



Produksjonsgrunnlag for bygg på Østlandet basert på simuleringer med plantevekstmodellen WOFOST

**Frauke Hofmeister, Arnold H. Arnoldussen
og Ove Klakegg**

Produksjonsgrunnlag for bygg på Østlandet basert på simuleringer med plantevekstmodellen WOFOST

Frauke Hofmeister, Arnold H. Arnoldussen og Ove Klakegg

Norsk institutt for jord- og skogkartlegging, Ås 2001
NIJOS rapport 09/2001
ISBN 82-7464-279-1

Forsidefoto: Oskar Puschmann

Tittel:	Produksjonsgrunnlag for bygg på Østlandet basert på simuleringer med plantevekstmodellen WOFOST	NIJOS nummer:	09/2001
Forfatter:	Frauke Hofmeister, Arnold Arnoldussen og Ove Klakegg	ISBN nummer:	82-7464-279-1
Oppdragsgiver:	Norsk Institutt for jord- og Skogkartlegging	Dato:	050402
Fagområde:	Agroøkologi	Sidetall:	37
		Vedlegg:	5 kart
Utdrag: Målsettingen med undersøkelsen er å teste brukbarheten av plantevekstmodellen WOFOST under norske forhold og å produsere kart over produksjonsgrunnlaget for bygg på Østlandet. Databehandlingen blir beskrevet og resultatene fra simuleringene blir sammenlignet med resultater fra registrert avling. Konklusjonen er at WOFOST er brukbar for produksjon av produksjonsgrunnlagskart.			
Abstract: The objective of this study is to test the use of WOFOST plant-production model under Norwegian circumstances and to produce land resource-maps for Barley for South-East Norway with help of WOFOST. Data- handling is described and the results from the simulations are compared with realized crop-levels. The conclusion is that WOFOST is useful for the production of land resource-maps.			
Andre NIJOS publikasjoner fra prosjektet:			
Emneord: Agroøkologi, pedologi, areal- ressurskartlegging	Keywords: Agro-ecology, pedology, mapping natural resources.	Ansvarlig underskrift: Arnold H. Arnoldussen (sign.)	Pris kr.155,-
Utgiver:	Norsk institutt for jord- og skogkartlegging Postboks 115, 1430 Ås Tlf.: 64949700 Faks: 64949786 e-mail: nijos@nijos.no		

Innhold

FORORD	1
SAMMENDRAG	2
SUMMARY	3
1. INNLEDNING	4
2. PLANTEVEKSTMODELLEN WOFOST	6
2.1 Utvikling og anvendelse.....	6
2.2 Teoretisk bakgrunn og funksjonalitet.....	7
3. METODE	10
3.1 Klimadata.....	10
3.2 Jordsmonndata.....	11
3.2.1 Reklassifisering av jordtypene og jordtypekartet.....	11
3.2.2 Hydrauliske parametre til de enkelte jordtypeklassene.....	15
3.3 Plantedata.....	16
3.4 Software og GIS.....	17
3.4.1 Avledning av simuleringsenheter.....	17
4. RESULTATER	18
4.1 Produksjon av Produksjonsgrunnlagskart.....	18
4.2 Sammenligning av simuleringsresultater med realisert avling.....	22
4.3 Sammenligning klimasoner.....	27
5. DISKUSJON	30
6. KONKLUSJON	32
7. LITTERATUR	33
8. VEDLEGG	37

Forord

Agroøkologiprogrammet ble etablert i 1999 og er et samarbeid mellom NIJOS, Planteforsk, Jordforsk, Norges Landbrukshøgskole (NLH) og Det Norske Meteorologiske Institutt (DNMI). Målsetting er å lage arealressursoversikter ved å koble sammen jord-, klima- og plantedata.

Arealressursoversikter kan brukes til å lage statistikker, til å forbedre arealplanlegging/-forvaltning (jordvern) eller til å gjøre analyser (konsekvenser av klimaforandringen eller/og forandret arealbruk).

Et annet viktig bruk av Jordressursoversikten er i verdsetting av jordbruksarealer.

Det fins flere metoder for å koble jord-, klima- og plantedata med hverandre. I dette prosjektet blir WOFOST modellen testet og brukt til å lage ressursoversikter for bygg for Østlandet.

Frauke Hofmeister gjennomførte undersøkelsen som en del av sin hovedoppgave i Geografi ved Universitetet i Greifswald, Tyskland. I tillegg til denne rapporten blir resultatene også framlagt i hovedfagavhandelingen (F. Hofmeister: Ableitung agroökologischer Karten für Südost-Norwegen mit Hilfe des GIS-gekoppelten Modelles WOFOST).

Arnold Arnoldussen
Leder Virksomhetsgruppe Jordsmonninformasjon

Sammendrag

Planteveksten er avhengig av klima og jordsmonn. Makroklima bestemmer hva slags plantearter som kan dyrkes. På teig og vassdragsnivå er konkurransen om lys, vann og næringsstoffer per jordsmonntype avgjørende for avlingsnivået.

Relasjonen mellom planteproduksjon, jordsmonn og klima er fastlagt i flere modeller.

Målsettingen med dette prosjektet er å teste brukbarheten av plantevekstmodellen WOFOST under norske forhold og å produsere kart for produksjonsgrunnlaget for bygg på Østlandet med hjelp av WOFOST.

WOFOST er en dynamisk plantevekstmodell som trenger klima-, jordsmonn- og plantedata som input. Det blir beskrevet hvordan eksisterende data ble behandlet for å kunne simulere med WOFOST.

Basert på 4 forskjellige krysstabuleringer ble det produsert forskjellige kart for produksjonsgrunnlaget for bygg. Simuleringsresultatene ble sammenlignet med resultatene fra realisert avling. Kurvene for realisert og simulert avling forløper parallelt, men det realiserede nivået ligger lavere enn det simulerte. Dette kan skyldes flere faktorer, blant annet innhøstingsforholdene som modellen ikke tar hensyn til.

I enkelte regioner er det avvik som kan skyldes klimasoneinndelingen eller en for sterk forenkling av jordsmonndataene.

Hovedkonklusjonen er at WOFOST kan brukes til å produsere kart som viser produksjonsgrunnlaget for ulike vekster i Norge. Rutiner for datainput og databehandling bør automatiseres ytterligere.

Innenfor rammene av prosjektet var en utstrakt kalibrering av resultatene ikke mulig; før kartene blir brukt i praksis anbefales det å jobbe videre med bruk av WOFOST modellen i praksis, kombinert med en kalibrering av resultatene.

En nærmere uttesting av andre planteproduksjonsmodeller bør gjøres, samt å lage kart over produksjonsgrunnlaget for hvete, potet og gras.

Summary

Plant growth is depended on climate and soil. Macroclimate determines the area a certain crop can grow. The competition between light, water and nutrients per soil type is deciding the crop-production level at property and watershed level.

The relation between plant-production, soil and climate is fixed in several models.

The objective of this study is to test the use of WOFOST plant-production model under Norwegian circumstances and to produce land resource-maps for barley for South-east Norway.

WOFOST is a dynamic plant-production model, which uses as input climate-, soil- and plant-data. The treatment of existing data, needed to run the model, is described.

Different resource-maps for barley were produced based on 4 different cross-tables. The simulation results were compared with the realized production. The trend in the curves from realized and simulated crop are going parallel. The realized crop-level is lower than the simulated. There are different reasons for that.

The simulation shows for some areas higher or lower production levels than the experience from praxis shows. The cause is may be the simplification of the soil and/or that the climate factor in the model weighs more than the soil factor.

Main conclusion is that WOFOST can be used in the production of resource-maps. Routines for data-input and –treatment must be improved.

An extensive calibration of the results was not possible within the frame of this project; before introducing the maps in praxis a further development of the method including a calibration is needed.

Testing other plant-production models is necessary and resource-maps for the other important Norwegian crops wheat, potato and grass should be produced.

1. Innledning

Agro-økosystemer er fler-dimensjonale enheter med en klar romslig fordeling. Slike systemer er målestokk avhengig.

Biofysiske prosesser som styrer plantevekst og morfologi er kjennetegnet av mer detaljerte målestokker. På et høgere nivå (teig og vassdrag) er konkurranse om næringsstoffer, lys og vann på forskjellige jordsmonntyper bestemmende. På landskapsnivå styrer klima og geomorfologiske prosesser struktur og dynamikk av agro-økosystemer (VELDKAMP et al. 2001).

Agro-økoystemer blir ofte karakterisert av avlingsnivået. Temperatur, tilgjengelig vann, næringsstoffer og lys bestemmer dette nivået. På grunn av flere sosio-økonomiske og biofysiske faktorer ligger det realiserte avlingsnivået lavere.

Jordsmonnparametre som har sterk innflytelse på planteveksten er næringsinnhold og surhetsgrad, kornstørrelsefordeling, dreneringsgrad og jorddybde.

Relasjonen mellom planteproduksjon, jordsmonn og klima er fastlagt i flere planteproduksjonsmodeller. Modellene brukes til å forutsi hvor mye avling som kan forventes innenfor en vekstsesong, men også for å lage avlingsoversikter over flere år og for å lage jordressursoversikter på regionalt og nasjonalt nivå. På nasjonalt nivå kan produksjonsgrunnlagskart brukes til å dele landet inn i vekstsoner for de forskjellige viktige vekster.

Med modeller er det mulig å analysere konsekvensene av klimaforandring og/eller forandret arealbruk for planteproduksjonen.

Ressursoversikten kan brukes i verdsetting av arealer og til forbedring av arealplanlegging/-forvaltning på et mer generelt nivå.

I det siste 2 år står matvarekvaliteten sterkt i fokus. Her handler det ikke bare om den indre og ytre kvaliteten av produserte matvarer, men også om kvaliteten av det totale produksjonssystemet. Produksjonssystemet representerer verdier av landskapskvalitet og biodiversitet (WERKGROEP DOS, 2001). For landbruksproduksjonen betyr dette å ha riktig sort på rett plass og riktig tidspunkt. Under slike forhold blir produksjonsprosesser optimalisert med minst nødvendig innsats av hjelpemidler (plantevernmidler og gjødsel). Tilgjengeligheten av produksjonsgrunnlagskart er et viktig instrument til å oppnå en bærekraftig arealforvaltning.

Målsetting med dette studiet er:

- uttesting av brukbarheten av plantevekstmodellen WOFOST under norske forhold
- å lage kart for produksjonsgrunnlaget for bygg over Østlandet ved hjelp av WOFOST.

I kapittel 2 blir WOFOST modellen beskrevet. Kapittel 3 behandler metoden for hvordan data for jord, klima og planter ble bearbeidet for å kunne simulere. Resultater blir framlagt i kapittel 4. Kapittel 5 inneholder diskusjon og kapittel 6 behandler konklusjonen.

2. Plantevekstmodellen WOFOST

2.1 Utvikling og anvendelse

Den fenologiske plantevekstmodellen WOFOST er utviklet i Nederland og brukt for å forutsi jordbruksproduksjon både innenfor EU og i andre deler av verden.

WOFOST er en av plantevekstmodellene til ”C.T. de Wit school”.

Den første WOFOST versjonen ble laget i 1986 i sammenheng med interdisiplinære studier av Centre for World Food Studies (CWFS) om potensiell næringsmiddelproduksjon og næringsmiddelsikkerhet i verden (BOOGAARD et al. 1998). Dette førte til navnet ”World FOod STudies”. CWFS samarbeidet med Landbruksuniversitetet i Wageningen (Wageningen Agricultural University, Department of Theoretical Production Ecology) og DLO-Centre for Agrobiological Research and Soil Fertility. Studiet skulle også undersøke mulighetene for å øke næringsmiddel-produksjonen i uland.

