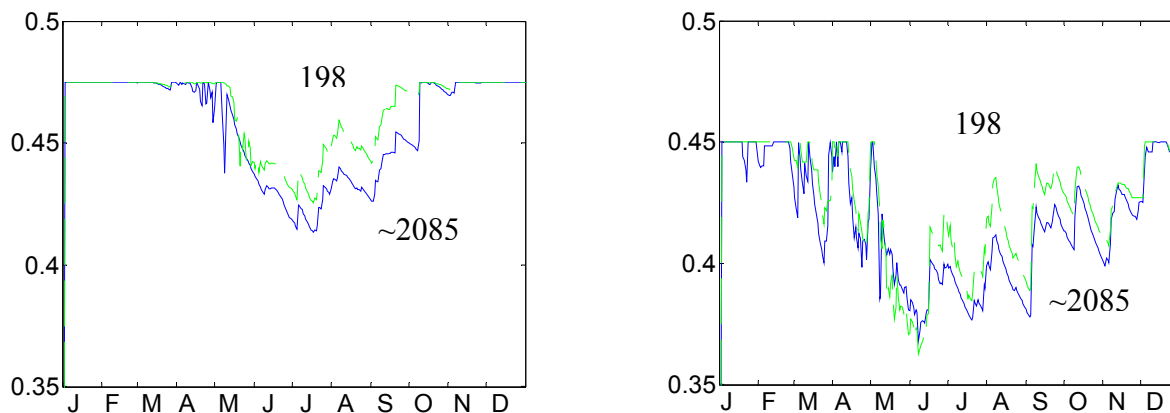


Fig. 2.10. Simulerad markvattenhalt (-) för 1985 och ~2085 för en gödslad gräsvall på lerig jord i Uppsala (till vänster) och en ogödslad gräsvall på sandig mo i Jönköping (till höger)

Vallsimuleringarna beräknade den potentiella transpirationen, definierad som transpirationen från vallen om markvattentillgången vore optimal för växtens vattenbehov. Också den faktiska transpirationen, som begränsas av låg marktemperatur och låg markvattenpotential, beräknades. Vi har definierat förändringen i vattenstress som förändringen i skillnaden mellan den potentiella och faktiska transpirationen. För det gödslade beståndet i Uppsala (styv lera) 1985 ökade vattenstressen till år ~2085 med 80 mm/år. Ökningen var störst i maj (50 mm) och avtog under sommaren (15 mm i juni, 10 mm i juli och 5 mm i augusti). För att ge ett exempel på betydelsen av vädervariationer mellan år gjordes samma beräkning för 1986. Vattenstressen ~2085 ökade då med 45 mm jämfört med 1986 och fördelade sig mest på maj (30 mm) men sedan varierade vattenstressökningen över sommaren (juni -5, juli +10 och augusti +10 mm/månad). Också plats spelade roll. För Jönköping (sandig mo och 1986 som basår) ökade vattenstressen med bara 15 mm fördelat på maj -5 mm, juni -10, juli +10 och augusti +20 mm/månad. År 1985 i Jönköping hade ett liknande mönster som Uppsala 1985. Noteras bör dock att årsnederbörden var något över normalt dessa år (nederbörden i Uppsala 1985 och 1986 var 565 respektive 535 mm/år mot normalt 530 mm/år (1965-94; Per Nyman SLU, pers. komm.).

Sammantaget tyder simuleringarna på att för dessa få fältexperiment kan avdunstning och avrinning komma att öka mer än nederbörden vid en klimatförändring, vilket leder till att markvattenhalterna sjunker. Hur nederbördsökningen kommer att fördela sig mellan avdunstning och avrinning verkar vara mycket olika från fall till fall och det kräver en djupare analys för att förstå orsaken till detta. Simuleringarna tyder också på att det kan uppstå en ökad vattenstress ~2085 som är något större än avdunstningsökningen. Hur vattenstressen kommer att fördela sig inom året verkar kunna skilja mycket mellan år. En eventuell bevattning av grödan för att kompensera för grödans vattenstress skulle öka tillväxten ännu mer än vad som redan blev fallet utan bevattning (Tabell 2.6a).

Variation

Dessa få simuleringar kan ses som en extrapolering av ett mycket fåtal fältexperiment och kan inte ge en bild av en allmän nivå på förändringar av avdunstningen, och det går inte heller att uttala sig om hur representativa dessa värden är för extrema år. För detta behövs en mycket mer omfattande analys. Gräsvallssimuleringarna utvärderar effekter av månadsvis förändring av nederbörden för flera kvadratmil stora områden. Allmänt bedöms nederbörden under perioden juli-september minska i Götaland och Svealand. Effekten av detta skulle alltså kunna vara ett ökat bevattningsbehov med 15-80 mm (för några enstaka fall). Om vi dessutom betänker att denna mindre mängd nederbörd faller i form av intensivare nederbörd och därmed under en kortare tidsrymd borde vattenstressen snarare förstärkas än försvagas jämfört med de simulerade värdena, även om marken har en betydande buffrande effekt. Denna intensivare nederbörd kan också indikera en ökad andel nederbörd i form av skurar, vilket skulle kunna tyda på en ökad skillnad i nederbörd mellan enskilda lokaler jämfört med i dagsläget, vilket skulle innebära att vissa

lokaler skulle kunna få betydligt större vattenstress, och andra lokaler betydligt mindre vattenstress, än de simulerade värdena. Detta torde leda till att problemen med minskande vattentillgång blir större lokalt än regionalt. För att kvantifiera denna effekt behövs dock att ovan gjorda simuleringar görs för många, många fler platser, år och grödor och att något mått på variabilitet mellan enskilda lokaler beaktas.

Kvävebehov

En effekt av klimatförändringarna är att vattenhalten i marken sjunker och om den sjunker under en viss nivå påverkas den mikrobiella aktiviteten negativt, medan ökad temperatur alltid påverkar den positivt. Modellberäkningarna har visat att den positiva effekten av ökad temperatur och mängd färskt dött organiskt material är väsentligt större än den negativa torkeffekten, räknat på årsbasis och att den årliga kvävemineralseringen ökar markant. Modellen medger ingen fullständig kvävesimulering (även att kvävebalansen är sluten), eftersom tillväxten inte är dynamiskt kopplad till kvävetillgången. I en korrekt simulering skulle en eventuell brist på kväve hämma tillväxten och växtens storlek och därmed minska kvävebehovet. Om kvävebehovet då blir lägre än tillgången på kväve skulle detta påverka kväveupptaget. I denna studies simuleringar har kvävebehovet dock förblivit stort.

De simulerade ökade skördarna för ~2085 förutsätter alltså att växtens näringsbehov tillgodoses lika bra som 1985. I verkligheten är det inte säkert att så blir fallet. Den ökade tillväxten vid en klimatförändring skapar ett ökat kvävebehov, och en beräkning av differensen mellan ökningen i växtens kvävebehov och ökningen i kvävemineralseringen är ett sätt att kvantifiera ökningen i kvävebrist. Vi har gjort denna analys för det gödslade beståndet (tillförd kväve var $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$). Vi har skattat växtens behov som den mängd kväve som behövs för att ge skörden en kvävekonzentration av $0.025 \text{ g N per g torrs substans (15.6 \% råprotein)}$, vilket motsvarar de koncentrationer som uppmättes för 1985 (Tabell 2.7).

Tabell 2.7. Förändrat kvävebehov (kg N/ha/år) för en gödslad gräsvall vid ett förändrat klimat fram till ~2085 jämfört med 1985, om vi antar att N-konzentrationen i växten ska förbli på 1985-års nivå. (1 årig vall)

	Ökat ovanjordiskt N behov $\Delta \sim 2085$	Ökad mineralisering $\Delta \sim 2085$	Underskott* $\Delta \sim 2085$
Halmstad	105	15	90
Jönköping	90	95	-5
Skara	145	25	120
Örebro	115	15	100
Uppsala	115	50	65

* Notera att ev. underskott för rotsystemet inte ingår

Kvävebehovet var i medeltal fem gånger större i första än i andra skörd och totalt för året ökade behovet med $110 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Mineraliseringen ökade med i genomsnitt $40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ (variationen mellan platser var 15 till $95 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$; Tabell 4), vilket alltså ej täckte det ökade behovet, utan ett underskott uppstod på i medeltal $70 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Underskottet varierade mellan olika platser från 40 till $120 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, Tabell 2.7, och mellan enskilda år från överskott på 40 till underskott på $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$, data visas ej). Ökningen av mineraliseringen trots den torrare jorden förklaras av ökad temperatur och större mängd nedbrytbart material. En närmare analys av perioden januari till mars tydde på att ökningen i mineraliseringen till ~2085 något lite översteg ökningen i växtens kvävebehov, medan mönstret i april blev det motsatta och ökningen av kvävebehov kraftigt översteg ökningen i mineraliseringen, och i maj likaså. Därefter var mönstret olika för Jönköping och Uppsala. I Uppsala översteg ökningen av växtens kvävebehov ökningen av mineraliseringen under resten av året, utom i december. I Jönköping ökade behovet och mineraliseringen mer lika och dessutom var behovet mindre än mineraliseringen i augusti, vilket förstärktes för ~2085. (Fig. 2.11-12).

Sammanfattningsvis vill vi dock påminna om att beräkningarna är osäkra därför att det saknas kalibreringsdata för dessa förhållanden och för att tidsanpassningen mellan mineralisering, växtupptag och utlakning är känslig för hur växtdynamiken simuleras och hur markprofilen är representerad. En bra analys av detta kräver ett noggrant modelleringsarbete vilket inbegriper jämförelser med observerade data. Dock tydde vår grova analys på att kvävemineralseringen ökar, men inte i samma omfattning som den ovanjordiska tillväxtens ökning skulle behöva

kväve för att nå dagens proteinhalter. Underskottet varierade från i stort sett noll till $120 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ för den ovanjordiska biomassan i ett bestånd som gödslats med $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Eventuell ökad gödselmängd skulle dessutom behöva täcka rotbiomassans ökade behov och eventuell ökning av kväveförluster. Från april och framåt ökade växtens kvävebehov mer än mineraliseringen, vilket indikerar ett ökat behov av gödselkväve, alternativt en minskad risk för utlakning. På hösten visade exemplen att ökningen av kvävebehovet kan både vida överstiga och vara mindre än ökningen i mineraliseringen, vilket antyder att tidpunkt för skörd på hösten kan ha ett inflytande på kväveutlakningen på hösten.

Klövervallar och blandvallar (klöver och gräs) skiljer sig från rena gräsvallar i det att de kan försörja sitt kvävebehov genom fixering av atmosfäriskt kväve. Rent spekulativt skulle en klövervalls biomassaproduktion och vattenbalans principiellt kunna reagera på en klimatförändring på ett liknande sätt som vår gödslade gräsvall när vattensituationen är relativt god. Det varmare klimatet och ökade tillväxten skulle gynna kvävefixeringen och kvävekoncentrationen i växten skulle kunna vara fortsatt hög, precis som vi antog för gräsvallen i simuleringarna. Men vid ökad torkstress skulle inte bara tillväxten hämmas för klövervallen utan också kvävefixeringen. Det är oklart hur detta skulle kunna förstärka begränsningen i tillväxten jämfört med bara vattenstressens direkta effekt på tillväxten.

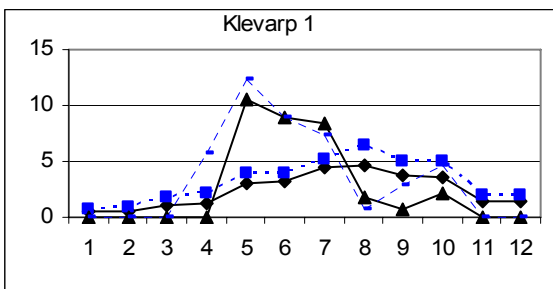


Fig. 2.11. Växtens kvävebehov (övre linjerna mitt i sommaren) och kvävemineraliseringen under ett år i Jönköping. Heldragen linje = 1985, Streckad linje = ~2085. Enheter för x-axeln är månad och för y-axeln ($\text{g N m}^{-2} \text{ mån}^{-1}$).

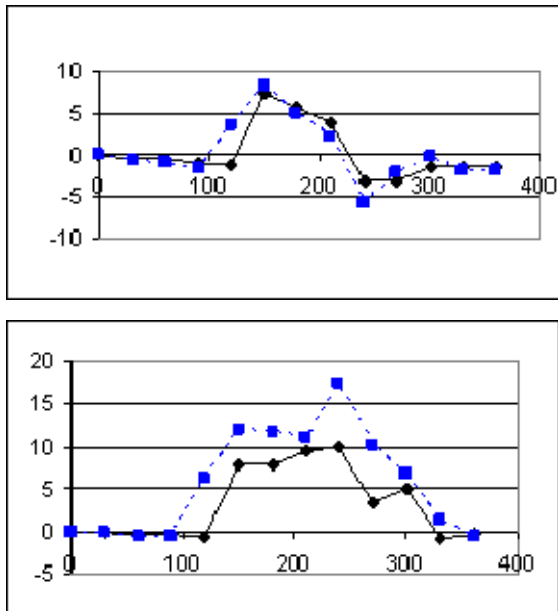


Fig. 2.12: Kvävebehov: Skillnaden mellan växtens kvävebehov och mineralisering ($\text{g N m}^{-2} \text{ mån}^{-1}$) under ett år. Till vänster Jönköping och till höger Uppsala. Heldragen linje = 1985, Streckad linje = ~2085. Enheter för x-axeln är dagnummer och för y-axeln ($\text{g N m}^{-2} \text{ mån}^{-1}$).

Alternativa skördeintervall

Det ovan beskrivna 2-skördesystemet (1:a skörd 12:e juni och andra skörd 15:e september) är redan i dag olämpligt med hänsyn till foderkvalitet och ekonomi. Första skörden har i allmänhet tidigare lagts för att betydelsen av högt energiinnehåll har ökat i jämförelse med betydelsen av hög biomassa. Skördetillfället bestäms av en optimering mellan högt energiinnehåll vid tidig skörd och en hög biomassa vid sen skörd. Eftersom energiinnehållet per kg i princip minskar med ökad biomassa innebär den ökade tillväxten för ~2085 att skördetillfällena tidigare läggs för att få motsvarande kvalitet som idag. För att få en uppfattning om hur mycket tidigare det kan bli frågan om ser vi i Fig. 2.9 att biomassatillväxten ligger ca 5 veckor före ~2085 jämfört med 1985. Vi simulerade också ett 3-skördesystem för Uppsala med tre ungefär lika stora skördar. Vattenbalanstermerna förblev i stort sätt oförändrade jämfört med 2-skördesystemet.

Alternativa klimatscenarier

De bedömningar som gjorts ovan avser effekter orsakade av klimatscenarier som gjorts med utgångspunkt från IPCC:s socio-ekonomiska scenario A2 för ~2085. Klimatscenarierna utgående från scenario B2 ger för ~2085, för Svealandsslätbygder, ca 1 °C mindre temperaturökning jämfört med A2 på sommaren och upp till 2 °C på vintern (Tabell A2.6/b). Trots detta blir tidigareläggningen av starten för vegetationsperioden (för temperaturer > 5 °C) i stort sett densamma i Götaland som för A2, undantaget norra Götaland där den blir 10 dagar senare. I Svealand och Norrland blir starten ca 20 dagar senare än för A2 (Tabell A2.2/b). Dagen för sista vårfrost skiljer sig mellan B2 och A2 för hela landet, och i södra och mellersta Götaland blir sista vårfrost mer än två veckor senare än för A2, och i övriga områden ca 10 dagar senare (Tabell A2.3/b). Perioden med snötäcke blir ungefär lika lång för B2 och A2 för södra och mellersta Götaland, och för övriga landet 5 till 10 dagar längre för B2. Tidpunkten för vegetationsperiodens slut skiljer sig mellan B2 och A2, ungefär på motsvarande sätt som periodens start på våren, dvs den är ungefär densamma för B2 och A2 i Götaland, och i övriga områden 10 till 20 dagar tidigare för B2 (Tabell A2.4/b). Nederbördsförändringarna till ~2085 skiljer sig ibland på ett systematiskt sätt mellan B2 och A2, och ibland inte. För januari ökar nederbörden betydligt mindre för B2 än för A2, medan i februari ökar den mer och i mars mindre, i Götaland. I april uppvisar nederbörden små ökning för B2 medan A2 ökar ungefär som i mars, och i maj tvärtom igen. Från juni t.o.m. augusti minskar nederbörden i Götaland och Svealand, men denna minskning är betydligt mindre för B2, ca 20 mm för hela perioden jämfört med ca 55 mm för A2. Därefter fortsätter minskningen i september för A2 medan det är en svag ökning för B2. Mönstret är lite otydligare för Norrland (Tabell A6.1d).

Klimatscenarierna för ~2025 ger för A2 i Svealandsslätbygder en temperaturökning på mellan +3.5 °C för vårvintern och +1.5 till 2 °C för sommaren, vilket motsvarar knappt halva ökningen fram till ~2085 (Tabell A2.6/SK). Trots denna betydande mindre temperaturökning är vegetationsperiodens längd ~2025 i Skåne bara tre veckor kortare än ~2085, medan i Svealand och Norrland startar vegetationsperioden ca en månad senare och avslutas ca en månad tidigare än ~2085. Nederbörden i hela landet blir mindre ~2025 från mars till maj, jämfört med ~2085 (Tabell A6.1c). Från juni till augusti blir det mer nederbörd ~2025 jämfört med ~2085. Minskningen blir ca 20 mm i Götaland och Svealand jämfört med ca 55 mm för ~2085. I Norrland blir det en liten ökning på ca 5 mm. För september och oktober blir ~2025 torrare än ~2085. För enskilda månader såsom mars blir det en ökning men bara ca hälften av den till ~2085. I april blir det små förändringar, jämfört med en betydande ökning för ~2085, och i maj en liten minskning, medan för ~2085 endast små förändringar. I juni blir det en svag ökning i Götaland och Svealand och inga förändringar i Norrland (~2085 minskar i söder och ökar i norr). I juli blir det en liten minskning i Götaland och en liten ökning i Svealand och Norrland, jämfört med en betydande minskning för ~2085, speciellt i Götaland och Svealand. I augusti minskar nederbörden betydligt, dock inte riktigt lika mycket som för ~2085. I september är dock minskningen i nederbörd betydande i norra Götaland, Svealand och nedre Norrland och betydligt större minskning än för ~2085. I oktober ökar nederbörden till ~2025 men mindre än hälften av den ökning som beräknas till ~2085.

Sammanfattande diskussion

Vårgrödor

Vegetationsperioden ~2085 bedöms starta vid ganska lika tidpunkt i Götaland och Svealand, dvs i första halvan till mitten av februari, en månad senare i nedre Norrland och ytterligare en månad senare i övre Norrland, dvs i mitten av april. Sista vårfrosten sammanfaller ungefär med vegetationsperiodens start i Götaland och övre Norrland, medan

den kommer en månad in i vegetationsperioden i Svealand och en halvmånad i nedre Norrland. I ett mycket fåtal simuleringar antydde tidvis upptorkning av marken redan i januari Götalands södra slättbygder, i början av mars i mellanbygderna medan i norra Götaland och Svealand kan detta ske strax efter mitten av mars. Start av vårbruk bedöms till början av mars i södra Götaland och i Götalands mellanbygder, och i slutet av mars i norra Götaland och Svealand, i andra halvan av april i övre Norrland. Skörden bedöms ske i andra halvan av juli i söder, knappt tre veckor senare i Svealand och ytterliggare en dryg vecka senare i norr, dvs en månad senare än i söder.

Till ~2025 har största delen (upp till 80 %) av tidigareläggningen av vegetationsperioden till ~2085 redan skett för Götaland medan för Svealand mindre än hälften. För nedre Norrland är denna tendens till långsammare förändringar ännu tydligare (två veckor). För södra delarna av övre Norrland bedöms däremot hela förändringen redan skett till ~2025. (Tabell A2.2). Om man jämför med observerade förändringar som redan skett under en 23-års-period (~1975_{ERA40} till ~1998_{ERA40}), dvs tar skillnaden mellan medelvärden för perioden 1991-2005 och perioden 1961-1990, så finner man att de förutsedda förändringarna redan inträffat för sydligaste Götaland, medan tidigareläggningen bara har varit en knapp vecka i övriga Sverige. I inre Götaland och södra övre Norrland har vegetationsperioden start faktiskt senarelagts från ~1975 till 1998 (Tabell A2.2).

Höstgrödor

Hur tidpunkten för höstsådd kommer att påverkas är oklart men troligen senareläggs den jämfört med idag. Höstgrödan tillväxer till början av december i både Götaland och Svealand. I nedre Norrland slutar tillväxten i senare delen av november och i övre Norrland i början av november. Tillväxten börjar igen i februari i Götaland och Svealand, en dryg vecka in i mars i nedre Norrland och i mitten av april i övre Norrland. För Svealand innebär detta att tillväxten startar ca en månad tidigare än ~1975 och att skörden tidigareläggs med ca tre veckor jämfört med idag. Framtill ~2025 har överlag ca en tredjedel av förlängningen av vegetationsperioden på hösten redan skett; betydligt mer i mellersta och västra Götaland och betydligt mindre i övre Norrland (Tabell A2.4). Den observerade redan inträffade förändringar från ~1975_{ERA40} till ~1998_{ERA40} visar dock på en liten förkortning av vegetationsperioden på hösten, undantaget vissa delar av Svealand och övre Norrland.

Tillväxt

Med hjälp av en simuleringmodell simulerades hur tillväxten för ett fåtal vallodlingslokaler i Sverige kan komma att ändras vid en klimatförändring vid några specifika väderförhållanden. Vid en klimatförändring ökade vallens tillväxt i 1:a skörden markant. För ~2085 var den relativa skördeökningen i medeltal dubbelt så stor för de ogödslade bestånden (ca 85 %; 105 % i 1:a skörden och 55 % i 2:a skörden) som för de gödslade bestånden (ca 45 %; 80 % i 1:a skörden och 15 % i 2:a skörden). Detta orsakades främst av lägre tillväxt- och transpirationsökningar för de ogödslade bestånden varvid de utsatts för en lägre grad av vattenstress än de gödslade bestånden. Detta resultat förutsatte att kvävekonzentrationen i växten kunde hållas på liknande nivå som 1985. I fallet med de gödslade bestånden kan detta regleras med gödsling, men för de ogödslade bestånden tydde kvävesimuleringarna på att ökad mineralisering inte kunde förse växten med denna extra mängd kväve fullt ut och de verkliga tillväxtökningarna i de ogödslade bestånden bedöms bli betydligt lägre än de simulerade värdena. Som en följd av tillväxtökningen kommer skörden att tidigareläggas och för den gödslade vallodlingen i Uppsala var det frågan om i storleksordningen en månad.

De föreslagna skördeökningarna stöds av simuleringar gjorda med markanvändningsmodellen ACCELERATES som använt tillväxtmodellen ROIMPEL för att skatta hektarskördeförändringar huvudsakligen som en funktion av ändrade vattenförhållanden (se avsnitt 1.4 ovan). Utgående från klimatförändringsscenarioet med modellen HadCM3 för A2 har dessa beräkningar för ~2050 föreslagit en ökning av vallens tillväxt med 20 % i södra och 35 % i mellersta Sverige jämfört med 2000 (se Tabell 1.17). Dessa odlingar har antagits gödslas på liknande sätt som i våra simuleringar för de gödslade bestånden, dvs så att den kvävebegränsande effekten på tillväxten förblivit densamma som under dagens förhållanden. Det är dock möjligt att deras vall avser blandvall (gräs och kvävefixerande klöver) istället för gräsvall, vilket dock torde vara av mindre betydelse under antagandet om gödslingen. Deras simuleringar visar på ökande hektarskördar för samtliga undersökta grödor (Tabell 1.17).

Vattenbehov

Samma simuleringar för samma enstaka vallodlingslokaler i Sverige och år, som för tillväxten, tydde på att avdunstningen och avrinningen kan komma att öka mer än nederbörden på årsbasis vid en klimatförändring och att markvattenhalterna därvid sjunker. Avdunstningen i vallsimuleringarna ökade med 20 - 75 mm/år. Klimatmodellen (dvs modellen som simulerat klimatscenarierna) föreslog en ökning av avdunstningen under perioden april till september med 10 - 60 mm/6mån och är alltså i samma storleksordning som de enstaka simuleringarna för vallen med tanke på att mest avdunstning sker på sommaren. Vi borde dock förvänta oss att klimatmodellens simuleringar gav lägre avdunstningsnivåer eftersom de representerar förändringar i avdunstning från stora områden där jordbruksarealen bara är en del, och att åkermarken har en större vattenhållande förmåga än mark i allmänhet. Vid jämförelse av simuleringar med klimatmodellen och vallmodellen måste vi tänka på att vallsimuleringarna inte bara representerar enstaka marktyper utan också bara enstaka års väderförhållanden.

Hur nederbördsökningen kommer att fördelas mellan avdunstning och avrinning verkar vara mycket olika från fall till fall och det kräver en djupare analys för att förstå orsaken till detta. Slutsatsen blir att det är vanskligt att med få observationspunkter uttala sig om en allmän förändring av fördelningen mellan avdunstning och avrinning.

Avdunstningen ökar främst i början av säsongen vilket antyder att produktionsökningarna blir högre i grödor som tillväxer tidigt på säsongen, t ex. i vallens 1:a skörd. Höstsådda grödor torde gynnas framför vårsådda grödor eftersom de kan utnyttja våren effektivare för tillväxt. Med tanke på att skörden troligen tidigareläggs med ca tre veckor blir stråsådesgrödan huvudsakligen utsatt för torra under kärnfullnadsperioden, även om ingen av de fåtaliga simuleringarna kunde identifiera någon omfattande torra. Höstgrödan torde gynnas framför den vårsådda grödan även här eftersom den skördas tidigare.

De få försök att kvantifiera ökad vattenstress ~2085 visade på ett ökat vattenbehov på 15 – 80 mm vilket var mer än den avdunstningsökning som ändå skedde, dvs den ökade avdunstningen kompenserade för mindre än hälften av ökningen i potentiell transpiration. Hur vattenstressen kan fördelas inom året skiljer sig mycket mellan år. En eventuell bevattning av grödan för att kompensera för grödans vattenstress skulle öka tillväxten ännu mer än vad som redan blev fallet utan bevattning. Bevattningsbehovet torde öka mer lokalt än regionalt, men det saknas omfattande analysarbete för att kunna kvantifiera detta behov.

Kvävebehov

Vår plats- och väderspecifika analys av kväveförhållandena visade att mineraliseringen ökade, men inte i samma omfattning som den ovanjordiska tillväxtens ökning behövde kväve för att nå dagens proteinhalter. För den gödslade gräsvalLEN varierade underskottet (i ett fall var det ett överskott) och var som mest 120 kg N ha⁻¹ år⁻¹. En ökning av gödslingsmängden skulle dessutom behöva täcka rotbiomassans ökade behov av kväve och eventuell ökning av kväveförluster. Från april och framåt ökar växtens kvävebehov mer än mineraliseringen, vilket indikerar ett ökat behov av gödselkväve, alternativt en minskad risk för utfläkning. På hösten visade exemplen att ökningen av kvävebehovet kan både vida överstiga och vara mindre än ökningen i mineraliseringen, vilket antyder att tidpunkt för skörd på hösten kan ha ett inflytande på kväveutfläkningen på hösten.

Anpassning

Den första och mest påtagliga behovet av åtgärd är att lägga ett bättre underlag för att föreslå anpassningsåtgärder. Studien har enbart inkluderat simuleringar av ett mycket fåtal vallodlingslokaler i Sverige för några få år, som omöjliga kan ge en bild av vare sig medelförhållanden eller extrem situationer. Trots detta uppvisar simuleringarna en stor variation i vattenförhållanden, vilket indikerar ett stort behov av många fler simuleringar för att täcka in fler marktyper, fler områden, fler år och fler odlingsystem. Den praktiska odlingen kommer troligen att behöva anpassa sig genom att bättre utnyttja väder- och klimatförutsägelser såväl för bestämmande av gödslings- och bevattningsregimer som för planeringen av markanvändningen och ekonomiska nyttan med investeringar i bevattnings- och dräneringsanläggningar. Den strategiska planeringen av svenskt jordbruk skulle kunna bygga upp utvärderingssystem där effekterna av klimatscenarier på växtproduktionen kan belysas utförligt för olika typer av odlingsystem, marker och områden i Sverige. Potentiella nyttan med en sådan anpassning är hög med tanke på att

klimatscenerierna vi nu utvärderat bara är några mycket få av många alternativ och att det därför med mycket stor sannolikhet snart dyker upp nya klimatscenerier vars effekter på jordbruket måste utvärderas.

Referenser

- de Toro, A. & Hansson, P.-A., 2004. Analysis of field machinery performance based on daily soil workability status using discrete event simulation or on average workday probability. *Agricultural Systems* 79:109-129.
- Eckersten, H. & Jansson P-E., 1991. Modelling water flow, nitrogen uptake and production for wheat. *Fertilization Research* 27:313-329.
- Eckersten, H., Torssell, B., Korhner, A., Nyman, P., 2004. Modelling radiation use and regrowth in grass and red clover swards: Method of calibration. *Ecology and Crop Production Science. Report 5. Swedish University of Agricultural Science.* 50 pp
- Eckersten, H., Torssell, B., Kornher, Boström, U. (in press). Modelling biomass, water and nitrogen in grass ley: Estimation of N uptake parameters. *Eur. J. Agron.* (2007), doi:10.1016/j.eja.2007.02.003
- Eriksson m fl. (1999). *Inst. För Markvetenskap SLU*
- Fogelfors red., 2001. *Växtproduktion i Jordbruket. Natur och Kultur LTs förlag.* 428 sidor.
- Hay R.K.M. och Porter J.R., 2006. *The physiology of crop yield –Second edition. Blackwell publishing Ltd.* 314 pp.
- Jansson, P.E. & Halldin, S., 1979. Model for annual water and energy flow in layered soil. In: Halldin (ed.) *Comparison of forest water and energy exchange models. Int. Soc. Ecol. Modellin (Copenhagen)* pp. 145-163.
- Jansson, P.E. & Karlberg, L., 2001. Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. *Royal Institute of Technology, Dept of Civil and Environmental Engineering, Stockholm* 325 pp.
- Johnsson, H., Bergström, L. & Jansson, P-E., 1987. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18, 333-356.
- Pettersson, C.G., H. Eckersten, H. 2007. Prediction of grain protein in spring malting barley grown in northern Europe. *European J. Agronomy* 27:205-214.
- SMHI. *Sverige Meteorologiska och Hydrologiska Institut.*
- Torssell, B., Eckersten, H., Kornher, A., Nyman, P., Boström, U, 2007. Modelling carbon dynamics in mixed grass-red clover swards. *Agricultural Systems Vol. 94, 2:273-280.*

Muntlig kommunikation

- H. Fogelfors, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU
B. Frankow Lindberg, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU
P. Nyman, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU
G. Persson, Rossby Centre, SLU
C. Åkerberg SLU, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU

3. Växtskadegörare

Inledning

I denna bedömning av vilken skadegörelse svampar, insekter och virus för närvarande orsakar på våra grödor har hänsyn främst tagits till data från de senaste 20 åren. Detta är av flera skäl. Tidigare saknades ofta tillförlitliga data på förekomst, utbredning och skadegörelse av olika skadegörare. Vi har också fått betydligt bättre kunskap om vilka skördeförsturer olika skadegörare kan orsaka genom tillgång till nya och effektiva bekämpningsmedel mot svampar och insekter. Under de senaste 20 åren har årliga inventeringar beträffande förekomst av skadeinsekter och växtsjukdomar givit ett mycket gott underlag för att bedöma vilka skördeförsturer de kan orsaka och därmed vilken ekonomisk betydelse de kan ha i vårt land.

Vid bedömning av vilken betydelse skadeinsekter, växtsjukdomar och virus kan ha på 2080-talet har jämförelse gjorts med vilken betydelse skadegörarna har haft under de senaste 20 åren. Om man skulle ha gjort en bedömning av skillnaden mellan situationen omkring ~1975 och ~2085 skulle förmodligen skillnaden ha blivit större.

Historik

Under de senaste 50 åren har stora förändringar ägt rum inom växtskyddsområdet. De negativa effekter som blev uppenbara på grund av vissa kemiska medel i lantbruket på 1960-talet medförde ökat intresse för nya, effektiva och mer skonsamma kemiska medel mot såväl människan som miljön. På 1970- och 1980-talen kom en rad nya och effektiva medel på marknaden som hade mycket god effekt mot såväl skadeinsekter som svampsjukdomar. Det medförde också att ökad kunskap om vilka skördeförsturer som olika skadegörare orsakar och detta i sin tur att användningen av kemiska medel ökade avsevärt (Pettersson et al, 1989). Från mitten av 1970-talet ökade användningen markant av kemiska medel i jordbruket (SJV statistik). Beräkningar beträffande den ekonomiska betydelsen av skadegörare i jordbruket och effekter av minskad kemisk bekämpning har belysts (Pettersson, et al., 1989).

Den ökade användningen av kemiska medel medförde också en rad negativa effekter på flora, fauna, dricksvatten och grundvatten. Flera av de nya bekämpningsmedlen hade också stor effekt på olika nyttodjur till skadeinsekterna. Man kunde också konstatera ökad förekomst av kemiska medel i åar, grundvatten och i sjöar. Den provtagning som regelbundet ägt rum under de senaste 15-20 åren visar klart detta.

Den ökade användningen av kemiska medel i jordbruket och ökad medvetenhet om de negativa effekterna medförde att Statens Jordbruksverk i mitten av 1980-talet utformade en plan om halverad användning av kemiska medel i jordbruket. Målet var att kemikalieanvändningen skulle halveras på 5 år. När det gäller den totala mängden kemiska medel mot svampar, insekter och ogräs nådde man i stort sett målet. Den minskade mängden kemiska medel berodde främst på nya effektiva medel som även i låg dos gav god effekt. Den bekämpade arealen förändrades inte nämnvärt.

Efter den första 5-årsperioden var målsättningen att ytterligare halvera användningen, men man betonade då att risker förknippade med kemikalieanvändningen i jordbruket skulle minska förutom minskad användning. Resultatet blev något minskad användning av kemiska medel, men den bekämpade arealen var i stort sett densamma som tidigare. En mycket viktig aspekt var att riskerna förknippade med kemikalieanvändningen minskade. Det berodde på en rad olika åtgärder som ökad kunskap hos användarna av kemiska medel, testning av utrustning och olika metoder för att minska risken för läckage av kemiska medel till sjöar och vattendrag.

Förutom rådgivning och kursverksamhet har en ökad satsning på forskning och utveckling för att öka precisionen av insatser medfört att användningen av kemiska medel mot skadeinsekter och sjukdomar är betydligt bättre behovsanpassad än tidigare. Under senare år har man mer och mer betonat integrerat växtskydd vilket innebär att man försöker utnyttja en rad olika metoder för att begränsa skördeförsturer av olika skadegörare. Bland sådana metoder kan nämnas användning av motståndskraftiga sorter, en god växtföljd, lämplig odlingsteknik, balanserad gödsling och behovsanpassad bekämpning mot skadegörare. En viktig del i integrerat växtskydd är också effektivt varningssystem för skadeinsekter och växtsjukdomar och tillförlitliga prognosmetoder.