Utviklingen av nye modellversjoner skjedde først og fremst på grunnlag av nye anvendelser med forskjellige formål, som kvantitativ landevaluering, regional avlingsprognose og analyse av avlingsvariasjon og –risiko. Dessuten ble modellen brukt for å kvantifisere effektene av klimaendringer.

WOFOST versjon 3.1 var den første som ble brukt i en regional undersøkelse. Den ble gjennomført av CWFS, initiert av FAO og handlet om potensiell økning av matproduksjon ved hjelp av gjødsel i Burkina Faso, Ghana og Kenya.

Versjon 4.1 ble brukt innenfor EU-prosjektet MARS (Monitoring Agro-ecological resources with Remote sensing and Simulation) for et system som estimerer avlingsnivå og -sikkerhet i Zambia og som inkluderer et GIS.

I 1993 ble versjon 4.4 testet og kalibrert for mais i Kenya og førte til tilfredsstillende resultater.

I EU ble det regionale produksjonspotensialet for de viktigste vekstene og deres avhengighet av jord og klima estimert ved bruk av versjon 5.3.

MARS-prosjektet dannet rammen for studiet ”Models for yield forecasting” av Joint Research Centre for den Europeiske Kommisjonen. For denne undersøkelsen utviklet man WOFOST versjon 6 som skulle bidra til å generere plantevekstindikatorer for å vurdere den aktuelle vekstsesongen i EU i et historisk perspektiv. WOFOST ble integrert med et GIS og en Oracle database i CGMS (Crop Growth Monitoring System), som forutsier regional og nasjonal avling i EU. CGMS anses som en vellykket applikasjon av WOFOST for analyser som er dynamiske (tid), objektive og konsistente for store arealer (BOUMAN et al. 1996, s. 187).

I 1997 og 1998 ble WOFOST videre utviklet til versjon 7.1. Dette skjedde i sammenheng med prosjektet SysNet (Systems Research Network to develop Systems Methodology for Ecoregional Land Use Planning in Support of Sustainable Resource Management in Tropical Asia), koordinert av International Rice Research Institute på Philippine. Her estimerer man potensiell avling for noen tropiske vekster som ris i ulike målestokker for å oppdage regionale agrologiske utviklingsmuligheter. Den nye versjonen ble også brukt for å estimere regionale

produksjonspotensialer i Russland (SAVIN et al. 1997). Den viktigste innovasjonen i versjon 7.1 er et brukergrensesnitt med menyoverflate som letter håndteringen (WOFOST control centre, versjon 1.5) .

WOFOST er foreløpig utviklet for planter som hvete, bygg, mais, potet, oljevekster og gras.

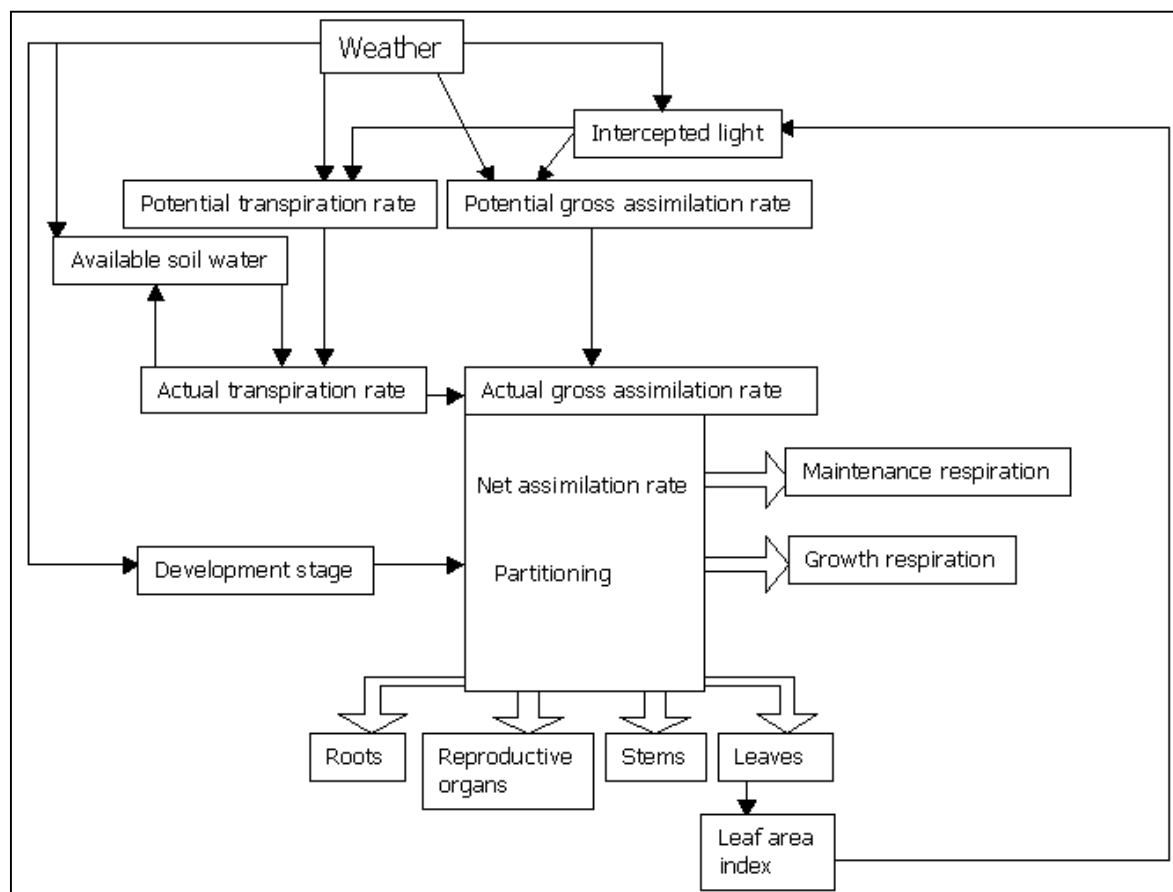
2.2 Teoretisk bakgrunn og funksjonalitet

En modell er en forenklet matematisk representasjon av et system. Et system er et utsnitt av virkeligheten med elementer som påvirker hverandre. Det å bygge opp og kjøre en modell kalles simulering. WOFOST simulerer et system som består av en årlig plantevekst i et bestemt fysisk miljø.

Modeller karakteriseres med forskjellige kriterier. WOFOST kan kalles både mekanistisk, fordi den forklarer det kvantitativt samspillet mellom hovedprosessene som inngår i modellen, og dynamisk, fordi den inkluderer tid som variable. Simuleringen skjer på daglig basis. WOFOST baserer seg på en metodikk som skiller mellom tilstands- og flytvariabler. Det fører til antagelsen at man til et hvert tidspunkt kan beskrive systemtilstanden kvalitativt og at endringer i systemet kan beskrives med matematiske likninger. I tillegg til tilstandsvariabler som biomasse og flytvariabler som indikerer raten for hvordan tilstandsvariablene endrer seg over en bestemt tid, finnes det en tredje kategori, ”drivende” variabler. De representerer effekten av faktorer som står utenfor og er uavhengige av systemet, f.eks. makro-meteorologiske variabler som innstråling og nedbør.

WOFOST simulerer på den ene siden plantevekst og produksjon og på den annen side jordvannbalansen på daglig basis og i avhengighet av bestemte vær- og jordbetingelser fra såing til modning.

Som alle andre ”de Wit school”-modeller skiller WOFOST mellom potensiell og vannbegrenset produksjon og omfatter flere undermodeller. De to produksjonssituasjonene potensiell og vannbegrenset simuleres dynamisk med en tidsoppløsning på en dag. Begrenset tilgang til næringsstoffer simuleres statisk. Figur 1 viser en forenklet grunnstruktur av en dynamisk, mekanistisk plantevekstmodell slik som WOFOST.



Figur 1: WOFOST-grunnstruktur. Kilde: BOOGAARD et al., s. 31

Det potensielle avlingsnivået uttrykker en øvre avlingsgrense som kan nåes når kun globalstråling, temperatur og planteegenskaper tas i betraktning. Vanninnholdet i jorda antas å være på feltkapasitet, og alle andre faktorene er tilstrekkelig tilgjengelige. Forutsetning for simuleringen er at jordbruksdriften er optimal.

Hvis vannforsyningen i jorda er begrenset, synker den potensielle transpirasjonen og dermed reduseres den daglige planteveksten. Her kan man velge mellom to mulige situasjoner. En mulighet er at vannet er lite tilgjengelige, den andre er at det er for mye vann og dermed for lite oksygen i rotsjiktet slik at plantene dør.

Produksjonen simuleres med eller uten grunnvannspåvirkning. Uten påvirkning av grunnvannet inngår kun evapotranspirasjon og perkolasjon i simuleringen. Inkluderer man grunnvannet, tas det også hensyn til kapillær stigning av grunnvannet.

Grunnlaget for den daglige simuleringen av vannbalansen dannes av de hydrauliske jordparametrene som retensjonskurve og vannledningsevne.

Som klimaparametre inngår daglig maksimum og minimum temperatur, globalstråling, vindhastighet, vanndamptrykk, nedbør og evapotranspirasjon, som beregnes ved Penman formelen.

Planteveksten avhenger av daglig nettoassimilasjon som igjen er avhengig av opptatt lys. Denne størrelsen påvirkes av summen av innstråling og bladarealet. Modellen går ut fra

enkeltblader og beregner den daglige fotosyntesen for hele systemet. Assimilert biomasse blir fordelt over blader, stengel, røtter og lagringsorganer.

Ved siden av å velge en bestemt plantart, en bestemt jordklasse og en klimastasjon må man velge spesifikke grensebetingelser ved starten av simuleringen og for hver modellkjøring (for eksempel sådato og jordvannstilstand).

Jorddelen i modellen håndterer homogene, ikke-lagdelte jordtyper og tar ikke hensyn til kjemiske egenskaper, unntatt innholdet av organisk materiale.

Modellen simulerer en kvantitativ utvikling av biomassen; kvalitative planteegenskaper, som proteininnhold, blir ikke tatt med.

Ved å kjøre WOFOST over et langt tidsrom, for eksempel 30 år, kan man oppnå gjennomsnittlige avlingsmengder over lange tidsserier. I tillegg blir variasjonen i avlingsmengder beregnet.

Fordi WOFOST er en én-dimensjonal modell, kan resultatene overføres på arealer ved avgrensning av homogene soner (polygoner) eller ved interpolasjon mellom utvalgte punkter. For en bedre innføring hvordan WOFOST fungerer se BOOGAARD et al. (1998) og SUPIT et al. (1994).

3. Metode

Utprøvingen av WOFOST ble gjennomført på Østlandet. For å kunne kjøre WOFOST trenger man data om klima, jordsmonn og planter. Dataene bør i de fleste tilfeller bearbeides først før de kan brukes i en simulering.

3.1 Klimadata

11 Klimastasjoner, jevnt fordelt over området, ble valgt ut. Sju av dem er synoptiske, tre automatstasjoner og en er en ren nedbørsstasjon.

Klimasoner ble etablert ved en reklassifisering av de nedbørs- og temperatursoner som er presentert i TVEITO et al. (1997 og 2000). For hver klimasone ble det tilordnet representative stasjoner med daglige registreringer av temperatur og nedbør.

Avgrensningen av nedbørssoner skjedde på grunnlag av gridet over sommernedbør. En reklassifisering ble gjennomført i fire klasser med 20 millimeter nedbørs ekvidistanse. Hver sone ble tilordnet en representativ stasjon. Stasjonens observasjoner gjelder for hele sonen. Hvis flere enn en stasjon kunne være representativ for en sone, ble stasjonen med de fleste observasjonsår valgt.

For å avgrense temperatursoner ble det laget et grid med summen av månedsmidlene juni, juli og august. Dette gridet ble reklassifisert i fire klasser og hver klasse fikk tilordnet en representativ stasjon.

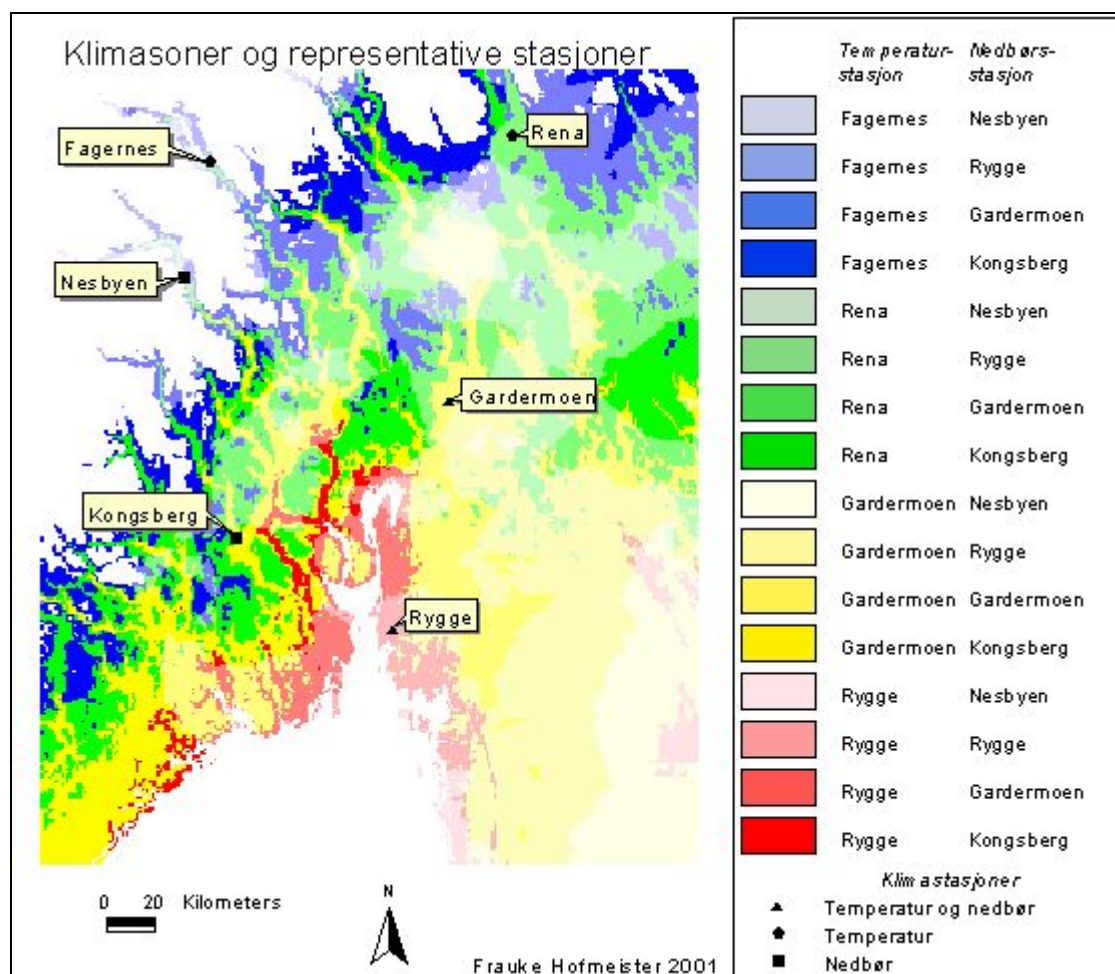
En kombinasjon av nedbørs- og temperatursonene resulterte i 16 klimasoner.

Denne klassifiserings- og utvalgsprosessen endte opp med 6 representative klimastasjoner (Tabell 1). Det observerte tidsrommet og antallet målinger per døgn for de enkelte stasjonene og de enkelte parametrene varierer litt og omfatter ikke overalt den ønskede 30-års-normalen 1971-2000. Stasjonsdataene ble transformert til CABO-format før de kunne brukes i WOFOST. CABO-filer inneholder dagsverdier for globalstråling, minimum og maksimum temperatur, vandamptrykk tidlig på dagen, gjennomsnittlig vindhastighet og nedbør.

Stasjonene Gardermoen og Rygge ble brukt som representanter for både nedbør og temperatur. Fagernes og Rena er de andre tilordnede temperaturstasjonene; Nesbyen og Kongsberg ble brukt for nedbør. Figur 2 viser klimasonekart og representative stasjoner.

Tabell 1: Oversikt over representative klimastasjoner

Nr.	Periode	Navn	H.o.h. (m)	Pixelverdi på gridet med sommernedbør	Pixelverdi på gridet med summen av sommertemperaturene
04780	1971-2000	Gardermoen	202	238	43
07010	1971-2000	Rena-Haugedalen	240	241	39
17150	1971-2000	Rygge	40	221	46
23420	1982-2000	Fagernes	365	209	34
24880	1977-2000	Nesbyen-Skoglund	167	203	37
28370	1971-2000	Kongsberg	168	249	43



Figur 2: Klimasoner og representative stasjoner

3.2 Jordsmonndata

WOFOST trenger både fysiske (tekstur, tetthet), morfologiske (sjiktantall, sperresjikt) og kjemiske parametere (innhold av organisk materiale).

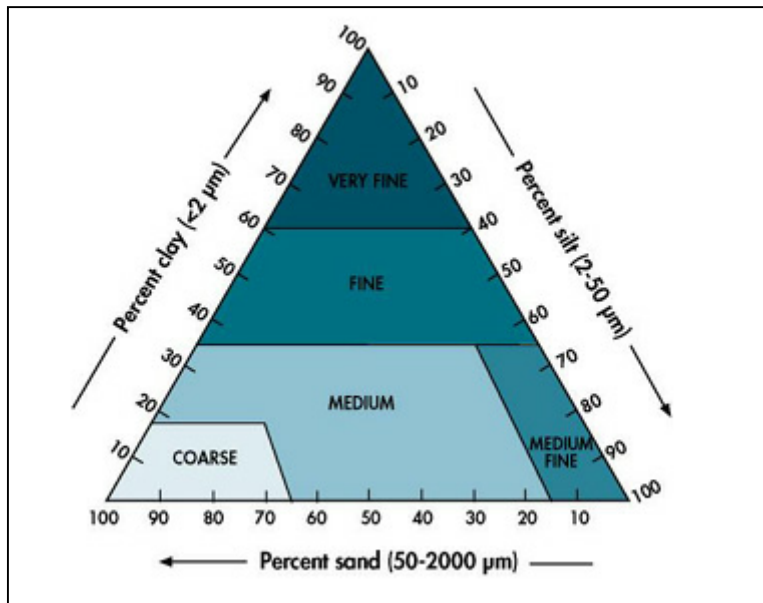
En del parametere er nødvendige til å bestemme hydrauliske egenskaper ved hjelp av pedotransfer-funksjoner. Disse estimerer (hydrauliske) jordegenskaper ved hjelp av andre målte jordegenskaper som f.eks. tekstur og innhold av organisk materiale (WÖSTEN et al. 1999, s. 170).

Analysedata fra enkelte jordprofiler med målte hydrauliske verdier (kilde: Lars Egil Haugen, Institutt for Jord- og Vannfag, NLH) ble brukt for å vurdere ulike pedotransfer-funksjoner.

3.2.1 Reklassifisering av jordtypene og jordtypekartet

I undersøkelsesområdet er det benyttet 1235 jordtyper. Da mange av disse jordtypene har tilnærmet like hydrologiske egenskaper ble det gjort en reklassifisering basert på disse egenskaper.

FAO- teksturtrekanten ble tatt som utgangspunkt (figur 3) i reklassifiseringen. FAO- teksturtrekanten blir brukt i HYPRES databasen (WÖSTEN et al. 1998). HYPRES databasen er den delen i den European Soil Database som omfatter hydrauliske egenskaper av jordtyper (HYdraulic PRoperties of European Soils).



Figur 3: FAO-teksturklasser for mineraljord. Kilde: WÖSTEN et al. (1998),

WOFOST håndterer jordtyper uten lagdeling. Likevel er det lagt inn en mulighet for å skille toppsjikt og undersjikt. Denne muligheten ble brukt i dette studiet; noe liknende ble også gjort da man anvendte WOFOST i et landevalueringsprosjekt i Russland (SAVIN et al. 1997). HYPRES skiller også mellom toppsjikt og undersjikt for å definere teksturklasser (WÖSTEN et al. 1998, s. 9.).

For hver jordtype ble det avgjort hvilket sjikt som gir størst begrensning for vanntransporten. Dette sjiktet ligger stort sett i databasen som "sperresjikt". Hvis en jordtype ikke har noe sperresjikt ble det nederste sjiktet brukt som undersjikt. Plogsjiktet gjelder som toppsjikt. Både toppsjikt og undersjikt ble tilordnet de fem FAO-teksturklassene vist i figur 3. Klasse 2 "medium" er nokså stor, særlig for norske forhold, og ble derfor ytterligere delt med en grense på 18% leirinnhold. Organisk jord ble tatt med som egen klasse O. Hver jordtype fikk på denne måten en kombinasjon av et toppsjikt og undersjikt. Klasser som omfattet et lite areal eller ikke fantes i det hele tatt ble slått sammen med mer fremtredende klasser. Klasser med liknende hydrauliske egenskaper ble også slått sammen. Tabell 2 viser inndelingen av jordtypeklasser som ble brukt i videre arbeidet.

Jordtyper tilhørende kombinasjoner uten nummer ble tilordnet andre klasser, fordi de utgjorde for små arealer.

De 9 mineraliske klassene skisseres i figur 4.

I tillegg til teksturinnndelingen ble jordsmonnet delt inn i dybdeklasser. Den maksimale rotdybden blir redusert ved grunne forhold, det vil si liten jordtykkelse over fjellgrunnen, eller på grunn av et sperresjikt. Dybden til henholdsvis fjell eller sperresjiktet var utgangspunktet

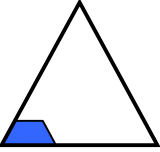
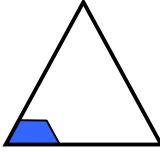
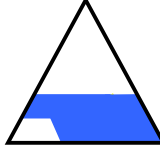
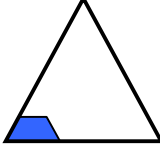
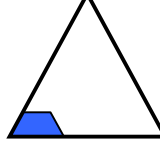
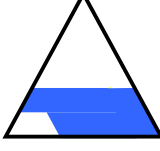
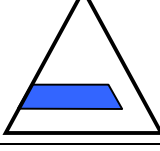
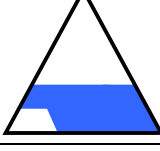
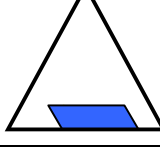
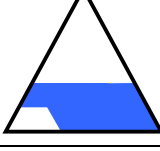
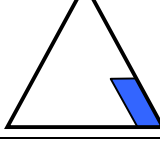
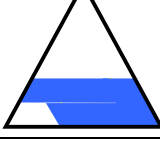
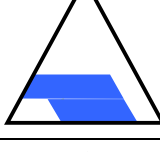
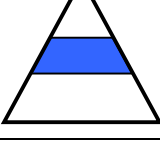
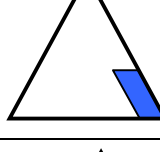
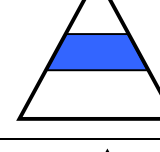
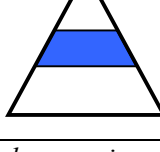
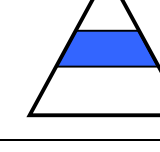
for inndelingen i tre dybdeklasser: klasse 1 med sperresjiktet mindre enn 40 cm under overflaten, klasse 2 mellom 40 og 60 cm og klasse 3 er uten begrensning. Fordi jorddybde har en relasjon med jordtype, fikk hver jordtype tilordnet en dybdeklasse.