Nuvarande växtskyddsproblem

Potentiella skördeföruster av skadegörare

Den ekonomiska betydelsen av skadeinsekter, virussjukdomar och svampsjukdomar i olika grödor har beräknats med utgångspunkt från bekämpningsförsök med obehandlade led. Underlaget baserar sig främst på data från perioden 1980-2000.

Tabell 3.1. *Potentiella genomsnittliga skördeföruster orsakade av skadegörare och ogräs. Beräkningarna är baserade på data från olika källor: Insekter och svampsjukdomar: jordbruksinformation från SJV (Djurberg, 2000), försöksrapporter tillgängliga i VäxtEko*

	Insekter och domar	virussjuk- Svampsjukdomar
Höstvete	4 %	15 %
Vårvete	8 %	15 %
Råg	4 %	14 %
Korn	10 %	14 %
Havre	13 %	5 %
Rågvete	6 %	12 %
Baljväxter	9 %	5 %
Matpotatis	20 %	35 %
Fabrikspotatis	20 %	5 %
Sockerbetor	5 %	5 %
Höstoljeväxter	5 %	5 %
Våroljeväxter	20 %	10 %

Skadegörare orsakar skördeföruster och/eller kostnader för bekämpning. Även i fält som bekämpats uppstår vissa förluster eftersom bekämpningsmedlen inte alltid är 100 % effektiva. Figur 3.1 visar ett exempel på en beräkning av den ekonomiska betydelsen av skadegörare i svensk växtodling med eller utan bekämpning. En exakt beräkning av vilka skördeföruster som uppstår trots bekämpning är svår att göra, men det här exemplet bygger på antagandet att bekämpning sker i 90 % av de fält som drabbas av angrepp, och att bekämpningseffekten är 90 %. Värdet av de potentiella skördeförusterna har beräknats som en multiplikativ effekt av skadegörare och ogräs med utgångspunkt från data i tabell 3.1. Möjligheterna att minska skördeförusterna genom förändrade odlingsåtgärder har inte beaktats.

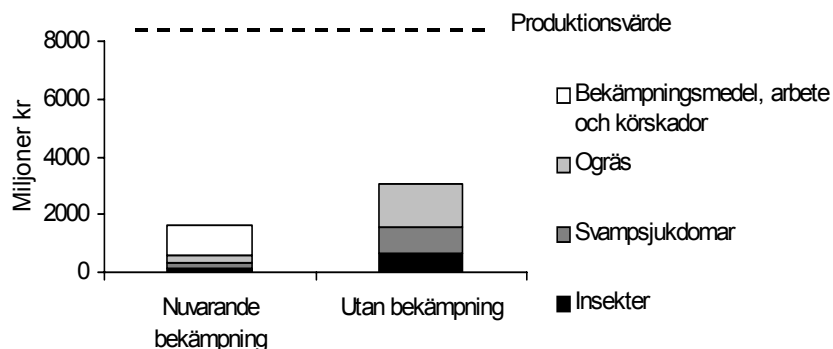


Fig. 3.1. Beräkning av genomsnittliga aktuella och potentiella kostnader orsakade av skadegörare och ogräs i stråsäd, oljeväxter, baljväxter, potatis och sockerbetor åren 1994-1999. Utsädesburna sjukdomar, liksom skadegörare i vall och köksväxter ingår inte i beräkningen.

Användning av kemiska medel

Användningen av kemiska medel i jordbruket ökade under 1970-1990. Under 1994-1998 uppgick försäljningen av bekämpningsmedel till c:a 1600 ton. Den bekämpade arealen var omkring 3,7 miljoner ha, men det inkluderar också att vissa arealer har bekämpats mer än en gång (Tabell 3.2 och 3.3).

Tabell 3.2. Försäljning av bekämpningsmedel till jordbruket, genomsnitt åren 1994-1998 (sammanställning av jordbrukets kostnader för växtskyddsmedel år 1998, www.sjv.se)

	Totalt	Insektsmedel	Svampmedel	Betningsmedel	Ogräsmedel
Såld kvantitet (ton)	1590	22	200	77	1291
Värde (milj. Kr)	696	50	114	69	463

Tabell 3.3. Bekämpad areal, genomsnitt åren 1994-1998 (SCB, 2000)

	Totalt	Insektsmedel	Svampmedel	Ogräsmedel
Doser ¹ (milj. Ha)	3,7	0,5	1,2	2,0
Kostnad ² (milj. kr)	370	50	120	200

¹ vissa arealer sprutas mer än en gång

² räknat med 100 kr/ha för arbete och körskador

Betydelsefulla skadegörare

I de olika grödorna förekommer en rad olika växtsjukdomar, skadeinsekter och ogräs som har mycket stor ekonomisk betydelse med nuvarande brukningsmetoder och klimatförhållanden. Den potentiella skördeförlusten pga skadegörare kan uppskattas till ca 3 miljarder kronor årligen.

Stråsäd

I stråsäd förekommer ett flertal olika skadeinsekter som kan orsaka mycket stora skördeföruster i både höstsäd och vårsäd. Det föreligger emellertid stora skillnader i angrepp mellan olika år och olika områden, men också mellan olika fält inom samma region.

De stora skillnader som förekommer mellan olika år och mellan områden torde till stor del bero på skillnader när det gäller temperatur, nederbörd och andra väderparametrar. De skillnader som förekommer mellan fält inom samma region torde i första hand bero på skillnader i odlingsteknik, växtföljd och sortval.

I stråsäd är bladlössen några av de mest betydelsefulla skadeinsekterna. Havrebladlus och sädesbladlus är de vanligaste arterna i vårt land, även om vissa andra arter kan förekomma. Totalt förekommer mer än 500 olika bladlusarter i Sverige av vilka mer än 40 arter har relativt stor ekonomisk betydelse. Under år med starka angrepp av havrebladlus i vårsäden kan skörden reduceras med 20-50 % i vissa fält. Sammantaget skulle förlusterna under ett år kunna uppgå till mellan 300 och 400 miljoner kronor enbart i vårsäden om ej några motåtgärder sattes in.

Enstaka år har stora invasioner av bladlöss från länder på andra sidan Östersjön medfört mycket starka angrepp främst i de östra delarna av vårt land. Så var det under 2002, då mer än 70 procent av vårsädesarealen behövde behandlas mot havrebladlusen för att minska skördeförusterna. Bladlössen fångades i de sugfällor som finns i de Östra delarna av Sverige bl a på Ultuna och vid Kalmar. Under 2 dagar i början av maj förde vindarna med sig havrebladlöss från östra Lettland eller Nordvästra Ryssland till de östra delarna av Sverige. Det visar de trajektorieberäkningar som utförts i samarbete med SMHI.

Förutom de direkta skador som bladlössen orsakar kan de också sprida rödsotvirus, som främst är ett problem i vårsäden under nuvarande klimatförhållanden. Under enstaka år har mycket starka angrepp av rödsotvirus noterats främst i de södra och mellersta delarna av landet. Förmodligen sprids ibland rödsotvirus med bladlöss som med vinden förts in i landet från områden på andra sidan Östersjön (Haegermark, 1991).

Under milda höstar och vintrar har man emellertid kunnat notera relativt starka angrepp av rödsotvirus även i höstsäd och då särskilt i södra Sverige. Detta torde främst bero på att bladlössen, vektorerna gynnas och de kan under lång tid på hösten infektera höstsäden. Under våren sker sen ytterligare spridning inom fältet och resultatet kan bli mer eller mindre stora fläckar i fälten med starka rödsotvirusangrepp.

Under vissa år på 1900 talet har höstvetet drabbats i stor omfattning av vetedvärgsjuka. Senast förekom starka angrepp i Mälarenregionen 1997-1998 med mycket stora skördeföruster som följd. I många fält halverades skörden vid starka angrepp (Lindblad & Sigvald, 2004; Sigvald, 2007). Orsaken var en virussjukdom, som sprids med en insekt, den randiga dvärgstriten. Orsakerna till de starka angreppen är ej klarlagda, men förmodligen hade odlingsteknik, odlingsstruktur och vädret stor betydelse. Under hösten 2006 har stor förekomst av den randiga dvärgstriten noterats i många områden i Mellansverige och man kan befara att angreppen åter kan öka. Hur stor betydelse klimatet har för denna insekts utbredning är svårt att bedöma.

Andra betydelsefulla insekter i stråsäd är vetemyggor, fritflugor, olika tripsarter och sädesbladbagge. Flera av de nämnda skadegörarna påverkas starkt av olika väderfaktorer som nederbörd och temperatur (Larsson, 2005). Även nematoder har stor betydelse i stråsäden, särskilt i mottagliga sorter.

I stråsäden förekommer en rad olika svampsjukdomar som framför allt under nederbördsrika år kan orsaka stora förluster. I höstvetet har främst olika bladfläcksvampar som brunfläcksjuka och vetets bladfläcksjuka, brunrost, stinksot, dvärgstinksot och gräsmjöldagg stor betydelse. I vårsäd kan kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka orsaka mycket stora förluster under nederbördsrika somrar. Även flera utsädesburna sjukdomar som olika sotsvampar, kan ha stor betydelse i vårsäden, men dessa påverkas kanske inte i lika hög grad av olika väderfaktorer för sin utveckling och skadegörelse.

I höstvetet kan skördereduktionen vid starka angrepp av bladfläcksvampar uppgå till mellan 15-40 % i enstaka fält, men i genomsnitt blir förlusterna betydligt lägre. För att minska skördeförusterna utförs ofta en bekämpning med

kemiska medel. Förebyggande åtgärder som lämplig växtföljd och odlingsteknik och användning av friskt utsäde är angeläget för att minska risken för angrepp (Berggren Gustafsson & Djurle, 1993).

Vissa svampsjukdomar som fusarium kan också medverka till försämrad kvalitet av kärnan och förekomst av mykotoxiner. Under nederbördsrika somrar har också relativt stor förekomst av mjöldryga konstaterats i brödspannmålen. Detta har medfört att skörden kasserats som brödsäd.

Potatis

I potatis förekommer också ett flertal skadegörare, som kan orsaka stora skördeförkastelser vid starka angrepp. Potatisbladmögel, lackskorv och olika virussjukdomar som potatisvirus Y och Moptop har mycket stor betydelse. För att minska risken för potatisbladmögel sker behandling med kemiska medel ett flertal gånger under säsongen. I södra Europa med ett mer gynnsamt klimat för potatisbladmögel utförs fler bekämpningar än i Sverige. Man har dock kunnat notera under de senaste 20 åren att angreppen tycks komma tidigare på säsongen än för ett 30-tal år sen och därmed har antalet bekämpningar ökat (Andersson, B. & Sandström, M., 2000).

En rad olika insekter som stritar, stinkflyn och tripsar kan orsaka stora förluster vid starka angrepp i potatis och förlusterna kan uppgå till ca 10 ton per ha om inte motåtgärder sätts. Potatisvirus Y (PVY) som sprids med olika bladlusarter kan orsaka mycket stora förluster för utsädesodlare. Förutom olika bladlusarter har flera andra faktorer stor betydelse som t ex förekomst av smittkällor, sort, sättdpunkt och tidpunkt för skörd (Sigvald, 1984; 1985; 1986; 1987). Om man sätter ett starkt smittat utsäde kan skörden bli ca 50 % jämfört med användning av friskt utsäde. Under 2006 var spridningen av PVY mycket omfattande varför det under 2007 föreligger brist på friskt potatisutsäde. Potatisens bladrollsjuka som främst sprids med persikbladlöss är en virussjukdom på potatis som för närvarande ej har så stor betydelse i vårt land, men orsakar stora problem för utsädesodling av potatis på kontinenten där klimatet är mildare.

Även stjälpbakterios, ringröta, potatiskräfta och nematoder är också betydelsefulla skadegörare i potatis. Stjälpbakterios gynnas av nederbördsrika och varma somrar, medan nematoderna främst gynnas av högre temperatur. Nya potatissorter är resistenta mot nematoder och potatiskräfta. Ringröta kan vålla mycket stora problem om den inte upptäcks i potatisutsädet. Ökad import av potatisutsäde kan öka risken för att denna sjukdom får ökad spridning.

Som nämnts har många skadegörare stor betydelse i potatisodlingen och det gäller inte minst vid utsädesproduktion av potatis. En viktig grundförutsättning för en god skörd är ett friskt utsäde. I vårt land med det nordliga läget har förutsättningarna varit gynnsamma för en sådan produktion och det gäller kanske främst de norra delarna av landet där de bästa klasserna av utsädespotatis produceras. Förutsättningarna kan emellertid förändras i samband med ett varmare klimat, som gynnar en rad olika vektorer för virussjukdomar på potatis. Detta är något som bör beaktas vid bedömning av hur det framtida klimatet påverkar utsädesproduktion av potatis.

Oljeväxter, baljväxter och sockerbetor

I oljeväxterna kan bomullsmögel, *Sclerotinia sclerotiorum* (Twengström, 1999) och svartfläcksjuka, *Alternaria brassicae* orsaka mycket stora förluster vissa år, i enstaka fält upp till 50 %. Bland insekterna har rapsbaggar, *Meligethes aeni* och jordloppor störst betydelse. Under senare år har resistens mot kemiska medel konstaterats hos rapsbaggarna, vilket medfört mycket dåliga effekter vid kemisk bekämpning.

Även virussjukdomar kan drabba oljeväxterna. Undersökningar i södra Sverige visar att ca 50 procent av plantorna var smittade med *beet western yellow virus* (BWYV) i enstaka höstoljeväxtfält i Skåne (Sigvald, R., 2005). Särskilt stor risk för virus i oljeväxter föreligger under år med milda höstar och vintrar, vilket gynnar vektorerna, bladlössen. Några av de mest betydelsefulla vektorerna är persikbladlusen *Myzus persicae*, ärtbladlusen, *Acyrtosiphon pisum*, havrebladlusen, *Rhopalosiphum padi* och sallatsbladlusen, *Cavariella aegopodi* samt ytterligare ett 10-tal arter. Under den milda hösten 2006 kunde man i södra Sverige konstatera förekomst av vingade bladlöss under hela november med hjälp av den sugfälla som finns installerad på Alnarp.

I ärt är det främst bladlöss och ärtvecklare som är de mest betydelsefulla insekterna och i sockerbetor olika bladlusarter samt insekter i samband med uppkomsten, dvs i sockerbetornas tidiga utvecklingsstadier. Vissa

virussjukdomar på sockerbetorna kan vissa år bli betydelsefulla, förmodligen på grund av spridning med vingade bladlöss från kontinenten. Den mest betydelsefulla bladlusarten är persikbladlusen, *Myzus persicae*.

Vädrets inverkan på skadegörare

Vädret inverkar på flera sätt på skadegörarnas utveckling. Temperatur, nederbörd, luftfuktighet, solstrålning, vind och snötäcke påverkar förekomst och utbredning av olika skadeinsekter och växtsjukdomar.

Insekters eller svampars klimatkrav varierar mellan olika faser i dess utveckling. En insektslarv kan t ex ha en helt annan temperaturkänslighet än den fullvuxna insekten. Ofta utvecklas insekten hastigare från ägg till fullbildad ju högre temperaturen är upp till en viss nivå, men vid mycket höga temperaturer kan dödligheten öka. I vårt land torde inte höga temperaturer vara en begränsande faktor utan temperaturen torde i regel ligga under den optimala för insekters reproduktion och utveckling. Temperaturen påverkar också insekternas flygaktivitet och därmed också utbredningsområde. Även svamparnas utveckling påverkas av temperaturen, men deras utveckling påverkas i ännu högre grad av nederbörd och luftfuktighet.

Mellan olika år och olika regioner i vårt land föreligger stora skillnader i angrepp. Det finns en rad olika förklaringar till detta. Förutom odlingsteknik, val av sorter och gröda, skillnader i resistens mot skadegörare kan olika väderfaktorer inverka. Vi känner väl till att regniga och fuktiga år gynnar bladmögel på potatis vilket kan ge upphov till starka angrepp av brunröta. Även bladfläcksvampar på stråsåd gynnas av regniga somrar. Ofta medverkar varma och torra somrar till ökad population av insekter.

Indirekt kan också väderleken påverka skadegörelsen på grödorna med hänsyn till hur grödans känsliga stadium sammanfaller med skadegörarens utveckling. Fritflugans, *Oscinella frit* angrepp i havre är ett exempel. Sen sådd kan medföra att havrens känsliga stadium sammanfaller med fritflugans svärmning (Lindblad, M. & Sigvald, R., 1996;1999).

Sen sådd av havre ökar också risken för starka angrepp av rödsot under år med riklig förekomst av havrebladlöss, som är vektor för rödsotvirus. Tidig infektion av rödsotvirus i förhållande till havrens utveckling orsakar mycket stora skördeföruster jämfört med sen infektion (Bisnieks, et al, 2005). Risken för angrepp av olika svampsjukdomar på höstsåd ökar vid tidig sådd av höstvetete eller höstråg eller vid mycket mildt väder under hösten som gynnar ex rostsvampar och mjöldagg.

Väderlekens direkta inflytande på skadegörarna har givetvis störst betydelse. Både skadeinsekter och skadesvampar såväl i plantan som utanför plantan, i beståndet, i luften ovanför grödan, nere i marken eller på en helt annan växt t ex en mellanvärd påverkas av olika väderfaktorer.

För att de fullbildade insekterna skall flyga krävs en viss minimitemperatur. Så är det hos de vingade bladlössen, men temperaturtröskeln varierar mellan olika arter av bladlöss men också mellan olika former av samma art. T ex för havrebladlusens (*Rhopalosiphum padi*) vårmigranter är temperaturtröskeln 14-19 °C (tröskel ca 17 °C), medan höstmigranterna kan flyga vid en lägre temperatur mellan 6-13 °C (tröskel ca 10 °C) (Wiktelius, 1981).

Likaså växlar klimatkraven hos svamparna i olika stadier av dess *livscyklar*. Det finns flera exempel på detta bland våra vanliga skadesvampar på kulturväxterna. Både stråknäckarsvampen, *Pseudocercospora herpothrichoide*) och sköldfläcksjuka, *Rhynchosporium secalis* är mycket beroende av temperatur, luftfuktighet och nederbörd för sin utveckling

De komponenter som har störst inverkan på en växtsjukdomars utveckling och spridning är patogen, värdväxt och miljö. Därtill kommer människans förmåga att förstå och påverka förloppen. De växtsjukdomar som främst sätts i samband med vädrets inflytande är de luftburna sjukdomarna, som utvecklas i växtens "gröna delar" och lätt kan få epidemiska proportioner. Det gäller t ex potatisbladmögel. På 1840 - talet drabbades potatisodlingarna på Irland av mycket starka angrepp av potatisbladmögel och skörden blev angripen av brunröta. Resultatet blev att ca 1 miljon människor dog av svält och något mer än 1 miljon människor utvandrade bl.a. till USA.

Jordburna sjukdomar sprider sig långsamt och är väl buffrade mot plötsliga väderförändringar. Man kan ändå förmoda att långsiktiga väderförändringar (klimatförändring) kan påverka deras uppträdande.

Vindens betydelse

Både svampsjukdomar och insekter kan med vindarna föras långa sträckor. Det innebär att nya arter kan introduceras där de förut ej haft någon betydelse. Det finns en rad exempel på detta. I Sverige introducerades dvärgstinksot för ca 50 år sen (Jonsson, 1992). Det finns två möjligheter för sjukdomen att introduceras, dels via utsäde och dels med vindens hjälp. Det är troligt att svampens sporer spridits från länder sydost om Östersjön till Sverige. I slutet av 1960-talet färgades snön brun i de östra delarna av södra och mellersta Sverige under senkvintern 1969. Jordpartiklarna kom förmodligen från områden i Ukraina eller närliggande länder. Även konidier av gräsmjöldagg på stråsäd kan med vindens hjälp spridas över stora avstånd. Däremot sprids ej sporer av vissa bladfläckschampar som t ex kornets bladfläcksjuka över så stora avstånd. Under gynnsamma förhållanden med fuktig och regnig väderlek under sommaren kan emellertid spridningen ske över relativt stora avstånd genom att svampen genomgår ett flertal livscyklar eller generationer.

Flera exempel på insekter som med vindens hjälp sporadiskt förekommer i vårt land är t ex kålmalen. Under år 1995 förekom relativt starka angrepp i Mellansverige och norra Sverige. I mitten av juni detta år noterades relativt starka angrepp av kålmalens larver på vårraps, vårrybs och andra kålväxter (Waern & Ekbohm, 1995). Man kunde konstatera relativt gott om fullbildade kålmalar i den sugfälla som finns installerad på Gotland i slutet av maj. I Finland hade man kunnat notera ett moln av dessa insekter på väderradar. I St. Petersburgregionen hade man också noterat starka angrepp av kålmalens larver. Det är något oklart varifrån dessa fullbildade kålmalar kom ifrån, men man kunde observera att i Sverige drabbades ungefär samma regioner av kålmal under år 1995 som av det radioaktiva molnet från Tjernobyl år 1986.

I södra Sverige drabbas ibland sockerbetorna av virusjukdomar. Det föreligger ett starkt samband mellan sydliga vindar och angrepp av virus på sockerbetorna i södra Sverige (Wikteliuss, 1980). Orsaken är att den främsta vektorn för virus på sockerbetor är persikbladlusen. Med vindens hjälp förs den in i södra Sverige från kontinenten. Dessa persikbladlöss kan då vara smittade med virus som sedan kan föras över till sockerbetorna i Sydsverige. Även tidiga angrepp av rödsotvirus i stråsäd, bl.a. havre har förmodligen vissa år spridits med havrebladlöss från länder syd - ost om Östersjön till de sydöstra delarna av vårt land (Haegermark, 1991).

Under år 1973 kom en invasion av koloradoskalbaggar till främst södra Sverige, men enstaka fynd konstaterades också i norra Götaland (Gränsbo, 1974). Ett omfattande utrotningsprogram genomfördes och efter några år kunde ej nya fynd konstateras i Skåne eller andra delar av södra Sverige. Vid en ökad medeltemperatur kommer koloradoskalbaggar att etableras och man kommer att behöva sätta in kemisk bekämpning i potatisodlingarna för att begränsa skördeförlusterna.

Effekter på skadegörare och gröda vid förändrat klimat

Vid försök att bedöma betydelsen av skadegörare vid ett förändrat klimat utgår vi först från att nuvarande odlingsmetoder, odlingsstruktur och grödfördelning består.

Insekter

Flertalet skadeinsekter gynnas av varmare och torrare väderlek, medan svampsjukdomar gynnas om väderleken under växtsäsongen blir regnigare och fuktigare. Ett flertal faktorer påverkar förekomst och utbredning av skadegörare i vårt land som temperatur, nederbörd, luftfuktighet, vind, strålning och snötäcke. Hur förekomst och utbredning av insekter kan påverkas vid ett förändrat klimat har bl.a. diskuterats av Solbreck (1993).

Geografisk utbredning

Antalet insektsarter, och därmed antalet skadegörande arter, kan förväntas öka med stigande temperaturer (Sutherst et al., 2007; Harrington and Woiwod, 1995). Den geografiska utbredningen av insekter i norra Europa begränsas i många fall av deras övervintringsmöjligheter. Förutom genom direkt dödlighet till följd av låga temperaturer kan övervintringen begränsas av att växtsäsongen är för kort för att insekterna ska hinna lagra upp tillräckligt med näring

för att överleva vintern. I och med att utbredningen av insekter i Europa förändras om klimatet blir varmare ökar också risken för invasioner av skadeinsekter från kontinenten. Många insekter kan förflytta sig långa sträckor och orsaka skador även i områden där de inte kan övervintra.

Förändringar i tillväxt och överlevnad

Insekters utveckling är direkt temperaturberoende. Med ökande dygnstemperaturer kommer utvecklingen från ägg till vuxen att gå fortare. En längre växtsäsong ger också möjlighet till utveckling under en längre tid på året. Temperatur påverkar också andra populationsreglerande faktorer som överlevnad, migration och förökning.

Ett varmare klimat kommer att påverka antalet generationer en insekt kan utveckla under en växtsäsong. Det gäller speciellt i tempererade områden där insekterna i regel utvecklas under optimal temperatur större delen av året. Generationslängden blir i regel kortare och det medför att de hinner bygga upp en allt större population under säsongen om värdväxter finns tillgängliga. Man har gjort beräkningar för flera insektsgrupper som visar hur antalet generationer ytterligare kommer att öka vid en ökad temperatur av 2 grader (Yamamura and Kititani, 1998) För bladlössen skulle det betyda ytterligare 4-5 generationer, för tripsar och flugor 2-3 och för fjärilar 1-2 generationer ytterligare.

Varmare klimat kommer att förlänga den period för insekter under vilken temperaturen är över tröskelvärde för utveckling, reproduktion och aktivitet. Detta kan medföra att insekterna startar sin aktiva period tidigare under säsongen och att de gynnas i högre grad än grödan. Samtidigt kan de vara aktiva längre under säsongen. Vilka effekter ett varmare klimat med några graders högre temperatur medför kan vara svårt att bedöma, eftersom många insekter också påverkas av dagslängden och inträder i diapaus beroende på fotoperiodens längd (Harrington, 2002). Inom detta område har vi inte tillräcklig kunskap för att bedöma effekterna.

Man bedömer också att flera insektsarter, som begränsas i sin utbredning kommer att sprida sig närmare polerna och till högre nivåer på vilka de kan överleva. I tempererade områden har man beräknat att en ökning av temperaturen med en grad C motsvarar en förflyttning med c:a 200 km eller 140 m i altitud (Parry et al., 1989) Om detta kommer att inträffa eller ej beror naturligtvis också på tillgång till föda på de nya lokalerna. Det är inte självfallet att en skadeinsekt i ett område kommer att bli ett problem i det nya området. Å andra sidan kan en insekt som inte är ett problem i ett visst område bli en skadeinsekt i det nya området bl. a beroende på avsaknad av naturliga fiender (Harrington, 2002).

Högre C/N kvot i växter kan innebära större insektsskador eftersom insekterna måste äta mer för att få samma mängd kväve, men kan också öka plantans motståndskraft (Goudriaan and Zadoks, 1995). Förökning och överlevnad hos många gnagande insekter (t ex fjärilslarver) försämras med stigande CO₂-halt, medan experiment med bladlöss visar att deras förökningstakt ökar (Awmack et al., 1996; Awmack and Harrington, 1998; Jones et al., 1998). Bladlössens produktion av honungsdagg, och därmed förekomsten av sotdaggsvampar, ökar också med stigande CO₂-halter.

Med varmare klimat kommer grödor som idag endast är av marginell betydelse (t ex majs) att kunna odlas i ökad omfattning. Likaså kommer flera grödor som nu endast odlas i södra Sverige att kunna odlas i större delar av landet. Detta medför att inhemska skadegörare som idag är av mindre betydelse, liksom nyintroducerade skadeinsekter, svampsjukdomar och ogräs, kan få ökad betydelse.

Vindens betydelse

Det är svårt att bedöma huruvida vinden kommer att medverka till ökad förekomst av vissa skadegörare i vårt land. Det hänger framför allt samman med frekvens vindar från sydväst till sydost som kan föra med sig insekter och svampsporer till vårt land. Det är troligt att flera skadegörare (speciellt bladlusarter) kommer att etablera sig kanske framför allt i de södra delarna av landet både beroende på ökande frekvens vindar från sydväst till sydost och högre temperatur som gör att de kan klara övervintringen. Risken ökar också för massinvasioner av insekter som koloradoskalbagge (vilket hände i mitten av 1970-talet) och bladlöss (vilket hände 1985 och 2002).

Exempel på framtida skadeinsekter

Koloradoskalbaggen är den mest betydelsefulla skadegöraren i potatis där den kan orsaka stora skador. Den etablerades i Europa på 1920-talet och har sedan dess spritt sig till stora delar av Europa. I delar av södra Sverige, liksom i Storbritannien, finns det redan i dagsläget vissa möjligheter för att insekten skulle kunna etableras. Koloradoskalbaggen är en karantänsskadegörare för vilken speciella regler gäller om den skulle uppträda i Sverige. Spridningen begränsas genom övervakning och bekämpning om angrepp uppstår. I mitten av 1970 - talet invaderades södra Sverige av koloradoskalbaggar från kontinenten (Gränsbo, 1974; Johansson, 1974) och det är troligt att de kan etablera sig i dessa trakter vid ett varmare klimat. Med stigande temperaturer kommer väsentligt större områden att bli gynnsamma för insektens överlevnad (Baker et al., 1996; Baker et al., 1998) och risken för etablering i Sverige ökar betydligt. I nordvästra Ryssland och södra Finland har koloradoskalbaggen ökat i omfattning under senare år.

Bladlössen är några av de mest betydelsefulla skadeinsekterna på våra grödor både som direkta skadegörare genom saftugning och indirekt genom spridning av virussjukdomar. Dessa kommer förmodligen att vara några av de skadegörare som kommer att få en allt större betydelse på flertalet av våra grödor. Vid ett varmare klimat kommer bladlössen att gynnas på flera olika sätt som antal generationer, spridning med vindar och övervintring (Harrington, 2002). Flera betydelsefulla bladlusarter på våra grödor kommer förmodligen att kunna övervintra i södra och mellersta Sverige på ogräs och olika grödor utan äggstadium. Det innebär att en bladluspopulation kommer att utvecklas och migrera från vintervärden till olika odlade som vilda växter och en population kommer att fortsätta sin utveckling på de växter de övervintrat.

Några arter som troligen kommer att få större betydelse som direktskadegörare är havrebladlusen och sädesbladlusen på stråsäd, persikbladlusen i potatis, oljeväxter och sockerbetor samt betbladlusen i åkerböna och sockerbetor. Utöver dessa arter som också medverkar till ökad risk för virus-spridning kommer troligen ett flertal ytterligare bladlusarter att medverka till spridning av olika virussjukdomar i stråsäd, potatis, oljeväxter och sockerbetor. Vi känner för närvarande till ett 40 tal olika arter som är vektorer för olika virussjukdomar på våra grödor.

Flera exempel på hur varmare klimat kan påverka när bladlössen börjar uppträda under säsongen finns bl. a från England. Man har där analyserat dataset från sugfällor (12 meter höga insektfällor) från 1964 och 30 år framåt (Woiwod and Harrington, 1994). Man bedömer att denna grupp av insekter är bland de mest känsliga indikatorerna för temperaturförändringar beroende på deras låga tröskelvärde för utveckling och korta generationstid. En ökad temperatur kommer troligen i hög grad att gynna dessa insekter.

I England finns ett system med sugfällor för insekter sedan 40 år tillbaka (Rothamsted Insect Survey). Dessa insektsfällor töms dagligen och bladlössen identifieras. Data från dessa utnyttjas i olika analyser över hur klimatet kan påverka bl.a. förekomst och utbredning av olika bladlusarter. Liknande sugfällor finns i flertalet länder i Europa. I ett EU projekt i vilket Sverige deltagit har ett 20 tal länder medverkat med 80 sugfällor totalt. Information om projektet finns på följande hemsida: <http://www.iacr.bbsrc.ac.uk/examine/>. Data över bladlusförekomsten från sugfällor från medverkande länder lagras i en databas i Storbritannien och utnyttjas för olika studier relaterat till klimatförändringar. Från Sverige har SLU i Uppsala deltagit i projektet.

För många bladlusarter är det ett starkt samband mellan förekomst av de första vingade bladlössen i sugfällorna och vintertemperaturen (Harrington, 2002). Analyserna visar att vårmigrationen startat tidigare ju mildare vintern varit. Den tidigare migrationen kommer att medföra betydligt starkare angrepp av bladlöss i olika grödor om inte tidpunkten för vårsådd kommer att bli avsevärt tidigare. Såtidpunkten på våren påverkas inte enbart av temperaturen i ett framtida varmare klimat utan också av nederbörden. Prognoserna pekar mot ökad nederbörd under våren vilket torde försvåra en tidig vårsådd, vilket främst gäller för mellersta Sverige. Detta medför i sin tur att bladlössen gynnas mer än grödan, vilket torde öka problemen med direktskador av bladlöss och rödsotvirus i vårsäd som havre och korn.

Insektsoverförda virussjukdomar

Bladlöss är viktiga vektorer för virussjukdomar på växter. I Sverige övervintrar bladlössen främst som ägg, men med varmare klimat kan de också komma att övervintra som vuxna. Risken för spridning av virussjukdomar ökar då

betydligt. Flera studier har också visat att det finns ett samband mellan milda vintrar och spridning av virussjukdomar i stråsäd, potatis och sockerbetor (Thomas, 1989; Carter and Harrington, 1991; Harrington et al., 1995). Varmare vintrar medför både tidigare utflygning till grödorna och att antalet bladlöss ökar (Harrington and Woiod, 1995).

Undersökning av samband mellan 35 års data av bladlusfångst i sugfällor och temperaturen under januari – februari visade relativt starkt samband mellan medeltemperaturen under dessa månader och tidpunkt för första fångst av vingade persikbladlöss. Vid en ökning av temperaturen med 4°C skulle man fånga persikbladlössen ungefär en månad tidigare jämfört med dagens klimat (Harrington, 2002). Man kan förmoda att liknande förhållanden kan komma att råda i vårt land och att en förhöjd temperatur kan medföra avsevärt ökad risk för spridning av virussjukdomar i främst potatis, men även höstoljeväxter och vårsäd torde drabbas. Förmodligen kan också spridningen av virusgulrot i sockerbetor öka.

Rödsot är en virussjukdom som orsakar stora skador i höstveten i Storbritannien och på kontinenten, men i Sverige är starka angrepp av rödsotvirus ovanligt i höstsäd eftersom väderleken efter uppkomsten på hösten normalt är för kylig för att spridning ska ske. Året efter den ovanligt varma hösten 1999, med medeltemperaturer i september upp till 4°C över det normala, förekom dock smittade plantor i många höstvetefält och då främst i södra Sverige. Under den milda hösten 2006 torde risken för rödsotvirus i höstsäd ha varit relativt stor i södra Sverige. Havrebladlöss förekom så sent som under hela november i Skåne. Detta konstaterades tack vare den sugfälla för insekter som finns placerad på SLU, Alnarp. I England bedömde man risken som mycket stor för rödsotvirus i höstsäden under hösten 2006 och där har man rekommenderat odlarna att behandla höstsäden med insektsmedel mot bladlössen för att förhindra virus spridningen.

Virus i höstoljeväxter torde också öka vid ett varmare klimat i framtiden. Flera olika bladlusarter är vektorer för dessa virussjukdomar av vilka Beet Western Yellow Virus tycks vara den vanligaste i södra Sverige (Sigvald, 2005). Orienterande undersökningar i södra Sverige visar att 50 % av plantorna kan vara virusmittade i enstaka höstoljeväxtfält. Det kan medföra en skördeförlust på 15 %, men vi har ej tillräckligt underlag i Sverige för att bedöma vilken betydelse virus i höstoljeväxter kan ha och vilken risk som föreligger i framtiden. Persikbladlusen, ärtbladlusen och havrebladlusen är några av vektorerna och dessa gynnas av varmare klimat. Förmodligen kommer betydelsen av virussjukdomar i höstoljeväxter att öka betydligt i framtiden. Även virussjukdomar på sockerbeta och andra virussjukdomar på stråsäd än de ovan nämnda att få större betydelse i framtiden. Men flera faktorer som odlingsteknik och odlingsstruktur torde också inverka på förekomsten av olika virussjukdomar på våra grödor. Vetedvärgsjuka och dvärgskottsjuka på stråsäd samt olika virussjukdomar på potatis kan komma att få ökad betydelse förutom nya insektsöverförda virussjukdomar som kan komma in i landet och etableras om lämpliga värdväxter förekommer.

Sedan mitten av 1980-talet har bladlusmigrationen studerats i Sverige bl.a. med hjälp av sugfällor liknande de i England. Under de första åren var syftet i första hand varit att belysa risken för virus spridning i potatis (Sigvald, 1986; 1987). Under senare år har undersökningar också utförts för att utveckla prognosmetoder för betydelsefulla bladlusarter på kulturväxterna. Det gäller sådana arter som havrebladlusen, sädesbladlusen, ärtbladlusen, betbladlusen, kålbladlusen och salladsbladlusen. I samband med dessa studier har vindens och temperaturens betydelse på bladlusarternas aktivitet kunnat belysas. För att kunna belysa olika insekters utbredning och förekomst är det angeläget att ett system för fångst av insekter etableras och upprätthålls. Långa dataserier beträffande förekomst av insekter i sugfällor erbjuder unika möjligheter att studera effekter av varmare klimat på olika arters förekomst och utbredning (Harrington, 2002). Detta har man visat genom de studier som utförts i England.

Svampsjukdomar

I områden med ökad nederbörd och luftfuktighet kommer många svampsjukdomar att utvecklas snabbare och orsaka större förluster. Varmare och/eller torrare väderlek missgynnar däremot betydelsefulla patogener som bladfläcksvampar i stråsäd, men andra arter, t ex rostsvampar, kan få ökad betydelse (Jahn et al., 1996).

Potatisbladmögel

Potatisbladmögel är den mest betydelsefulla skadegöraren i potatis, och bekämpningen mot denna sjukdom svarar för en stor del av användningen av bekämpningsmedel i Sverige.

Slutsatser beträffande temperaturens effekt på potatisbladmögel varierar mellan olika studier. Jahn et. al (1996) använde en empirisk modell grundad på inventeringsdata och fann att risken för potatisbladmögel minskar med stigande temperaturer. Kaukoranta (1996) använde en mekanistisk simuleringsmodell och kom fram till motsatta slutsatser. Han fann att betydelsen av potatisbladmögel ökar eftersom ett varmare klimat medför att grödans mottagliga period förlängs, och det första angreppet kan förväntas komma tidigare. Simuleringar visar att en ökad temperatur upp till ca 20 °C starkt minskar tiden från att bladmögelangreppen startar till det 50 % av bladen är angripna (GiLB, 2000). Vid ytterligare förhöjd temperatur ökade tiden igen. Ökad bladfuktighet och varaktighet av bladfukt minskade tiden till det 50 % av bladen var angripna av potatisbladmögel.

Med historiska data från Finland har man jämfört angreppen av potatisbladmögel under perioden 1933-1962 med perioden 1983-2002 (Hannukkala et al., 2007). Risken för angrepp var betydligt högre under perioden 1983-2002 än perioden 1933-1962. Angreppen började också 2-4 veckor tidigare. Dessa förändringar förklarade man främst med gynnsammare klimat för potatisbladmögel under den senare perioden. Man menade också att växtföljd och ev. marksmitta inte hade så stor inverkan på de tidigare och starkare angreppen. Till följd av detta har man behövt utföra kemisk bekämpning mot potatisbladmögel betydligt oftare under den senare perioden än vad man gjorde tidigare.

I Sverige torde effekterna av en klimatförändring bli likartade som i Finland. Vi kan förvänta oss betydligt starkare och tidigare angrepp i ett framtida varmare klimat än vad som nu föreligger. Observationer under den senaste 10-årsperioden pekar också mot detta. Det kan dock föreligga stora skillnader mellan olika regioner i Sverige beroende på nederbörd, temperatur och vegetationsperiodens längd. Förmodligen kan behovet av kemisk bekämpning öka med 30-50 % med nuvarande sortmaterial och odlingsteknik, främst i mellersta och norra Sverige.

Stråsåd och oljevaxter

Högre temperaturer kommer troligen att öka förekomsten av vissa svampsjukdomar såsom rostsjukdomar. I områden med minskad nederbörd torde förekomsten av några sjukdomar i stället minska t ex kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka. För oljevaxter gäller detta bomullsmögel, svartfläcksjuka och klumprotsjuka, även om en ökad frekvens av oljeväxtodling kan öka förekomsten av dessa sjukdomar. Ökad nederbörd flera år i rad kan också öka förekomsten genom smitta på halmrester t ex vid odling av vete efter vete.

Andra skadegörare

Andra skadegörare som nematoder på potatis torde också gynnas av ökad temperatur i framtiden. Potatiscystnematoden kan få fler generationer per säsong vilket skulle kunna öka angreppen och därmed skördeförlusterna (Carter et al., 1996). Detta kan dock motverkas av ökad användning av resistent sorter.

I stråsåden torde olika rotsvampar öka i omfattning vid ett varmare klimat. För närvarande är betingelserna för utveckling och spridning i vårt land i regel under de optimala. Hur stor betydelse dessa svampar kan ha i framtiden hänger också samman med tillgång till resistent sortmaterial. Det finns indikationer på att vissa rotsvampar kan bli mycket allvarliga framöver på grund av att sortmaterialet är mycket mottagligt.

Tabell 3.4. Några exempel på temperaturkrav m.m. hos några patogener på kulturväxterna.

Patogen	Temp. °C			Kommentarer
	Min.	Opt.	Max	
Stagonospora nodorum (Brunfläcksjuka)	4	15-25, 20-27	32	Gäller groningen och infektion. Gynnas av regnig och blåsig väderlek. Berggren.,1993. Weise, 1987.
Puccinia recondita f.sp. tritici (Brunrost)		15-22		Sprids vid torrt väder men infektion gynnas av fritt vatten, exempelvis nattfukt. Weise, 1987.
Erysiphe graminis f.sp. tritici (Gräsmjöldagg)	5	20	25	Optimum för epidemisk spridning, 15-22 °C. Sprids vid torrt väder men infektion gynnas av fritt vatten, exempelvis nattfukt. Sundheim, 1982. Weise, 1987.
Pseudocercospora herpotrichoides (Stråknäckare)	0	10-15	20	Gynnas vid temperaturer under 15°C och hög luftfuktighet. Konidieproduktion är maximal vid 10°C. Sundheim, 1982.
Microdochium nivale (Snömögel)	-6	21	28	Vid odling in vitro. Gynnas av tät gröda och långvarigt snötäcke. Sundheim, 1982.
Phytophthora infestans (Potatisbladmögel)		21 (15- 25)		Gynnas av perioder med hög luftfuktighet, regn och relativt varm väderlek Andersson & Sandström, 2000. Hooker, 1981.
Aphanomyces eutheiches (Ärtrotträta)	4	28	32	Vid odling in vitro. Dålig dränering dvs hög markfukt gynnar svampen. Hagedorn, 1984.
Sclerotinia sclerotiorum (Bomullsmögel)	0	10-20	25	Gynnas av regn före och vid blomning. Twengström, 1999.
Drechslera teres (Kornets bladfläcksjuka)	8	15-25	33	Konidier sprids vid regnigt och blåsig väder. Mathre, 1982.
Rhynchosporium secalis (Sköldfläcksjuka)		15-18		Konidier sprids vid regnigt och blåsig väder. Sundheim, 1982.
Alternaria solani (Torrfläcksjuka)		28 (19- 23)	32	Myceltillväxt in vitro är maximal vid 28°C, Konidiebildning är maximal vid 19-23°C. Gynnas av omväxlande torrt och fuktigt väder. Hooker, 1981.

Ändrad synkronisering mellan grödors och skadegörarens utveckling

Växter är oftast mottagliga för angrepp av skadegörare under begränsad period av sin utveckling. Ett förändrat klimat innebär att synkroniseringen mellan grödans känsliga stadium och förekomsten av skadegörare ändras. Det kommer att påverka både förekomst och utbredning av skadegörare och odlingsperiod av olika grödor. Nederbörd, temperatur och solstrålning i det framtida klimatet kommer att medföra senare sådd av höstsäd och höstoljeväxter vilket i sin tur påverkar skadegörarnas etablering under hösten. Förmodligen kommer skadeinsekter, svampsjukdomar och virusjukdomar att gynnas mera än grödan med förlängd period för spridning och etablering i olika grödor.

Vårsådden kommer att kunna ske tidigare än nu, men tidpunkten för skadegörarnas utveckling bedöms tidigareläggas ännu mer (jmf Tabell 2.3). Detta innebär att det förmodligen blir större problem med vissa sjukdomar och insekter i de vårsådda grödorna som havre, korn, vårvete, åkerböna, ärt, sockerbetor och våroljeväxter. Detta torde även gälla tidpunkt för sättnings av potatis.

Svampsjukdomar

Mildare vintrar och kortare period med snötäcke medför att betydelsen av övervintringssjukdomar i stråsåd minskar. Det gäller t ex snömögel (*Fusarium nivale*), medan däremot stråknäckarsvampen gynnas av milda regnrika fuktiga höstar, vintrar och vårar. Snötäckets varaktighet har stor betydelse för dvärgstinksot som är en betydelsefull sjukdom på höstvetete. Långvarigt snötäcke ökade risken för dvärgstinksot (Jonsson, 1992). Även temperaturen påverkar förekomsten av dvärgstinksot. Flertalet svampsjukdomar gynnas i hög grad av nederbörd, temperatur och luftfuktighet.

Ökad tillväxt av grödorna med stigande CO₂-halt ger tätare bestånd vilket gynnar många sjukdomar (Coakley et al., 1999). Ökad CO₂-halt kan också leda till snabbare tillväxt och ökad förökning av svampsjukdomar, men växtens motståndskraft mot infektioner ökar också (Coakley et al., 1999; Chakraborty et al., 2000). En högre C/N kvot i marken medför långsammare nedbrytning av växtmaterial vilket ökar överlevnaden av patogener som överlever på skörderester. Några exempel på svampsjukdomar som förmodligen kommer att få ökad betydelse är potatisbladmögel, olika bladfläcksvampar och rostsvampar på stråsåd, svampsjukdomar som bomullsmögel på oljeväxter.

Flera svampsjukdomar på vårsåden torde gynnas mer än grödan under våren. Förmodligen kommer gräsmjöldagg och vissa rostsvampar att få ökad betydelse. I områden med relativt hög nederbörd under vår och försommar torde olika bladfläcksvampar på stråsåd att få ökad betydelse. Även beträffande potatisbladmögel torde angreppen komma tidigare i plantans utveckling än vad som nu är fallet.

Den längre vegetationsperioden under hösten medför att vissa svampsjukdomar på stråsåd som rostsvampar och gräsmjöldagg kommer att gynnas mera än grödan. En längre period för infektion under hösten innebär ökad risk för angrepp och förmodligen med ökat behov av kemisk bekämpning mot svampsjukdomar på höstsåden som följd. Även höstoljeväxterna kan drabbas i större omfattning av vissa svampsjukdomar som kålbladmögel och bomullsmögel. Det medför troligen ökat behov av kemisk bekämpning av höstoljeväxter på hösten om inte mer resistent sorter kommer till användning

Insekter och virussjukdomar

Flera olika skadeinsekter kommer att gynnas mera än grödan under våren på grund av att nederbörden förväntas öka. Ett sådant exempel är fritflugan i främst havre, men även korn och råvete kan drabbas. Fritflugan övervintrar som larv i gräsmarker, vallar och höstsåd. Utvecklingen under våren startar vid temperaturer över +7-8 grader C. Vid omkring 70-80 daggrader brukar de fullbildade flugorna flyga ut till de nysådda vårsådesfälten för att lägga ägg på de späda plantorna (basterperatur +8 grader C). Men stråsåden är endast mottaglig i tidigt stadium fram till att 4 blad vuxit fram (åldersresistens). Därefter är grödan mer eller mindre resistent. Det innebär att fritflugan kommer att ha en längre period för äggläggning under våren i framtiden vilket kommer att medföra starkare angrepp i vårsåden. Förmodligen för detta med sig behov av ökad kemisk bekämpning eftersom det nuvarande sortmaterialet i stort sett saknar resistens mot fritflugan förutom den nämnda åldersresistensen. Man skulle kunna minska risken genom användning av tidiga sorter med hastig utveckling under våren.

Även höstsåden torde drabbas i större omfattning av fritflugans angrepp under hösten. Sätidsförsök med höstvetete visar tydligt att tidig sådd medför mycket starka angrepp och stora skördeförluster. Den förväntade senare såtiden torde gynna fritflugan mera än grödan eftersom den minskande solstrålningen under hösten medför att man inte kan utföra höstsåden så sent att fritflugan ej är aktiv under grödans mottagliga stadium. Detta torde medföra ökad risk för angrepp i höstsåd och för att minska risken torde ökad kemisk bekämpning bli följden.

Förutom fritflugan torde också insekter som den randiga dvärgstriten gynnas. Den orsakar skador främst genom spridning av en virussjukdom, vetedvärgsjuka. Under hösten kommer den förmodligen att få ökad betydelse. Mot både fritflugan och randig dvärgstrit har betning av utsädet med insekticider god effekt. Emellertid måste man mycket tidigt bedöma behovet av betning, så den hinner utföras i god tid före höstsåden. Det kräver tillförlitliga prognosmetoder. Vissa möjligheter finns att utnyttja ett nätverk av sugfällor, vilka även registrerar förekomst av fritflugor under sensommar och höst.

Rödsotvirus torde gynnas både i höstsäd och i vårsäd. Senare sådd av vårsäd i förhållande till bladlössens utveckling och migration medför att de kommer att infektera vårsäden i ett tidigare utvecklingsstadium och med följd starkare angrepp. Havrebladlusen och sädesbladlusen som är de viktigaste vektorerna kommer förmodligen att kunna övervintra på gräs och höstsäd utan att genomgå äggstadiet. Detta får också till följd en tidigare utveckling av bladlössen i förhållande till grödans utveckling vilket i sin tur ökar risken för starka angrepp.

Höstsäden kommer förmodligen att drabbas i mycket stor omfattning av rödsotvirus i det framtida klimatet. Bladlössen kommer att gynnas mera än grödan och detta innebär att bladlössen kommer att ha en betydligt längre period på hösten att infektera grödan. Dessutom ökar risken för sekundär spridning av rödsotvirus i fälten under hösten på grund av förökning och spridning av bladlöss inom fältet.

För att minska risken för stora skördeförstuster kan man använda insektsbetat utsäde eller behandla höstsäden med kemiska medel. För att kunna behovsanpassa användningen av kemiska medel mot bladlössen under hösten skulle man behöva utveckla liknande prognosmetoder som man har utvecklat i England. Det finns möjligheter till detta bl.a genom att utnyttja sugfällor för insekter.

Regionala skillnader vid ett förändrat klimat

Mellan olika delar av landet kommer det förmodligen att föreligga skillnader i angrepp av svampar, virus och insekter på olika grödor beroende på nederbörd, temperatur och vegetationsperiodens längd. I tidigare avsnitt har förekomsten av olika skadegörare belysts främst med hänsyn till skillnader mellan nuvarande angrepp och förväntat vid ett framtida klimat. Under avsnittet om ändrad synkronisering mellan olika grödors och skadegörars utveckling har också några exempel tagits upp beträffande regionala skillnader. I detta avsnitt tas ytterligare några exempel upp för att belysa vilka skillnader som kan förekomma i angrepp mellan södra, mellersta och norra Sverige.

Insekter och virussjukdomar

Det varmare klimatet kommer att medföra att många insektsarter kommer att få ökad betydelse både som direkta skadegörare, men också indirekt genom deras förmåga att sprida virussjukdomar.

Med sydliga eller syd-ostliga vindar torde koloradoskalbaggen föras in i de södra delarna av landet under den närmaste 30 års-perioden. Vintrarna kommer att vara tillräckligt varma för att den skall kunna övervintra. I södra Sverige torde koloradoskalbaggen i potatis få större betydelse än i mellersta och norra Sverige, men förmodligen blir vintrarna tillräckligt milda för att den skall kunna övervintra i Mälarenregionen. I norra Sverige torde den få måttlig betydelse.

Olika bladlusarter kommer att kunna övervintra utan att genomgå äggstadiet. Detta medför att risken för direkta skador kommer att öka såväl som risken för spridning av olika virussjukdomar. Förmodligen kommer bladlössen att gynnas mera än de vårsådda grödorna beroende på att de kommer att utvecklas tidigare än nu i förhållande till grödans utveckling. Detta har betydelse på flera sätt. De direkta skadorna kommer att bli större av olika bladlusarter. Risken för spridning av olika virussjukdomar torde också öka.

Störst problem med både direkta och indirekta skador av bladlössen torde det bli i områden med relativt torrt och varmt väder under försommaren. Skadorna torde bli större i de södra och mellersta delarna av landet än i de norra delarna. Särskilt starka angrepp kan förekomma i de sydöstra delarna av Sverige. I stråsåden är det främst havrebladlusen och sädesbladlusen som får ökad betydelse, men förmodligen kommer också majsbladlusen att öka i omfattning om odlingen av majs blir omfattande. Det innebär att rödsotvirus kommer att bli betydligt vanligare i höstsäden med stora skördeförstuster som följd om ej motåtgärder sätts in. Detta gäller främst södra och mellersta Sverige.

Betydligt större problem torde det också bli med persikbladlusen, som kommer att kunna övervintra i fält på olika grödor och ogräs. Det medför att både direkta skador och indirekta kommer att öka. När det gäller spridningen av virussjukdomar torde det främst bli större problem i höstoljeväxter och i potatis (potatisens bladruillsjuka). Störst problem torde det bli i de södra delarna av landet jämfört med de mellersta och norra och särskilt stora problem i områden med relativt torrt och varmt väder under vår och försommar.

Förekomsten av fritfluga torde öka främst i höstsäd, men även vårsäden torde drabbas i större omfattning än nu beroende på något senare sådd i framtiden i förhållande till fritflugans utveckling under våren. Riklig nederbörd under senvintern och våren kan försena vårsådden, men ändå gynna fritflugans utveckling. I sådana områden kan angreppen bli något starkare jämfört med områden med tidig vårsådd. De geografiska skillnaderna torde inte påverkas nämnvärt jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med mycket gräsmark och vallar brukar populationen av övervintrande fritflugor vara mycket hög och det är främst i sådana områden som stor risk för angrepp föreligger.

Utsädesproduktionen av potatis kan påverkas avsevärt. Under nuvarande förhållanden produceras de högsta klasserna i norra Sverige, där virusspredningen normalt är mycket liten. Under vissa år har mycket omfattande spridning av potatisvirus Y ägt rum främst i de södra och mellersta delarna av landet beroende på mycket stor förekomst av bladlöss, vektorer. I norra Sverige brukar förekomsten av bladlöss vara mycket liten, vilket gynnat utsädesproduktion av hög kvalitet. Förmodligen kommer förekomsten av bladlöss att bli betydande även i norra Sverige i ett framtida varmare klimat. Risken är då stor att utsädesodlingarna kommer att drabbas. För att minska risken för virusspredning vore det önskvärt att inrätta någon form av utsädesreservat inom vilka vanliga bruksodlingar med stor andel virusmittade plantor begränsas.

Svampsjukdomar

Vissa geografiska skillnader torde också föreligga beträffande förekomst av svampsjukdomar. Flertalet svampsjukdomar torde få ökad betydelse på stråsäden och det gäller särskilt rostsvampar och gräsmjöldagg, som gynnas av högre temperatur, men inte är speciellt beroende av mycket hög luftfuktighet. Det innebär att sådana sjukdomar torde bli mer allvarliga i de södra och mellersta delarna av landet jämfört med de norra delarna.

När det gäller olika svampsjukdomar på höstsäden är det troligt att rostsvampar och gräsmjöldagg får längre period för infektion på hösten och att de gynnas mera än grödan. Även stråknäckaren kommer att gynnas av mildare och fuktigare höstar, vintrar och vårar, vilket innebär att angreppen kommer att bli starkare i höstsäden. Förmodligen får stråknäckaren större betydelse i de södra och mellersta delarna av landet jämfört med de norra delarna.

Olika bladfläcksvampar på vårsäden torde inte gynnas i så stor utsträckning jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med relativt stor nederbörd under våren kan angreppen bli något starkare än nu, men den förväntade relativt torra försomrarna torde missgynna dessa bladfläcksvampar som kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka. I norra Sverige torde dessa svampar få ökad betydelse.

På höstsäden är det troligt att angreppen av olika bladfläcksvampar som brunfläcksjuka och vetets bladfläcksjuka kommer att öka något. Men den relativt torra våren och försommaren i det framtida klimatet torde missgynna sådana bladfläcksvampar och då främst brunfläcksjuka.

Potatisbladmögel torde få ökad betydelse i framtiden och då särskilt i områden med relativt varmt och fuktigt väder under vegetationsperioden. Det innebär att angreppen kommer att bli förhållandevis något starkare i de mellersta och norra delarna av landet jämfört med nuvarande förhållanden.

Effekter av förändrad odlingsstruktur och arealfördelning vid förändrat klimat

Man kan förmoda att nya grödor kommer att odlas i vårt land i samband med varmare klimat. Det gäller kanske främst majs och solros. Vissa grödor kommer också att odlas i större omfattning än nu som t ex vårraps och höstraps. Man räknar också med att höstsäden kommer att öka i omfattning medan vårsäden kommer att minska något. Den förändrade odlingsstrukturen, nya grödor och förändrad areal av de nu odlade grödorna kommer att medverka till förändringar beträffande förekomsten av skadeinsekter och växtsjukdomar.

I oljeväxter torde utökad areal av vår- och höstraps medverka till större problem med vissa skadinsekter och växtsjukdomar. Det gäller kanske främst vissa växtföljdssjukdomar som bomullsmögel, klumprotsjuka och *Verticillium*, men även svartfläcksjuka gynnas om vår- och höstraps odlas inom samma område. Även vissa insekter torde öka i omfattning. Det gäller t ex rapsbaggar, kålbladlöss, rapsvivar, rapsjordloppa och gallmyggor.

Odling av majs kommer att medverka till "grön brygga" när det gäller spridning av rödsotvirus. Majs kan fungera som smittkälla för spridning av rödsotvirus från vårsäd till höstsäd. Odling av majs innebär att bladlössen som sprider rödsotvirus har möjlighet att livnära sig på majsens innan de flyger till den nysådda höstsäden och där kan infektera grödan. Förutom ökad risk för spridning av de nu vanligaste vektorerna, havrebladlusen och sädesbladlusen torde ett varmare klimat även gynna majsbladlusen, *Rhoplosiphum maidis*, som är en mycket betydelsefull vektor för rödsotvirus (Harrington, 2002). En av virusstammarna beträffande rödsot sprids mycket effektivt av majsbladlusen. Bladlusen är för närvarande relativt ovanlig i Nordeuropa, men kommer förmodligen att bli allt vanligare vid ett varmare klimat. Den torde övervintra på gräs och olika stråsådesslag. Sammantaget innebär detta att vi kan förvänta oss betydligt starkare angrepp av rödsotvirus i det framtida klimatet och det gäller då även de stammar som är vanliga på majs. Ökad majsodling torde gynna vissa svampsjukdomar som t ex fusarium arter, vilka på senare tid orsakat toxinbildning i bl a höstvet.

För övriga grödor som potatis, ärt och sockerbeter torde odlingsstruktur och odlad areal inte förändras i sådan omfattning att skadegörarproblemet blir större än vad som beskrivits i föregående avsnitt.

Konsekvenser och anpassningsmöjligheter

Nya grödor i de södra delarna av landet och ökad odling av befintliga grödor längre norrut i landet kommer med all säkerhet att påverka skadegörarnas utbredning och angrepp på grödorna. Nya insekter t ex i potatis som koloradoskalbaggen kommer att medföra ökat behov av kemisk bekämpning om man ej accepterar lägre skörd. I detta avsnitt har bedömningarna gjorts utifrån liknande odlingsstruktur, arealfördelning och priser som idag.

Insekter

Ökade angrepp av olika bladlusarter i olika grödor och ökad spridning av virussjukdomar medför större skördereduktion än för närvarande. Flera bladlusarter torde kunna övervintra i olika grödor och på ogräs vilket kan medföra tidigare och starkare angrepp. Det gäller bl.a. sädesbladlusen i stråså och persikbladlusen på potatis och sockerbeter. Eventuellt kan nya arter också etablera sig i landet, men i dagsläget är det svårt att bedöma vilken effekt detta kan få. Växtproduktionen är relativt sårbar för bladlusangreppen, som kan medföra mycket stor skördereduktion vid starka angrepp. Förutom nämnda insekter finns ytterligare ett antal på olika grödor som kan tänkas få ökad betydelse. Behovet av varningssystem och prognosmetoder för behovsanpassad användning av bekämpningsmedel kommer troligen att öka.

Starkare angrepp av virussjukdomar på höstoljeväxter i södra Sverige och av t ex rapsjordloppan kan också medföra större skördeförluster om ej motåtgärder sätts in. Omfattande spridning av virussjukdomar på potatis kan under vissa år medföra att det blir brist på friskt potatisutsäde. Man kan då utnyttja relativt starkt smittat utsäde med lägre skörd som följd eller importera friskt utsäde från andra länder. I norra Sverige torde virusspridningen få ökad betydelse vilket kan påverka utsädesproduktion av de bästa klasserna. För att minska risken för utsädesproduktion kan man inrätta speciella utsädesreservat.

Svampsjukdomar

Förutom ökade angrepp av insekter torde också angreppen öka av olika svampsjukdomar som gräsmjöldagg och rostsjukdomar. Särskilt under milda höstar och vintrar gynnas dessa svampsjukdomar på höstsäden. Vid ökad nederbörd kan också angreppen öka av vissa svampsjukdomar som brunfläcksjuka och axfusarios, vilket medför att skörden kan bli olämplig till brödsäd. Det innebär att det kan bli brist på brödspannmål av viss önskvärd kvalitet. Även mjöldryga, *Claviceps purpurea* på höstsäd torde öka i omfattning. Detta kan orsaka ökat importbehov av vissa kvaliteter under enstaka år.

På potatis kommer särskilt potatisbladmögel att bli ett större problem för odlarna. Under vissa år kan angreppen bli så starka att viss brist på inhemskt odlad potatis kan uppstå. Det finns då ofta möjligheter att importera potatis. Även ökade problem med stjälbakterios på potatis torde bli följderna av varmare och fuktigare klimat.

På oljeväxterna kommer förmodligen bomullsmögel och klumprotsjuka leda till starkare angrepp och större förluster. Detta kan medföra försämrad lönsamhet av odlingen och minskad areal, så att mer vegetabilisk olja måste importeras än vad som är aktuellt i dagsläget.

Det finns flera möjligheter för jordbruket att anpassa sig till de nya förhållanden som kommer att råda vid ett förändrat klimat när det gäller ökade problem med insekter, svampsjukdomar, virusjukdomar och ogräs i våra olika grödor. Val av gröda, sort, odlingsteknik, växtföljd, näringstillförsel, utsädeskvalitet, kemisk bekämpning och odlingsstruktur är några faktorer att beakta. Det är därför angeläget med ökade forskningsinsatser för att belysa möjligheterna att utnyttja och förbättra nämnda metoder.

Det finns flera möjligheter till anpassning av växtproduktionen till förändrat klimat och ökade angrepp av skadeinsekter. På kort sikt skulle ökad insats av kemiska medel minska skördeförlusterna. Av flera skäl är det inte önskvärt med ökad användning av kemiska medel i jordbruket. Negativa effekter på flora och fauna och ökad risk för att grundvatten, dricksvatten och åar skall förorenas är några exempel. Under senare år har ett flertal rapporter kommit som visar ökad förorening av bekämpningsmedel i dricksvatten.

För att på sikt minska skador av olika insekter i grödorna bör man så långt möjligt anpassa odlingssystemen så att skadegörarna missgynnas, utnyttja motståndskraftiga sorter, använda lämplig växtföljd och odlingsteknik samt utnyttja biologiska medel. För lantbruksgrödor finns för närvarande endast ett fåtal biologiska medel godkända, men ytterligare medel torde bli tillgängliga i framtiden.

Det finns andra möjligheter att begränsa skador av olika svampsjukdomar än kemisk bekämpning. Användning av friskt utsäde, motståndskraftiga sorter, utnyttja lämplig växtföljd och odlingsteknik är några exempel. Även användning av biologiska medel torde få allt större betydelse. I dag utnyttjas bl.a. biologiska betningsmedel mot utsädesburna svampsjukdomar på stråsäd. Dessa medel har effekt mot flera betydelsefulla sjukdomar.

Ett förändrat klimat innebär sammantaget att växtproduktionen blir relativt känslig för svampangrepp. I dagsläget är vi relativt väl försäkrade från flera skadegörare tack vare det nordliga läget, men vid varmare klimat och i områden med ökad nederbörd kommer problemen att bli mer omfattande.

Sammanfattning

Effekter av skadegörare på grödor vid förändrat klimat

Bladlössen torde få ökad betydelse i vårt land. För närvarande övervintrar de i stort sett endast som ägg på olika vintervärdar. Vid en ökad temperatur på 3-4 grader C torde ett flertal bladlusarter kunna övervintra på olika grödor och ogräs. Så är det för närvarande i Storbritannien och på kontinenten. Av de mer än 500 olika bladlusarter som för närvarande påträffats i vårt land har ett 40-tal ekonomisk betydelse på våra grödor. Det är troligt att flera av dessa får ökad betydelse både som direkta skadegörare och indirekt genom spridning av olika virusjukdomar med större skördeförlust som följd. För närvarande har *rödsotvirus*, som främst sprids med havrebladlöss och sädesbladlöss måttlig betydelse i vårsäden, men den torde få ökad betydelse, kanske främst i höstsäden. Även i oljeväxter förekommer virusjukdomar som sprids med bladlöss, men för närvarande har dessa virusjukdomar liten betydelse. Vid varmare klimat som gynnar persikbladlusen, som är en betydelsefull vektor torde medföra starkare angrepp av virusjukdomar i höstoljeväxter. *Flera insekter* som idag ej förekommer i vårt land kan komma att etablera sig i de södra delarna av landet. Det gäller t ex koloradoskalbaggen, som förekommer i potatisodlingar bl.a. i Tyskland, Polen och Baltikum. Med vindarna kan den föras in till södra Sverige och klimatet torde i framtiden ej vara någon begränsande faktor för etablering. Även majsbladlusen, som är en betydelsefull vektor för rödsotvirus i både höst- och vårsäd kommer förmodligen att få ökad betydelse. Det gäller särskilt vid omfattande majsodling.

I *stråsäd* kommer förmodligen flera sjukdomar att öka i omfattning som rostsjukdomar och gräsmjöldagg. I områden med ökad nederbörd under vår och försommar torde medföra ökade angrepp av flera bladfläcksvampar i vårsäd, som kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka. I *potatis* torde angreppen av potatisbladmögel öka, särskilt i områden med ökad nederbörd. Även virusjukdomar kan få ökad betydelse i potatis och kanske främst potatisens bladrollsjuka som sprids med persikbladlusen, men även i framtiden torde potatisvirus Y vara den mest betydelsefulla virusjukdomen på potatis. Den kan nämligen spridas med ett 40 tal olika bladlusarter, som kommer att gynnas av

det varmare klimatet. I *oljeväxterna* kan svampsjukdomar som bomullsmögel och svartfläcksjuka få ökad betydelse. Bland insekterna kan nämnas rapsjordloppan, som för närvarande främst förekommer i de södra delarna av landet. I sockerbetor kommer förmodligen vissa virussjukdomar att öka i omfattning och då främst sådana som sprids med persikbladlöss.

Skillnader i angrepp mellan olika delar av landet

I södra Sverige torde *koloradoskalbaggen* i potatis få större betydelse än i mellersta och norra Sverige, men förmodligen blir vintrarna tillräckligt milda för att den skall kunna övervintra i Mälarenregionen. I norra Sverige torde den få måttlig betydelse. Olika *bladlusarter* kommer att kunna övervintra utan att genomgå äggstadiet. Detta medför att risken för direkta skador kommer att öka såväl som risken för spridning av olika virussjukdomar. Förmodligen kommer bladlössen att gynnas mera än de vårsådda grödorna beroende på att de kommer att utvecklas tidigare än nu i förhållande till grödans utveckling. Störst problem med både direkta och indirekta skador av bladlössen torde det bli i områden med relativt torrt och varmt väder under försommaren. Skadorna torde bli större i de södra och mellersta delarna av landet än i de norra delarna. Särskilt starka angrepp kan förekomma i de sydöstra delarna av Sverige. I stråsåden är det främst havrebladlusen och sädesbladlusen som får ökad betydelse, men förmodligen kommer också majsbladlusen att öka i omfattning. Det innebär att rödsotvirus kommer att bli betydligt vanligare i höstsåden med stora skördeföruster som följd.

Betydligt större problem torde det också bli med *persikbladlusen*, som kommer att kunna övervintra i fält på olika grödor och ogräs. Det medför att både direkta skador och indirekta kommer att öka. När det gäller spridningen av virussjukdomar torde det främst bli större problem i höstoljeväxter och i potatis (potatisens bladruvssjuka). Störst problem torde det bli i de södra delarna av landet jämfört med de mellersta och norra och särskilt stora problem i områden med relativt torrt och varmt väder under vår och försommar. Förekomsten av *fritfluga* torde öka främst i höstsäd, men även vårsåden torde drabbas i större omfattning än nu beroende på något senare sådd i framtiden i förhållande till fritflugans utveckling under våren. Riklig nederbörd under senvintern och våren kan försena vårsådden, men ändå gynna fritflugans utveckling. I sådana områden kan angreppen bli något starkare jämfört med områden med tidig vårsådd. De geografiska skillnaderna torde inte påverkas nämnvärt jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med mycket gräsmark och vallar brukar populationen av övervintrande fritflugor vara mycket hög och det är främst i sådana områden som stor risk för angrepp föreligger.

Utsädesproduktionen av *potatis* kan påverkas avsevärt. Förmodligen kommer förekomsten av bladlöss att bli betydande även i norra Sverige i ett framtida varmare klimat. Risken är då stor att utsädesodlingarna kommer att drabbas. För att minska risken för virusspridning vore det önskvärt att inrätta någon form av utsädesreservat inom vilka vanliga bruksodlingar med stor andel virussmittade plantor begränsas.

Flertalet *svampsjukdomar* torde få ökad betydelse på stråsåden och det gäller särskilt rotsvampar och gräsmjöldagg, som gynnas av högre temperatur, men inte så beroende av mycket hög luftfuktighet. Det innebär att sådana sjukdomar torde bli mer allvarliga i de södra och mellersta delarna av landet jämfört med de norra delarna och det torde främst gälla för höstsåden med längre infektionsperiod på hösten. Även stråknäckaren kommer att gynnas av mildare och fuktigare höstar, vintrar och vårar, vilket innebär att angreppen kommer att bli starkare i höstsåden, särskilt i de södra och mellersta delarna av landet.