For jordsmonnsfigurer som var kartlagt som kompleks av flere jordtyper ble ”worst case” prinsippet brukt på de to dominerende jordtypene i hvert kompleks. Den som gir størst begrensning, altså som har lavest dybdeklasse, gjelder for hele polygonet.

Egenskapen jorddybdeklasse ble kombinert med jordtypeklassene slik at hvert polygon fikk tilordnet både en jordtype- og en dybdeklasse. Nabopolygoner med samme kombinasjon ble slått sammen.

Tabell 2: Inndeling av jordtypeklassene

Toppsjikt	1 “Coarse”	2a “Medium” ≤ 18% leire	2b “Medium” > 18% leire	3 “Medium fine”	4 “Fine”	5 “Very fine”	O “Organic”
Undersjikt							
1	1	2					
2	3	4	5	6			
3							
4			7	8	9		
5							
O							10

Klassenr.	Toppsjikt	Undersjikt
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Figur 4: Teksturandeler av minerale jordtypeklassene

3.2.2 Hydrauliske parametre til de enkelte jordtypeklassene

Jordfilene i WOFOST krever hydrauliske parametre for de enkelte jordtypene. Parametrene som trengs for hver jordtype ligger ikke ferdig i databasen. Derfor ble ulike pedotransfer-funksjoner vurdert for å avlede hydrauliske parametre fra andre jordegenskaper som f.eks. tekstur og innhold av organisk materiale.

NIJOS bruker funksjoner av Riley (RILEY 1996) for å beregne f.eks. plantetilgjengelig vann. En gruppe av funksjoner er gyldige for fire teksturklasser, men har etter hvert vist noen svakheter, særlig for jordtyper med høyt leirinnhold eller høyt innhold av organisk materiale. Den andre gruppen av funksjoner skiller mellom toppsjikt og undersjikt. I begge gruppene inngår jordegenskapene organisk materiale, volumprosent sand, silt, leir og grus og tetthet (bulk density). Riley-funksjonene er basert på et norsk datagrunnlag som omfatter ca. 900 jordprofilsjikt.

Som alternativ ble HYPRES pedotransfer-funksjonene vurdert (WÖSTEN et al. 1998). Disse funksjonene ble avledet fra jordprofiler som ligger i European Soil Database og som er basert på mer enn 4000 sjikt. To typer av pedotransfer-funksjoner ble utviklet: klasse-funksjoner og kontinuerlige funksjoner. Klasse-funksjonene estimerer de gjennomsnittlige hydrauliske egenskapene for en hel teksturklasse, skilt etter toppsjikt og undersjikt.

De kontinuerlige pedotransferfunksjonene ble avledet ved hjelp av regresjonsanalyser og gir individuelle Mualem-van Genuchten-verdier og dermed pF- og vannledningskurver for hver jordtype. I disse funksjonene inngår som basisegenskaper kornstørrelsesklasser, innhold av organisk materiale og jordtetthet (WÖSTEN et al. 1998 og WÖSTEN et al 1999).

Riley's funksjoner og de kontinuerlige HYPRES-funksjonene ble i denne oppgaven brukt for å beregne diskrete pF-verdier og mettet vannledningsevne for hver jordtype. Etterpå ble gjennomsnittet for hver teksturklasse beregnet. Denne gjennomsnittskurven ble optimalisert i RETC ("Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils").

De resulterende pF- og vannledningskurvene ble sammen med kurvene til HYPRES-klasse-funksjoner sammenliknet med kurver til målte jordprofiler. Det ble også laget testfiler med de beregnede parametrene. Disse ble brukt i testkjøringer.

Denne utvalgsprosessen resulterte i at den kontinuerlige HYPRES-funksjonen ble brukt til å beregne vanninnholdsverdiene til toppsjiktclassene. HYPRES-klasse-funksjonen ble brukt til å beregne vannledningsverdiene som gjelder for undersjiktene. Der et undersjikt består av stiv leiret egnet det seg best å bruke perkolasjonsverdier som ligger i WOFOST-filen for "Fine". Til slutt ble det laget en WOFOST-jordfil per jordtypeklasse med de beregnede parametrene.

Det ble valgt å kjøre modellen uten grunnvannspåvirkning, fordi de første resultatene med grunnvannspåvirkning ikke var realistiske. BOOGAARD et al. 1998 (s. 56) har samme vurdering av denne funksjonen.

3.3 Plantedata

Den viktigste kilden for planteparametre som ble brukt i modellkjøringen er plantefilene som leveres sammen med modellen. Plantefilene omfatter flere plantearter, som vinterhvete, bygg, raps og potet, spesifisert for ulike regioner. De geografiske variantene skiller seg etter varmesum. Denne oppgaven ble gjennomført for bygg, med filen "Bar301" som utgangspunkt. Den gjelder for hele Europa.

Forsøksdata fra ulike Planteforsk-stasjoner på Østlandet for perioden 1995-2000 var tilgjengelige (kilde: Planteforsk). Disse ble benyttet for å kalibrere modellen og tilpasse parametere til norske forhold. Forsøksdataene har for ulike kornsorter på ulike jordtyper blant annet dokumentert avling, sådato, antall dager til aksskyting og modning.

Planteveksten fra såing til blomstring og fra blomstring til modning er direkte relatert med temperatursommene. Disse varierer regionalt og etter sort. For kalibrering av modellen er det nødvendig å ha forsøksdata med dokumenterte varmesummer.

Forsøksdata fra Planteforsk ble, sammen med klimadata for de enkelte forsøkstedene, brukt til å beregne varmesommene for ulike sorter.

For tidlig bygg ble det beregnet gjennomsnittet for sorten Arve for alle år på henholdsvis Ås og Apelsvoll. For sent bygg ble dette gjort for sorten Tyra. Planteforsk bruker begge sorter som referanse i verdiprøvningsarbeidet.

Varmesommene for bygg fra Apelsvoll ble brukt for temperatursonene Rena og Fagernes. For temperatursonene Rygge ble varmesommene fra Ås brukt og den gjennomsnitte varmesummen fra Apelsvoll og Ås sammen ble brukt for temperatursonene Gardermoen.

Både for tidlig og sent bygg ble det for hver temperaturstasjon laget separate WOFOST-filer. De beregnede varmesommene er inkludert i filene.

Kalibreringen av plantefilene og en ytterligere tilpasning til norske forhold kan så vidt gjøres ved hjelp av FSEOPT-rutinen som ligger i WOFOST og ved hjelp av detaljerte forsøksdata. Kalibrering var i første rekke nødvendig med hensyn til økt daglengde om sommeren i forhold til sørligere deler av Europa. Daglegheten har effekter på bladarealet, slik at bladparametre må tilpasses. BLEKEN (1990, s. 65) viser en kurve som ble brukt i denne sammenhengen. Dessuten syntes verdien for maksimal tilvekst av røttene per døgn å være for høy og ble derfor justert ned ved å bruke en formel av BLEKEN (pers. medd.).

Simuleringen skjer med samme gjennomsnittlige sådato hvert år. Følgende standard dato ble brukt: sådato 8.5. (dag 128) for temperatursonene Rygge og Gardermoen og 18.5. (dag 138) for Rena og Fagernes. Simuleringen avslutter 5. september (dag 248) eller ved tidligere modning. Dermed er maksimal simuleringslengde hhv. 120 og 110 døgn. Simuleringen av vannbalansen startet på sådatoen og forutsetter et tørt toppsjikt og et vått undersjikt.

3.4 Software og GIS

Selve modellen WOFOST, versjon 7.1, er hovedsoftwaren i oppgaven. Klimadataene ble bearbejdet med Oracle. Som GIS verktøyet ble ArcView versjon 3.2 og Arc/Info 8.1 med GRID-modulen brukt.

RETC versjon 6.0 ("Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils") ble brukt for optimalisering av de hydrauliske jordkurvene.

3.4.1 Avledning av simuleringsenheter

Et raster-GIS ble brukt for koblingen til geometrien. Klimasonene forelå allerede som grid på 1000 m oppløsning. Det ble resamplet til en cellestørrelse på 50 m. De reklassifiserte og fylkesvis sammenkjørte jordtypekartene ble konvertert til grid med 50 m oppløsning og av samme origo som klimagridet. Disse ble slått sammen til et grid over hele område.

Fagernes (365 moh) er den høyest liggende klimastasjonen som benyttes i simuleringen. Av den grunn er det ikke forsvarlig å ha jordbruksarealer over 400 moh med i utvalget. Derfor ble de fjernet. Kombinasjonen med klimagridet resulterte i 282 temperatur-nedbør-jordtypeklasse-jorddybdeklasse-kombinasjoner.

Per klimasone er lengden av simuleringsperioden lik perioden med værobservasjoner, altså henholdsvis 18, 24 eller 30 år. En batch-mulighet er brukt for å automatisere simuleringene. Resultatene av simuleringene ble koblet til attributt-tabellen av gridet. På denne måten kunne de visualiseres som kart.

4. Resultater

4.1 Produksjon av Produksjonsgrunnlagskart

For å avlede egnethetsklasser ble det tatt hensyn til både gjennomsnittlig avling og avlingsvariasjon.

Fire forskjellige krysstabuleringer ble gjort for å produsere kart for produksjonsgrunnlag for bygg for Østlandet.

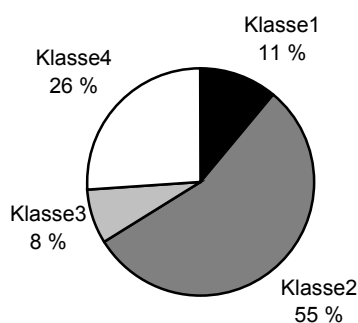
Krysstabulering A

Kart 1 og 2 viser egnetheten for sent bygg basert på en krysstabulering av gjennomsnittlig potensielt avlingsnivå og variasjonskoeffisient (standardavvik i % av gjennomsnittet). Den gjennomsnittlige potensielle avlingen ble delt inn i fire avlingsklasser og i to variasjonsklasser (Tabell 3).

Tabell 3: Egnethetsklasser for sent bygg. (Egnethetsklasser: 1. best egnet til 4. dårligst egnet)

	Avlingsklasse	1	2	3	4
Variasjons-klasse	Potensiell avl. kg/ha	> 5800	5300-5800	4300-5300	0-4300
	Var.koeff %				
1	0-32	1	2	3	4
2	>32	2	3	4	4

Klassifiseringen er basert på tidsrommet 1983-2000. Egnethet er delt inn i 4 klasser, varierende fra best til dårligst egnet. Figur 5 viser arealfordelingen av egnethetsklassene for kart 1.



Figur 5: Arealfordeling av egnethetsklasser basert på kart 1. (klasse 1: best egnet til klasse 4: dårligst egnet)

Krysstabulering B

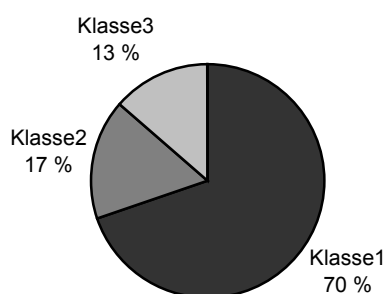
Kart 3 viser egnetheten for bygg. De tre egnethetsklassene ble oppnådd ved krysstabulering av to klasser for avlingsnivå for hhv. sent og tidlig bygg som er avgrenset ved middelverdien (tabell 4).

Tabell 4: Egnethetsklasser for bygg, unntatt tørre år (Egnethetsklasse 1. best egnet; 3. dårligst egnet).