Olika *bladfläcksvampar* på vårsåden torde inte gynnas i så stor utsträckning jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med relativt stor nederbörd under våren kan angreppen bli något starkare än nu, men den förväntade relativt torra försomrarna torde missgynna bladfläcksvampar som kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka. I norra Sverige torde dessa svampar få ökad betydelse. På höstsåden är det troligt att angreppen av olika bladfläcksvampar som brunfläcksjuka och vetets bladfläcksjuka kommer att öka något i områden med ökad nederbörd. Den relativt torra våren och försommaren i det framtida klimatet torde missgynna sådana bladfläcksvampar och då främst brunfläcksjuka i de södra delarna av landet.

Potatisbladmögel torde få ökad betydelse i framtiden och då särskilt i områden med relativt varmt och fuktigt väder under vegetationsperioden. Det innebär att angreppen kommer att bli förhållandevis något starkare i de mellersta och norra delarna av landet jämfört med nuvarande förhållanden.

Effekter och sårbarhet i jordbruket

Ett varmare klimat torde ge ökad tillväxt av olika grödor samt möjlighet att odla nya grödor i södra Sverige. Klimatet torde också påverka förekomst och utbredning av skadegörare på olika grödor. Ökad förekomst kan motverkas med ökad användning av kemiska medel, men detta är ej önskvärt ur många aspekter. Negativa effekter på flora och fauna, föroreningar i åar, dricksvatten och grundvatten är några exempel. Det torde åtgå större insatser än idag för att kunna förebygga angrepp av skadegörare. Förbättrad odlings teknik, ökad användning av resistenta sorter och en god växtföljd torde därför få ökad betydelse.

Det är mycket angeläget att ta till vara de långa dataserier som nu finns tillgängliga på insekters och växtsjukdomars utbredning och stimulera till ytterligare sådana serier för analys, utveckling och validering av modeller relaterade till väderdata. Det är också angeläget att studera hur extrem-värden beträffande väder påverkar produktion eller förekomst av skadegörare. Tillväxtmodeller för olika grödor behöver kopplas till modeller för olika skadegörarens utveckling för att analysera synkronisering mellan skadegörarens och grödans utveckling. I Sverige har data samlats in mer eller mindre regelbundet under de senaste 30-åren. Genom att göra dessa lättillgängliga från en databas kan man erhålla ett underlag för forskare, rådgivare och beslutsfattare att bättre bedöma utbredningen av skadegörare.

Referenser

- Andersson, B., & Sandström, M. 2000. Bladmögel och brunröta på potatis. Faktablad om växtskydd. Jordbruk 39 J. SLU.
- Anonymous, 2000. Climate Change and Agriculture in the United Kingdom. MAFF publications, London, <http://www.maff.gov.uk>. 65 pp.
- Awmack, C.S., Harrington, R., 1998. Aphid pest potential at elevated CO₂. In: The 1998 Brighton conference - Pests & Diseases, Brighton, UK, 16-19 November 1998, 967-972. British Crop Protection Council.
- Awmack, C.S., Harrington, R., Leather, S.R., Lawton, J.H., 1996. The impacts of elevated CO₂ on aphid-plant interactions. In: Implications of "Global environmental change" for crops in Europe, Cambridge, UK, 1-3 april 1996, Aspects of Applied Biology.
- Baker, R.H.A., Cannon, R.J.C., Walters, K.F.A., 1996. An assessment of the risks posed by selected non-indigenous pests to UK crops under climate change. In: Implications of "Global environmental change" for crops in Europe, Cambridge, UK, 1-3 april 1996, Aspects of Applied Biology.
- Baker, R. H. A., MacLeod, A., Cannon, R. J. C., Jarvis, C. H., Walters, K. F. A., 1998. Predicting the impacts of a non-indigenous pest on the UK potato crop under global climate change: reviewing the evidence for the Colorado beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. In: The 1998 Brighton conference - Pests & Diseases, Brighton, UK, 16-19 November 1998, 967-972. British Crop Protection Council.
- Berggren Gustafsson, B. & Djurle, A., 1993. Vetets brunfläcksjuka. Faktablad om växtskydd, Jordbruk 12 J. SLU.
- Carter, N., Harrington, R., 1991. Factors influencing aphid population dynamics and behavior and the consequences for virus spread. In: Harris, K. F., Advances in Disease Vector Research, Springer, New York,
- Chakraborty, S., Tiedemann, A.V., Teng, P.S., 2000. Climate change: potential impact on plant diseases. Environmental Pollution 108, 317-326.
- Coakley, S.M., Scherm, H., Chakraborty, S., 1999. Climate change and plant disease management. Annual Review of Phytopathology 37, 399-426.
- Downing, T.E., Harrison, P.A., Butterfield R.E., Lonsdale, K.G. (Eds.), 2000. Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment. Research Report No. 21, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, 446pp
- Djurberg, A. 2000. Hur påverkar sänkta priser bekämpningsbehovet i spannmål och oljeväxter. Jordbruksinformation 7, SJV.
- GiLB, Global Initiative on Late Blight, Newsletter, December, 2000 - No. 12
- Goudriaan, J., Zadoks, J.C., 1995. Global climate change: modelling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection. Environmental Pollution 87, 215-224.
- Gränsbo, G., 1974. Koloradoskalbaggen. Växtskyddsnotiser, Nr 2, 1974.
- Haegermark, U., 1991. Invasion av havrebladlöss (*Rhopalosiphum padi* L.) 1988 från Balticum till Sverige? Växtskyddsnotiser, Nr 1, 1991.

- Hagedorn, D., J. 1984. Compendium of pea diseases. The American Phytopathological Society, ST. Paul, Minnesota, USA.
- Hannukkala, A. O., T Kaukoranta, A. Lethinen and A. Rahkonen, 2007. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933-2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation, *Plant Pathology* 56, 167-176.
- Harrington, R., Bale, J.S., Tatchell, G.M., 1995. Aphids in a changing climate. In: Harrington, R. and Stork, N. E., *Insects in a changing climate*, Academic, London,
- Harrington, R., 2002. Insect Pests and Global Environmental Change. In Volume 3, Causes and consequences of global environmental change, pp 381-386 edited by Prof Ian Douglas. In *Encyclopedia of Global environmental Change*, Editor-in-Chief: Ted Munn.
- Harrington, R., Woiwod, I.P., 1995. Insect crop pests and the changing climate. *Weather* 50, 200-208.
- Harrison PA, Butterfield RE & Downing TE, 1995. Climate change and agriculture in Europe - assessment of impacts and adaptations. Research Report 9, Environmental Change Unit, University of Oxford, Oxford, UK. ca 400 pp.
- Hooker, W., H. 1981. Compendium of potato diseases. The American Phytopathological Society, ST. Paul, Minnesota, USA.
- Jahn, M., Kluge, E., Enzian, S., 1996. Influence of climate diversity on fungal diseases of field crops - evaluation of long-term monitoring data. In: Implications of "Global environmental change" for crops in Europe, Cambridge, UK, 1-3 april 1996, *Aspects of Applied Biology*.
- Johansson, K., 1974. Övervintringsförsök med koloradoskalbaggen vintern 1972 - 1973. *Växtskyddsnotiser* Nr 2, 1974.
- Jones, T.H., Bezemer, T.M., Knight, K.J., Newington, J.E., Thompson, L.J., 1998. The effect of elevated atmospheric carbon dioxide on aphids and Collembola: an ecotron experiment. In: The 1998 brighton conference - Pests & Diseases, Brighton, UK, 16-19 November 1998, 967-972. British Crop Protection Council.
- Jonsson, L., 1992. Dwarf bunt (*Tilletia contraversa* Kuhn) in winter wheat in Sweden: relationship to climate (1951 - 1987), climate, survey results and cultivation measures (1967 - 1987). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 99 (3), 256-265, 1992
- Kaukoranta, T., 1996. Impact of global warming on potato late blight: risk, yield loss and control. *Agricultural and food science in Finland* 5, 311-327.
- Larsson, H., 2005. Aphids and Thrips: The Dynamics and Bio-Economics of cereal Pests. Doctoral Thesis No. 2005:119, Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science, SLU.
- Lindblad, M. & Sigvald, R., 1996. A Degree - day model for regional prediction of first occurrence of frit flies in oats in Sweden. *Crop Protection* Vol 15, No 6:559-565.
- Lindblad, M. & Sigvald, R., 1999. Frit fly infestation of oats in relation to growth stage and weather conditions at oviposition, *Crop Protection* 18 517 - 521.
- Lindblad, M. & Sigvald, R., 2004. Temporal spread of wheat dwarf virus and mature plant resistance in winter wheat. *Crop Protection* 23 (2004) 229-234.
- Mathre, D., E. 1982. Compendium of barley diseases. The American Phytopathological Society, ST. Paul, Minnesota, USA.
- Parry, M L, Carter, T R, and Porter, J H 1989. The Greenhouse Effect and the Future of UK Agriculture, *J. R. Agric. Soc.*, 150, 120-121.
- Patterson, D.T., Westbrook, J.K., Joyce, R.J.V., Lindgren, P.D., Rogasik, J., 1999. Weeds, insects and diseases. *Climatic change* 43, 711-727.
- Sigvald, R., 1984. The relative efficiency of some aphid species as vectors of potato virus Y⁰ (PVY⁰). *Potato Research* 27, 285-290.
- Sigvald, R., 1985. Mature plant resistance of potato plants against potato virus Y⁰ (PVY⁰). *Potato Research* 28, 135-143.
- Sigvald, R., 1986. Forecasting the Incidence of Potato Virus Y⁰. In: McLean, G. D., Garrett, R. G. & Ruesink, W. G. (Eds), *Plant Virus Epidemics: Monitoring, Modelling and Predicting Outbreaks*. Academic Press, Sydney. p. 419-441 (bokkapitel).
- Sigvald, R., 1987. Aphid migration and the importance of some aphid species as vectors of potato virus Y⁰ (PVY⁰) in Sweden. *Potato Research* 30, 267-283.
- Sigvald, R. 2005. Virus i höstoljeväxter. Faktablad om växtskydd, *Jordbruk* 126 J
- Sigvald, 2007. Vetedvärgsjuka i höstvete, Faktablad om växtskydd, *Jordbruk*

- Solbreck, C., 1993. Predicting insect faunal dynamics in a changing climate - a northern European perspective. In: Impacts of climatic change on natural ecosystems, with emphasis on boreal and arctic/alpine areas. Eds: Holten, J. I., Paulsen, G. & Oechel, W. C., Norwegian Institute for Nature Research (NINA), and the Directorate for Nature Management (DN), Trondheim, Norway. 185 p.
- Sundheim, L. 1982. Sjukdomar på korn og engvekster. Landbrukshandeln, Ås, Norge.
- Sutherst, R.W., Baker, R.H.A., Coakley, S.M., Harrington, R., Kriticos, D.J. and Scherm, H. (2007). Pests under global change – meeting your future landlords? Chapter 17 (pp 211-226) in Canadell, J.G., Pataki, D. and Pitelka, L. (Eds) Terrestrial Ecosystems in a Changing World. The IGBP Series, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 336pp.
- Canadell, J.G., Pataki, D. and Pitelka, L. (Eds) Terrestrial Ecosystems in a Changing World. The IGBP Series, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 336pp.
- SCB, 1998. Jordbruksstatistisk årsbok 1998.
- SCB, 2000. Jordbruksstatistisk årsbok 2000.
- Sundell, B. 1977. Växtskadegörare i jordbruket. Delrapport 1: Ekonomisk värdering av förluster. Rapport från institutionen för ekonomi och statistik, Lantbrukshögskolan, nr 109. Sveriges National Atlas, 1992. Jordbruk. Red. Clason Å., Granström, B. Almqvist & Wiksell, Stockholm. 128 sidor.
- Thomas, T., 1989. Sugar beet in the greenhouse - a global warming warning. Br. Sugar 57
- Twengström, E. 1999. Bomullsmögel. Faktablad om växtskydd, jordbruk. SLU.
- Waern, P. & Ekbom, B., 1995. Kålmal (*Plutella xylostella*) som skadedjur i våroljeväxter. Växtskyddsnotiser Nr 4, 1995.
- Weise, M., V. 1987. Compendium of wheat diseases. Second edition. The American Phytopathological Society, ST. Paul, Minnesota, USA.
- Wikteliuss, S., 1981. Studies on aphid migration with special reference to the bird cherry oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (L.). Växtskyddsrapporter, avhandlingar 5. Institutionen för växt- och skogsskydd, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 1981.
- Wikteliuss, S., 1980. Vindspridning av insekter. Forskning och Framsteg, Stockholm 1980, 1-9.
- Woiwod, I P and Harrington, R, 1994. Flying in the Face of Change – The Rothamsted Insect Survey, in Long Term Research in Agricultural and Ecological Sciences, eds R A Leigh and A E Johnston, CABI, Wallingford, 321-342.
- Växteko (<http://sll.bibul.slu.se/>)
- Yamamura, K and Kiritani, K (1998) A simple method to Estimate the Potential Increase in the Number of Generations Under Global Warming in Temperate Zones, Appl. Entomol. Zool., 289-29

Muntlig kommunikation

Desiree Börjesdotter HIR, Malmöhus

4. Ogräs

Inledning

Kontrollen av ogräsen utgör en ekonomiskt viktig del av växtodlingen. Enbart användningen av herbicider (kemiska bekämpningsmedel) uppgick till ca 415 milj kr år 2000 (Tabell 4.1). Det utgör 1,5% av jordbrukets totala insatsmedel och 59% av dess bekämpningsmedels-användning. Till detta kommer kostnader i form av direkt mekanisk ogräsbekämpning samt andra jordbearbetningsåtgärder (plöjning, stubbearbetning och såbäddsbredning) som delvis är motiverade av ett behov av att kontrollera ogräsförekomsten. Indirekt orsakar ogräsen kostnader genom att växtföljden måste anpassas till gårdens faktiska eller potentiella ogräsproblem. En växtföljd dominerad av höstsådda grödor gynnar förekomsten av vinterannuella (höstgroende) ogräs som stimuleras till groning i samband med höstsådden. Detta gäller t ex åkerven, sandlosta och renkavle som alla är besvärliga gräsogräs i områden som domineras av höstsädesodling. På motsvarande sätt gynnas sommarannuella (vårgroende) ogräs av en växtföljd med alltför stort inslag av vårsådda grödor. Flyghavre är exempel på en ogräsart som starkt gynnas av återkommande vårsäd (Tabell 4.2).

Tabell 4.1. Försåld mängd bekämpningsmedel inom svenskt jordbruk

Bekämpningsmedel	milj kr
Betningsmedel	62,8
Fungicider	173,4
Herbicider	413,5
Insekticider	45,4
Övriga	2,0
Summa	697,1
(Totalt, insatsmedel	27 858)

Tabell 4.2. Förekomst av flyghavre på gårdar med olika andel vårsäd i växtföljden. Resultat av enkät i två församlingar. Från Godhe (1977)

Andel vårsäd (%) av odlad areal	Andel gårdar (%) med förekomst av flyghavre	
	Torps församling	Stöde församling
<20	0	0
20-40	8	2
40-60	18	19
60-80	15	17
>80	40	25

Vad gäller den ekologiska odlingen begränsar ogräsen ännu mera tydligt friheten att odla de grödor som har svag konkurrensförmåga. Till exempel är den blygsamma odlingen av ekologiska sockerbetor och oljeväxter till stor del beroende på de stora insatser som måste göras mot ogräsen. I denna rapport har ingen åtskillnad gjorts mellan effekten av klimatförändringar på ogrässituationen i konventionell och ekologisk odling, och inget försök har gjorts att uppskatta eventuell förändring av respektive andelar av arealen.

I jämförelsen av ogrässituationen i olika europeiska länder har jag använt den försålda mängden herbicider relaterat till den odlade arealen som ett enkelt mått på bekämpnings-behovet. Rapportens avslutande diskussion utgör ett försök att bedöma hur en framtida klimatförändring kommer att påverka ogräsfloras sammansättning, och hur samspelet med ändrade grödor, odlingssystem och odlingsåtgärder leder till ett ändrat bekämpningsbehov.

Ogräsfloras artsammansättning

Ett vegetationssamhälles artsammansättning har beskrivits som en effekt av olika såll (Lamberts *et al.*, 1998):

Det historiska sållet omfattar spridningen till lokalen, en grundförutsättning som oftast bara tillfälligt fungerar som ett hinder. Naturliga spridningsvägar av frön och vegetativa spridningsorgan överskuggas ofta av effekten av mänsklig aktivitet i form av transporter.

Det fysiologiska sållet sorterar bort arter som saknar en fungerande anpassning till klimatet. Vegetationsperioden måste vara tillräckligt lång för att tillåta att artens livscykel hinner fullbordas och nya spridningsorgan bildas. Alternativt är arten tillräckligt härdig för att övervintra som groddplanta och hinna fullborda livscykeln följande år. För att plantan ska övergå från vegetativ tillväxt till regenerativ utveckling måste kravet på fotoperiod (långdagsväxt, kortdagsväxt respektive dagsneutral växt) uppfyllas.

I det biotiska sållet sorteras de arter bort som inte klarar konkurrensen med omgivande vegetation och angrepp från herbivorer och andra skadegörare.

För en art ska kunna etablera sig som ett framgångsrikt ogräs måste ytterligare ett såll passeras, nämligen en anpassning till de odlingsåtgärder som är förknippade med växtodlings- systemet. Framförallt är tidpunkten för groddplantans uppkomst helt avgörande för möjligheten att överleva jordbearbetningen i samband med sådd och undvika alltför stark konkurrens från en kraftig, väletablerad gröda. Ogräsfrönas gröningsvila i kombination med krav på tillräckligt hög temperatur och, ofta, en ljusstimulans för groning är anpassningar som är gemensamma för flertalet av de vanligaste ogräsarterna.

Ogräsfloras förändring

Jämfört med sydligare länder i Europa utgör de perenna arterna en relativt liten, men mycket betydelsefull, andel av den svenska ogräsfloran. Andelen gräsogräs är också betydligt lägre. Samtliga ogräs av betydelse i Sverige är utan undantag C3-växter. I Tabell 4.3 framgår att få av våra ogräsarter är specifikt knutna till konkurrenssvaga, radsådda grödor. Enda undantaget är nattskatta, *Solanum nigrum*, som här förekommer främst i potatis och fältgrönsaker. Med framtida klimatförändringar kan vi räkna med att ett antal av de arter som nämns i Tabell 4.3, men som inte betraktas som ogräs i Sverige, får möjlighet att etablera sig.

Tabell 4.3. Förekomst av de viktigaste ogräsarterna i Nord-, Väst- och Centraleuropa (enkät utförd av Schroeder *et al.*, 1993) i olika typer av grödor. Siffrorna betecknar % av maximal förekomst. Asterix betecknar arter som tillhör de 58 vanligast förekommande i svensk växtodling. Tabellen modifierad från Håkansson (2003)

Art	Pot., Sockerb, Grönsa	Vårsäd	Majs, Sorghum	Höstsäd	Fleråriga grödor	Tot.	Fotosyntessystem
Sommarannueller							
Abutilon theophrasti	2	2	18	2	8	5	C3
Svinamarant	29	6	60	3	46	26	C4
Malörtsambrosia	6	2	16	3	6	6	C3
Vägmålla	35	12	51	6	31	26	C3
* Flyghavre	25	60	29	27	15	29	C3
* Åkerbinda	48	41	53	27	42	42	C3
* Svinmålla	82	49	80	27	42	59	C3
Blodhirs	16	4	53	4	40	19	C4
Hönshirs	43	16	84	4	42	35	C4
* Åkerkårel	13	22	11	13	23	15	C3
* Jordrök	44	31	27	20	35	33	C3
* Hampdån	39	59	27	28	17	35	C3
Gängel	38	6	51	4	31	26	C3
* Trampört	57	45	49	33	40	46	C3
* Åkerpilört	63	45	53	27	40	48	C3

Grå kavelhirs	16	8	56	7	27	19	C4
* Nattskatta	51	12	67	6	29	34	C3
* Svinmolke	40	20	36	17	29	30	C3
* Åkerspergel	31	29	29	18	25	27	C3
Vinterannueller							
* Renkavle	14	25	10	50	11	23	C3
* Åkerven	4	24	4	46	4	17	C3
* Lomme	41	29	33	50	11	23	C3
* Snärjmåra	52	55	34	71	46	54	C3
* Rödplister	38	47	31	59	42	44	C3
* Harkål	21	22	22	21	19	21	C3
*Åkerförgätmigej	24	29	18	43	15	27	C3
* Vitgröe	64	51	49	59	52	58	C3
* Våtarv	83	73	56	81	60	75	C3
* Penningört	42	39	27	48	36	42	C3
* Åkerviol	45	51	24	66	25	46	C3
Stationära perenner							
Ängssyra	3	6	4	3	21	6	C3
* Krusskräppa	8	10	16	12	38	14	C3
* Tomtskräppa	7	6	13	9	42	13	C3
* Maskros	16	12	18	13	65	21	C3
Krypande perenner med stoloner							
* Revsmörblomma	11	8	11	10	40	14	C3
Krypande perenner med rhizomer							
Cynodon dactylon	4	4	20	2	23	8	C4
Jordmandel	7	2	13	2	6	6	C4
* Kvikrot	50	52	58	58	60	55	C3
* Åkerfräken	31	24	33	22	47	30	C3
Vattenpilört	26	22	33	16	29	24	C3
Sorghum halepense	3	2	27	2	13	7	C4
Krypande perenner med rotutlöpare							
* Åkertistel	39	53	36	49	52	45	C3
Åkervinda	23	22	47	20	77	32	C3
Bergsyra	11	14	16	12	27	14	C3
* Åkermolke	36	31	33	22	42	33	C3

Direkt inverkan av klimatförändringar på ogräsfloras sammansättning

Temperatureffekt

Enligt klimatmodellerna förväntas medeltemperaturen under vintermånaderna öka med 3,5-5,5 °C till ~2085. Arter med mindre vinterhårdiga egenskaper kan därmed förväntas överleva som groddplantor i större utsträckning. Några tänkbara exempel på sådana arter är renkavle, *Alopecurus myosuroides*, och bägarnattskatta, *Solanum physalifolium*.

Renkavle är företrädesvis höstgroende men utbredningen är i dagsläget begränsad till Skåne, Halland och Gotland. Försök visar att den geografiska utbredningen är till stor del begränsad av svag övervintring (Milberg & Andersson, 2005). Mildare vintrar borde innebära att arten kan spridas norrut.

Bägarnattskatta förekommer som ogräs endast i Skåne, Blekinge och Gotland. Arten räknas som vårgroende men har en sen och relativt utdragen uppkomstperiod med viss groning även på sensommaren. Eventuellt kan mildare vinterklimat medföra att ett mindre antal plantor övervintrar. Eftersom bägarnattskattan är mottaglig för potatisbladmögel, *Phytophthora infestans*, (Andersson 2003) skulle denna smitta kunna föras vidare och tidigt på säsongen infektera potatisbestånd.

Generellt medför högre temperatur en snabbare fenologisk utveckling hos växter. Detta, i kombination med förväntad längre vegetationsperiod, skapar möjlighet för arter som tidigare inte hunnit fullfölja sin livscykel att etablera sig i Sverige. Exempelvis kan detta gälla för småflen, *Phalaris minor*, som i nuläget inte förekommer i den svenska floran. Småflen betraktas som ett av de allvarligaste ogräsproblemen i asiatiska odlingsystem dominerade av vete- och risproduktion och har relativt nyligen uppmärksammats som nytt "superogräs" i Irland (Anonym, 2004).

Nederbördseffekt

Klimatmodellerna pekar på en relativt kraftig minskning av nederbörden under månaderna juni – september, framförallt i Götaland och Svealand. Torra förhållanden i kombination med högre temperaturer kan öka konkurrensförmågan hos arter med fotosyntessystem C4. Dessa har en mekanism som ökar det partiella koldioxidtrycket, vilket minimerar fotorespirationen och ger en högre fotosyntesaktivitet vid höga temperaturer än C3-växter. Det högre CO₂-trycket medför dessutom att bladens klyvöppningar är mindre vilket minskar transpirationen och ökar det effektiva utnyttjandet av vatten. Som en konsekvens har C4-växterna en konkurrensfördel på varma platser och torr jord. I vegetationssamhällen med både C3- och C4-växter har de förra en fördel tidigt på säsongen med låga temperaturer och hög jordfuktighet, medan förhållandet är det motsatta under högsommaren.

Exempel på C4-växter som eventuellt skulle gynnas i svensk växtodling är hönshirs, *Echinochloa crus-galli*, och svinamarant, *Amaranthus retroflexus*. Båda dessa arter förekommer i dag som tillfälliga ogräs i södra Sverige, men nästan enbart i grödor som majs och sockerbetor med stort radavstånd och därmed dålig konkurrensförmåga gentemot ogräs (jmf Tabell 4.3). Med förväntat torrare och varmare somrar ökar dessa arters möjligheter att etablera kraftiga ogräspopulationer i södra Sverige samt även förekomma mer eller mindre sporadiskt i Mellansverige. Mot detta talar att båda arterna betecknas som kvantitativa kortdagsväxter med fördröjd fenologisk utveckling vid ökade dagslängder (Huang *et al.* 2000; Swanton *et al.* 2000). Ytterligare geografisk spridning norrut kan alltså hämmas av för sen frösättning.

Effekter av ökad CO₂-halt

Den nuvarande CO₂-koncentrationen är suboptimal för fotosyntes i C3-växter. En ökad koncentration skulle öka nettofotosyntesen genom minskade förluster i fotorespirationen. Eftersom fotorespirationen ökar med temperaturen skulle en ökad CO₂-halt gynna C3-växter framförallt vid hög temperatur. Hos C4-växter däremot har CO₂-ökningen liten betydelse för nettofotosyntesen (Patterson, 1995).

Sammanfattningsvis bör den direkta fysiologiska effekten av ökad CO₂-halt gynna främst C3-växter, men konsekvenserna för klimatet, d.v.s. högre temperatur och torrare förhållanden, talar för större fördelar för C4-växter (Patterson, 1995).

Indirekt effekt av klimatförändringar på ogräsfloras sammansättning

Effekter av ändrat grödval

Längre växtsäsong och högre temperatur skapar möjligheter att i större utsträckning odla sent mognande grödor som majs och sojaböna i Sverige. Båda dessa arter odlas med stora radavstånd och har, framför allt tidigt på säsongen, dålig konkurrensförmåga gentemot ogräs. Sammantaget utgör detta en fördel för ogräsarter med sen utveckling och dålig konkurrensförmåga. Exempelvis är det tänkbart att hönshirs och svinamarant, som i Europa är mest frekventa i majs och sorghum (se Tab?), gynnas av odlingen av dessa grödor.

Effekter av ändrade växtföljder

Vattenunderskottet under sommarmånaderna kommer sannolikt att missgynna vårsäd och våroljeväxter och leda till större andel höstsådda grödor. Återkommande höstsådd utan avbrott för vårsådd gynnar kraftigt ogräsarter som är anpassade till uppkomst på hösten och övervintring som groddplanta.

Sammanfattning – förändringar i ogräsfloran

Arter som betraktas som allvarliga ogräs men vars utbredning är begränsad till sydligaste Sverige kan förväntas spridas norrut. Dit hör t ex renkavle (*Alopecurus myosuroides*), sandlosta (*Bromus sterilis*), luddlosta (*Bromus hordeaceus*) och bågarnattskatta (*Solanum physalifolium*).

Arter som betraktas som allvarliga ogräs i våra sydliga och östra grannländer, men bara sporadiskt förekommer som åkerogräs i Sverige, kan förväntas etablera livskraftiga bestånd. Exempel utgörs av hönshirs (*Echinochloa crus-galli*), svinamarant (*Amaranthus retroflexus*), malörtsambrosia (*Ambrosia artemisiifolia*), kavelhirs (*Setaria viridis*) och blodhirs (*Digitaria sanguinalis*).

Arter som är nya för den svenska floran, men kända som ogräs i andra delar av Europa, kan invandra. Småflen (*Phalaris minor*), jordmandel (*Cyperus esculentus*), *Abutilon theophrasti*, *Cynodon dactylon* och *Sorghum halepense* utgör exempel på sådana arter.

Mer omfattande odling av grödor med svag konkurrensförmåga och/eller lång växtsäsong gynnar ogräsarter med motsvarande växtsätt. Delvis kan det kompensera för den långsammare utveckling som de långa dagarna orsakar i kortdagsväxterna.

Ändrade växtföljder med större andel höstsådda grödor gynnar vinterannuella ogräs, inte minst gräsogräs som renkavle och sandlosta.

Klimatförändringens effekt på bekämpningsbehovet

Behovet av bekämpning av åkerogräsen kan åtminstone delvis sägas speglas av användningen av kemiska ogräsmiddel (herbicider). Tabell 4.4 visar den försålda mängden herbicider per arealenhet av brukad åkermark för ett antal europeiska länder. Data visar tydligt att användningen av herbicider är relativt låg i Norden jämfört med de sydligare länderna och genomsnittet för EU:s dåvarande 15 länder. Även i jämförelse med Danmark är hektardosen lägre i Sverige. Denna skillnad består även om vall- och grönfoderodling (ca 34 % av arealen) undantas från beräkningen.

Tabell 4.4. Försäljning av herbicider (aktiv substans; genomsnitt 1997-2001) i EU och enskilt för sju medlemsländer, samt andel höstsådd areal (%)

	Försåld mängd (kg ha ⁻¹)	Andel höstsådd (%)
Storbritannien	3,7	
Nederländerna	2,7	14
Frankrike	1,9	42
Tyskland	1,4	57
Danmark	0,9	38
Sverige	0,5 (0,75*)	17
Finland	0,4	6
EU (15 medlemsländer)	1,6	

* = beräkning med vall- och grönfoderodling undantagen

Skillnaden i herbicidförsäljning kan antas ha ett flertal orsaker, relaterade till faktiskt bekämpningsbehov men eventuellt också till politiska beslut om restriktioner. Ett större bekämpningsbehov i våra södra grannländer kan bero på samspel mellan ogräsfloras sammansättning, odlingssystem och odlingsåtgärder, enligt nedan.

Artrikare ogräsflora

En mer divers ogräsflora kräver herbicider med effekt mot ett större antal arter, ofta uppnådd genom ökad dos. Odlaren kan även tvingas utföra upprepade bekämpningsinsatser om uppkomsttidpunkterna varierar mellan ogräsarterna. Hos de arter som ingår i den nuvarande svenska ogräsfloran är tidpunkten för uppkomst vanligtvis

synkroniserad med tidpunkten för vår- respektive vårsådd. Bland undantagen finns dock nattskatta (*Solanum nigrum*) och bägarnattskatta (*S. physalifolium*) vars uppkomst sker relativt sent (juni-juli) och utdraget. Dessa arter utgör allvarliga problem i framförallt konkurrenssvaga fältgrönsaker i södra Sverige (Andersson, 2007). Glemnitz *et al.* (2000) genomförde en undersökning av ogräsfloran längs en nord-sydlig gradient i Sverige, Tyskland, Ungern och Italien. Skillnaden i årsmedeltemperatur var ca 1,5°C mellan de undersökta regionerna. Det totala antalet ogräsarter sjönk från 165 till 78 från det sydligaste till det nordligaste inventerade området. Om det finns ett samband mellan ogräsfloras diversitet och herbicidanvändning kan det utgöra en del av förklaringen till den större herbicidförsäljningen i sydligare länder.

Herbicidresistens

Herbicidresistenta eller -toleranta ogräsarter, kräver högre doser för effektiv bekämpning. Antal fall av konstaterad herbicidresistens är betydligt lägre i de nordiska länderna än i de viktigaste jordbruksländerna i övriga Europa (se Tabell 4.5). En del av förklaringen är troligen att färre studier har genomförts här, men en del av förklaringen kan också vara en mer ensidig odling, alternativt spridning av resistenta populationer från områden med intensiv och ensidig odling. Några av de arter där flest fall av resistens konstaterats tillhör de som kan förväntas öka i Sverige som en effekt av klimatförändringarna (svinamarant, renkavle, hönshirs, blodhirs; se kommentarer ovan).

Konkurrenssvaga grödor

Odling av en större andel grödor med svag konkurrensförmåga gentemot ogräs utgör en viktig förklaring. Den synergistiska effekten av herbicidbehandling och konkurrens visades tydligt av Håkansson (2003). Medan många ogräsplantor som växte utan konkurrens överlevde en normal herbiciddos dödades de allra flesta när de växte i ett normal kornbestånd. Slutsatsen blir att en gröda som odlas med stort radavstånd och/eller har en långsam etablering kräver en högre herbiciddos för samma ogräseffekt. Den större arealen av grödor som t ex majs i sydligare länder bidrar därför till det större bekämpningsbehovet.

Höstsädesdominerade växtföljder

Som framgår av Tabell 4.4 är andelen höstsådda grödor (främst stråsåd) betydligt större i Danmark, Tyskland och Frankrike än i Sverige. En växtföljd med, som i Tysklands fall, mer än 50% höstsådd gynnar kraftigt de vinterannuella ogräsen. Inte minst gräsogräs som renkavle, åkerven och sandlosta får möjlighet att bygga upp mycket kraftiga populationer. Eftersom de två förra är kända för att lätt utveckla herbicidresistens bidrar denna typ av växtföljd till ökad herbicidanvändning.

Odlingssystem med reducerad jordbearbetning

Andelen areal i Sverige som brukas med plöjningsfri odling kan uppskattas till 10% (Arvidsson, muntlig information), medan den är betydligt högre i Storbritannien (20-30%), Tyskland (20%) och Frankrike (18%) enligt ECAF (hemsida för The European Conservation Agriculture Federation). Effekten av plöjningsfria odlingssystem på ogräsförekomsten är något oklar, men framförallt de perenna arterna förefaller gynnas. Kostnaden per ha för kemisk bekämpning ökade i medeltal över nio år med 25 € i höstvetete, 50-70 € i höstkorn, 50-70 € i höstraps och 50 € i sockerbetor, i tyska försök (Anonym, 2006).

Tabell 4.5. Konstaterade fall av herbicidresistens.

	Antal fall	Arter (exempel)
Frankrike	31	Renkavle, svinamarant, kolvhirs
Storbritannien	24	Renkavle, svinmålla, baldersbrå
Tyskland	19	Renkavle, svinamarant
Polen	9	Svinamarant, hönshirs, blodhirs
Nederländerna	7	Renkavle, svinmålla, korsört
Sverige	7	Renkavle, åkerven, åkertistel, våtarv
Norge	5	Svinmålla, vitgröe, våtarv
Danmark	1	Våtarv

Efter WeedScience.com (hemsida) och Liv Åkerblom-Espeby (muntlig information)

Sammanfattande diskussion

Effekten av framtida klimatförändringar på bekämpningsbehovet av ogräs i Sverige

Den ovanstående beskrivningen av ogräsfloran och ogräskontrollen i Europa kan fungera som utgångspunkt när vi diskuterar tänkbara effekter av klimatförändringar på ogräskontrollen. Den enkla tolkningen skulle kunna vara att se förändringar i framtidens ogrässituation som en effekt av temperaturen, och därmed sätta likhetstecken mellan områden i dag och i framtiden med samma årsmedeltemperatur. Denna tolkning är delvis giltig som en prediktion av hur de fysiologiska begränsningarna för en art ändras i en region, även om den inte tar hänsyn till effekten av långa dagar på en kortdagsväxt. På samma sätt skulle man kunna överföra bekämpningsbehovet (förenklat uttryckt i herbiciddos per ha) till regioner med motsvarande temperatur. Denna typ av resonemang ger dock en bristfällig bild av den förväntade ökningen av bekämpningsbehov.

En mer komplicerad och realistisk tolkning tar hänsyn till de samspel som finns mellan ogräsfloras sammansättning, grödval, växtföljd, odlingssystem och odlingsåtgärder. Med utgångspunkt från tidigare resonemang kan vi räkna med ett ökat bekämpningsbehov under följande förutsättningar:

Andelen konkurrenssvaga grödor, t ex majs och solros, förväntas öka i södra Sverige. Den svagare konkurrensen i kombination med det gynnsammare klimatet medför att ogräsfloran blir mer artrik. Detta ställer större krav på breda verkningsmekanismer hos herbicider och i vissa sammanhang högre doser. Den svagare konkurrensen i sig gör också att dosen vid kemisk bekämpning måste höjas för att uppnå samma kontrolleffekt som i ett slutet stråsädesbestånd

Nya arter i ogräsfloran med senare och mer utdragen uppkomst medför att såväl mekaniska som kemiska bekämpningar måste upprepas, i synnerhet i grödor med stora radavstånd och sen utveckling. Under torra förhållanden gynnas C4-ogräs i konkurrensen med C3-grödor, vilket eventuellt kan kräva större bekämpningsinsats.

Nederbördsfattiga somrar med vattenunderskott i marken kommer sannolikt att medföra att andelen höstsådda grödor ökar. Detta kommer att starkt gynna vinterannuella ogräs. Samtidigt finns det starka tecken som tyder på att den plöjningsfria odlingen ökar i omfattning. Detta kommer ytterligare att gynna arter som renkavle, åkerven och sandlosta. När det gäller de två förstnämnda utgör risken för herbicidresistens ett allvarligt problem. Denna risk ökar kraftigt med andelen höstsådd och leder till ett större bekämpningsbehov.

Referenser

- Anonym (2006) KASSA. Sharing Knowledge on Sustainable Agriculture. Brussels 20-21 February 2006. The European platform.
- Andersson B., Johansson M. & Jönsson B. (2003) First report of *Solanum physalifolium* as a host for *Phytophthora infestans*. *Plant diseases* 87, 1538.
- Andersson L. (2007) Nattskatta gror sent. *Potatis & grönsaker* 7, 40-41. Under tryckning.
- Anonym (2004) Crop Protection 2004, 17 april: http://www.farmersjournal.ie/cp2004/canary_grass.pdf
- ECAF (citerat 2007-03-27) <http://www.ecaf.org/Life.htm>
- Godhe N-I (1977) Flyghavre i Medelpad, Västernorrlands län. Sveriges lantbruksuniversitet, inst. f. växtodlingslära. Examensarbete 679.
- Glemnitz M., Czimer G., Radics L. & Hoffmann J. (2000) Weed flora composition along a north – south gradient in Europe. *Acta Agronómica Óváriensis* 42 (2). Abstract.
- Huang J.Z., Shrestha A., Tollenaar M., Deen W., Rahimian H. & Swanton C.J. (2000) Effects of photoperiod on the phenological development of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). *Canadian Journal of Plant Science* 80:929-
- Håkansson S. (2003) Weeds and weed management on arable land. An ecological approach. CABI Publishing, Wallingford.
- Lambers H., Chapin III F.S. & Pons T.L. (1998) *Plant physiological ecology*. Springer-Verlag, New York.
- Milberg P. & Andersson L. 2006. Evaluating the potential northward spread of two grass weeds in Sweden. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* 56, 91-95.
- Patterson, D.T. (1995) Weeds in a changing climate. *Weed Science* 43, 685-701.

Schroeder D., Mueller-Schaerer H. & Stinson C.A.S. (1993) A European weed survey in 10 major crop systems to identify targets for biological control. *Weed Research* 33, 449-458.

Swanton CJ, Huang JZ, Shrestha A, Tollenaar M, Deen W & Rahimian H, 2000. Effects of temperature and photoperiod on the phenological development of barnyardgrass. *Agronomy Journal* 92:1125-1134.

WeedScience.com (citat 2007-03027) International survey of herbicide resistant weeds. Funded and Supported by the □Herbicide Resistance Action Committee (HRAC), the□ North American Herbicide Resistance Action Committee (NAHRAC),□and the Weed Science Society of America (WSSA). Homepage <http://www.weedscience.org>

Muntlig information

Johan Arvidsson, forskare, inst. f. markvetenskap, SLU.

Liv Åkerblom-Espeby, doktorand, inst. f. växtproduktionsekologi, SLU.

5. Kvalitet

Bakgrund

Kvaliteten på skördade växtprodukter beror av ett samspel mellan växtens ärftliga egenskaper (genotypen), d.v.s. art och sort, och dess omgivande miljö, både under odlingen, vid skörd och under lagring. Olika ämnen i växten syntetiseras och lagras in vid olika stadier i plantans utveckling. Både starten och längden av dessa stadier påverkas av omgivningsfaktorer såsom fuktighet, temperatur, ljus, syre- och koldioxidtillgång, patogeninfektioner och toxiska ämnen. Förekomst och mönster i omgivningsfaktorernas växlingar, såsom markfaktorer, konkurrens, samverkan eller infektion av andra organismer, har också stor inverkan på skördeproduktens innehåll, mängd och sammansättning av olika substanser, näringsämnen likaväl som oönskade ämnen.

Olika ämnens förekomst i växten styrs i olika grad av gener respektive miljö. Förekomst av de ämnen som är till största delen sortstyrda, beror alltså mest på vilka arter och sorter som överhuvudtaget kan förädlas fram för odling i vissa miljöer, vid klimatförändringar för nya klimatzoner. Förekomst av de ämnen som är mera miljöstyrda beror både av art eller sort och på omgivningsfaktorerna i samspel, ibland framförallt på omgivningsfaktorerna. Vilken kvalitet som eftersträvas beror i sin tur på för vilket ändamål växten odlas. Som resultat av klimatförändringar kan grödornas odlingsområden komma att förskjutas och förutsättningarna för viss kvalitet inom ett visst geografiskt område kan då förändras på sätt vi får svårt att förutse utan forskning inom området.

Kvalitetskrav för svenska växtprodukter i dagens jordbruk

Grödor som odlas för produktion av livsmedelsråvara, t ex brödvete, malkorn eller grynhavre har sina specifika kvalitetskrav. Fodergrödor har sina krav beroende på djurslag. Idisslare, t ex nöt och får, har andra krav än häst eller enkelmagade djur såsom svin eller fjäderfä. Produktion av råvara till bränsle eller teknisk användning kan ställa andra speciella krav på sort och omgivning under odling, skörd och lagring. Kvalitetskraven definieras enligt användningsområde enligt:

- Livsmedelsråvara, t ex brödvete, grynhavre, spannmål till barnmat, malkorn, matolja av raps m fl oljeväxter.
- Foder, dvs kraftfoder såsom stråsäd med högt energiinnehåll (stärkelse) och proteinfoder, dvs oljeväxt- och baljväxtprodukter till idisslare (t ex nöt och får), häst eller till enkelmagade djur (t ex svin och fjäderfä).
- Teknisk råvara, t ex oljor med speciell fettsyrasammansättning; biologiskt nedbrytbara, farmaceutiska, kosmetiska, färg-, träkonservering-, skär- och smörjoljor
- Bränsle- och energigrödor, såsom oljeväxter till RME (rapsmetylester), vete till etanol, havre, salix och energigräs till eldnin eller biogas

För avnämarna definieras därefter mer specificerade kvalitetskrav varav de viktigaste är:

- Näringsmässiga, t ex innehåll och sammansättning av protein, fett, kolhydrater, vitaminer och mineraler mm, smältbarhet
- Sensoriska, dvs smak, lukt, färg, konsistens
- Frihet från oönskade ämnen, t ex toxiner från växten eller från patogener och från bekämpningsmedelsrester
- Hygieniska, dvs ej bakterier och smittämnen
- Fysikaliska, t ex kärnstorlek, jämnhet, skador
- Teknisk användbarhet i process, t ex skalbarhet, bakkingskvalitet, friskhet mm för potatiships och malt till öl och whisky
- Hållbarhet, lagringsduglighet

Den kemiska sammansättningen i växtprodukter kategoriseras sedan ytterligare:

- Innehåll av proteiner, fett, stärkelse, socker
- Aminosyrasammansättning i proteiner, fettsyrasammansättning, stärkelsens sammansättning
- Innehåll av bioaktiva ämnen såsom β -glukan, vitaminer, antioxidanter
- Mineralinnehåll

•Innehåll av oönskade ämnen: tungmetaller, toxiner, smittämnen och pesticidrester och deras nedbrytningsprodukter

Kvalitetskrav för grödor i dag

De viktigaste grödorna i svensk växtodling idag är stråsäd (vår- och höstvet, vårkorn och till viss del höstkorn, havre, råg, rågvete och ensilagemajs), oljeväxter (höst- och vårraps, samt vårrybs), potatis, sockerbetor och baljväxter). Vallfoderväxter behandlas på annan plats i rapporten. Dessa grödors odlingsområden kan komma att förskjutas pga klimatförändringar och förutsättningarna för viss kvalitet inom ett visst geografiskt område kan då förändras. Vissa nischgrödor kan få utökat odlingsområde och nya grödor kan eventuellt bli odlingsbara.

Vad gäller stråsäd används i första hand vårvete, men också höstvet som kvarnråvara till bröd, gryn och barmmat, och båda grödorna odlas också till foder och etanolproduktion. Vårkorn används till malt, mervärdesmat och foder medan höstkorn framförallt fungerar som fodersäd. Havre är livsmedelsråvara till gryn, barmmat och mervärdesmat samt råvara till foder och bränsle. Råg odlas i Sverige främst för brödproduktion, men till viss del som foder, medan rågvete och ensilagemajs är foderråvaror.

Oljeväxter utgörs främst av höst- och vårraps samt vårrybs och utgör råvara till bl a matolja, men också till foder, bränsle och tekniska produkter.

Potatis odlas som råvara till ny- och matpotatis, färdigprodukter, foder och stärkelse.

Sockerbeta odlas framförallt för sockerframställning, biprodukter blir till foder.

Av baljväxterna odlas främst ärter och åkerböna för användning till kokning, grönsak och foder, medan brun (grön) böna odlas i liten omfattning för kokning och som grönsak. Vete

För brödvete krävs kvaliteter med stora, fullmatade, jämna, friska kärnor som ger en toxinfri råvara med hög utmalningsgrad. Proteinhalten måste vara hög, för vårvete mer än 12 procent och höstvet mer än 11 procent, med rätt aminosyresammansättning dvs hög andel gluteniner som ger starkt gluten. Ett högt falltal är nödvändigt för god bakkingskvalitet, över 220 s som indikerar väl bibehållen stärkelse. Likaså krävs ett lågt Cd-innehåll, mindre än 100 ppm för vuxna och under 20 ppm för vete till barnmat. Ett högt E-vitamininnehåll är också önskvärt. Idag kan endast relativt mjuka veten odlas i Sverige, hårdare vetesorter för pastaproduktion och baguetteliknande bröd kräver ett torrare, varmare klimat och måste importeras.

Vete till foder kräver också jämna, friska kärnor utan patogenangrepp (toxiner), ett så högt stärkelseinnehåll som möjligt, medan proteininnehållet är mindre viktigt då stärkelseinnehållet som utgör energikällan, prioriteras. Ett högt E-vitamininnehåll är också önskvärt.

För etanolvete är kvalitetskraven något mer begränsade. Stora, jämna kärnor och högt stärkelseinnehåll = energi samt lågt proteininnehåll till fördel för stärkelseinnehållet är viktigt.

Korn

Vårkorn som används till maltproduktion måste utgöras av jämna, friska, oskadda kärnor. Sprickor är ett problem med okänd orsak, som kan innehålla patogener och i sin tur ge feljäsning och toxiner i ölen. För en god ölkvalitet är det nödvändigt att 91 procent av kärnorna är större än 2,5 mm och att proteininnehållet är mellan 9,5-11,5 procent för lagom mängd skum och ett klart öl. Grobarheten måste överstiga 95 procent för att garantera en tillräckligt hög amylasaktivitet. Falltalet måste vara högt för visa på ett bibehåll, högt stärkelseinnehåll som bör överstiga 60 procent för bra extraktutbyte (hög alkoholhalt).

Till livsmedel krävs likaså kornråvara med jämna, friska, oskadda kärnor. Ett gryende intresse finns, men ännu inga krav på förädling på sorter med förhöjd amyloshalt, dvs långsammare kolhydrater, hög β -glukanhalt som kan sänka kolesterolhalten i blodet och hög E-vitaminhalt.

Kvalitetskrav på foderkorn är högt stärkelseinnehåll för att ge mycket energi. Intresse finns för sorter med långsamma kolhydrater till nöt för minskad NH_4 -avgång, liksom för ett högt E-vitamininnehåll.

Havre

På havre som livsmedelsråvara finns kraven lättskalade, jämna, stora, friska, oskadda kärnor med lågt kadmiuminnehåll, mindre än 20 ppm i barnmat. Skalningbarheten och Cd-halten är sortfrågor. Ett högt proteininnehåll - havre har näringsmässigt bäst aminosyrasammansättning av cerealierna – högt β -glukaninnehåll och E-vitamininnehåll är önskvärt. Havre innehåller också andra antioxidanter som kan vara hälsobefrämjande och därmed önskvärda, t ex avenantramider, vars innehåll delvis styrs av odlingsmiljön.

Havre som foderråvara har krav på högt proteininnehåll, högt fetthinnehåll (gäller främst hästfoder och är sortbundet) samt gärna högt E-vitamininnehåll. Andra antioxidanter kan vara av intresse.

Oljeväxter; raps och rybs

Vår- och höstraps samt vårrys i de sydligaste odlingsområdena är de för närvarande största oljeväxtgrödorna.

Som livsmedelsråvara, främst till matolja, är kraven ett vatteninnehåll på högst 9 procent, oljeinnehåll över 40 procent och klorofyllinnehåll mindre än 20 ppm. Produkten ger annars en grön olja med låg stabilitet, dvs lättare härskning. Renheten i fröråvaran måste bestå av mindre än 4 procent ogräsfrön och gröna växtdelar. Fria fettsyror (FFA = free fatty acids), ska ha ett lågt värde, eftersom ett högt värde indikerar skador, fältgroning, frost (döda frön) eller för hög torktemperatur efter skörd.

Sortmaterialet indelas i:

enkelläga sorter, dvs erukasyrainnehåll (C22:1) mindre än 2 %. (En hög halt är olämplig för hjärtatanses ohälsosam.)

dubbellåga sorter, kallas också Canola, har ett lågt erukasyrainnehåll, och mindre än 15 mikromol glukosinolater (svavelhaltiga ämnen, typiska för kålväxter) i avfettad torrs substans.

trippellåga sorter som förutom ovanstående också har en låg fiberhalt och är gulfröigt, till skillnad från resten av sortmaterialet som är svart. Eftersom grobarhet och avkastning är lägre i trippellåga sorter än i övriga, har de trippellåga ännu inte slagit igenom i odlingen.

Till friteringsolja används sorter med mer än 5 procent av den stabila oljesyran (C18:1), och med mindre än 5 procent av den lätthärsknade linolensyran (C18:3).

Till tekniska oljor, t ex hydraulolja, smörjolja till motorsåg, med fördelen att vara biologiskt nedbrytbara, odlas sorter med erukasyrahalt runt 50 procent. Dessa kan inte användas för humankonsumtion.

Rapsolja används också som bränsle, framförallt rapsmetylester, RME, som är förestrad rapsolja.

Potatis

För att användas som livsmedel krävs potatis av god kokkvalitet vad gäller konsistens och färg, god lagringsduglighet, toxinfrihet, speciellt glukalkaloider som är typiska för potatisväxter och låg halt reducerande socker, då hög halt ger mörk färg vid fritering.

Som fabrikspotatis krävs sorter med hög stärkelsehalt.

Till foder krävs en råvara med högt energiinnehåll (stärkelse) och toxinfrihet (glukoalkaloider).

Sockerbeta

Livsmedelsråvaran måste ha hög sockerhalt, mer än 15 %, lågt blåtal, dvs 10-20 mg N/100 g och god lagringsduglighet.

Till foder används restprodukter från sockertillverkningen, som inte har specificerade kvalitetskrav.

Ärter och bönor

Till livsmedel behövs friska, jämna frön med jämn och kort kokbarhet och låg halt tanniner, som är antinutritionella ämnen typiska för ärtväxter och som ger problem med gasbildning i mage och tarm. Alltför höga halter kan ge förgiftningar.

Foderråvaran kräver hög proteinhalt och likaså låg tanninhalt.

Nischgrödor och ensilagemajs

Grödor som idag är nischgrödor, men som kanär tänkasbara att få ökad betydelse är lin, hampa, solros, krambe, oljedådra, amarant, bovete och quinoa. Ensilagemajs, som inte kan betraktas som en nischgöda, kommer troligen att få ökad betydelse och flytta sin nordgräns högre upp i landet.

Konsekvenser av klimatförändringar till ~2085 på olika grödor

Vårvete

Betydligt varmare klimat under inlagrings- och mognadsförloppen kan påverka vetets bakningsegenskaper negativt. Tre dagar med medeltemperatur över 30°C kan påverka proteinernas bakningsegenskaper och ge ökad risk för försämrade degstyrka (Randall & Moss 1990). Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan minska proteinhalten genom en kraftigt förkortad inlagringsperiod samt genom mer kol som ger kolhydrater framför protein. Förhöjd CO₂-halt kan minska proteinhalten i vete med upp till 13 procent (Hocking & Meyer 1991; Conroy m fl. 1994; Rogers m fl. 1996a) och ge sämre degextensibilitet (tänjbarhet) och sämre brödvolymer (Blumentahl et al. 1996). Regnskurar vid värmeböljor under mognaden kan ge stärkelsen dåliga bakningsegenskaper genom att kraftigt försämra falltalet (ett mått på viskositeten, dvs hur nedbruten stärkelsen är, i en blandning av mjöl och kokande vatten, mätt i sekunder då en stav får falla genom blandningen) då gröningsenzym aktiveras och stärkelsen börjar brytas ned. Även andra ämnen i vetekärnan, t ex vitamininnehåll kan eventuellt påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbördsmonster. Dessa problem kan antas förekomma främst i Götaland och Svealand.

De nya arter av skadegörare och ogräs som kan förväntas vandra in pga klimatförändringar kan kraftigt påverka både avkastning och kvalitet i negativ riktning. Detta gäller direkta skador på plantan och kärnan som kan bli förkrympt, men också hygieniskt med bakterier och andra smittämnen i kärnan (extra allvarligt vid livsmedelsfoder- och utsädesproduktion) och högre risk för toxiner från skadegörare samt risk för bekämpningsmedelsrester i skördeprodukterna efter intensivare kemisk kontroll av skadegörare och ogräs. De förväntade torrare förhållandena under juni-juli kan dock ge sämre utvecklingsmöjligheter för patogener och i så fall minska riskerna för riktigt stora problem. Hårdare vetesorter kan odlas i ett varmare klimat så importen av dessa kan komma att minska.

I Norrland är risken för vårfrost större och bakslag för grödan kan komma att utgöra större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet. Skadegörartrycket och därmed bekämpningstrycket och risker förenade med detta, kan fortfarande vara lägre än områdena söderut. Eventuellt kan risken för vårfrost med tillhörande bakslag för grödan utgöra större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet. Möjligen kan också skadegörartrycket och därmed bekämpningstrycket och risker förenade med detta, vara lägre än områdena söderut, liksom de är idag.

Höstvete

Samma kvalitetsproblem med proteinets och stärkelsens bakningsegenskaper som i vårvetet kan också uppkomma i höstvetet framförallt i landets södra hälft. Dock bör det tidigare utvecklade höstvetet lida mindre risk för detta än vårtvetet, då inlagringsperioden ligger tidigare och temperaturerna då inte hunnit bli för höga. Även andra ämnen i vetekärnan, t ex vitamininnehåll kan eventuellt också påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbördsmonster. Problemen med skadegörare, toxiner, bekämpning och försämrade kvalitet kan också bli desamma i höstvete som i vårvete, men höstvetets tidigare utveckling bör även i dessa fall vara en fördel, jämfört med vårvetet.

I Svealand och Norrland är risken för utvintring större. Utvintring pga isbränna (dåligt snötäcke) kan ge ojämnt bestånd med grönskott och mer ogräs att bekämpa, ojämn mognad och därmed sämre kvalitet bli i utmalningen. Snötäcke utan tjäle, då temperaturen varit för hög för att tjäla, kan komma att ge större problem med fusariuminfektioner i höstvetet och därmed mycket potenta toxiner i vetekärnan. Grödans nordgräns bör dock förskjutas uppåt med de mildare vintrarna. Ett problem med både avkastning och kvalitet kan bli en försvagad gröda, när den respirerar sent på hösten med mycket få ljustimmar för fotosyntes.

Korn

Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan minska proteinhalten som måste ligga inom 9,5-11,5 procent för god maltkvalitet, genom en kraftigt förkortad inlagringsperiod, samt genom mer kol som ger kolhydrater framför protein. Samtidigt kan detta också försämra grobarheten som måste vara över 95 procent för att få nödvändig hög amylasaktivitet i malten.

Kraftiga lokala regnskuror vid värmeböljor under mognaden juli-aug kan ge kraftigt försämrat falltal då gröningsenzym aktiveras och stärkelsen börjar brytas ned. Stärkelseinnehåll i malkorn behöver vara över 60 procent för bra extraktutbyte (% alkohol). Kraftiga lokala regnskuror kan under samma tid också underlätta för svampinfektioner som kan ge feljäsning i ölen och toxiner olämpliga i råvara till både malt, övriga livsmedel och foder, samt göra att β -glukan, som är starkt önskvärt i övriga livsmedel av korn utom öl och ej heller i foder till fjäderfä där det istället utgör problem, kan börja brytas ned och förstöras. Även andra ämnen, t ex vitamininnehåll i kornkärnan kan påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbördsmonster. Dessa problem kan antas bli störst i södra hälften av landet.

Problemen med skadegörare, toxiner, bekämpning och försämrad kvalitet kan också bli liknande i vårkorn som i vår- och höstvete. Vårkorn som varande en vårröda och därmed har en senare utveckling än en höstsådd gröda, kan få en nackdel av detta pga för varm och kort inlagringstid. Höstkorn som idag är en liten gröda i Sverige, kan därför komma att få en större betydelse i framtiden och få en nordgräns högre upp än idag, men dess utvintringsbenägenhet kommer fortfarande troligen att vara en nackdel.

I norra Sverige är risken för vårfrost större och bakslag för grödan kan komma att utgöra större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet. Skadegörartrycket och därmed bekämpningstrycket och risker förenade med detta, kan fortfarande vara lägre än områdena söderut.

Havre

Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan minska proteinhalten genom en kraftigt förkortad inlagringsperiod samt genom mer kol som ger kolhydrater framför protein, men också förändra havrekärnans förhållande mellan protein, stärkelse och olja. Fettsyrasammansättningen som är värdefull i havrelivsmedel, kan också förändras av förhöjda temperaturer och ge högre halter fettsyror med högre smältpunkt, på bekostnad av dem med lägre smältpunkt som också är nutritionellt att föredra. Regnskuror vid värmeböljor under mognaden kan ge kraftigt försämrat falltal då gröningsenzym aktiveras och stärkelsen börjar brytas ned. Även β -glukan, som är starkt önskvärt i övriga livsmedel av havre, men ej i foder till fjäderfä där det istället utgör problem i matsmältningen, kan börja brytas ned och förstöras. Även andra ämnen i havrekärnan kan påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbördsmonster, t ex innehållet av vitaminer och antioxidanter såsom avenantramider, en ämnesgrupp där forskningsresultat tyder på vissa hälsobefrämjande egenskaper t ex vad gäller kolesterol i blodet. Möjligheter att odla längre norrut med annat ljusklimat kan ge förändrat antioxidantinnehåll.

Framtida tidiga vårar kan ge större problem med fritfluga i havre, då vippan förstörs av flugan och avkastningen samt även kärnkvaliteten försämras avsevärt pga tomma vippor eller förkrympta kärnor.

Eventuellt kan hösthavre, som idag inte odlas i Sverige pga dålig vinterhärdighet, bli en gröda för framtida svenskt jordbruk med mildare vintrar. Snötäcke utan tjäle, då temperaturen varit för hög för att tjäla, kan dock troligen ge stora problem med fusariuminfektioner i hösthavre och därmed mycket potenta toxiner i kärnan. Fusarium och dess toxiner är redan idag är ett problem i vårhavre. Hösthavre blir troligen inte en gröda för övre Norrland. Eventuellt kan risken för vårfrost orsaka problem.

Vårrops

Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan hos oljevaxter i likhet med havre ge minskad proteinhalt, förändra förhållandet mellan protein, stärkelse och olja samt ge förändrad och oönskad fettsyrasammansättning. Problemen med skadegörare, bekämpning och försämrad kvalitet kan också öka som i andra vårrödor. Problem med bomullsmögel kan dock förväntas minska pga nederbördsunderskottet. I oljevaxter är rapsbaggen ett stort

problem som kan antas öka och bekämpning är svår, då kemikalier också påverkar de nödvändiga pollinatörerna samt kan ge rester i livsmedel och foder.

Kraftiga regnskuror vid starka värmeböljor under mognaden kan resultera i sönderslagna skidor med kraftig drönsning som följd. Fröna utgör då ogräsproblem i efterkommande grödor, speciellt i nya oljeväxtgrödor där den önskade kvaliteten kan vara en annan t ex innehåll av erukasyra, glukosinolater och fibrer. Även andra ämnen i frö och planta kan påverkas av förhöjda temperaturer och förändrat nederbördsmonster, t ex innehållet av glukosinolater, vitaminer eller klorofyll, där mer än 20 ppm klorofyll ger en grön och lätthärsknad olja. I Norrland kan risken för vårfrost med tillhörande bakslag för grödan bli större medan skadegörartrycket fortfarande kan bli mindre än längre söderut.

Höstraps

Högre temperaturer under inlagrings- och mognadsförloppen i april-juli, samt nederbördsunderskott från början av juni fram till skörd, men med risk för lokalt kraftiga regnskuror kan påverka rapsens kvalitetsegenskaper negativt. Dock bör den tidigare utvecklade höstrapsen lida mindre risk för detta än vårrapsen, pga en längre och svalare inlagringsperiod. Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan minska proteinhalten, förändra förhållandet mellan protein, stärkelse och olja samt ge förändrad och oönskad fettsyrasammansättning.

Problemen med skadegörare, bekämpning och försämrad kvalitet kan också öka även i höstraps. I oljeväxter är rapsbaggen redan ett stort problem och bekämpning är svår, då kemikalier också påverkar de nödvändiga pollinatörerna samt kan ge rester i livsmedel och foder. Dock kommer troligen problemen vara mindre i höstraps än i vårraps även fortsättningsvis. Problemet med regnskuror vid värmeböljor under mognaden är principiellt detsamma som för vårraps.

I Svealand kan problemen med utvintring vara stora, och i Norrland ännu större.

Potatis

Sättning av potatis kan komma att ske ca 4 veckor tidigare än idag, men måste anpassas efter när marken bär och efter bladmögel-situationen och i Svealand och Norrland efter sista vårfrosten. För god skörd och kvalitet blir det mycket viktigt att utnyttja tidig säsong innan nederbördsunderskott och bladmögelinfektion slår till. Om tillräckligt med vatten finns att tillgå bevattnas grödan. Ökad UV-B-instrålning kan ge sämre potatiskvalitet (Tevini & Teramura 1989). Problemen med skadegörare, toxiner, bekämpning och försämrad kvalitet kan bli allvarliga. Hösttemperaturerna ökar liksom nederbörden, vilket gör sen skörd mycket problematisk och risk för ökad glukalkaloidhalt i knölna blir högre.

För att få virusfri utsädespotatis kommer norrländska odlingar bli allt viktigare och en organisation kring hur dessa ska hållas så fria från smitta som möjligt kommer att behövas, eftersom bladlössen och därmed virus-spridningen kan förväntas öka.

Sockerbeta

Precis som för potatis blir det viktigt att utnyttja tidig säsong för tillväxt innan nederbördsunderskott slår till i juni/juli. Ökad UV-B-instrålning kan ge sämre sockerbetskvalitet (Tevini & Teramura 1989). Tillväxtsången förlängs pga av högre temperaturer på hösten och tillsammans med en förhöjd CO₂-halt kan detta resultera i betydligt högre avkastning och sockerhalt samt en framflyttad nordgräns. Sen skörd kan dock avsevärt försvåras pga mer regn på hösten. Lagring av skördade betor blir dessutom svårare i hög hösttemperatur, eftersom förruttelse startar. Ökad generell bekämpning mot skadegörare kan bli fallet, med ökad risk för bekämpningsmedelsrester i råvaran.

I landets norra odlingsområden är det högre risk för att vårfrost kan orsaka bakslag för grödan med större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet som följd. Skadegörartrycket och därmed bekämpningstrycket och risker förenade med detta, kan fortfarande vara lägre än i områdena söderut.

Ärtor och bönor

Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan ge minskad proteinhalt pga förkortad inlagringsperiod och mer kolhydrater på bekostnad av protein. Alltför höga temperaturer ger små, skrynkliga frön med försämrad grobarhet.

Hårda regnskurar vid förväntat kraftiga värmeböljor under mognaden kan resultera i sönderslagna baljor och därmed infektioner och försämrad kvalitet.

Även andra ämnen i fröet kan påverkas av förhöjda temperaturer och förändrat nederbördsmonster. Tidiga sorter blir än viktigare, då tidig säsong med markfukt bör utnyttjas och eftersom sen skörd blir problematisk pga väta. Med tidig sort och dito skörd, kan avkastning och kvalitet öka med högre temperaturer och CO₂-halt. Odlingens gränsen bör kunna förskjutas norrut. Problemen med skadegörare, bekämpning och försämrad kvalitet kan öka även i ärtor och bönor. I Norrland blir problemen med höga temperaturer mindre liksom problemen med ökat skadegörartryck. Högre risk för vårfrost ger dock större problem.

Sammanfattning

Vårgrödor kan antas bli mest påverkade under inlagring- och mognadsstadierna, då förhöjd temperatur och CO₂-halt vid förväntade klimatförändringar, riskerar att ge lägre proteinhalter. Låg proteinhalt är ett kvalitetsproblem i framförallt brödvete, malkorn, foderspannmål och oljeväxtråvara till foder. En torrare period som under mognaden kan å andra sidan ge bättre kvalitet med högre proteinhalter. Förändrad aminosyrasammansättning kan bli ett problem som påverkar bakningsegenskaperna negativt i brödvete vid för höga temperaturer under inlagringen. Balansen mellan innehåll av olja, protein och stärkelse kan påverkas i oönskad riktning av förhöjd temperatur och CO₂-halt i havre och våroljeväxter, liksom även fettsyrasammansättningen hos dessa växtslag. Processerna är otillräckligt kända, i synnerhet i fältsituationer.

Kraftiga, lokala regnskurar vid mer extrema värmeböljor under mognaden kan ge stärkelsen dåliga egenskaper genom ett kraftigt försämrat falltal då gröningsenzym aktiveras och stärkelsen börjar brytas ned. Detta kan bli problem i framförallt brödvete och malkorn. Även andra ämnen i kärnan eller fröet, t ex vitamin- och antioxidantinnehåll kan eventuellt påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbördsmonster. Även dessa processer är otillräckligt kända.

Nya arter av skadegörare och ogräs samt möjligheter till fler generationer skadegörare per säsong kan kraftigt påverka både avkastning och kvalitet i negativ riktning. Detta gäller direkta skador på plantan och kärnan som kan bli förkrympt, men också hygieniskt med bakterier och andra smittämnen i kärnan. Detta är extra allvarligt vid livsmedels- foder- och utsädesproduktion. I synnerhet malkorn är avhängigt av mycket god hygienisk kvalitet i processen. Högre risker för toxiner från skadegörare samt risk för bekämpningsmedelsrester i skördeprodukterna efter intensivare kemisk kontroll av skadegörare kan också bli fallet vid scenario ~2085, framförallt i landets södra hälft.

I de nordligare delarna av landet kan risken för vårfrost med tillhörande bakslag för grödan utgöra större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet.

Höstgrödor kan antas bli mest påverkade av de nya klimatförhållandena under vintern, då invintrings- och vernaliserings-processerna kan bli satta ur spel. Eftersom temperaturen ger tillväxt och respiration ända till mitten av december, då alltför lite ljus finns för tillräcklig fotosyntes, kan höstgrödor bli mer känsliga för utvintringsskador med ojämnt bestånd och därmed sämre kvalitet som följd, framförallt i landets nordliga delar.

Samma kvalitetsproblem som i vårvetet, med låg proteinhalt och försämrade bakningsegenskaper för protein och stärkelse pga av höga temperaturer respektive nederbörd och enzymreaktioner under mognaden, kan också uppkomma i höstvetet. Dock bör det tidigare utvecklade höstvetet lida mindre risk för detta än vårvetet, då inlagringsperioden ligger tidigare och då temperaturerna inte hunnit bli för höga. Detta kan antas gälla generellt för höstgrödor jämfört med vårgrödor.

Utvintring pga isbränna (dåligt snötäcke) kan ge ojämnt bestånd med grönskott och mer ogräs att bekämpa, ojämn mognad och därmed sämre kvalitet bl a i utmalningen hos brödvete, men även vad gäller grönskott och

därmed hög klorofyllhalt och sämre oljekvalitet hos höstoljeväxter. Detta blir troligen ett problem framförallt i de nordliga delarna av landet. Snötäcke utan tjäle, då temperaturen varit för hög för att tjäla, kan ge större problem med fusariuminfektioner i höstvetet och därmed mycket potenta toxiner i vetekärnan, ett problem som kan antas bli störst i Mellansverige, där snötäcket kommer att ligga en kort och oregelbunden period. Orsak och verkan vad gäller snötäcke, temperatur och oljekvalitet eller fusariumsmitta och toxinmängder är inte kända. Höstgrödornas nordgräns bör kunna förskjutas uppåt med de mildare vintrarna, trots problem med både avkastning och kvalitet hos en försvagad gröda, när den respirerar sent på hösten med mycket få ljustimmar för fotosyntes. Dessa processer är dåligt kända.

Problemen med skadegörare, toxiner, bekämpning och försämrad kvalitet kan också bli liknande i höstgrödor som i vårgrödor, men höstgrödornas tidigare utveckling bör även i dessa fall vara en fördel. Generellt sett kan antas att höstgrödor kommer att få ett försteg kvalitetsmässigt, före vårgrödor i scenariot för ~2085.

För att möta framtida klimatiska faktorer och ändå få den avkastning och kvalitet som man önskar, kommer växtförädling för just dessa klimatiska förhållanden, både traditionell och genmodifierande, att vara ett nödvändigt verktyg. För nya grödor, sorter och nya förhållanden behövs också nya odlingsmetoder och odlingsystem framtagna på plats i fält och i klimatkammare. Där blir lantbruksforskningen nödvändig för att kunna möta dessa nya krav.

Referenser

Blumentahl et al. 1996

Conroy JP, S Seneweera, AS Basra, G Rogers, B Nissen-Wooller. Influence of Rising Atmospheric CO₂ Concentrations and Temperature on Growth, Yield and Grain Quality of Cereal Crops . Australian Journal of Plant Physiology (now called Functional Plant Biology), Volume 21, Number 6 (1994), pp.