		Avlingsklasse for tidlig bygg	
		1 (over middels)	2 (under middels)
Avlingsklasse for sent bygg	1 (over middels)	1	2
	2 (under middels)	2	3

De tre veldig tørre årene i perioden 1983-2000 (1986, 1992, 1994) ble ikke tatt med, slik at velegnede, men veldig tørkeutsatte områder ikke havner i en for dårlig klasse. Kartblad 3 viser dermed produksjonsnivået inklusiv vanning.

Figur 6 viser arealfordelingen for hele undersøkingsområdet basert på kart 3.



Figur 6: Arealfordeling av egnethetsklasser basert på kart 3. (Klasse 1: best egnet til klasse 3: dårligst egnet).

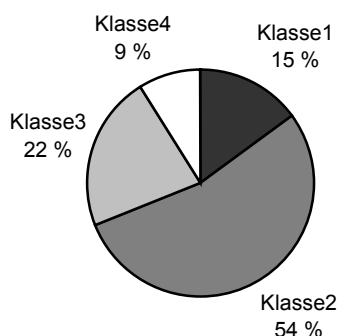
Krysstabulering C

Kart 4 viser egnethet for tidlig bygg. Klassifiseringen er basert på antall år med en avling større enn gjennomsnittet for hele perioden fra 1983-2000. Klasse 1 er dermed kjennetegnet ved høyest, og klasse 4 ved lavest avlingsstabilitet og -nivå.

Tabell 5: Egnethetsklasser for tidlig bygg. (Egnethetsklasse 1. best egnet til klasse 4. dårligst egnet).

Egnethets-klasse	Antall år med produksjon over gjennomsnitt
1	15-18
2	11-14
3	9-11
4	0-8

Figur 7 viser arealfordelingen av egnethetsklasser for hele studieområdet basert på kart 4.



Figur 7: Arealfordeling av egnethetsklasser basert på kart 4. (Klasse 1: best egnet til klasse 4: dårligst egnet).

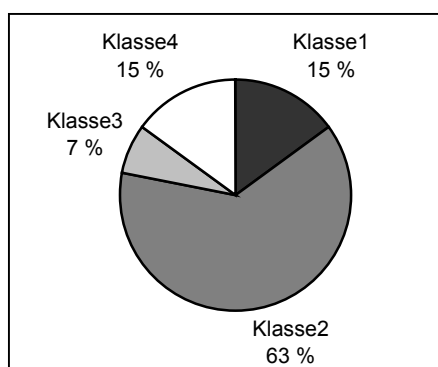
Krysstabulering D

Kart 5 viser egnetheten for bygg. Klassifiseringen er basert på en krysstabulering av tre avlingsklasser per sort. Disse er avgrenset av gjennomsnitt minus standardavvik og gjennomsnitt pluss standardavvik. Alle år er inkludert i simuleringen.

Tabell 5: Egnethetsklasser for bygg. (Egnethetsklasse 1. best egnet, 4. dårligst egnet)

		Avlingsklasse for tidlig bygg		
		1 (høy)	2 (middels)	3 (lav)
Avlingsklasse for sent bygg	1 (høy)	1	2	3
	2 (middels)	2	2	3
	3 (lav)	3	3	4

Figur 8 viser arealfordelingen av egnethetsklasser basert på kart 5.



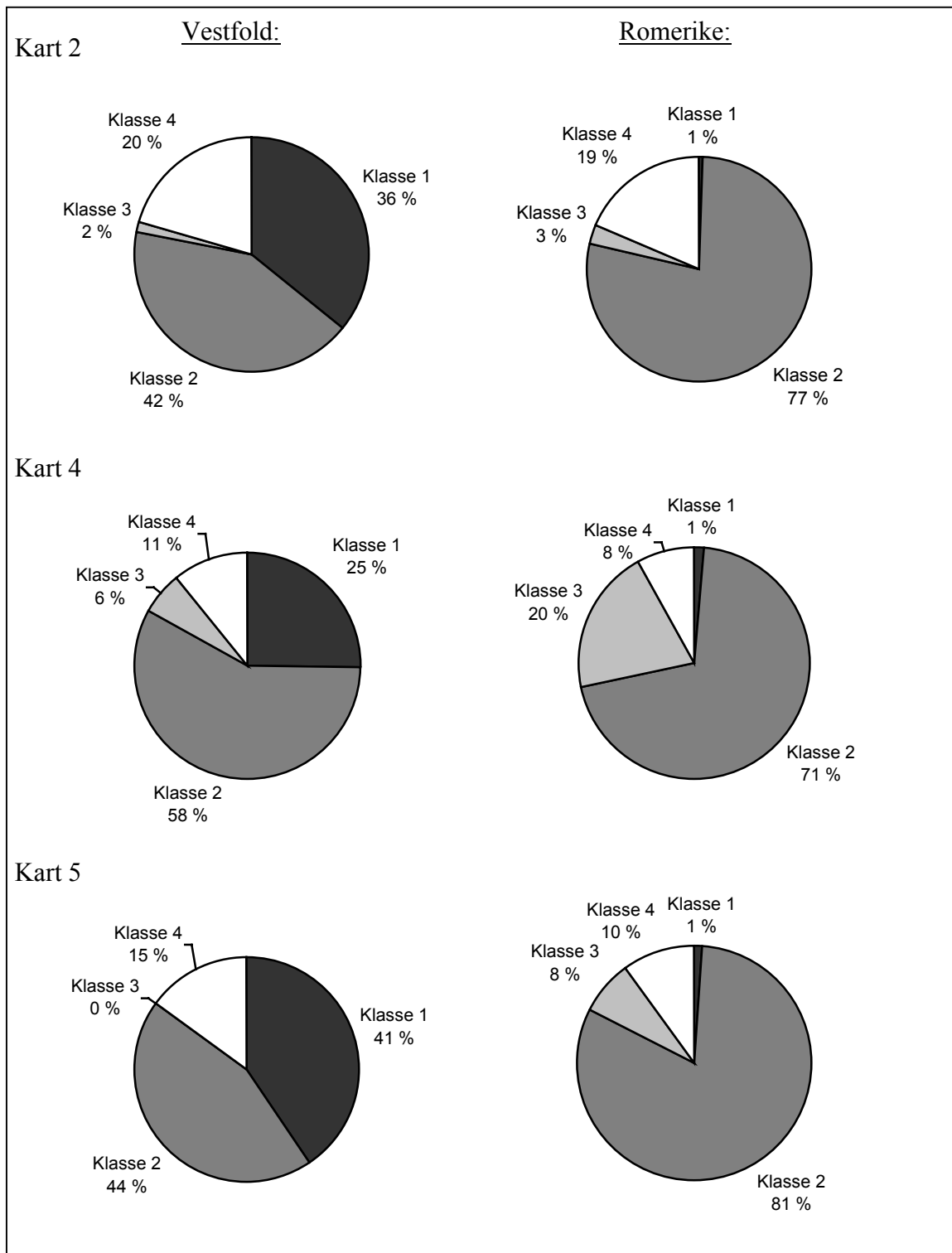
Figur 8: Arealfordeling av egnethetsklasser basert på kart 5. (Klasse 1: best egnet til klasse 4: dårligst egnet).

Kart1 t.o.m. 5 er vedlagt bakerst i rapporten.

I egnethetsklassifiseringen ble det ikke tatt hensyn til faktorer som helningsgrad. Konsekvens av dette er at enkelte områder i den nordlige strøk får en bedre egnethet enn det en skulle

forvente. Overgangen til en annen klimasone kan lede til en forandring i egnethetsklasse. Dette er synlig i for eksempel Toten.

Figur 9 gir en oversikt over arealfordelingen av egnethetsklasser i de to utsnittsområdene (kart 2, 4, 5) Vestfold og Romerike.



Figur 9: Arealfordeling av egnethetsklasser i områdene Vestfold og Romerike (Klasse 1: best egnet til klasse 4: dårligst egnet).

Alle arealfordelinger i figur 9 viser at andelen i klasse 1 (best egnet) er mye større i Vestfold enn i Romerike. Den dårligst egnete klasse 4 dekker omtrent samme arealprosent i begge landsdeler. Dette betyr at mulighetene for å dyrke bygg anses å være bedre i Vestfold enn på Romerike.

(Notat til dette kapittelet: arealfordelingene som vises først tilsvarer anvendelsen av de enkle krysstabuleringene på hele Østlandet selv om ikke alle er visualisert som kart. Arealfordelingene i figur 9 baserer seg på utsnittsområdene).

4.2 Sammenligning av simuleringsresultater med realisert avling

En sammenligning mellom simuleringsresultater og realisert avling ble gjort. Figur 10 viser avlingsstatistikk for bygg fordelt per fylke fra 1995 til 2000. Figur 11 viser simuleringsresultatene for tidlig bygg og for jordtypeklasse 7 (figur 4) og jorddybdeklasse 3. Begge diagrammer viser samme tendens og er i bra samsvar med hverandre.

Både i virkeligheten og i modellsimuleringene skiller året 1999 seg ut ved nokså lav avling totalt sett og ved høyere avling i de nordlige enn i de sørlige områdene.

Imidlertid er simulert avling på mer enn 6000 kg/ha for temperatursone Rena (figur 11 og 12) for høyt. Årsaken til dette må undersøkes nærmere.

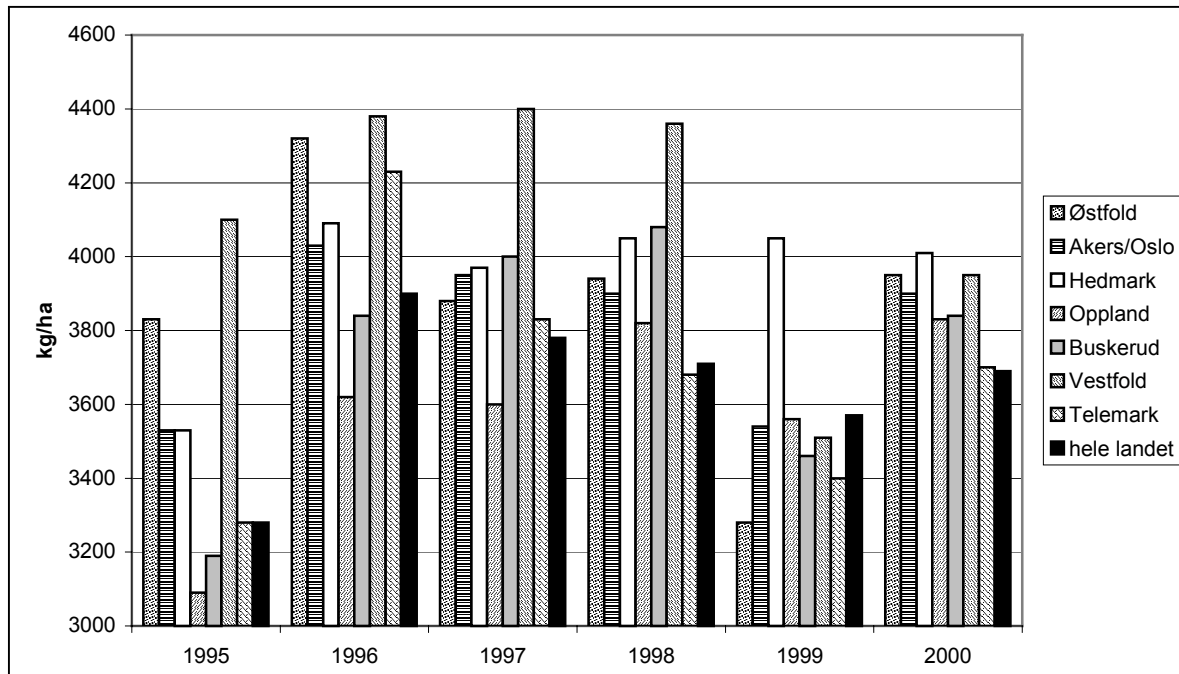
Den generelle trenden gjenspeiles også i kurven med simulert avling per temperatursone (figur 12). Kun året 1998 faller litt ut av denne paralleliteten. Men den høyere simulerte enn virkelig oppnådde avlingen kan forklares ved vanskelige innhøstingsforhold (SSB, Ukens statistikk 9/1999). Innhøstingsforholdene er en av faktorene som modellen ikke tar hensyn til, men som kan påvirke nivået på den statistisk registrerte avlingen betydelig. At det beregnede resultatet er så høyt tilsvarer de reelle fysiske forholdene, nemlig ”mye nedbør og en noe kjølig værtype i vekstperioden som ga gode vekstvilkår over store deler av landet.” (SSB, Ukens statistikk 15/1999). Temperatursonen Rygge som ser ut til å slite med vannbegrensning i tørre år viser derfor en godt simulert avling dette året.

I fig. 12 vises at forskjellen mellom Rena og Fagernes er ekstremt stor. Det er mulig at Fagernes har en for lavt simulert avling og Rena en for høyt. Feltforsøksfelt Bjørke fra Planteforsk viser et realisert avlingsnivå fra 5500 kg/ha for tidlig bygg på jordsmonntype 3 (fig. 4) (Rafoss, de Wit, 2002).

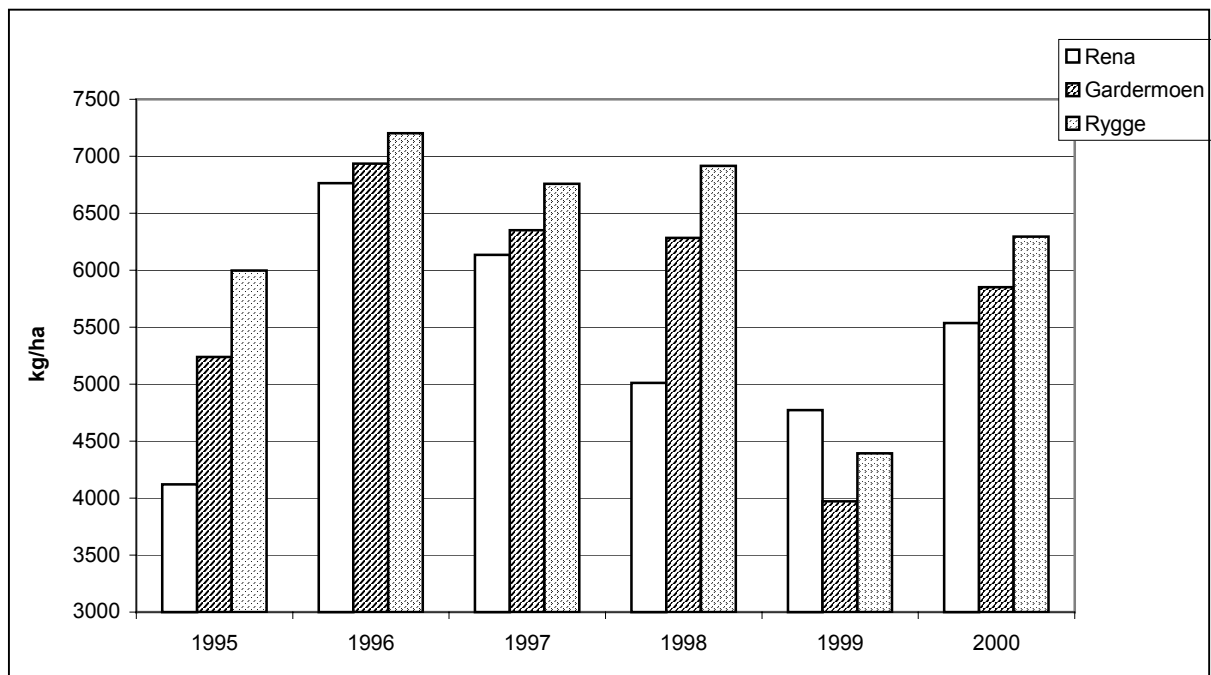
Modellen ble kalibrert med resultatene fra feltforsøk fra Planteforsk. De produserte kartene 1 t.o.m. 5 ble som helhet sammenlignet med erfaringer fra praksis. Det viser seg at enkelt regioner har en for lavt eller for høyt simulert avlingsnivå. I kart 1 kommer hele Mjøsaområdet og områdene langs Randsfjorden for dårlig ut, samt de arealene sør for Raet (Østfold) og i Indre Østfold (Stabbetorp og Åssveen, Planteforsk, pers. medd.). I kart 3 har Mjøsaområdet også et for lavt avlingsnivå i forhold til erfaringer i praksis. Forenkling av jordsmonntyper kan være årsaken eller at klimafaktoren veier i modellen tyngre enn jordsmonndelen. Årsaken trenger en nærmere oppklaring.

Produksjonsgrunnlag for bygg på Østlandet basert på simuleringer med plantevekstmodellen WOFOST

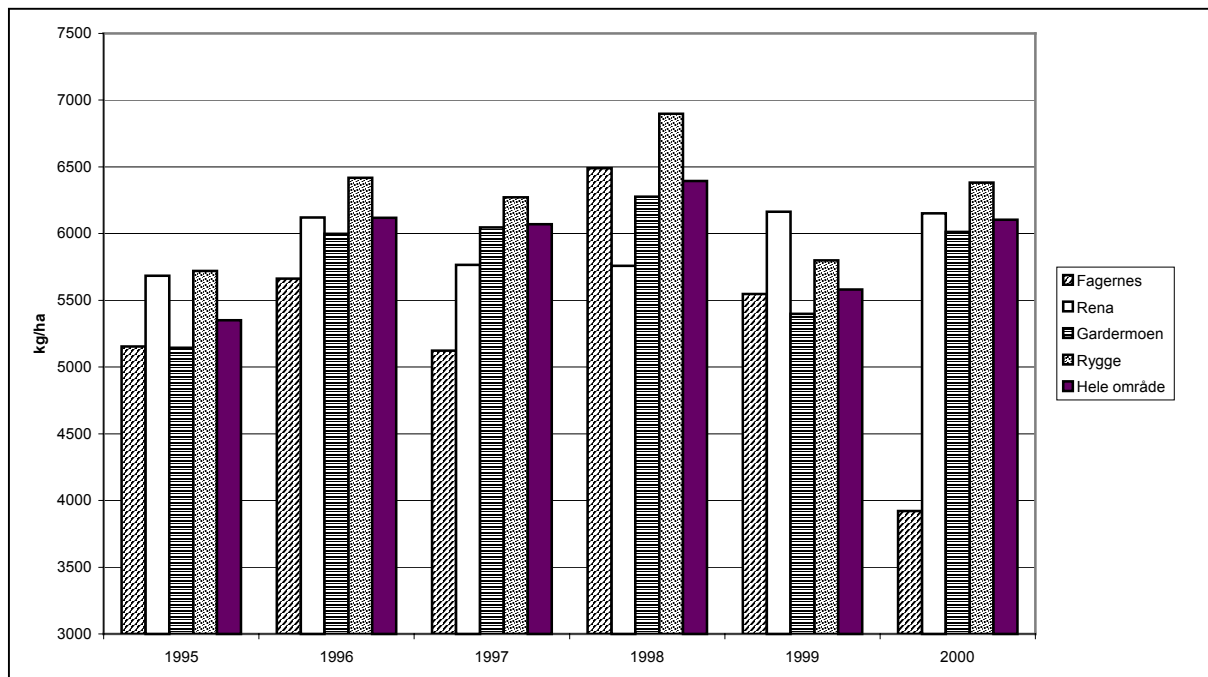
Akershus/Oslo har generelt en for høyt simulert avling. Dette kan skyldes at store deler av Romerike har planert jord, med lav realisert avling - ofte ned til 3000 kg/daa (Åssveen, Planteforsk, pers. medd.). WOFOST overestimerer avling på slike arealer fordi planert jord ikke er skilt ut som separat jordsmonntype.



Figur 10: Avlingsstatistikk for bygg fordelt per fylke; kilde: Statistisk Sentralbyrå 2001 (www.ssb.no).



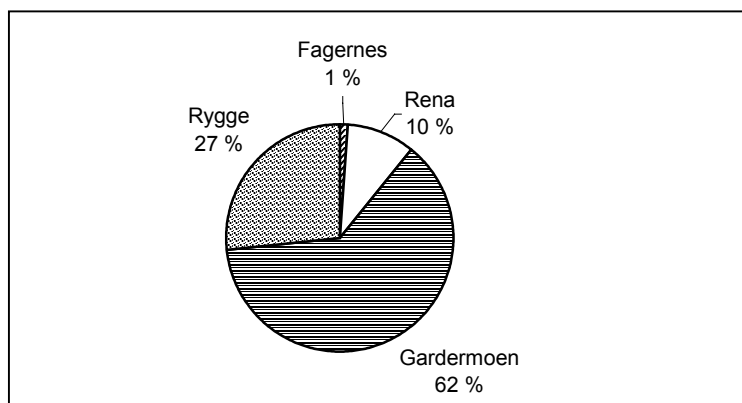
Figur 11: Simuleringsresultater per temperatursone for tidlig bygg basert på jordtypeklasse 7, jorddybdeklasse 3 og nedbørssone Gardermoen.



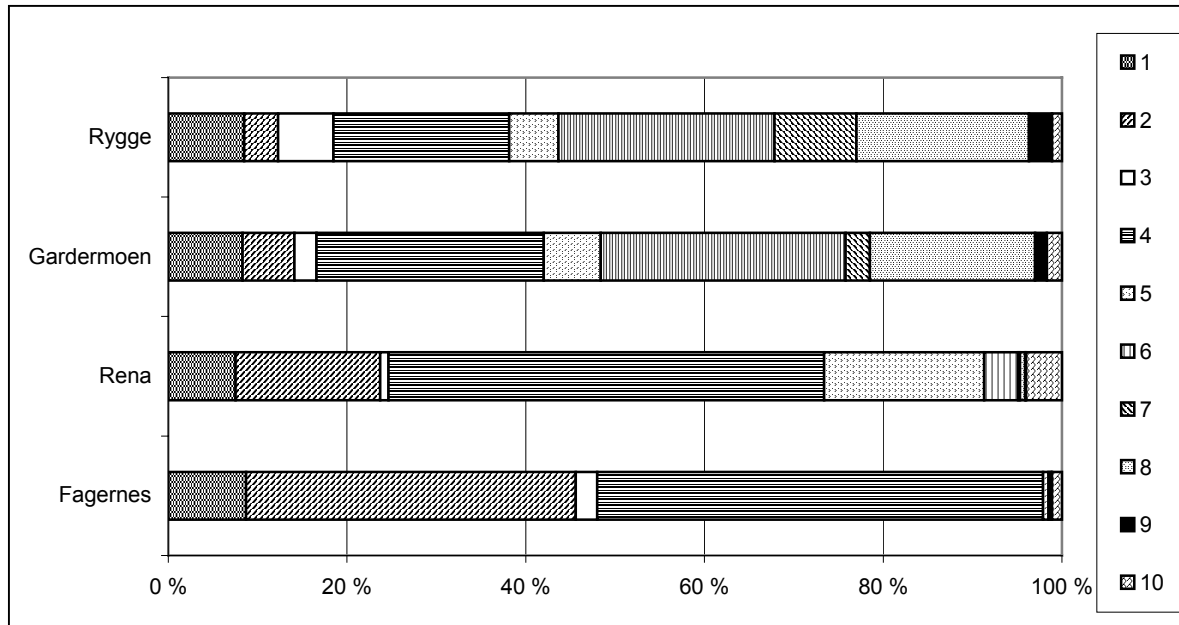
Figur 12: Simulert gjennomsnittlig avling for tidlig bygg per temperatursone

At utviklingen i en bestemt klimasone ikke følger helt parallelt fylkesinndelingen skyldes for en del at fylkesgrensene selvfølgelig ikke faller sammen med klimasone- grensene. Dessuten blir jo bare en del av jordbruksarealet brukt for dyrking av bygg slik at realiserde avlinger ikke er helt sammenliknbare med simuleringresultatene. Heller ikke vet man hvilke arealer og dermed jordtyper som ble dyrket med bygg.