Fogelfors red., 2001. Växtproduktion i Jordbruket. Natur och Kultur LTs förlag. 428 sidor.

Hocking PJ, CP Meyer. Effects of CO₂ Enrichment and Nitrogen Stress on Growth, and Partitioning of Dry Matter and Nitrogen in Wheat and Maize . Australian Journal of Plant Physiology (now called Functional Plant Biology), Volume 18, Number 4 (1991), pp. 339-356,

Randall PJ, HJ Moss. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality . Australian Journal of Agricultural Research, Volume 41, Number 4 (1990), pp. 603-617

Rogers GS, PJ Milham, M Gillings, JP Conroy. Sink Strength May Be the Key to Growth and Nitrogen Responses in N-Deficient Wheat at Elevated CO₂ . Australian Journal of Plant Physiology (now called Functional Plant Biology), Volume 23, Number 3 (1996), pp. 253-264

Tevini, M and Teramura, A.H. 1989. UV-B effects on terrestrial plants. Photochem and photobiol.

Muntlig kommunikation

Desirée Börjesdotter, HIR, Malmöhus

Håkan Fogelfors, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU

Jannie Hagman Lundin, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU.

Paula Persson, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU

6. Växtnäringsläckage

Bakgrund

Växtnäringsläckage från jordbruksmark styrs av ett komplext samspel mellan klimatfaktorer, markegenskaper, växtföljd, grödornas tillväxt och avkastningsnivå, och tidpunkt för olika odlingsåtgärder t ex jordbearbetning och gödning.

Generellt sett är risken för betydande utlakning av kväve störst då marken ligger obevuxen, dvs efter skörd då nedbrytning av skörderester resulterar i lätttröligt nitratkväve som lakas ur marken vid nederbörd och avrinning. Temperatur och markfuktighet påverkar markmikro-organismernas aktivitet och därigenom med vilken hastighet organiskt material (skörderester) bryts ner. Dessa klimatfaktorer har därför stor betydelse för förekomsten av lätttröligt kväve i marken. Grödans upptag av markkväve styrs i sin tur av en rad klimatfaktorer såsom ljus, temperatur och vattentillgång. Ett effektivt upptag av kväve under växtsäsongen minskar risken för utlakning av kväve från rotzonen under pågående växtsäsong, men eliminerar inte den utlakning som är kopplad till nedbrytning av skörderester och annat organiskt material. En hög produktionsnivå medför större mängd skörderester och därmed högre utlakningsnivåer under höst och vinter om marken ligger obevuxen. För att minska risken för utlakning av växtnäring och främst kväve under höst och vinter har man under det senaste decenniet arbetat för att införa en rad åtgärder – t ex begränsning av höstgödning, minimerad jordbearbetning på hösten, förbud mot spridning av stallgödsel under vintern och på snöttäckt eller tjälad mark, arealstöd för höst och vinterbevuxen mark (fånggrödor) mm. Fånggrödor, vanligtvis ett gräs, kan sås in i stråsäd och får växa vidare under höst och vinter, efter skörd av huvudgrödan. Fånggrödans upptag av kväve under höst och vinter i Sydsverige har visat sig betydande och kan minska kväveutlakningen med upp till 50-60 %. Fånggrödan brukas ner på våren innan sådd av nästa gröda och kan i viss mån fungera som en slags ”gröngödning”. Även höstgrödor kan fungera som s.k. ”fånggrödor” men är vanligtvis mindre effektiva pga mindre rotdjup samt pga en del höstgrödor höstgödas. Fleråriga vallar minskar också risken för kväveutlakning eftersom marken då är vinterbevuxen. Kväveutlakningen efter en vall (efter s.k. vallbrott) kan däremot vara mycket hög pga den stora mängden skörderester. Vallen efterlämnar en omfattande rotbiomassa som är förhållandevis lättnedbrytbar pga en låg kol-kväve-kvot i materialet.

Risken för kväveutlakning från jordbruksmark är alltså starkt kopplad till nederbördsmonster och temperaturförhållanden. Förändringar i klimatet kommer därför att ha en direkt inverkan på risken för kväveförluster från jordbruksmark. Risken för kväveutlakning styrs också av tidpunkt för jordbearbetning, sådd, gödning och skörd. Förändringar av tidpunkten för olika odlingsåtgärder kommer därför påverka risken för kväveutlakning. Utlakningsrisken är även starkt kopplad till produktionsnivåer och val av grödor och växtföljder. Förändringar i grödval och markanvändning kommer därmed att ha stor betydelse för utlakningsrisken.

Fosforförluster från jordbruksmark är främst kopplad till transport av partikelbundet fosfor och styrs därmed av nederbördsmonster, topografi och jordens erosionsbenägenhet, samt av aktuell marktäckning (grödans förmåga att binda jorden). På lerjordar sker fosfortransport från markytan vid vattenflöde i stora porer och sprickor (makroporflöde). Fosforförluster påverkas också av tidpunkter och nivåer för gödning och grödans fosforupptag. Förbud mot stallgödning under vintern har införts i hela landet för att minska risken för betydande förluster av fosfor i samband med ytavrinning och snösmältning. Fosfor frigörs även vid ”utlakning” av fryst växtmaterial på vintern, vilket i kombination med ytavrinning vid nederbörd eller snösmältning också bidrar till fosforförluster från jordbruksmark. Betydande utlakningsförluster har observerats från vallar (främst baljväxter), höstoljeväxter och bevuxna trädor (M. Larsson, SLU; pers komm.).

Risken för fosforförluster från jordbruksmark är alltså starkt kopplad till partikelerosion och nederbördsmonster, samt till klimatfaktorer som styr övervintringen av olika grödor. Förändringar i nederbördsmonster och övervintringsförhållanden kommer därför att påverka risken för fosforförluster från jordbruksmark. Fosforförluster styrs också av val av gröda och växtföljd samt gödningstrategi. Framtida förändringar i grödval och markanvändning kommer därför också att påverka risken för fosforutlakning.

Risken för kväve- och fosfor förluster från jordbruksmark i ett framtida klimat kommer att bero av hur väl vi klarar att anpassa grödval, sorter, jordbearbetnings- och gödslingsåtgärder, tidpunkter för sådd och skörd samt markanvändning till de ändrade klimatförhållandena. Klimatet kommer att ha en direkt inverkan på kväve och fosforförluster som vi i viss utsträckning kan påverka genom anpassning av jordbruket. Den i klimatscenerierna predikterade ökade variabiliteten i klimatet mellan olika år, samt ökad frekvens av extrema väderhändelser, innebär en osäkerhetsfaktor som komplicerar anpassningen och som generellt kan leda till en ökad "sårbarhet" med avseende på oönskade näringsförluster från jordbruksmark.

Följande analys av hur klimatförändringen kan tänkas påverka växtnäringsläckaget från jordbruksmark i Sverige är uppdelad i: A. Direkta climateffekter; B. Indirekta effekter på nuvarande jordbruk/grödor; C. Effekter av förändringar i markanvändning.

Direkta climateffekter på utlakning

Bedömningen baseras på förändringar i nedanstående variabler, utifrån kartmaterial/och eller data från andra ingående delavsnitt (Vattentillgång)

- Växtperiodens längd,
- Nederbörds mängd (höst/vinter),
- Temperatur (höst/vinter)
- Snösmältning/Ytavrinning

Växtperiodens längd kommer att öka i alla regioner (Tabell A2.2 och A2.4). Perioden med obevuxen mark under höst/vinter kommer därmed att minska något i tidslängd. Nederbörden under motsvarande period kommer dock att öka i hela landet (Tabell A6.1a-d). Avdunstningen under vintern är låg eller måttlig. Avrinningen kommer därför att öka generellt under den period då väsentlig areal av jordbruksmarken ligger obevuxen. Enligt uppskattningar i avsnittet "Vattentillgång" kommer avrinning-avdunstning (nederbörd minus avdunstning, Tabell A6.2) att öka med minst +25 mm per månad under perioden okt- februari, i hela landet. Under perioden Dec-Feb kommer denna differens att öka med +45 till + 75 mm i alla regioner. Störst blir ökningen i landets västra delar. Detta innebär en signifikant ökning av avrinningen under vintern, under perioder då marken ej är frusen. Högre vintertemperaturer (Tabell A2.7) och högre frekvens av "mildväder" kommer att bidra till ökad kväveminalisering under vintern. I kombination med högre avrinning under vintermånaderna kommer detta med stor sannolikhet att leda till ökad risk för utlakning av kväve i hela landet, under perioder då marken ej är frusen.

Variabiliteten i klimatet förväntas öka. Om perioder med omväxlande frysning och tining inträffar oftare, finns risk för en relativ ökning av fosforläckaget från fryst växtmaterial i t ex vallar och höstoljeväxter. Ökad nederbörd och högre frekvens av intensiv nederbörd under höst och vinter medför även ökad transport av partikelbundet fosfor från markytan via såväl markyteavrinning som makroporflöde. Dessa klimatförändringar kommer sannolikt bidra till ökad risk för fosforläckage under höst och vinter. Snötäcket varaktighet kommer å andra sidan att minska och en mindre andel av nederbörden kommer att falla som snö jämfört med i dagens klimat (Tabell A2.5). Detta leder till minskad aytavrinning i samband med snösmältning, vilket i viss mån kan dämpa den totala ökningen av fosforförluster orsakad av faktorerna ovan.

Nedan följer en mer specifik redogörelse för konsekvenserna av en klimatförändring med avseende på olika regioner och grödor. Svealands slättbygder utgör referensexempel. Övriga regioner diskuteras i relation till referensexemplet.

Svealands slättbygder ~2085

Som ett exempel på hur en klimatförändring kan påverka näringsläckaget görs här en utförligare analys för Svealands Slättbygder (Ss), Scenario A2, ~2085, ECHAM4.

Höstsäd

Sådd av höstsäd kommer att ske senare (3-4 veckor) än för år 2000, (Tabell 2.2). Samtidigt kommer skörd av såväl höstsäd som vårsäd att ske något tidigare (2-3 veckor) än förut. Detta medför sannolikt att perioden med bar mark mellan skörd av förfrukt och höstsådd, blir 5-7 veckor längre. Aug-Sept förväntas bli torrare (Tabell A6.1a). Eftersom nederbörden även förväntas minska under sommarmånaderna kommer markvattenunderskottet i aug-sept vara stort. Eventuell nederbörd i Aug-Sept kommer därför främst ”fylla på markvattenförrådet” och avrinningen kan förväntas bli liten eller obefintlig. Risken för N-läckage under denna period är därför generellt liten. Under senhöst och vinter (Okt-Feb) förväntas nederbörden öka med i genomsnitt 20 mm/månad. Stora nederbördsmängder under den period då marken ännu ligger obevuxen eller då höstgrödans rotdjup är litet medför stor risk för betydande N-läckage, pga relativt höga marktemperaturer i kombination med mineralisering av skörderester.

Höstgrödan kan i viss mån fungera som ”fånggröda” under höst/vinter och minska risken för kväveläckage under denna period. Problemet är dock att övervintringen av höstgrödan försämrats om den tillväxer alltför starkt före ”invintring”. Risken för kväveutlakning under höst och vinter är svår att förutspå och kommer att vara starkt beroende av etablering och övervintring av höstgrödan och grödans förmåga att ta upp mineraliserat markkväve under mildare perioder under höst/vinter. Grödans upptag av kväve under vintermånaderna kommer, på våra breddgrader, dessutom att begränsas av den låga instrålningen. Risken för försämrade övervintring i ett klimat med ökad variabilitet är betydande. En mindre andel av nederbörden kommer att falla som snö och snötäcket varaktighet kommer att minska. Därmed kommer en större andel av nederbörden att infiltrera genom marken. Detta i kombination med risk för försämrade övervintring och ökad nederbörd, ökar risken för kväveläckage under vinterhalvåret.

Tillväxten på våren börjar tidigare, vilket medför tidigare upptag av mineraliserat markkväve och därmed minskad risk för N-läckage. Nederbörden förväntas dock öka under tidig vår (10-25 mm/månad i Feb-Mars), vilket medför ökad risk för N-läckage, i synnerhet från markskikt under rotzonen. Dålig etablering, eller övervintring av grödan, samt litet rotdjup förhöjer risken för N-läckage ytterligare i samband med omfattande nederbörd.

Sammanfattningsvis kommer sannolikt N-läckaget från höstvetete att öka. Effekten av högre temperaturer och därmed ökad kvävemineralisering i kombination med ökad nederbörd och avrinning under senhöst-vinter-tidig vår kommer att få större kvantitativ betydelse än höstvetets förmåga att ta upp kväve under motsvarande period. Även fosforläckaget kan öka om högre frekvens av intensiva nederbördstillfällen och ”utlakning” av fryst material i ett klimat med omväxlande kalla och varma vinterperioder får större kvantitativ betydelse än minskningen av ytavrinning kopplat till snösmältning. För att fastställa den kvantitativa effekten av olika faktorer behövs dock noggrannare beräkningar och studier. Resultatet kan dessutom bli olika för olika platser beroende på att nederbördsökningen är högre i västra Svealand jämfört med östra Svealand, och pga olika faktorer kommer att ha olika kvantitativ effekt på olika typer av jordar.

Vårsäd

Temperaturmässigt skulle vårsådden kunna ske 1-2 månader tidigare år ~2085. Tidpunkten för sådd kommer dock att senareläggas pga för hög markfuktighet i januari-februari. I praktiken kommer därför vårsådden att tidigareläggas med max 2-3 veckor. Skörd av vårsäd kommer att ske ca 3 veckor tidigare än idag.

Vattentillgången för grödan under växtsäsongen förväntas minska, pga minskad nederbörd under juni-juli. Detta medför viss ökad risk för att säden brådmognar och därmed lägre totalt upptag av markkväve och/eller gödselkväve under växtsäsongen. Konsekvensen blir viss ökad risk för att outnyttjat kväve finns kvar i markprofilen efter skörd, vilket sedan kan bidra till ökad kväveutlakning under höst/vinter. Sådd av efterföljande höstgrödor kommer att ske 3-4 veckor senare än idag, pga nederbörden och därmed markfuktigheten förväntas vara låg i augusti-september. Förskjutningen av odlingsperioden för vårstråsäd innebär därmed att perioden med ”obevuxen mark” innan sådd av nästa gröda kommer att förlängas – se ovan.

Även utvecklingen av en insådd fånggröda kan hämmas pga sensommartorka vilket resulterar i sämre utveckling av fånggrödans rotsystem och därmed sämre kväveupptag under höst-vinter.

Sammanfattningsvis kommer vattenbrist under växtsäsongen att inträffa med högre frekvens. Effekten av detta på vårsåden beror på vid vilket utvecklingsstadium som vattentillgången blir kritisk för grödan. Ökad frekvens av vattenstress under växtsäsongen medför ökad risk för brådmognad, vilket i sin tur medför ökad risk för överskottskväve i markprofilen efter skörd. Även tillväxten av fånggrödor kan hämmas. Båda dessa faktorer medför ökad risk för kväveutlakning under höst och vinter. Kväveläckaget efter skörd av vårstråsäd kommer med stor sannolikhet att bli högre under höst-vinter pga den direkta effekten av ökad nederbörd och temperatur, såvida man inte lyckats etablera en effektiv fånggröda. En fånggröda minskar även risken för fosforläckage kopplat till partikelerosion, men ökar å andra sidan risken för fosforutlakning från fryst växtmaterial. För att fastställa i vilken omfattning dessa två faktorer tar ut varandra behövs mer detaljerade beräkningar och studier kopplat till mellanårsvariationer i ett förändrat klimat och olika jordar och platser.

Höstoljeväxter

Höstoljeväxter kommer liksom höstsäd att sås senare än idag. Höstoljeväxter har stort kväveupptag på hösten och fungerar därför i viss mån som "fånggröda" (H. Aronsson, SLU, pers komm; G. Bergkvist, SLU.). Effekten motverkas dock av att höstoljeväxter ofta höstgödslas. Höstoljeväxter är dessutom känsligare för övervintringsförhållanden jmf höstsäd. Höstoljeväxter efterlämnar även stora mängder skörderester med relativt låg kol-kväve kvot. Detta material mineraliseras snabbt och kan ge upphov till betydande kväveläckage efter skörd. Insådd av fånggrödor görs sällan i praktiken pga konkurrensen med huvudgrödan riskerar att bli för stor. Ökad vinternederbörd och avrinning i kombination med högre marktemperaturer kommer att medföra ökat kväveläckage under höst och vinter efter skörd av höstoljeväxter, såvida man inte lyckas etablera en efterföljande höstsådd gröda som har ett mycket effektivt kväveupptag. Risk för utvintring av höstoljeväxter i ett klimat med ökad variabilitet kan även bidra till ökat kväveläckage under tidig vår.

Våroljeväxter

Kväveläckage efter skörd av våroljeväxter kan liksom för höstoljeväxter vara betydande pga grödan efterlämnar lättnedbrytbara skörderester. I ett varmare klimat med större höst- och vinternederbörd kommer därför sannolikt kväveläckaget efter skörd av våroljeväxter att öka jämfört med nuvarande nivåer.

Vall

Högre marktemperaturer under höst/vinter medför ökad mineralisering. Detta i kombination med ökad höst/vinter nederbörd medför risk för en relativ ökning av kväveläckaget efter ett vallbrott. Ökad nederbörd i kombination med ökad frekvens av omväxlande varma och kalla perioder under vintern medför även risk för en relativ ökning av fosforläckaget från växande vallar.

Övriga regioner ~2085

Ökningen i nederbörd och temperatur under senhöst-vinter (Okt-Feb) är generell i hela landet. Risken för ökat växtnärläckage under denna period kommer därför följa samma principer för övriga regioner, som diskuterats för exemplet Svealands slättbygder. Det finns en större gradient i nederbördsökningen mellan öst och väst i Götalands regioner och Svealand än mellan dessa regioner. Risken för ökat växtnärläckage kommer därför vara högre i de västra regionerna än i öst. Nederbördsökningen är i vissa delar av Norrland något mindre än i sydligare regioner. Ökningen i differensen mellan nederbörd och avdunstning är emellertid ungefär densamma som för sydligare regioner. Temperaturökningen är något större i de norra regionerna men av samma storleksordning i alla regioner. Man kan därför förvänta sig en generell ökning av kväveläckaget från jordbruksmark i alla regioner pga den direkta effekten av ökad temperatur och därmed ökad mineralisering och ökad avrinning under vintern. I landets sydliga regioner kommer sannolikt risken för utvintring av höstgrödor att minska pga frost blir mindre förekommande. Minskat snötäcke kommer att få störst effekt i Svealand och nordligare regioner. Detta kommer att leda till minskad ytavrinning i samband med snösmältning, vilket kan minska därtill kopplade förluster av partikelbundet fosfor. Å andra sidan kan utlakningen av fosfor från fryst växtmaterial komma att öka i dessa regioner. Högre vinternederbörd leder dessutom sannolikt till en generell ökning av partikelbunden transport av fosfor.

~2025

Förändringarna ECHAM4-scenarier i nederbörd under senhöst och vinter år ~2025 är i storleksordning ca hälften av den för ~2085, men följer samma regionala mönster (Tabell A6.1a). Ökningen av temperaturen under motsvarande period är 30-50 % av den för ~2085. Slutsatser rörande kvantitativa förändringar av näringsläckaget förblir osäkra utan noggrannare beräkningar för olika regioner. Generellt kan man förvänta sig en viss ökning av växtnäringsläckaget år ~2025 jämfört med referensperioden; men betydligt lägre än för ~2085. På basis av predikterade temperatur och nederbördsförändringar kan ökningen i näringsläckage år ~2025 vara i storleksordningen 20-40 % av ökningen ~2085.

HADAM3H

De scenarier för ~2085 som baserar sig på HADAM3H ger ungefär samma mönster som ECHAM4, vad beträffar ökningen i differensen mellan nederbörd och avdunstning under perioden Dec-Feb för olika regioner (Tabell A6.2). Perioden Sept-Nov kontrasterar emellertid och indikerar en svag minskning (-10 mm) enligt HADAM3H medan ECHAM4 indikerar en ökning (+30 till +50 mm). Prediktioner av växtnäringsläckage baserade på klimatscenarier från HADAM3H kan därför förväntas ge måttligare ökning av växtnäringsläckaget jämfört med prediktioner baserade på ECHAM4. En tidigare studie av klimatförändringens effekter på kväveläckaget från ett jordbruksdominerat avrinningsområde i södra Sverige bekräftar detta antagande (Arheimer et al., 2005).

Indirekta klimateffekter på utlakning

Kommer avkastningsnivåerna för befintliga grödor att öka pga gynnsammare klimat, längre växtsäsong och högre CO₂-halt i luften, eller kommer andra motverkande faktorer, t ex sommartorka/brådmognad och sjukdomstryck leda till i stort sett bibehållna avkastningsnivåer?

Enligt de beräkningar som redovisas i avsnittet om Markanvändning skulle hektarskördarna av höstvet, vårvete, höstraps, korn och vall öka med minst 20 % i södra Sverige. I Mellansverige beräknas höstveteskördarna öka med 60 % (Tabell 1.17). En ökning av utlakningen kopplad till skördeökning bör sättas i relation till insatsmedel, samt relateras till ökningen i utbytet (avkastning). Generellt sett gäller dock att ökade avkastningsnivåer leder till större kvantitet skörderester och därmed risk för ökad utlakning av kväve i samband med nedbrytning och mineralisering av skörderester (Johnsson et al., 2006).

Högre produktionsnivåer kräver också högre fosforgödning, vilket i sin tur medför ökad risk för fosforläckage.

Längre växtsäsong gör att produktionsnivåerna för vall kan öka. Produktionen kan dock hämmas av vattenbrist under sommar/tidig höst. Torra markförhållanden medför även lägre kväve mineralisering under växtsäsongen. Den positiva effekten av längre växtsäsong för vallen kan således motverkas av såväl vattenbrist som lägre kväveleveranser från marken. Preliminära simuleringar av vallproduktionen i ett framtida klimat tyder dock på att vattenfaktorn ej kommer att inverka negativt på första vallskörden och ej heller starkt begränsa andra skörden (Se avsnitt 2. Vattentillgång). Simuleringarna indikerar snarare en viss produktionshöjning av den totala vallskörden. Högre produktionsnivåer medför risk för större kväveläckage efter vallbrott. Efterföljande höstgrödor kan i viss mån minska denna risk genom effektivt kväveupptag. De vanligtvis stora mängderna mineralkväve i marken efter ett vallbrott kommer dock sannolikt att vara större än någon höstgröda förmår ta upp. Eftersom nederbörds mängderna under höst/vinter beräknas öka liksom temperaturen, är risken stor för en relativ ökning av kväveläckaget efter vallbrott.

Effekter av förändringar i markanvändning

Nordgränsen för odling av flera höstgrödor, t ex höstraps och höstvet, kommer att flyttas norrut. Detta innebär en större total areal av höstbevuxen mark ur ett nationellt perspektiv. I viss mån kan höstsådda grödor fungera som s.k. fånggrödor och därmed minska kväveläckaget under höst/vinter. Många höstgrödor höstgödslas emellertid. Detta minskar höstgrödans ”fånggrödeeffekt” och medför också ökad risk för kväveutlakning, om kraftig nederbörd inträffar strax efter gödslingsstillfället. Ökad areal höstsäd kan leda till ökning eller minskning av kväveutlakningen från jordbruksmark, beroende på gödslingsstrategin för de höstsådda grödorna. Höstsådda

grödor har generellt en högre avkastningsnivå än vårsådda grödor. En större areal höstsådda grödor kan därför, generellt, bidra till högre förluster av växtnäring under höst/vinter pga nedbrytning av större mängder skörderester. Höstvetete och höstraps förväntas öka på bekostnad av vallarealen. Nettoeffekten av denna markanvändningsförändring är svår att förutsäga utan noggrannare beräkningar. Generellt sett kommer dock förändringen leda till en större jordbruksareal i ”öppen odling”, vilket sannolikt ökar utlakningen av växtnäring från jordbruksarealen ur ett nationellt perspektiv.

Odlingen av majs förväntas öka i ett varmare klimat. Majsensilage har bättre fodervärde än gräsensilage. Man kan därför förvänta sig en övergång från gräsvallar och gräsensilage till odling av fodermajs. Denna förändring leder till minskad vallareal. Fodermajs gödslas kraftigare än vallar. En ökning av majsarealen skulle därför medföra att mer mark kommer att vara i s.k. öppen odling, där marken bearbetas och plöjs varje år och till ökad gödning av foderarealen. Båda dessa faktorer leder med stor sannolikhet till ökad utlakning/transport av såväl fosfor som kväve från motsvarande arealer.

En ökad areal av höstoljeväxter kan leda till ökad risk för fosforläckage kopplat till utlakning från fryst växtmaterial. En minskad vallareal kan i viss mån kompensera för ökningen av arealen höstoljeväxter i detta avseende. Den minskade vallarealen medför å andra sidan att större markarealer kommer att vara i ”öppen odling” och därmed mer utsatta för fosforläckage kopplat till transport av partikelbundet fosfor.

Sammanfattningsvis kommer sannolikt arealen höstsådda grödor öka, vilket kommer att medföra ökad höstgödning och minskad odling av vallar. Dessa faktorer leder till risk för en relativ ökning av näringsläckaget. Övergång från gräsensilage till majsensilage kan öka näringsläckaget pga kraftigare gödning och större areal ”öppen mark”.

Sammanfattning och jämförelse med tidigare studier

Kväveläckage

Många faktorer pekar på att en klimatförändring kommer att medföra ökad risk för kväveläckage från svensk jordbruksmark:

Aktuella klimatscenarier indikerar att både temperatur och nederbörd kommer att öka under höst/vinter i hela landet.

Ökad temperatur kommer att bidra till ökad mineralisering av kväve i jordbruksmark under höst/vinter.

Ökade nederbördsmängder kommer att bidra till mer omfattande utlakning av lättroligt kväve från jordbruksmark under motsvarande period.

Av vinternederbörden kommer andelen snö att minska liksom snötäcket varaktighet. Andelen av vinternederbörden som infiltrerar marken kommer därför att öka, vilket kan öka kväveutlakningen ytterligare.

Den direkta effekten av förändringar i klimatet under höst/vinter kommer alltså sannolikt att leda till en generell ökning av kväveläckaget från jordbruksmark.

Ökad variabilitet i klimatet medför ökad risk för utvintring av höstgrödor, i vissa regioner, vilket ökar risken för kväveläckage under vinter-tidig vår.

Produktionsnivån per areal kommer sannolikt att öka, vilket bidrar till ökad risk för kväveläckage under höst och vinter.

Större diskrepans mellan grödans kvävebehov och markens förmåga att leverera kväve under växtsäsongen kan medföra behov av ökad kvävegödning, för vissa grödor, vilket medför risk för ökat kväveläckage.

Större diskrepans mellan grödans kvävebehov och markens förmåga att leverera kväve under växtsäsongen kan medföra behov av ökad kvävegödsling, för vissa grödor, vilket medför risk för ökat kväveläckage.

Ökningen av växtperiodens längd kommer ej att kompensera för ökningen av kväveläckaget.

En minskning av vallarealen och en större areal mark i ”öppen odling” medför att en större areal bearbetas och plöjs varje år, vilket i sin tur sannolikt kommer att bidra till ökat kväveläckage.

En ökning av arealen fodermajs på bekostnad av vallodling medför ökad gödsling och därmed risk för större kväveläckage.

En ökad areal höstsådd mark kan i viss mån minska kväveläckaget genom att höstsådda grödor kan fungera som ”fånggrödor” under milda höst/vinter perioder. Höstgrödornas effektivitet som ”fånggrödor” är emellertid osäker och beror både på gödslingsstrategi och övervintringsförhållanden.

Endast ett fåtal begränsade studier har genomförts med avseende på effekter av en klimatförändring på kväveläckage från jordbruksmark i Sverige. Eckersten et al. (2001) studerade effekten av förändrat klimat på kväveläckage från höstveten på två jordbrukslokaler (Halmstad och Uppsala) baserat på tidigare klimatscenarier från Hadley Centre (HadCM2). Denna studie indikerar att kväveutlakningen år 2050 skulle öka med ca 17-18 % i Uppsala på såväl sandjord som lerjord. Grödans ovanjordiska produktion beräknades öka med 10-20 %. Ökningen i kväveläckage på sandjorden orsakades främst av ökad mineralisering, medan ökningen på lerjorden berodde på en kombination av ökad kväveminerisering och ökad avrinning. Studien indikerade däremot att kväveläckaget från en lerjord i södra Halland skulle förbli oförändrat i det framtida klimatet. Detta berodde främst på att avrinningen inte ökade, pga ökningen i avdunstning kompenserade för ökningen i nederbörd. För en sandjord på samma lokal skulle sannolikt kväveläckaget öka väsentligt, men studien omfattade inte en sådan kombination. Studien visade också att minskat snötäckande medförde längre perioder av frusen mark i Uppsala, vilket fick olika effekt på förhållandet mellan ytavrinning och infiltration på respektive sand och lerjord.

Eckerstens studie visar på betydelsen av att förstå samspelet mellan olika faktorer som styr utlakningen av kväve och behovet av att göra kvalificerade beräkningar som beaktar den sammanlagda effekten av flera faktorer. Studien demonstrerar också att effekten på samma lokal kan variera beroende på jordart samt att skillnader i klimat mellan olika lokaler kan leda till stora skillnader i utlakning på samma typ av jord.

Arheimer et al. (2005) uppskattade den potentiella effekten av en klimatförändring i ett jordbruksdominerat avrinningsområde i sydvästra Sverige baserat på sex olika klimatscenarier för år 2071-2100. Resultaten indikerar att kväveutlakningen skulle öka mellan 32-70 %, beroende på scenario och gröda. Ökningen av kväveläckage berodde främst på ökningen i nederbörd och temperatur och därtill kopplad ökning i kväveminerisering och avrinning. Ökningen i växtsäsongens längd kunde ej kompensera ökningen av kväveutlakning. Kvävekoncentrationen i rotzonen ökade med 34-67 % (årliga genomsnittsvärden) medan kvävekoncentrationen i vattendragen ökade med ca 7-19 %. Kväveretentionen i vattendragen ökade till följd av ett varmare klimat, men trots detta ökade den årliga transporten av kväve till havet med 10-33 %, bl a pga ökad avrinning. Resultaten visade på små skillnader mellan scenario A2 och B2, men betydande skillnader mellan beräkningar baserade på ECHAM4 respektive HadAM3H. ECHAM4 gav betydligt större ökning i kväveutlakningen. Detta beror främst på att ECHAM4 predikterar både större temperaturökning och högre nederbörd (och därmed högre avrinning). Beräkningar baserade på HadAM3H gav högre kvävekoncentrationer i vattnet men lägre total transport pga den lägre avrinningen. Arheimers studie demonstrerar särskilt betydelsen av att beakta den rumsliga skalan vid uppskattning av klimateffekter på växtnärläckage, samt den stora variationen i resultat beroende på vilken GCM-modell som ligger till grund för de klimatscenarier som används som indata.

Inom ramen för en pågående studie beräknas effekten av en klimatförändring på kväveutlakningen från nuvarande grödor i Mälar-Hjälmar regionen (H. Johnsson och K. Mårtensson, SLU; pers. komm.). Preliminära siffror visar på en genomsnittlig ökning av kvävekoncentrationen i vattnet som avrinner från rotzonen på ca 10 % (scenario A2, HadAM3H, 2072-2091). Koncentrationsökningen är större med avseende på stråså och mindre för vallar. Motsvarande beräkningar för ett avrinningsområde i mellersta Norrland (Rickleån) indikerar en

mindre ökning av kväveläckaget (<10%) främst pga den stora vallarealen i området. Eventuella förändringar i markanvändning (t ex vallareal) och gödslingsnivåer har ej beaktats i dessa beräkningar.

Fosforläckage

Ökad nederbörd under vintern kommer att öka risken för partikelerosion och därmed partikelbunden förlust av fosfor från jordbruksmark. En eventuell ökning i frekvensen av intensiva nederbördstillfällena kommer att verka i samma riktning.

Minskat snötäcke leder till en minskning av ytavrinningen i samband med snösmältning, vilket i sin tur kan minska fosforförlusterna kopplat till snösmältning.

Ökad frekvens av perioder med oväxlande frysning/tining kan bidra till ökad utlakning av fosfor från höstsådda grödor och vallar.

Minskad vallareal kan bidra till minskning av fosforutlakningen från fryst växtmaterial, samtidigt som ökning av arealen höstoljeväxter leder i motsatt riktning.

Högre produktionsnivåer leder till ökat behov av fosforgödsling, med ökad risk för fosforläckage som följd.

Ökad areal fodermajs på bekostnad av vallarealen resulterar i kraftigare gödsling av foderarealen och större andel ”obevuxen mark” under vintern, vilket ökar fosforläckaget.

För att uppskatta relativa effekter av ovanstående faktorer i olika regioner och vid olika klimatscenarier, krävs kvalificerade beräkningar där dessa faktorer sammanvägs med avseende på grödor, produktions- och gödslingsnivåer och potentiella markanvändningsförändringar.

Beräkningar av klimatförändringens effekter på fosforläckaget för ett par avrinningsområden i Sverige pågår (M. Larsson och A. Lindsjö, SLU; pers. komm.), men har ännu inte publicerats. Preliminära siffror pekar på en nettoökning av fosforläckaget med avseende på befintliga grödor i Mälardalen regionen och Emåns avrinningsområde (Scenario A2, 2072-2091, HADAM3H) för både scenario A2 och B2. Ökningen härleds främst till ökad totalavrinning under vintern och därtill kopplad transport av partikelbunden fosfor. Beräkningar med avseende på Ruckleåns avrinningsområde i Norrland indikerar däremot en minskning av fosforläckaget. Minskningen beror främst på minskat snötäcke och därmed reducerad avrinning och minskad yterrosion vid snösmältning. Området domineras av vallproduktion och eventuella förändringar i markanvändning eller gödsling har ej beaktats i dessa beräkningar.

Möjliga åtgärder

Resultat från forskningsprogrammet VASTRA (Vattenstrategiska forskningsprogrammet) har visat att det kan bli svårt att uppnå det nationella miljömålet ”Ingen övergödning år 2015” (30 % minskning av kvävetillförseln och 20 % minskning av fosfortillförseln till havet) i ett jordbruksdominerat avrinningsområde i södra Sverige, genom enbart åtgärder inom jordbruket (Andersson et al, 2006). De mest effektiva jordbruksåtgärderna för minskning av kväveläckaget var: sen brytning av vall och träda, insädd fånggröda i vårsädd spannmål och oljeväxter, samt vårspridning (istället för höstspridning) av stallgödsel. Om dessa åtgärder kombinerades uppnåddes en total reduktion av kväveläckaget från rotzonen med 16 %. Eftersom vårsådda grödor ofta följs av vall eller höstsådda grödor blev arealen för odling av fånggrödor med bibehållen växtföljd begränsad. Om arealen fånggrödor ökades genom att höstgrödor ersattes med vårsädd gröda + insädd fånggröda, ökade reduktionen av kväveläckaget till 20 % (Larsson et al., 2005). En tioprocentig sänkning av handelsgödselgivan till spannmål minskade läckaget från rotzonen med 4 %, men medför även en skördesänkning (uppskattad till 2-5 %). Studien är baserad på rådande klimat år 1980-2000.