Figur 13 gir en oversikt over andel jordbruksareal per temperatursone. Størrelsen av temperatursonene varierer veldig mye og dermed varierer også andeler av ulike jordtypeklasser (figur 14) per temperatursone.

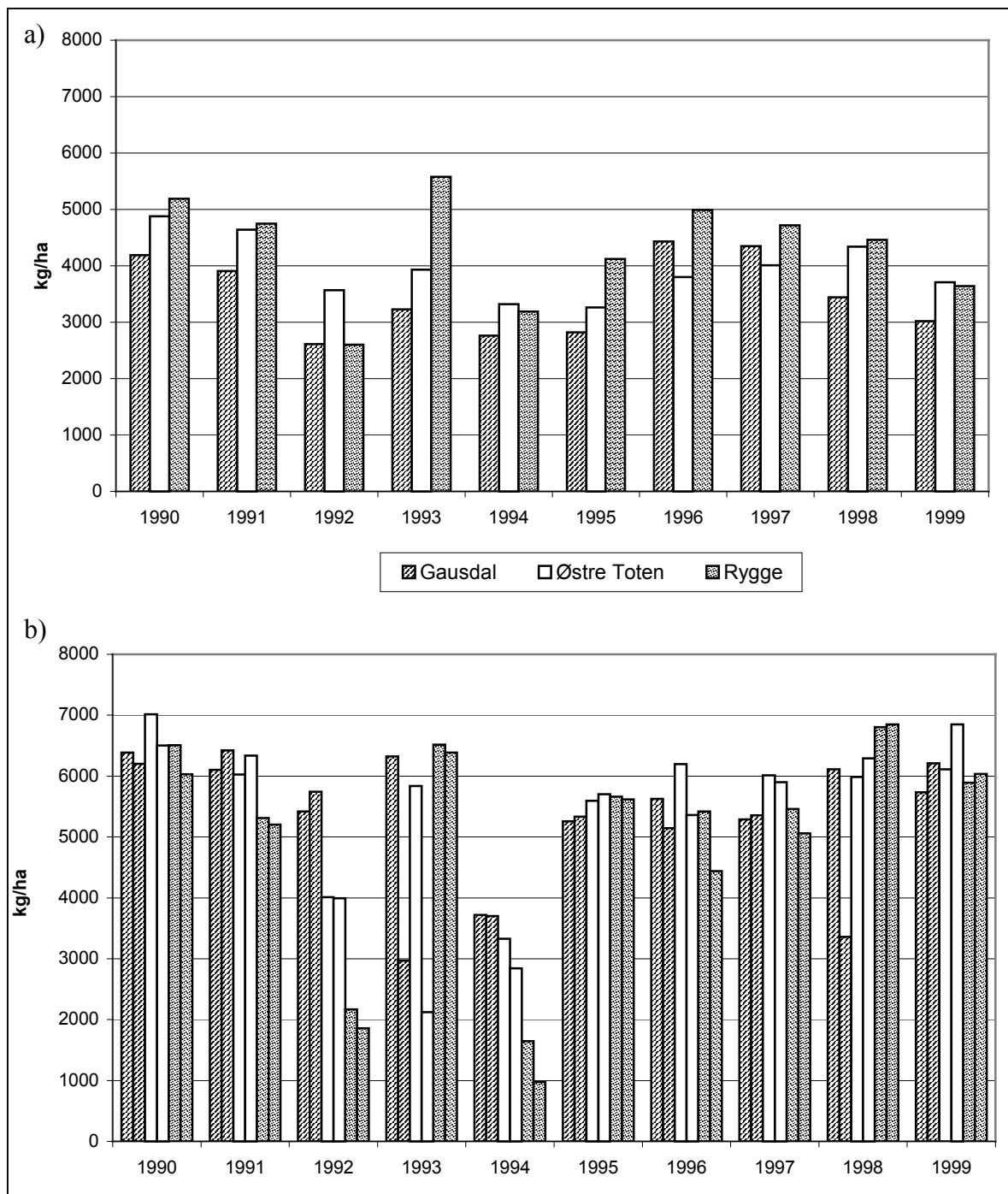


Figur 13: Jordbruksarealet fordelt på de ulike temperatursonene



Figur 14: Fordeling av jordtypeklassene i % av total jordbruksareal per temperatursone (Figur 4 og tabell 2 karakteriserer de forskjellige jordtypeklassene).

På kommunenivå er det veldig stor variasjon i hvor mye og hvor bygg blir dyrket. I figur 15 er realisert og simulert avling i 3 utvalgte kommuner stilt ovenfor hverandre. Bare 10 – 14% av jordbruksarealet i Gausdal, 44 – 47% i Østre Toten og 16 – 17% i Rygge blir brukt for dyrkning av bygg. Hermed reduseres muligheten til en objektiv sammenligning. Likevel kommer for eksempel veldig tørre år som 1992 og 1994 tydelig fram, særlig i de sørlige områdene.



Figur 15: Avlingsstatistikk (a) og simulert gjennomsnittlig avling (b) per utvalgt kommune. Den første søylen per kommune viser simulert avling for tidlig, den andre den for sent bygg. Kilde for statistiske data: GRØNLUND (pers. medd.) på grunnlag av data fra Statens landbruksforvaltning.

4.3 Sammenligning av klimasoner

Klimamessig sett skulle man egentlig forvente at produksjonspotensialet øker sørover.

Modellresultatene viser et noe annet bilde. I tabell 6 viser Rena temperatursonen seg å være den gunstigste for tidlig bygg. At gjennomsnittsavlingen i Gardermoen og Rygge sonene ligger lavere skyldes en mye høyere variasjon i jord (se figur 14) og klima. Den potensielle evaporasjonen er så store at man får veldig lav avling i nokså tørre år.

For sent bygg kommer for de nordlige stasjoner klimatologiske begrensninger inn i bildet. I enkelte kalde år blir kornet ikke modent slik at gjennomsnittlig avling blir lavere.

Temperaturforholdene i Rygge blir gunstigere for dyrkning av sent bygg.

Tabell 6: Gjennomsnittlig simulert avling (kg/ha) per temperatursone.

Temperaturstasjon	Tidlig bygg	Plass	Sent bygg	Plass	Areal%
Fagernes	5700	2	5033	4	1
Gardermoen	5342	4	5270	3	63
Rena	6026	1	5348	2	10
Rygge	5657	3	5544	1	27

I år med nokså normale værforhold ser nedbørssonene ut til å være nokså ubetydelig for avlingen. Tar vi hele tidsserien i betraktning viser det seg at nedbørsforhold som Gardermoen (tabell 7) er gunstigst.

Tabell 7: Gjennomsnittlig simulert avling (kg/ha) per nedbørssone

Nedbørstasjon	Tidlig bygg	Plass	Sent bygg	Plass	Areal%
Gardermoen	5618	1	5567	1	48
Kongsberg	5349	3	5115	3	14
Nesbyen	5273	4	5020	4	5
Rygge	5418	2	5185	2	32

Tabell 8 kombinerer temperaturstasjoner med nedbørsstasjoner. Kombinasjonen av Rena som temperaturstasjon og Rygge som nedbørsstasjon gir gjennomsnittlig de beste resultatene for tidlig bygg. For sent bygg er en Rygge – Gardermoen kombinasjon gunstigst.

Grupperer man resultatene etter jordtypeklasser og jorddybdeklasser da oppstår et relativt forventet bilde (tabell 9 og 10). Den organiske klassen nr. 10 gir i gjennomsnittet en høyere avling enn de andre, og dypere jordsmonn er gunstigere enn grunt. P.g.a. driftsfaktorer kan dyrkning av bygg på organisk jord imidlertid ha sine begrensninger.

Tabell 8: Gjennomsnittlig simulert avling (kg/ha) per klimasone

Temperaturstasjon	Nedbørstasjon	Tidlig bygg	Plass	Sent bygg	Plass	Areal%
Fagernes	Gardermoen	5799	5	5178	8	0.5
Fagernes	Kongsberg	5585	8	4868	15	0.4
Fagernes	Nesbyen	5405	12	4694	16	<0.1
Fagernes	Rygge	5855	4	5053	10	<0.1
Gardermoen	Gardermoen	5492	11	5510	2	28.6
Gardermoen	Kongsberg	5148	14	5031	12	8
Gardermoen	Nesbyen	5033	16	4919	13	4.1
Gardermoen	Rygge	5274	13	5108	9	21.9
Rena	Gardermoen	6072	3	5475	3	2.9
Rena	Kongsberg	5705	7	5052	11	2.5
Rena	Nesbyen	6078	2	5367	6	1.2
Rena	Rygge	6223	1	5462	4	3.1
Rygge	Gardermoen	5757	6	5699	1	15.8
Rygge	Kongsberg	5523	9	5372	5	3.6
Rygge	Nesbyen	5039	15	4874	14	<0.1
Rygge	Rygge	5508	10	5299	7	7.4

Tabell 9: Gjennomsnittlig simulert avling (kg/ha) per jordtypeklasse

Jordklasse	Tidlig bygg	Plass	Sent bygg	Plass	Areal%
1	4041	10	3916	10	8.3
2	5464	8	5177	8	6.5
3	5554	6	5390	6	3.3
4	5474	7	5248	7	26.4
5	5743	3	5513	5	7.2
6	5727	4	5634	4	24.0
7	5778	2	5705	2	4.2
8	5677	5	5635	3	16.8
9	4997	9	4889	9	1.5
10	6517	1	6379	1	1.8

Tabell 10: Gjennomsnittlig simulert avling (kg/ha) per jorddybdeklasse

Jorddybdeklasse	Tidlig bygg	Plass	Sent bygg	Plass	Areal%
1	3436	3	3306	3	7
2	4970	2	4598	2	3
3	5668	1	5527	1	90

Lengden av observasjonsperiode var hovedkriterium for å velge en representativ klimastasjon for en klimasone. Spørsmål er hvor mye variasjon det fins mellom de forskjellige klimastasjonene innenfor en klimasone. For både temperatur- og nedbørsone ble det gjort simuleringer over periodene med værdata.

For temperatursonene ble det gjort en simulering for den mest frekvente kombinasjon: jordtypeklasse 6, jorddybdeklasse 3 og med Gardermoen som nedbørsstasjon.

Det er mindre variasjon mellom representative temperaturstasjoner i ulike soner som Gardermoen og Fagernes enn mellom stasjoner i samme sone som Gardermoen og Høland-Fosser. Det samme gjelder for Rygge temperatursonen. Rygge har en større variasjon i forhold til Melsom enn til Gardermoen.

Resultatet er ikke overraskende, hvis man ser hvor store temperatursonene for Gardermoen og Rygge er. Både store avstander og variasjon i topografi virker inn på klimaet. Det er også i øyefallende at resultatene fra Rena og Fagernes er ganske liknende.

Simuleringer for nedbørssonene viste ikke så stor variasjon. Sonene Gardermoen og Nesbyen ser ut til å være ganske homogene, og Rygge er heller ikke så heterogen.

Konklusjonen er at klimasoneinndelingen kan forenkles.

5. Diskusjon

Målsettingen med dette studiet er:

- teste av brukbarheten av plantevekstmodellen WOFOST under norske forhold
- lage et kart over produksjonsgrunnlaget for bygg på Østlandet med hjelp av WOFOST.