En klimatförändring kommer därför sannolikt att medföra att ytterligare åtgärder krävs för att uppnå och bibehålla de nationella miljömålen med avseende på minskning av fosfor och kväveläckage från jordbruksmark.

Den förmodade ökningen av arealen höstsådd mark kommer enligt ovan att minska möjligheterna att uppnå miljömålen. I ett framtida klimat blir det därför angeläget att utveckla odlingssystem och växtföljder som ger utrymme för olika typer av insådda fänggrödor eller andra grödor med effektivt rotsystem under höst och vinter, liksom att utveckla system där höstbearbetning av marken sker i så liten omfattning som möjligt.

För att uppnå miljömålet "Ingen övergödning" i en framtida klimatsituation kommer jordbruksåtgärder, i ännu högre utsträckning än idag, att behöva kompletteras med andra åtgärder t ex anläggning av våtmarker och kantzoner längs vattendragen, förbättrad rening av industriavlopp och enskilda avlopp och förbättring av reningstekniken i reningsverk (Andersson et al., 2006; Larsson et al., 2005).

Slutsatser

De få kvalificerade studier som hittills genomförts med avseende på kväveläckage från svensk jordbruksmark i ett förändrat klimat indikerar att kväveläckaget med stor sannolikhet kommer att öka väsentligt. De bekräftar därmed de mer generella resonemang och slutsatser som här presenterats och som baserats på befintlig kunskap om de processer som styr kväveutlakningen och på information från aktuella klimatscenarier. De demonstrerar också behovet av att genomföra kvalificerade studier och beräkningar som beaktar det komplexa samspelet mellan olika faktorer som påverkar kväveutlakningen. Hittills genomförda studier omfattar emellertid endast ett fåtal geografiska platser/områden och har av naturliga skäl flera begränsningar. Av praktiskt/tekniska skäl beaktades t ex inte den direkta återkopplingen mellan grödornas tillväxt och klimat i studien av Arheimer et al. (2005). Effekterna av den ökade variabiliteten i klimatet och ökad frekvens av extrema vädersituationer har inte heller beaktats. Den ökade variabilitet i klimatet som indikerats i de aktuella klimatscenarierna har stor betydelse för de processer som styr risken för utlakning av växtnäring under olika delar av året och på olika typer av jordar. Potentiella effekter av ändrad markanvändning och förändringar i gödslings- och produktionsnivåer har inte heller studerats. Även fosforförlusterna från jordbruksmark kan förväntas öka pga klimatförändringen, vilket bekräftas av preliminära siffror från en pågående studie. I vissa områden i norra Sverige kan emellertid fosforförlusterna eventuellt minska pga effekterna av minskat snötäcke.

För en mer heltäckande bild av riskerna för växtnäringsläckage i ett framtida klimat och den potentiella effekten av olika anpassningsåtgärder i olika regioner, krävs flera studier som beaktar den sammanvägda effekten av olika faktorer som påverkar såväl kväve- som fosforläckage. Det krävs därför dels kvalificerade studier som omfattar beräkningar av kväve- och fosforläckage i varje region med avseende på klimat, grödor, jordar och klimatrelaterade förändringar i tidpunkter för olika gödslings- och bearbetningsåtgärder. Dessutom behövs studier som beaktar den relativa betydelsen av ökad variabilitet i klimatet samt potentiella effekter av ändringar i produktion och markanvändning.

Referenser

- Andersson, L, Arheimer B, Kallner Bastviken S, Johnsson H, Kyllmar K, Larsson H, Pers C, Rosberg J, Ståhl-Delbanco A, Tonderski K. 2006. VASTRA-modeller i vattenplaneringscykeln. I: På tal om vatten. (Ed:Jöborn A, Danielsson I, Oscarsson, H), VASTRA rapport 6:149-172.
- Arheimer B, Andréasson J, Fogelberg S, Johnsson H, Pers C B and Persson K. 2005. Climate Change Impact on Water Quality: Model Results from Southern Sweden. *Ambio*, Vol 34, No 7: 559-566.
- Eckersten H, Blombäck K, Kätterer T, Nyman P. 2001. Modelling C, N, water and heat dynamics in winter wheat under climate change in southern Sweden. *Agriculture, Ecosystems and Environm.* 86: 221-235.
- Johnsson H, Mårtensson K, Larsson M, Mattson L. 2006. Beräkning av kväveutlakning vid förändrad gödsling för höstveten och vårkorn. *Teknisk Rapport 106. Avd Vattenvårdslära, Inst Markvetenskap, SLU. Uppsala. 20 pp.*
- Larsson M, Kyllmar K, Jonasson L, Johnsson H. 2005. Estimating Reduction of Nitrogen Leaching from Arable Land and the Related Costs. *Ambio*, Vol 34, No 7: 538-543.

Muntlig kommunikation

H. Aronsson, Inst Markevetenskap, SLU
G. Bergkvist, Inst för Växtproduktionsekologi, SLU
H. Johnsson, Inst Markvetenskap, SLU

M. Larsson, Inst Markvetenskap, SLU
A. Lindsjö, Inst Markvetenskap, SLU

Appendix

Markanvändning

Bakgrund

Tabell A1.1. Åkerarealens användning och vegetabilieproduktion, genomsnitt åren 1994-1999.

	Areal (1000 ha)	Produktion (1000 ton)	Prisnivå år 1999 (kr/kg)	Värde (milj kr)
Höstvete	277	1589	0,98	1557
Vårvete	46	226	1,06	240
Höstråg	32	160	0,97	155
Brödsäd	355	1975		1952
Höstkorn	18	76	0,91	69
Vårkorn	448	1786	0,91	1625
Havre	299	1093	0,92	1006
Rågvete	54	255	0,89	227
Blandsäd	29	92	0,75	69
Fodersäd	848	3306		2996
Baljväxter	38	75	1,05	79
Vall	1010	(7360)	0,81	5961
Matpotatis	26	792	1,50	1188
Fabrikspotatis	8	330	0,52	172
Potatis	34	1062		1360
Socketbetor	59	2752	0,39	1073
Höstoljeväxter	33	78	1,32	103
Våroljeväxter	49	78	1,32	103
Oljelin	12	9	1,10	10
Oljeväxter	94	165		226
Köksväxter	6			600
Övrigt	38			
Träda	243			
Ej utnyttjad åkermark	63			
Summa	2788			14247

Jordbrukets ekonomiska förutsättningar

Tabell A1.2: ACCELERATES-modellens parametrar för relativa prisutvecklingar i markanvändningsmodellen för EU15. Notera att bedömningen är gjord för 2020 och att 2050 och 2080 utgör linjära extrapoleringar.

Parameters	Nu	2020				2050				2080			
		A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
Divergens/konvergens Parameter	100	172	101	148	91	279	103	220	78	386	105	293	65
Kostnader för gödselmedel	100	94	107	136	164	85	118	189	259	76	129	243	355
Kostnader för utsäde	100	120	108	104	94	149	121	111	85	179	133	118	77
Kostnader för pesticider	100	88	102	141	147	69	104	203	218	51	106	266	289
Kostnader för maskiner	100	88	106	121	132	70	116	153	179	52	125	185	227
Kostnader för drivmedel	100	90	110	143	157	76	125	209	241	62	140	274	326
Kostnad för arbetskraft	100	151	114	133	110	228	135	184	125	305	157	234	140
Kostnad för kontraktarbete = 40% arb. + 60% maskin.	100	105	112	123	133	112	131	156	183	119	149	190	234
Arealbidrag	100	0	0	91	107	0	0	77	117	0	0	63	127
Spannmålspriser	100	83	92	102	112	59	80	106	131	34	67	109	149
Spannmål, arealbidrag	100	0	99	60	101	0	99	0	103	0	98	0	104
Majspris	100	91	99	105	106	78	99	112	116	65	98	119	125
Majs, arealbidrag	100	0	94	60	89	0	85	0	72	0	76	0	56
Sockerbetspris	100	82	95	90	102	54	88	74	104	27	81	58	107
Oljeväxtfrö, pris	100	82	90	94	106	54	74	86	114	27	58	78	123
Oljeväxt, arealbidrag	100	0	101	60	115	0	104	0	138	0	106	0	160
Olivolja	100	82	94	90	106	54	85	74	114	27	76	59	123
Olivodling, arealbidrag	100	0	92	60	107	0	79	0	116	0	67	0	126
Roots and tubers price (s/t)	100	88	98	113	124	69	94	134	160	51	91	154	196
Pris, proteingröda	100	81	93	93	108	54	82	83	121	26	70	73	133
Proteingröda, arealbidrag	100	0	89	60	85	0	74	0	62	0	58	0	39
Bomullspris	100	86	91	93	112	65	78	82	129	44	65	72	146
Bomull, arealbidrag	100	0	89	83	106	0	73	58	116	0	57	32	126
Tobak, pris	100	90	93	92	111	75	83	80	128	60	73	68	144
Trädesbidrag	100	79	99	104	112	47	98	110	130	15	97	116	148
Trädeskvoter (%)	100	0	100	95	105	0	100	88	113	0	100	81	121
Köttpris	100	96	98	101	110	89	95	103	124	83	92	104	139
Mjölkspris	100	88	96	104	119	70	90	109	147	52	84	114	175
Bidrag LFA	100	81	105	92	121	52	112	79	153	24	119	67	184
Skörd f(teknologiförändring)	som 100	167	131	130	104	268	177	176	109	368	223	221	115
Bevattningsanläggningar	100	133	138	124	116	183	195	161	139	232	252	198	162
Vattenpris	100	134	118	159	149	184	145	246	222	234	172	334	296
Bevattningseffektivitet	100	135	136	153	142	188	190	232	205	241	244	311	268
Restriktion, kemiska bekämpningsmedel	100	92	94	132	132	79	84	180	181	67	74	228	230
Gårdsstorlek	100	164	126	132	105	260	165	179	112	356	205	227	120
Negativa växtföljdseffekter	100	80	87	94	101	51	67	84	102	22	47	75	103

Markanvändning för Europa som en region

Tabell A1.3. ATEAM: Sammanfattning av använda parametervärden samt av estimerad framtida markanvändning, åkermark, som procent av dagens. Relativ markanvändning beräknas enligt ekvation 7. Beräkningarna av L_t/L_{t0} är gjorda utifrån grundmodellen, d.v.s. utan hänsyn till restriktioner på arealförändringar eller eventuell bioenergiproduktion.

Relativ framtida markanvändning	A1F			A2			B1			B2		
	I											
Åkermark	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080
Relativ efterfrågan, D_t/D_{t0}	1,25	1,51	1,46	1,14	1,31	1,38	1,18	1,39	1,29	1,06	1,09	1,07
Relativ prod., klimat, $P_{t,CI}/P_{t0}$	0,99	0,92	0,93	1,01	0,97	0,95	1,01	0,98	0,97	1,01	0,98	0,97
Relativ produktivitet, CO ₂ , $P_{t,CO}/P_{t0}$	1,04	1,16	1,32	1,04	1,13	1,27	1,04	1,09	1,11	1,04	1,11	1,15
Relativ produktivitet, tekn., $P_{t,T}/P_{t0}$	1,37	1,87	2,34	1,36	1,81	2,16	1,29	1,62	1,86	1,19	1,27	1,27
Relativ överproduktion, $O_{r,t}/O_{r,t0}$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1	1	1
Relativ markanvändning, L_t/L_{t0}	80%	70%	51%	73%	62%	52%	88%	82%	66%	85%	80%	77%

Tabell A1.4. ATEAM: Sammanfattning av använda parametervärden samt av estimerad framtida markanvändning, gräsmark, som procent av dagens. Relativ markanvändning beräknas enligt ekvation 7. Beräkningarna av L_t/L_{t0} är gjorda utifrån grundmodellen, d.v.s. utan hänsyn till restriktioner på arealförändringar eller eventuell bioenergiproduktion. Restriktionen på minskning i B1-scenariet leder till att annan relativ markanvändning, än modellresultatet, redovisas.

Relativ framtida markanvändning	A1FI			A2			B1			B2		
Gräsmark	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2050	2080
Relativ efterfrågan, D_t/D_{t0}	0,85	0,87	0,85	0,91	0,67	0,64	0,91	0,67	0,64	0,91	0,67	0,64
Relativ prod., klimat, $P_{t,CI}/P_{t0}$	0,95	0,91	1,09	1,01	1	1,06	1,03	1,05	1,11	1,03	1,03	1,08
Relativ produktivitet, CO ₂ , $P_{t,CO}/P_{t0}$	1,04	1,16	1,32	1,04	1,13	1,27	1,04	1,09	1,11	1,04	1,11	1,15
Relativ produktivitet, tekn., $P_{t,T}/P_{t0}$	1,14	1,32	1,5	1,14	1,3	1,43	1,11	1,23	1,32	1,07	1,2	1,1
Relativ överproduktion, $O_{r,t}/O_{r,t0}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Relativ markanvändning, L_t/L_{t0}	75%	63%	45%	76%	47%	36%	77%	49%	42%	80%	50%	48%
Rel. markanv. med restriktion							B1+R					
							100%	94%	94%			

Markanvändning i enskilda länder

Tabell A1.5. ACCELERATES arealfördelning inom Sverige. Modellerade förändringen av andel (%-enheter) åker (arable) av jordbruksmark till 2050 (HadCM3 A2). Värdena är avlästa från kartor.

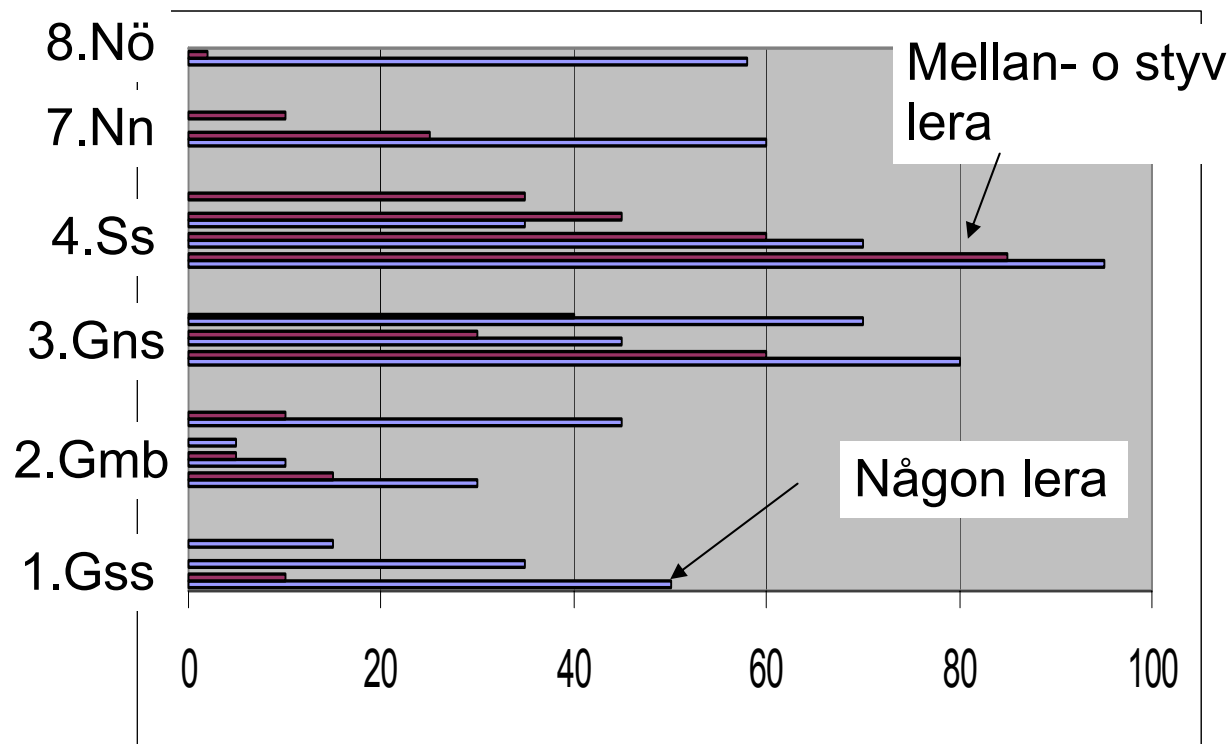
	Observerad (databas)	Modellerad baseline	Modellerad 2050	2050- baseline	Modell- observation	PCM (2050) klimatförändring
Skåne	50-60	40-50	40-50	0	-10	60-70
Småland	20-30	60-70	60-70	0	+40	80-90
VästraGötaland	40-50	50-60	50-60	0	+10	60-70
Ss	50-60	30-40	40-50	+10	-20	60-70
Nedre Norrland	20-40	10-30	50-60	+30	-10	0-80
Övre Norrland	10-20	0-10	0-10	0	-10	0-10

Vattentillgång

Tabell A2.1. Grovt uppskattade värden på markttextur (0-20 cm) från Eriksson m fl. (1999), grupperade efter SCB:s produktionsområden. Andel (%) av total åkermarksareal i regionen

Område	Marker innehållande lera	Mellan, styv och mycket styv lera
1: Gss	50 Malmö	10
	35 Kristianstad	
	15 Blekinge	
	30 Kalmar	15 Kalmar
	10 Jönköping	5 Jönköping
2: Gmb	5 Kronoberg	0 Kronoberg
	45 Gotland	10 Gotland
	80 Östergötland	60 Östergötland
3: Gns	40-50 Skaraborg, Älvsborg	30 Skaraborg, Älvsborg
	70 Göteborg	40 Göteborg
	95	85
	70 Örebro, Värmland	60 Stockholm
4: Ss	35 Dalarna	45 Örebro
	55-60	35 Värmland, Dalarna
7: Nn		25 Gävle, Västernorrland
8: Nö	15	10 Jämtland
		2

Fig. A2.1. Andel (%) av åkermarksareal i regionen som innehåller någon lera, alternativt mellan, styv eller mycket styv lera.



Vårsådda grödor

Tabell A2.2. Vegetationsperiodens start (>5) (Rosby Centre, SMHI)

Vegetationsperiodens start >5 (dagnummer från 1 Jan.)				Redan inträffad förändring	
A2, Echam4, RCA3					
Område	1975 (± 7.5) ERA40	Diff 2085-1975 (+5)	2085	Diff 1998-1975 (+5) (ERA40)	Diff 2025-1975 (+5)
1: Gss	68-98 tsv	-35 till -5 tn	63	-25 till -15 snv	-15 till -5 tn
2: Gmb	83-98 tsv	-65 till -35 ti	33-48 ti	-5 till +5 si	-55 till -45 ti
3: Gns	98-113 si	-65 till -45 ti	43-48 si	-5	-55 till -45 ti
4: Ss	98-113 tö	-65 till -45 tö	33-68 tö	-5	-25
7: Nn	113	-65 till -25 ts	48-88 ts	-5	-15
8: Nö	128	-15	113	-5 till +5 ss	-15 till -5 ts
A2, dito ovan men ny avläsning som är mer strikt enligt SCB:s Gss och Gmb områden					
1: Gss	68-90 tsv	-45 till -25 tVk	63	-25 till -15 tso	-35 till -15 tvk
2: Gmb	75-98 tsv	-80/85 till -25 tGo	33-48 ti	-25 till -5 tsv, Go	-55 till -15 tsBl,G
3: Gns	98-115 si	-90 till -75 tVä	43-48 si	-5	-55 till -45 ts
4: Ss	98-108 tsv	-85 till -55 tso	33-68 tö	-5	-25 – -20
7: Nn	113-128 ts	-55 till -25 ts	48-88 ts	-5 till +5 senv	-15 till -5 (lo)
8: Nö	128-150 ts	-45 till -15 tsk	113	-5 till +5 sev	-15 till -5 tsk
B2 jämförbar med ny avläsning					
1: Gss	68-90 tsv	-45 till -25 tVk	63	-25 till -15 tso	-25 till -15 tvk
2: Gmb	75-98 tsv	-80/85 till -25 tGo	33-48 ti	-25 till -5 tsv, Go	-45 till -15 tsBl,G
3: Gns	98-115 si	-80 till -65 tVä	43-48 si	-5	-40 till -35 tVä
4: Ss	98-108 tsv	-65 till -35 ts	33-68 tö	-5	-25 till -15
7: Nn	113-128 ts	-35 till -15 ts	48-88 ts	-5 till +5 senv	-15 till -5 snv
8: Nö	128-150 ts	-25 till -15 tsv	113	-5 till +5 sev	-15 till -5 tso

Fotnoter se nedan

Tabell A2.3. Sista vårfrosten (Rosby Centre, SMHI)

Sista vårfrost, dagnummer				Redan inträffad förändring	
Echam4, A2					
Område	1975 (± 7.5) (ERA40)	Diff 2085-1975 (+5)	2085	Diff 1998-1975 (+5) (ERA40)	Diff 2025-1975 (+5)
1: Gss	98 (83 vid sk)	-75 till -55 tso	23-43 tso (8 vid sk)	-5	-35 till -25 (-45 so)
2: Gmb	98-113 tk	-45 (-55 vid k)	43-68 tk	-5 till +5 (sent vk)	-25 till -15
3: Gns	98-113 tk	-55 till -45 tv	43-68 tv	-5	-25 till -15
4: Ss	113 (23/4)	-45	68 (9/3)	-5	-25 till -15
7: Nn	113-128 ts	-45 till -35 ts	68-98 ts	-5	-25 till -15 ts
8: Nö	128	-35	98	-5	-15
A2, dito ovan men ny avläsning som är mer strikt enligt SCB:s Gss och Gmb områden					
1: Gss	98 (83 vid sk)	-65 till -55 tso	23-43 tso (8 vid sk)	-5	-25 till -20 tso
2: Gmb	98-105 snk	-65 till -45 tso,Go	43-68 tk	-5	-25 till -15 ts+Go
3: Gns	98-113 tk	-55 till -35 tv	43-68 tv	-5	-15 till -5 sö
4: Ss	113 (23/4)	-35	68 (9/3)	-5	-15 till -5 tno
7: Nn	113-128 ts	-35 till -25 tk	68-98 ts	-5	-15 till -5 ts
8: Nö	125 – 150 sn	-35 till -25 tk	98	-5 till +5 sinsv	-15 till -5 tsv
B2 jämförbar med ny avläsning					
1: Gss	98 (83 vid sk)	-45 till -35 ts		-5	-25
2: Gmb	98-105 snk	-55 till -25 tGo		-5	-35 till -15 tiGo
	98-113 tk	-40		-5	-25 till -15 tiVä
3: Gns		till -25 tVä			
4: Ss	113 (23/4)	-25		-5	-15
7: Nn	113-128 ts	-25 till -15 ts		-5	-15 till -5 snv
8: Nö	125 - 150	-25 (lk) till -15		-5 till +5 sinsv	-15 till -5 tö

Fotnoter se nedan

Höstsådda grödor

Tabell A2.4. Vegetationsperiodens slut (<5) (Rosby Centre, SMHI)

Sista dag på vegetationsperioden >5 dagnummer Echam4, A2				Redan inträffad förändring	
Område	1975 (± 7.5) ERA40	Diff 2085- 1975 (± 5)	2085	Diff 1998-1975 (± 5) (ERA40)	Diff 2025- 1975 (± 5)
1: Gss	322-337 ss	+5 till +15 mn	337-342 ss	-5	+5
2: Gmb	308-323 svk	+15 till +30 mo	338	-5	+5 till +20 sö
3: Gns	308-323 sv	+20 till +30 mo	338-343 sv	-5	+5 till +15 tv
4: Ss	308	+40	348	-5 till +5	+15
7: Nn	293	+30 till +40 ms	323-333 ss	-5	+5 till +15 tso
8: Nö	278-293 sso	+20 till +30 ms	298-323 ss.	-5 till +5	+5
A2, dito ovan men ny avläsning som är mer strikt enligt SCB:s Gss och Gmb områden					
1: Gss	322-337 ssv	+5 till +15 svk	337-342 ss	-5	+5
2: Gmb	308-338 ssv	+5 till +40 sok	338	-5	+5 till +25 sö
3: Gns	308-323 sv	+25 till +35 sn	338-343 sv	-5 till +5 sen	+5 till +15 tsv
4: Ss	308	+35 – 45 mök	348	-5 till +5 sein	+15
7: Nn	278-293 ss	+35 till +45 sös	323-333 ss	-5	+5 till +15 tso
8: Nö	263-278 ss	+25 till +35 sök	298-323 ss.	-5 till +5	+5 till +15 stv
B2 jämförbar med ny avläsning					
1: Gss	322-337 ss	+5 till +15		-5	+5
2: Gmb	308-323 svk	+5 till 25/30 sok		-5	+5 till +20
	308-323 sv	+25 till +35 mo		-5 - +5	+15 till +25 (mook)
3: Gns					
4: Ss	308	+25 – 35 kno		-5 till +5	+15 till (+25mom)
7: Nn	293	+15 till +25 kno		-5	+5 till +15 min
8: Nö	278-293 sso	+15 till +25 stsv+k		-5 till +5	+5 till +15 mic

Fotnoter se nedan

Tabell A2.5. Period med snötäcke (Rosby Centre, SMHI)

Snötäcke (Dagar/år) Echam4, RCA3, A2				Redan inträffad förändring	
Område	1975 (± 15) (ERA40)	Diff 2085-1975 (± 5)	2085	Diff 1998-1975 (± 5) (ERA40)	Diff 2025-1975 (± 5)
1: Gss	45	-15	30	-15	-15 till -5 mno
2: Gmb	45-75 kvk	-45 till -15 mö	30	-25	-25 till -5 mö
3: Gns	45-75 kvk	-45 till -15 mö	30	-25	-25 till -15 mn
4: Ss	75-105 ks	-75 till -45 mn	30	-25 till -15 mn	-25 till -45 mn
7: Nn	105-135 ks	-95 till -85	20-40 ks	-5 till -15 mn	-55 till -45 ms
8: Nö	135-165 ks	-95 till -65 ms	45-100 ks	-5 till +5	-45 till -35 ms
A2, dito ovan men ny avläsning som är mer strikt enligt SCB:s Gss och Gmb områden samt närmare fjällkedjan					
1: Gss	45	-15		-15	-5 mno
2: Gmb	45-75 kvk	-35 till -15 smö		-25 till -15 stö	-25 till -5 stok
3: Gns	50-75 ksv	-45 till -25 smn		-25	-25 till -15 smn
4: Ss	75-105 ks	-80 till -50 smn		-25 till -15 min	-45 till -35 smn
7: Nn	120-165 ks+ö	-95 till -85		-5 till +5 öknv	-45 till -25 sms
8: Nö	150-210 kks	-95 till -45 sms		-5 till +5 öknsv	-35 till -15 smök
B2 jämförbar med ny avläsning					
1: Gss	45	-15		-15	-5
2: Gmb	45-75 kvk	-35 till -15 stok		-25 till -15	-35 till -5 stok
3: Gns	45-75 kvk	-40 till -20 smn		-25	-25 till -15 smn
4: Ss	75-105 ks	-75 till -45 smn		-25 till -15	-45 till -35 smn
7: Nn	105-135 ks	-85 till -65 smk		-5 till +5	-45 till -25 sts+k
8: Nö	135-165 ks	-85 till -35 smk		-5 till +5	-45 till -15 smk

Fotnoter se nedan

Tabell A2.6. Förändring av medeltemperatur för Svealands slättbygder (Rosby Centre, SMHI)

Svealand (Ss)	Redan inträffad förändring				
	2085 -1975	1998 -1975	Ändring observ.	Diff 2085 – 1998 jmf	
	ändring (oC)	(interpolerad)	[modellerad ERA40]	observ. alt.	[ERA40]
Jan	+5.8	+1.7	[+1.5]	+4.1	
Feb	+6.3	+1.7 (1.5)	[+1.0]	+4.8	
Mars	+6.3	+1.0 (1.3)	[+0.5]	+5.0	
April	+4.3	+1.0	[+0.5]	+3.3	
Maj	+2.8	+1.0 (0.9)	[+0]	+1.9	
Juni	+2.8	+0.7 (0.8)	[-0.5]	+2.0	
Juli	+3.3	+0.7		+2.6	
Augusti	+3.8	+0.7 (0.6)		+3.2	
A2, dito ovan men ny avläsning av en annan person					
Jan	+5.5	+1.7 (2.0)	[+1.5]	+3.5	[+4.0]
Feb	+6.5	+1.7 (1.7)	[+1.0]	+4.8	[+5.5]
Mars	+6.5	+1.0 (1.2)	[+0.5]	+5.3	[+6.0]
April	+5.0	+1.0 (1.0)	[+0.5]	+4.0	[+4.5]
Maj	+3.5	+1.0 (0.8)	[+0]	+2.7	[+3.5]
Juni	+3.5	+0.7 (0.8)	[-0.5]	+2.7	[+4.0]
Juli	+3.5	+0.7 (0.7)		+2.8	
Augusti	+4.0	+0.7 (0.6)		+3.4	
September	+3.5	+0.3 (0.3)		+3.2	
Oktober	+4.5	+0.3 (0.2)		+4.3	
B2, jämförbar med ny avläsning					
Jan	+3.5	+1.7 (2.0)	[+1.5]	+1.5	[+2.0]
Feb	+5.5	+1.7 (1.7)	[+1.0]	+3.8	[+4.5]
Mars	+5.0	+1.0 (1.2)	[+0.5]	+3.8	[+4.5]
April	+3.5	+1.0 (1.0)	[+0.5]	+2.5	[+3.0]
Maj	+2.5	+1.0 (0.8)	[+0]	+1.7	[+2.5]
Juni	+2.5	+0.7 (0.8)	[-0.5]	+1.7	[+3.0]
Juli	+2.5	+0.7 (0.7)		+1.8	
Augusti	+3.0	+0.7 (0.6)		+2.4	
September	+3.0	+0.3 (0.3)		+2.7	
Oktober	+3.5	+0.3 (0.2)		+3.3	
A2 2025					
Jan	+2.5	+1.7 (2.0)	[+1.5]	+0.5	[+1.0]
Feb	+3.5	+1.7 (1.7)	[+1.0]	+1.8	[+2.5]
Mars	+3.5	+1.0 (1.2)	[+0.5]	+2.3	[+3.0]
April	+2.5	+1.0 (1.0)	[+0.5]	+1.5	[+2.0]
Maj	+2.0	+1.0 (0.8)	[+0]	+1.2	[+2.0]
Juni	+1.5	+0.7 (0.8)	[-0.5]	+0.7	[+2.0]
Juli	+1.0	+0.7 (0.7)		+0.3	
Augusti	+1.5	+0.7 (0.6)		+0.9	
September	+1.5	+0.3 (0.3)		+1.2	
Oktober	+1.5	+0.3 (0.2)		+1.3	
B2 2025					
Jan	+1.7	+1.7 (2.0)	[+1.5]	(-0.3)	[+0.2]
Feb	+2.5	+1.7 (1.7)	[+1.0]	+0.8	[+1.5]
Mars	+3.5	+1.0 (1.2)	[+0.5]	+2.3	[+3.0]
April	+2.5	+1.0 (1.0)	[+0.5]	+1.5	[+2.0]
Maj	+1.5	+1.0 (0.8)	[+0]	+0.7	[+1.5]
Juni	+1.5	+0.7 (0.8)	[-0.5]	+0.7	[+2.0]
Juli	+1.5	+0.7 (0.7)		+0.8	
Augusti	+1.5	+0.7 (0.6)		+0.9	
September	+1.5	+0.3 (0.3)		+1.2	
Oktober	+1.5	+0.3 (0.2)		+1.3	

Vallens tillväxt samt vatten- och kvävebehov

Tabell A2.7a. Förändringen av medeltemperatur till 2085 för specifika lokaler januari till juni (Rosby Centre, SMHI)

DeltaT (oC)	Januari	Februari	Mars	April	Maj	Juni
Diff ~2085 - ~1975 (± 5)						
Echam4, A2						
1: Halmstad	4.3	4.8	5.3	4.3	2.3	2.8
2: Jönköping	4.8	5.3	5.3	4.3	2.3	2.8
3: Skara	4.3	5.3	5.3	4.3	2.3	2.8
4: Örebro	5.3	5.8	5.8	4.8	2.3	2.8
5: Uppsala	5.3	5.8	5.8	4.8	2.8	2.8

Tabell A2.7b. Förändringen av medeltemperatur till 2085 för specifika lokaler juli till december (Rosby Centre, SMHI)

DeltaT (oC)	Juli	Augusti	September	Oktober	November	December
Diff ~2085 - ~1975 (± 5)						
Echam4, A2						
1: Halmstad	3.3	3.3	3.3	3.8	3.3	3.8
2: Jönköping	2.8	3.3	3.3	3.8	3.3	3.8
3: Skara	2.8	3.3	3.3	3.8	3.3	3.8
4: Örebro	2.8	3.3	3.3	3.8	3.3	4.3
5: Uppsala	2.8	3.3	3.3	3.8	3.3	3.8

Tabell A2.8a. Förändringen av nederbörd till 2085 för specifika lokaler januari till juni (Rosby Centre, SMHI)

DeltaNbd (mm)	Januari	Februari	Mars	April	Maj	Juni
Diff ~2085 - ~1975 (± 7.5)						
Echam4, A2						
1: Halmstad	48	38	23	23	3	-8
2: Jönköping	38	28	18	23	-3	-18
3: Skara	38	33	18	23	3	-3
4: Örebro	33	23	18	18	3	-8
5: Uppsala	28	13	18	13	-3	-3

Tabell A2.8b. Förändringen av nederbörd till 2085 för specifika lokaler juli till december (Rosby Centre, SMHI)

DeltaNbd (mm)	Juli	Augusti	September	Oktober	November	December
Diff ~2085 - ~1975 (± 7.5)						
Echam4, A2						
1: Halmstad	-13	-23	-3	48	38	33
2: Jönköping	-23	-23	-13	38	28	18
3: Skara	-23	-23	-8	38	28	23
4: Örebro	-23	-23	-3	33	23	18
5: Uppsala	-13	-23	-3	28	23	13

Näringsläckage

Nederbörd

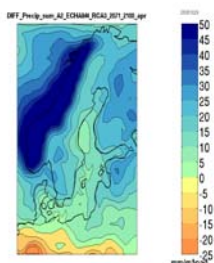


Fig. A6.1.

Exempel på Diff Nedebröd karta (mm/månad)
(DIFF_Precip_sum, Rosby Centre, SMHI)

Tabell A6.1a. Nederbörd (mm/mån), Echam4, A2 (DIFF_Precip_sum, Rosby Centre, SMHI)

Månad/ Område	1975 medel (± 12.5)	2085 - 1975 ändring (± 7.5)	2025 - 1975 och (2055 - 1975) ändring (± 7.5)
Januari		Max i Hela Västra Götaland +48 Min i Norrköping +23	Max i Norra Halland +43 mindre utbred Min i Norrköping +13 större utbred
1: Gss	50-100 vnv	35-40 tö	
2: Gmb	50-100 tö	25-50 tö	
3: Gns	50-100 vsv	20-45 tö	
4: Ss	50-75	20-35 tö	
7: Nn	50-75	20-30 ts	
8: Nö	25-75 tn	15-30 tn	
Februari		(Max i Norra Halland +43) (Min i Nyköping +18)	Max i Norra Halland +43 liten utbred. Min i Nyköping +13
1: Gss	50-75	20-30 tso	
2: Gmb	50-100 vi	15-45 tö	
3: Gns	50-75	15-25 tö	
4: Ss	25-75 tö	10-20 tö (25 i Värmland)	
7: Nn	25-75 tö	10-20 ts	
8: Nö	25-50	20-25	
Mars		(Max i Halland +28) (Min i Gävle +13)	Max i Halland +18 Min i Gävle +3
1: Gss	50-75	5-15 ts	
2: Gmb	50-75	10-30 tö	
3: Gns	25-50	15-25 vv	
4: Ss	25-50	10-25 tö	
7: Nn	25-50	10-30 ts	
8: Nö	25-50	15-30 tn	
April			torrare därefter successivt våtare
1: Gss	50-75	+5-10 i söder till +10-15 i norr	+0 till 5 (+3)
2: Gmb	50-75	+15-20 i öster till +20-25 i väster	-5 till -0 (-8)
3: Gns	50-75	+15-20 i öster till +25-30 i väster	-5till-0 (-8)
4: Ss	25-50	+10-15 i öster till +20-25 i väster	-10till-0 (-13 till -8 ts)
7: Nn	50-75	+10-15 i öster till +20-25 i väster	-10till-0 (-13)
8: Nö	50-75	+10-15 i öster till +20-25 i väster	-5till-0 (-13 till -8 ts)
Maj			torrare därefter succesivt våtare
1: Gss	50-75	+5-10 i öster till -0-5 i väster	-10till-0 (-13 till -8 tn)
2: Gmb	50-75	+10-15 kustomr till -5till-0 inland	-15till-0 (-18 till -8 ti)
3: Gns	50-75	+10-15 öster till +15-20 väster	-15till+5 (-13 till -8 tö)
4: Ss	50-75	+0-5 öst till +10-15 väst (ostkusten -5till-10)	-15till+5 (-18 till +3 tno)
7: Nn	50-100	-10 till+5	-20till-0 (-23 till -18)
8: Nö	50-100	+0-15	-20till-0 (-23 till -18)

Tabell A6.1a forts

Juni	torrast vid kusten		2025 otydligt mönster med svagt våtare i söder och svagt torrae i norr. (2055 mer likt 2085:s mönster)
1: Gss	50-75	-15till-10	(+3 till +8)
2: Gmb	50-100	-20(-25)till-5 (torrast i inlandet)	(+3 till +8)
3: Gns	50-100	-0till-15	(+3 till +8)
4: Ss	50-100	-10till-5 öster till -15till-10 väst (ostkusten +0-5)	(+3 till +8)
7: Nn	50-125	+0-20	(-3 till +3)
8: Nö	50-100	-5till+15	(-3 till +3)
Juli	torrast vid kusten		2025 = 2085:s mönster fast svagare (2055 = mitt emellan 2025 och 2085)
1: Gss	50-100	-25till-15 (torrast i norr)	(-23 till +3 ti)
2: Gmb	50-125	-25till-20, -25till-5 nära kusterna	(-23 till +3 ti)
3: Gns	50-125	-25till-20 i öster -20till-5 i väster	(-23 till +3 ti)
4: Ss	75-125	0till-25 öst, -25till-20 i väst o centr.	(-13 till +18 ti)
7: Nn	10-150	0till+15, torrast i söder	(samma 2085)
8: Nö	50-125	-5till+15, torrast i norr	(samma 2085)
Augusti	torrast vid kusten		2025 = ca 2085:s mönster (våtare Nn). Stark minskning i nederbörd redan 2025 (2055 = 2025 men starkare (ej våtare Nn))
1: Gss	50-100	-25till-20	(-23 till -18 vs (mest -23))
2: Gmb	75-150	-25till-20	(-23 till -18 vs (mest -23))
3: Gns	75-150	-25till-20	(-23 till -18 vs (mest -23))
4: Ss	75-125	-25till-20	(-23 till -18 vi)
7: Nn	100-150	-20till-5	(-8 till +8)
8: Nö	50-125	-10till+10	(-8 till +8)
September	torrast i öster		2025 kraftigt torrare
1: Gss	50-100	-20till-5 (torrast i sydväst)	-15till-0 tnv (-23 tnv)
2: Gmb	75-125	-20till-5 (torrast i inlandet)	-20till-5 tv (-23 tnv)
3: Gns	75-125	-20till-5	-20till-10 tv (-23 tnv)
4: Ss	75-125	-15till-5 (torrast i väst)	-20till-5 tv (-23 tnv)
7: Nn	75-100	-10till+15 (torrast i söder)	-15till-0 ts (-8 till -3)
8: Nö	75-100	+10till20	-10till-0 tn (-8 till -3)
Oktober			
1: Gss	75-100	35-40 vv	(+3 till +8)
2: Gmb	75-125 tö	25-50 tö	(+3 till +8)
3: Gns	75-100	30-45 tö	(+3 till +8)
4: Ss	75-100	30-45 tö	(+3 till +8)
7: Nn	75-100	30-40 ts	(+3 till +8)
8: Nö	75-100	30-40 tn	(+3 till +8)
November			
1: Gss	50-100 tö	10-30 tö	(+8 till +18 vnv)
2: Gmb	75-125 vi	10-35 tö	(+8 till +18 vnv)
3: Gns	50-100 tö	15-30 tö	(+8 till +18 vnv)
4: Ss	50-75 (100 Vär.)	15-20 (25 i Värmland)	(+8 till +18 vnv)
7: Nn	50-75	15-20	(+3 till +13 vs)
8: Nö	50-75	5-15 tn	(+3 till +13 vs)
December			
1: Gss	50-75	15-30 tö	(+8 till +13 tö)
2: Gmb	50-100 tö	15-35 tö	(+8 till +13 tö)
3: Gns	50-100 vsv	10-30 tö	(+8 till +13 tö)
4: Ss	50-75 (100 Vär.)	10-20 tö	(+3 till +18 tno)
7: Nn	50-75	15-30 ts	(+3)
8: Nö	50-75	10-30 tn	(+3)

Tabell A6.1b. Största minskning (alternativt minsta ökning) i nederbörd (mm/mån) inom området. Differens 2085 - 1975 (+7.5), Echam4, A2

Område /Månad	April	Maj	Juni	Juli	Augusti	September
mm/månad						
1: Gss	8 t.s.	3 tv	-13	-23 tn (-18 s)	-23	-18 tsv (-8 n)
2: Gmb	18 t.ö.	-3 ti	-18 ti	-23	-23	-18 ti (-8 kuster)
3: Gns	18 t.ö.	13 tö	-13	-23 tö (-13 v)	-23	-18
4: Ss	13 t.ö.	3 tö	-13 tv (-8 ö)	-23 tv.i (-13 ö)	-23	-13 tv (-8 ö)
7: Nn	13 t.ö.	-8	3	3 ts	-18	-8 ts
8: Nö	13 t.ö.	3	-3	-3 tn	-8	13
Akkumulerad (mm från 1 april)						
1: Gss	8	11	-2	-20	-43	-55
2: Gmb	18	15	0	-23	-46	-64
3: Gns	18	31	18	-5	-28	-46
4: Ss	13	16	8	-5	-28	-36 (väst -50)
7: Nn	13	5	8	11	-7	-15
8: Nö	13	16	13	10	2	15

Tabell A6.1c Nederbörd (mm/mån), Echam4, A2 (DIFF_Precip_sum, Rossby Centre, SMHI). Dito Tabell A6.1a men **ny avläsning** som är mer strikt enligt SCB:s Gss och Gmb områden.

Månad/ Område	1975 medel (±12.5)	2085 - 1975 ändring (±7.5)	2025 - 1975 ändring (±7.5)
Januari		Max i Hela Västra Götaland +48 Min i Norrköping +23	Max i Norra Halland +43 mindre utbred Min i Norrköping +13 större utbred (+/- 5)
1: Gss	50-100	+35 - 45 svk	+25 - +35 svk
2: Gmb	25-75	+35 - 25/30 Go.	+15 - +25 miGo
3: Gns	25-75	+25 - 45 ssv	+15 - +35 ssv
4: Ss	0-50	+25 - 30	+15
7: Nn	25-75	+30 - 45 ssv	+15 - +25 min
8: Nö	25-100	+25 - 45 sv	+5 - +25 min
Februari		Max i Norra Halland +43 Min i Nyköping +18	Max i Norra Halland +43 liten utbred. Min i Nyköping +13 (+/-5)
1: Gss	0 - 50	+25 - 35 snv	+25 - 35 svk
2: Gmb	0 - 50	+25	+15 - 25 miok,Go
3: Gns	0 - 50	+20 - 30 ss	+15 - 25 ssv
4: Ss	0 - 50	+15 - 25	+5 - 15 mso
7: Nn	0 - 50	+25 - 35 snv	+15
8: Nö	20 - 80	+25 - >40 sv	+15 - 40 snv
Mars		Max i Halland +28 Min i Gävle +13	Max i Halland +18 Min i Gävle +3
1: Gss	0 - 50	5-20 ts	+5 - 15 svk
2: Gmb	0 - 50	+5 - 15 msv	+5 - 15 snSk
3: Gns	0 - 50	15-25 sv	+5 - 15 mok
4: Ss	0 - 50	+15	+5 - 15 mö
7: Nn	25 - 75	15-30 snv	+5 - 15 sn+v
8: Nö	25 - 100	15-40 sv	+5 - 30 sv
April		Diff. 2085-1975 (+/-5 mm)	Diff. 2025-1975 (+/-5 mm)
1: Gss	0 - 50	+5 - 20 snv	+5
2: Gmb	0 - 50	+5 - 15 miGo	-5 - +5 miGo
3: Gns	0 - 70	+15 - 25	-5
4: Ss	0 - 50	+15	-5
7: Nn	25 - 75	+10 - 30 snv	-5 - +5 snv
8: Nö	25 - 100	+15 - 40 sv	-5 - +15 sv
Maj		Diff. 2085-1975 (+/-5 mm)	Diff. 2025-1975 (+/-5 mm)
1: Gss	25 - 75 ms	-5 - +5 mivSk	-5
2: Gmb	25 - 75 mGo	-5 - +5 misv	-5
3: Gns	25 - 75 mVä	+5 - 15 sv	-5 - +5 mis+ö
4: Ss	0 - 50 mso	-5 - +5 mino	-15 - -5 smin
7: Nn	25 - 75 mö	-5 - +5 miö	-15 - -5 smiö
8: Nö	25 - 100 mö	+5 - 25 sv	-15 - 5 smis-c

Tabell A6.1c forts.

Juni	torrast vid kust	Diff. 2085-1975 (+/-5 mm)	Diff. 2025-1975 (+/-5 mm)
1: Gss	50-100 ms	-10 till -5	(+3 till +8)
2: Gmb	25-75 mGo	-15 till -5 smiö (ej Go)	(+3 till +8) -5 - +5 mink+Go
3: Gns	50-100 mVä	-10 till -5 sms	(+3 till +8)
4: Ss	50-100	-5 till +5 i öö	(+3 till +8)
7: Nn	25-100 mkö	-5 till +15 misv	(-3 till +3) -5 - +5 mic-v
8: Nö	25-125 mkö	-5 till +15 miin	(-3 till +3) -5 - +10 misv
Juli	torrast vid kust	Diff. 2085-1975 (+/-5 mm)	Diff. 2025-1975 (+/-5 mm)
1: Gss	50-100	-25 till -15 (torrast i norr)	-5
2: Gmb	50-100	-25 till -15 smisv	-5
3: Gns	50-100	-25 till -15 smiö	-5 - +5 mis-c
4: Ss	50-100	0 till -25 smisv	-5 - +15 misv
7: Nn	75-125 mö	-25 till +15 smisv	-5 - +25 misv
8: Nö	75-125 mö	-20 till +15 sminv	-5 - +15 minv
Augusti	torrast vid kust	Diff. 2085-1975 (+/-5 mm)	Diff. 2025-1975 (+/-5 mm)
1: Gss	50-100	-25 till -20	-15
2: Gmb	50-100	-25 till -20	-15
3: Gns	50-100	-25 till -20	-25 - -15 sö
4: Ss	50-100	-25 till -20	-25 - -15 ss
7: Nn	75-125	-25 till +5 ssv	-15 - +5 ssv
8: Nö	75-150	-10 till +15 ssv	-10 - +15 söök
September	torrast i öster	Diff. 2085-1975 (+/-5 mm)	Diff. 2025-1975 (+/-5 mm)
1: Gss	50-100	-15 - -5 smivSk	-15 - -5 smivk
2: Gmb	50-100	-5	-5 - +5 öGo
3: Gns	50-100	-5	-25 - -15 smiv
4: Ss	50-100	-5 - +5 mis	-25 - -10 smiv
7: Nn	50-100	-5 - +20 misv	-20 - 0 smisv
8: Nö	50-150	+5 - +30 sv	-10 - +10 smic
Oktober		Diff. 2085-1975 (+/-5 mm)	Diff. 2025-1975 (+/-5)
1: Gss	50-100	+25-40 snv	+10 - 20
2: Gmb	50-100	+15-25 ss	+0 - 10
3: Gns	50-100	+25-35 sv	+5 - 15 ssv
4: Ss	50-100	+25	+5
7: Nn	75-125	+25 - 35 sv	-5 - +10 snv
8: Nö	75-150	+25 - 45 sv	-5 - + ≥20 sv
November		Diff. 2085-1975 (+/-5 mm)	Diff. 2025-1975 (+/-5 mm)
1: Gss	50-100 tö	+25 - 45	+5 - 15 snv
2: Gmb	50 - 100	+25 - 30	+5 - 15 sGo
3: Gns	50-100 tö	+25 - 35 ssv	+5 - 15 mö
4: Ss	50-100	+25	+5 - 15 ms
7: Nn	50-100	+25 - 30 ssv	+5 - 15 ss
8: Nö	40 - 100	+15 - 40 mn, sv	-5 - +15 min, ssvv
December		Diff. 2085-1975 (+/-5 mm)	Diff. 2025-1975 (+/-5 mm)
1: Gss	50 - 100	+25 - 40 svk	+5 - 15 sv
2: Gmb	50-100 tö	+25	+5 - 15 sGo.
3: Gns	25 - 75	+15 - 30 mö	+5 - 15 ssv
4: Ss	25 - 50	+15 - 25 ms	+5
7: Nn	25 - 75 sv	+25 - 35 mso	+5
8: Nö	25 - 100 sv	+20 - ≥40 mno	+5

Tabell A6.1d Nederbörd (mm/mån), Echam4, **B2** (DIFF_Precip_sum, Rosaby Centre, SMHI). Avläsning mer strikt enligt SCB:s Gss och Gmb områden och jämförbar med Tabell A6.1c.

Månad/ Område	1975 medel (±12.5)	2085 - 1975 ändring (±7.5)	2025 - 1975 ändring (±7.5)
Januari			
1: Gss	50-100	+15 - 25 svk	+15
2: Gmb	25-75	+15 - 25 sv	+15
3: Gns	25-75	+15 - 25 ssv	+5 - 10 ssv
4: Ss	0-50	+5 - 15	+5
7: Nn	25-75	+15 - 25 msö	+5
8: Nö	25-100	+15 - 25 mno	+5
Februari			
1: Gss	0 - 50	+40 - 45	+15 -25 svk
2: Gmb	0 - 50	+25 - 40 mGo	+5 - 15 miGo
3: Gns	0 - 50	+25 - 40 ssv	+5 - 15 ssv
4: Ss	0 - 50	+25 - 30 sv	+5
7: Nn	0 - 50	+25 - 35 ssv	+5 - 15 mso
8: Nö	20 - 80	+25 - 35 sv	+15 - 30/35 sv
Mars			
1: Gss	0 - 50	+5 - 15 svk	+5
2: Gmb	0 - 50	+0 - 10	+5
3: Gns	0 - 50	+15	+5 - 15 ssv
4: Ss	0 - 50	+15	+5 - 10 snv
7: Nn	25 - 75	+15	+15 (- 25) snv
8: Nö	25 - 100	+15 - 40 sv	+5 - 25 sv
April			
1: Gss	0 - 50	+5	+5 - 15
2: Gmb	0 - 50	-5 - +5 miGo	+5 -15 mGo
3: Gns	0 - 70	+5	+15
4: Ss	0 - 50	-5 - +5 miö	+15
7: Nn	25 - 75	+5 - 15 sv	+15 - 25 sv
8: Nö	25 - 100	+5 - 30 sv	+5 - 25 sv
Maj			
1: Gss	25 - 75 ms	+15	+5
2: Gmb	25 - 75 mGo	+15 - (+5 Go)	+5
3: Gns	25 - 75 mVä	+5 - 15 ssv	+5
4: Ss	0 - 50 mso	+5	-5
7: Nn	25 - 75 mö	-5 - +5 miö	-5 - +5 mis
8: Nö	25 - 100 mö	-5 - +15 miso	-5 - +15 miso

Tabell A6.1d forts.

Juni			
1: Gss	50-100 ms	-5	-5
2: Gmb	25-75 mGo	-5	-5 – +5 önoSk
3: Gns	50-100 mVä	-5	+5
4: Ss	50-100	-5 till +5 misv	+5
7: Nn	25-100 mkö	-5 till +5 misv+no	-5 – +5 miv-no
8: Nö	25-125 mkö	(-5)till+5 (+5-ökn. domin.)	-5 – +5 öi-c
Juli			
1: Gss	50-100	-5 (0 – -10)	-5
2: Gmb	50-100	-5 (+5 Got.)	-5
3: Gns	50-100	-5	-10 – -5
4: Ss	50-100	-5 – +5 miv	-15 – +5 miv
7: Nn	75-125 mö	-15 – +15 misv	-10 – +10 misv
8: Nö	75-125 mö	-15/20 – +10 sminv	-10 – +10 mic+sv
Augusti			
1: Gss	50-100	-15 till -10	-15 – -5
2: Gmb	50-100	-15 till -5 smis+Go	-15
3: Gns	50-100	-15 till -5 smis	-15 – -5 smiö
4: Ss	50-100	-15 till -5 mmis	-25 – -20 smiö
7: Nn	75-125	-5 till +5 mis	-15 – +5 smis
8: Nö	75-150	-5 till +5 ösv	-5 – +10 min
September			
1: Gss	50-100	+5	+5
2: Gmb	50-100	+5	+5
3: Gns	50-100	-5 – +5 msv	-5 – +5 msv
4: Ss	50-100	+5	+5
7: Nn	50-100	-15 – +15 msv	-5 – +15 msv
8: Nö	50-150	+5 – +25/30 sv	+5 – +15 sso
Oktober			
1: Gss	50-100	+25	+15
2: Gmb	50-100	+15 – 25 ssv(mo)	+5 – 15 ss
3: Gns	50-100	+15 – 25 sv	+5
4: Ss	50-100	+15	+5 – 10
7: Nn	75-125	+25 – 35 snd	+15
8: Nö	75-150	+25 – 40 sv	+5 – 35 mku, sv
November			
1: Gss	50-100 tö	+25	+5
2: Gmb	75-125 vi	+15 – 25	+5
3: Gns	50-100 tö	+25	+5
4: Ss	50-75 (100Vär.)	+25	+5
7: Nn	50-75	+25	0 – +10
8: Nö	50-75	+15 – 30/40 sv	+5 – 20 sv
December			
1: Gss	50-75	+25 – 35	+30 – 40 snv
2: Gmb	50-100 tö	+15 – 25 ssv	+20 – 30 ssv
3: Gns	50-100 vsv	+15 – 25 ssv	+15 – 25 ssv
4: Ss	50-75 (100Vär.)	+15	+15
7: Nn	50-75	+25	+15 – 25 ssv
8: Nö	50-75	+15 – 25 mno	+5 – 15 mv

Tabell A6.1e **Säsongvis** nederbörd (mm/3 mån), medel samt förändring till **2055** respektive **2025** för **A2 scenariot**, Echam4, (DIFF_Precip_sum, Rossby Centre, SMHI). Säsonger: DecJanFeb, MarAprMaj, JunJulAug, SepOktNov. (Avläsning mer strikt enligt SCB:s Gss och Gmb områden).

Säsong/ Område	1975 medel (± 25) ERA40	2055 - 1975 ändring (± 5)	2025 - 1975 ändring (± 5)
DJF			
1: Gss	125 – 175	≥ 50	>+50
2: Gmb	125 – 160	≥ 50	>+50
3: Gns	125 – 160	≥ 50	+40 – >50 ssv
4: Ss	125	≥ 50	+35
7: Nn	125	≥ 50	+35 – 45 mso
8: Nö	80 – 125	≥ 50	+25 – 45 sv+ssv
MAM			
1: Gss	125 – 150 svk	+10 – 30 ms	+5 – 15
2: Gmb	125 – 160	+10 – 20 mGo.	-5 – +5 miGo
3: Gns	125 – 160 ss	+15 – 35 mö	-5 – +15 mö
4: Ss	125	+0 – 20 mn	-15 – -5 smino
7: Nn	125 – 175 sv	+0 – 30 mso	-15 – +5 smiö
8: Nö	100 – ≥250 mö	+15 – 30 mso	-5 – +15 mis+sö
JJA			
1: Gss	175 – 225 snSk+vk	-25 – -15 smiv	-15
2: Gmb	125 – 225 mok+Go.	-25 – -15 smiok+Go.	-25 – -15 smiok
3: Gns	175 – 250 mVä.	-25 – -20	-25 – -5 smiö
4: Ss	200 – 260 mku	-25 – +5 öno	-25 – +5 smisv
7: Nn	150 – >300 mku	-10 – +10 miinl	-15 – +25 smisv
8: Nö	150 – ≥350 mku	-20 – +15 minv	-10 – +20 minv
SON			
1: Gss	175 – 225 svk	+35 – 45	+5 – 15
2: Gmb	175 – 200	+25 – 35 sös	+5 – 15
3: Gns	175 – 275 sn	+15 – 40/45 sön	-5
4: Ss	175 – 225 sv	+15 – 35	-5 – +5 miv
7: Nn	200 – 275 sv	+40 – ≥50	+5 – 15
8: Nö	175 – ≥ 300 sv	+35 – ≥50 mku	-5 – +20/30 minö

Tabell A6.1f **Säsongvis** nederbörd (mm/3 mån), medel samt förändring till **2055** respektive **2025** för **B2 scenariot**, Echam4, (DIFF_Precip_sum, Rossby Centre, SMHI). Säsonger: DecJanFeb, MarAprMaj, JunJulAug, SepOktNov. (Avläsning mer strikt enligt SCB:s Gss och Gmb områden).

Säsong/ Område	1975 medel (± 25) ERA40	2055 - 1975 ändring (± 5)	2025 - 1975 ändring (± 5)
DJF			
1: Gss	125 – 175	> +50	≥ +50
2: Gmb	125 – 160	+45 – >50 ss	+40 – >50 ssv
3: Gns	125 – 160	+45 – >50 mö	+30 – 50 mö
4: Ss	125	+45 – >50 mso	+25
7: Nn	125	+45 – >50 ssv	+35 – 45
8: Nö	80 – 125	+35 – >50 mno	+25 – 45 mn
MAM			
1: Gss	125 – 150 svk	+35 – ≥ 50	+25
2: Gmb	125 – 160	+25 – 40 mö+Go	+15 – 25 mGo
3: Gns	125 – 160 ss	+30 – 50 ssv	+25 – 35 mö
4: Ss	125	+25	+15 – 25 sv
7: Nn	125 – 175 sv	+25 – 50 snv	+15 – 35 mso
8: Nö	100 – ≥250 mö	+35 – ≥50 sv	+20 – 45 mso
JJA			
1: Gss	175 – 225 snSk+vk	-15 – -5 smnvSk	-25 – -15 smnvSk
2: Gmb	125 – 225 mok+Go.	-15 – -5 smvBl.	-25 – -15 smö,Go.
3: Gns	175 – 250 mVä.	-15 – -5 sms	-25 – -5 ssc
4: Ss	200 – 260 mku	-25 – -15 smic	-25 – -10 smsv
7: Nn	150 – >300 mku	-25 – +20 smsv	-15 – +20/25 smsv
8: Nö	150 – ≥350 mku	-10 – +25 sminv+sv	-10 – +25 sminv+sv
SON			
1: Gss	175 – 225 svk	+30 – 40	+25 – 35 sv
2: Gmb	175 – 200	+15 – 25 ss+Go.	+15 – 25 mö+Go.
3: Gns	175 – 275 sn	+15 – 25 sö	+15
4: Ss	175 – 225 sv	+25 – 35 sno	+15 – 25 sö
7: Nn	200 – 275 sv	+15 – 45 msv, sn	+15 – 35 ms
8: Nö	175 – ≥ 300 sv	+25 – ≥50 ms	+15 – 35/40 sv

Nederbörd minus avdunstning

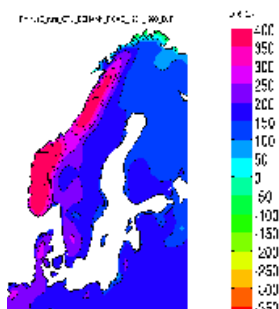


Fig. A3

Exempel på klimatförändringskarta för Nederbörd minus avdunstning (mm/3mån) (Diff P-E (DJF) från Rossby Centre, SMHI)

Tabell A6.2. Nederbörd minus avdunstning (P-E) **månadsvis** (mm/månad). DelösÄndring 2085 – 1975 (noggrannhet ± 5 mm). Avästa värden för April, Juli, Oktober och Januari (Echam4, A2, Rossby Centre, SMHI)

Månad Område	April	Maj (interp.)	Juni (interp.)	Juli	Augusti (interp.)	September (interp.)
	Blött i väster					
1: Gss	-15 till +15	-35	-55	-75	-42	-8
2: Gmb	-25 till +35	-42	-58	-75	-42	-8
3: Gns	-5 till +35	-28	-52	-75	-42	-8
4: Ss	-15 till +35	-28	-42	-75 till -55 bö	-28	-2
7: Nn	-25 till +5	-38	-52	-65 till -15 bn	-35	-5
8: Nö	+5 till +35	-2	-8	-15 till 0 bn	2	18
Månad Område	Oktober	November (interp.)	December (interp.)	Januari	Februari (interp.)	Mars (interp.)
	Blött i väster			Blött i väster		
1: Gss	+25 till +35	35	45	+55 till +75	32	8
2: Gmb	+25 till +65	32	38	+45 till +75	22	-2
3: Gns	+25 till +65	35	45	+55 till +75	35	15
4: Ss	+25 till +35	35	45	+55 till +75	32	8
7: Nn	+25 till +35	35	45	+55 till +75	28	2
8: Nö	+35 till +45	42	55	+65 till +75	45	25

Tabell A6.3. Nederbörd minus avdunstning (P-E) **säsongvis** (mm / 3 månader). Ändringar jämfört med 1975 (noggrannhet ± 5 mm). (Echam4, A2, Rossby Centre, SMHI)

Månad Område	DecJanFeb 2025-1975	Mars April Maj 2025-1975	Juni, Juli, Aug 2025-1975	Sept,Okt,Nov 2025-1975
	Blött i väster			
1: Gss	+30 till +50	-10	-20 till -10 tn	-10
2: Gmb	+20 till +50	-30 till -10 tö	-30 till -20 ti	-10 (+10 västkust)
3: Gns	+10 till +50	-30 till -10 tö	-20 till -10 tö	-10
4: Ss	+10 till +50	-50 till -10 tno	-20 till -10 ti	-10
7: Nn	+10 till +50	-50 till -30 tso	-10 till +10 ts	-10
8: Nö	+10 till +50	-50 till -30 ts	+10	-10 till +10 vi
Månad Område	DJF 2085-1975	MAM 2085-1975	JJA 2085-1975	SON 2085-1975
	Blött i väster			
1: Gss	+50 till +70	-10	-70	+30 (+10 so)
2: Gmb	+40 till +70	-10 till +10 tö	-70	+30 till +50 vv
3: Gns	+30 till +70	-10 till +10 tö	-70	+30 (+50 västk)
4: Ss	+55 till +75	-30 till +10 tö	-70 till -50 ts	+30 (+50 Värml.)
7: Nn	+55 till +75	-30	-30 till -10 ts	+30 till +50 ts
8: Nö	+65 till +75	-10 till +10 ts	-10 till +10 ti	+50

Tabell A6.4. Nederbörd minus avdunstning (P-E) **säsongsvis** (mm / 3 månader). Ändringar till **2085** jämfört med 1975 beräknade med två olika GCM modeller (HADAM3H och Echam4). Notera att Echam4 avser en ny avläsning och jämförelsen med värdena i Tabell A6.3 återspeglar osäkerheter i avläsning (A2, Rosaby Centre, SMHI)

Månad	DecJanFeb	Mars April Maj	Juni, Juli, Aug	Sept,Okt,Nov
Område	HADAM3H	HADAM3H	HADAM3H	HADAM3H
1: Gss	+50 till +70 ts	-10 till +10 tno	-70	-10
2: Gmb	+50 till +70 tö	-10 till +10 vnv	-70	-10
3: Gns	+50 (+70 västk)	-10 till +10 to	-70	-10
4: Ss	+50 (+70 Värml.)	-10 till +10 ts	-70 till -50 vö	-10 till +10 (to)
7: Nn	+50 till +70 ts	+10	-50 till -30 vn	-10
8: Nö	+50 till +70 ts	+10	-30 till -10 vn	-10 till +10 ts
1: Gss	+50 till +70 ts	-10 till +10 tno	-70	-10
Månad	DJF	MAM	JJA	SON
Område	Echam4	Echam4	Echam4	Echam4
1: Gss	+70 (+50 ostk)	-10 till +10 vnv	-70	+30 till +50 ts
2: Gmb	+70 (+50 ostk)	-30 till +30 tö	-70	+30till+70 (+10ok)
3: Gns	+70 (+50 ostk)	-10 till +20 tö	-70	+30till+50 (+70vk)
4: Ss	+70 (+50 ostk)	-10 till +20 tö	-70 (-50 Roslagen)	+30 (+50 Värml.)
7: Nn	+70 (+50 ostk)	-10 till +10 ts	-50 till -30 vn	+30
8: Nö	+70	+30	-10	+50
1: Gss	+70 (+50 ostk)	-10 till +10 vnv	-70	+30 till +50 ts

Fotnoter till tabellerna i appendix

bn =blött i norr

bö=blött i öster

ERA40 = Modellberäkningar kalibrerade till observerade värden

i=inlandet

k= kust

kks=kortast längs kusten i söder

kno=kortast i NO

ks=kortast i söder

Kvk=kortast vid västkusten

lk = längs kusten

lo=litet omr.

m=minst

m.n.=mest ökning i norr

M=mälardalen

mGo=minst på Gotland.

mic+sv= minskn. i inre/centr. delar+ i SV

mic=minst i centrala delarna

mic-v=minskn. i centrala-västra delar (dom. del av nedre Norrl.)

miGo.=minst/minskning på Gotland

miin=minskn. i SV+små omr. i inlandet

miinl=minsk. i inlandet

min= minst/minskning i norr

min= minst ökning i norr

min=minskn. i inre norra delen

mink+Go=minsk. vid norra ostkust+Gotl.

mino=minskning i nordost

minv=minsk. i norr

minv=minskn. i NV

minö=minskn. i inre delar mot öster

Miok,Go= minst längs ostkust+Gotland

mis+sö=minskn. i södra+sydöstra halvan

mis+ö=minskn. i syd och öst

mis=minskn. i söder

mis-c= minskn. i södra inre delar

miso=minskning i sydost

misv= minsk. i SV

miv=minskn. i väster

miv-no=minskn. i väster + nordost

mivSk=minskning i vä. Skåne

miö=minskning i öster

mku=minst längs kusten – störst i väster

mku=minst vid kusten

mkö= minst vid kusten i öster

mmis=minst minskn. längst i söder

mn=minst i norr

mno= minst i nordost

mno=minst diff. i nordost

mo=minst i öster

mo= mindre omr

mok+Go.=minst vid ostkust+Gotland

mok=minst vid ostkusten

mom= mindre område i SO

mook=mindre omr. vid ostkusten
ms=minst i söder
mso=minst i sydost
msv=minst/minskn. i sydväst
mv= minst i väster
mVä.=minst vid Vänern
mö= störst minskning i öster
mö=minst i öster
mök=minst ökning längs kusten
n=norr
no=nordost
s=störst
s=söder
sein=senare i inre-centrala delarna
sen=senare i norr
senv=senare i NV
sev=senare i väst
sGo=störst på Gotland
sinsv= senare i inlandet i SV
sk=sydskust
smic= störst minskn. i inre/centr. delarna
smin= störst minskn. i norr
smino=störst minskn. i NO
sminv+sv= störst minskn. i nordväst+sydväst
sminv=störst minskn. i NV
smiok=störst minskn. längs ostkust
smis= störst minskn. i söder
smis-c=störst minsk. i södra inre delarna
smisv=dito i sydväst
smisv=störst minsk. i SV
smiv=störst minsk. i väster
smivk=störst minskn. vid västkusten
smivSk=störst minskn. i västra Skåne
smiö= störst minskn. i öster
smk= störst minskning längs kusten
smn=störst minskning i norr
smnvSk=störst minsk. i NV Skåne
sms=störst minskn. i söder
smsv= störst minskn. i SV
smvBl= störst minskn. i västra Blekinge
smö= störst minskning i öster
smö,Go.= störst minskn. i öster inkl. Gotland
sn=störst i norr
snd= störst i norra delen
snk=senast norra ostkusten
sno=störst i NO
snSk+vk=störst norra Skåne+västkusten
snSk= störst i norra Skåne
snv = störst/senare/senast i nordväst
so =sydost
sok=senast längs ostkusten
ss+Go.=störst i söder+Gotland
ss= störst minskn. i söder
ss=störst i söder
ssc= störst minskn. i södra inre delen

sso= störst ökning i sydost
ssv= störst i sydväst
Ssv= störst minskn. i sydväst
ssv=senast i SV
ssv=störst/senast i sydväst
ssv=störst i sydväst
ssvv=störst i SV+väst
stok=störst minsk. vid ostkust+Gotland.
sts+k=störst minskning i söder+kusten
stsv=störst ökning i SV
stv=störst i väster
stö=störst i öster inkl. Gotl.
sv= störst i väster
sv= störst ökn. i väster
sv=senast i väster
sv=störst i sydväst
sv=störst i väster (mot fjällen)
sv=störst i väster(mot fjällreg.)
svk= störst vid västkusten
svk=senast längs västkusten
sö= störst minskn. i öster
sö=störst i öster
sö=söder
sök=störst ökning längs kusten i SO
sön=dito i norr
söök= störst ökning vid kusten
sös=störst ökning i söder
tGo=tid. Gotland
ti = tidigast i inlandet
tiGo=tidigast Gotl.
TiVä=tid. vid Vänern
tk =tid. längs kust
ts=tid. i söder
tsBl,G=tid. sydöstr. Blek +Gotl
tsk=tid. längs kusten i söder
tso=tid. sydost
tsv=tidigast i SV
tv= torrt i väster
tVk=tid. Västkust
tVä=tid.vid Vänern
Tö= torrast i öster
Tö= torrast i öster
v=väster
vv= våtast i väster
vv= våtast i väster
ö=öster
öGo= liten ökn. på Gotl.
öi-c= ökning i inre/centrala delarna
öknsv = ökning i SV
öknv=ökning(!) i NV+NO
öno= liten ökn. i norr
önoSk=ökning i NO Skåne + västra Blek.
ösv= ökning i SV
öö=ökning i öster