I kapittel 4.1 ble det vist at det er mulig å produsere forskjellige typer av kart for produksjonsgrunnlag for bygg med bruk av WOFOST modellen og basert på eksisterende klima-, jordsmonn- og plantedata.

De største utfordringer i prosjektet var å gjøre eksisterende data om jord, klima og planteproduksjon tilgjengelig for modellen. Basert på kunnskap om jord, klima og planteegenskaper ble dataene reklassifisert og transformert til riktig filformat.

Arbeidet har vist at mye bør gjøres for å effektivisere databehandlingen og produksjonen av kart som viser produksjonsgrunnlaget. For det første viste seg at det er nødvendig å standardisere eksisterende jordsmonntyper i forskjellige grupper med lik betydning for planteveksten. I denne oppgaven ble det gjort et forsøk på standardisering, men videre utarbeiding av et system blir nødvendig.

Riley- funksjoner blir brukt i dag til å avlede hydrologiske data basert på kjente jordsmonnparameter som ligger i den Digitale Jordsmonn Databasen på NIJOS. I dette studiet ble både Riley og HYPRES funksjoner brukt til å finne fram hydrologiske parameter. Ukjent er hvor følsom WOFOST modellen er for en (mindre) variasjon i hydrologiske forhold. Med en videre utvikling av plantevekstmodeller for bruk under norske forhold er det viktig å ha gode pedotransferfunksjoner.

WOFOST håndterer bare profiler med homogen tekstur. Innflytelse på resultatet med å bruke ulike sjikt, som ble gjort her, er ukjent. Andre plantevekstmodeller som baserer seg på profiler med flere sjikt bør også testes ut.

Basert på eksisterende klimadata ble Østlandet oppdelt i 16 klimasoner. Dataanalysene viste at en del klimasoner lignet hverandre og at en forenkling kunne være på sin plass. Dette blir forsterket med konklusjonen om at variabiliteten innenfor store klimasoner er større enn variabiliteten mellom forskjellige klimasoner. Et mindre antall klimasoner gjør også en databearbeiding enklere.

Kalibreringen av planteparametre er en vanskelig oppgave. I 2001 ble det gjennomført et samarbeidsprosjekt mellom Planteforsk, NIJOS, Institutt for Plantefag, NLH, DNMI og Institutt for Matematisk Fag, NLH for å se på sammenhengen mellom plantevekst – jordsmonn og klima (RAFOSS OG DE WIT, 2002). Resultatet av arbeidet viser at videreføring av arbeidet er nødvendig og at resultatene av arbeidet kommer til gode for produksjon av kart om produksjonsgrunnlaget for flere viktige jordbruksvekster i Norge.

WOFOST trenger detaljerte plantedata som bør legges i databaser eller som bør kunne avledes fra eksisterende data. I dette prosjektet ble det jobbet med data fra bygg. Simulering med andre viktige vekster som hvete, potet og gras bør gjøres.

En sammenligning av simulerte avlingstall med tall om realisert avling viser at de følger samme trenden. En nøyaktig sammenligning er vanskelig fordi det ikke dyrkes bygg overalt og forholdene hvor det dyrkes bygg ikke er kjent. Likevel er den signaliserte trenden også funnet i studiet fra GRØNLUND OG BJØRDAL, 2001 og RAFOSS OG DE WIT, 2002. Det er nødvendig å integrere de forskjellige resultatene med hverandre.

6. Konklusjon

Hovedkonklusjonen er at WOFOST kan brukes i Norge. Det er mulig å lage en relasjon mellom avlingsnivå, jordsmonn og klima. Modellen kan brukes på generelt nivå, og det er mulig å produsere kart om produksjonsgrunnlaget som kan brukes i arealforvaltning og – planlegging.

Bruk av dynamiske modeller i integrering av klima – jordsmonn – planteproduksjonsdata leder til nye perspektiver. På nasjonal basis er det mulig å produsere vekstsonekart for de viktigste nasjonale jordbruksvekster og sorter. Slik informasjon kan benyttes til å planlegge jordbruksperspektiver i tiden framover (WTO forhandlinger, bygdeutvikling, intensivering og ekstensivering av jordbruket).

På regionalt nivå er det mulig å produsere produksjonsgrunnlagskart som kan benyttes i regional arealplanlegging (planlegging infrastruktur, jordvern, utvikling urbane strøk etc.) og til å produsere regionale statistikker om betydning av potensiell jordbruksproduksjon i en region. Slik informasjon kan benyttes både av myndigheter, bonde- og næringsorganisasjoner.

I målestokk 1: 20.000 kan produksjonsgrunnlagskart benyttes i verdsettingsarbeidet. Hvilke deler av en region kjennetegner seg med et godt eller dårlig produksjonsforhold. For å gjøre planteproduksjonsmodeller tilgjengelig for produksjon av produksjonsgrunnlagskart i store målestokk bør det gjennomføres en mye mer detaljert kalibrering. Også innflytelse av lokale forhold på realisert avlingsnivå bør tas med. Klimaet for eksempel er i studiet basert på interpolering av stasjons- og høydedata. Reelle klimatologiske forhold på lokalt nivå (eksposisjon) kan ha stor betydning for planteproduksjonen.

Landbruksdepartementet prioriterer (STORTINGSMELDING LD, NR 1, 2001-2002) utviklingen av produksjonsgrunnlagskart til en forbedret jordvern og arealplanlegging/- forvaltning. Bruk av dynamiske modeller som WOFOST kan bli brukt i dette arbeidet.

For den nærmeste framtiden anbefales:

- integrering av resultater av andre aktiviteter innen agro-økologiprogrammet med resultater fra denne oppgaven
- videreføring av arbeidet med inndeling av jordsmonntyper og klimasoner og kalibrering av simulert avling med realisert avling
- bygge opp innsikt i brukbarheten av andre modeller som er egnet til bruk på mer detaljert nivå og teste ut modeller for potet, hvete og gras
- forbedre jordsmonn- og plantedatabasen
- utvikle rutiner for å lage klimatologiske soner
- lage automatiske rutiner for produksjon av produksjonsgrunnlagskart.

7. Litteratur

- ARJA, L.M.; LEIJ, F.J.; GENUCHTEN, M.TH. VAN; SHOUSE, P.J. 1999: Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. *Soil Science of America Journal* 63, s. 510-519.
- ARJA, L.M.; LEIJ, F.J.; SHOUSE, P.J.; GENUCHTEN, M.TH. VAN 1999: Relationship between the Hydraulic Conductivity Function and the Particle-Size Distribution. *Soil Science Society of America Journal* 63, s. 1063-1070.
- BERLAND, R. 1999: Nitrogenbudsjett for ein byggåker gjennom vekstsesongen. Hovedfagsoppgåve, Institutt for Plantefag, Norges landbrukshøgskole, Ås.
- BLEKEN, M A. 1990: Sowing date of barley in Central Norway: Effects on soil porosity and on yield at different fertilizer rates. Doctor scientiarum theses 1990:5, Norges Landbrukshøgskole, Ås.
- Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage, Hannover 1994.
- BOOGAARD, H.L.; DIEPEN, C.A. VAN; RÖTTER, R.P.; CABRERA, J.M.C.A; LAAR, H.H. VAN 1998: WOFOST 7.1: User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Centre 1.5. Wageningen, DLO Winand Staring Centre. Technical Document 52.
- BOUMA, J.; BREGT, A.K. (eds.) 1989: Land qualities in space and time. Proceedings of a symposium organized by the International Society of Soil Science (ISSS), Wageningen, the Netherlands, 22-26 August 1988. Pudoc 1989.
- BOUMAN, B.A.M.; KEULEN, H. VAN, LAAR, H.H. VAN, RABBINGE, R. 1996: The 'School of de Wit' Crop Growth Simulation Models: A Pedigree and Historical Overview. *Agricultural Systems* 52: s. 171-198.
- BREGT, A.K.; BULENS, J. 1998: Integrating GIS and process models for land resource planning. I: HEINEKE, H.J.; ECKELMANN, W.; THOMASSON, A.J.; JONES, R.J.A.; MONTANARELLA, L.; BUCKLEY, B. (eds.): *European Soil Bureau Research Report No.4: Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources.* EUR 17729 EN 546pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, s. 293-304.
- BRUAND, A.; DUVAL, O.; WÖSTEN, H.; LILLY, A. (eds.): The use of pedotransfer in soil hydrology research in Europe. *European Soil Bureau Research Reports No.3*; EUR 17307 EN 211pp. (1997). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- BURROUGH, P.A. 1989: Modelling land qualities in space and time: the role of geographical information systems. I: BOUMA, J.; BREGT, A.K. (eds.) 1989: Land qualities in space and time. Proceedings of a symposium organized by the International Society of Soil Science (ISSS), Wageningen, the Netherlands, 22-26 August 1988. Pudoc 1989, s. 45-59.
- DRIESSEN, P.M. 1986: The water balance of the soil. I: KEULEN, H. VAN; WOLF, J. (eds.) 1986: *Modelling of agricultural production: weather, soils and crops.* Pudoc Wageningen, s. 76-109.
- FOSSBAKK, S. 2000: Jordtypeguide region 11 og 42. NIJOS-dokument 6/2000.
- GENUCHTEN, M.TH. VAN 1980: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science of America Journal* 44, s. 892-898.

- GENUCHTEN, M.TH. VAN; KAVEH, F.; RUSSELL, W.B.; YATES, S.R. 1989: Direct and indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. I: BOUMA, J.; BREGT, A.K. (eds.) 1989: Land qualities in space and time. Proceedings of a symposium organized by the International Society of Soil Science (ISSS), Wageningen, the Netherlands, 22-26 August 1988, s. 61-72.
- GENUCHTEN, M.TH. VAN; LEIJ, F.J.; YATES, S.R. 1991: The RETC Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA. United States Environmental Protection Agency, document EPA/600/2-91/065.
- GOOT, E. VAN DER 1997: Technical description of interpolation and processing of meteorological data in CGMS. JRC/SAI internal report.
- GOOT, E. VAN DER 1998: Data requirements and preparation for CGMS. JRC/SAI internal report.
- GRØNLUND, A.; BJØRDAL, I. 2000: Verdsetjing av innmark. Bruk av avlingsdata for korn kopla til jordsmonnkart. NIJOS-rapport nr. 16/2000.
- GRØNLUND, A.; BJØRDAL, I. 2001: Verdsetjing av innmark. Bruk av avlingsdata for korn kopla til jordsmonnkart. NIJOS-rapport 13/01.
- HEJE, K.K.: Håndbok for jordbruket 1997. Redigert av Svein Skøien. Landbruksforlaget, Oslo, 1996.
- HEJE, K.K.: Håndbok for jordbruket 1998. Redigert av Magnhild Strand. Landbruksforlaget, Oslo, 1997.
- HEJE, K.K.: Håndbok for jordbruket 2000. Redigert av Karstein Brøndbo. Landbruksforlaget Oslo, 1999.
- KUNTZE, H.; ROESCHMANN, G.; SCHWERDTFEGER, G. 1994: Bodenkunde. 5. Aufl., Stuttgart, Ulmer.
- LANEN, H.A.J. VAN; DIEPEN, C.A. VAN; REINDS, G.J.; KONING, G.H.J. DE; BULENS, J.D.; BREGT, A.K. 1992: Physical Land Evaluation Methods and GIS to Explore the Crop Growth Potential and its Effects Within the European Communities; Agricultural Systems 39 (1992), s. 307-328.
- LANDBRUKSDEPARTEMENTET, 2001: Stortingsproposisjon for budsjetterterminen 2002. Det Kongelige Landbruksdepartement, s. 172
- NEMES, A.; WÖSTEN, J.H.M.; LILLY, A.; OUDE VOSHAAR, J.H. 1999: Evaluation of different procedures to interpolate particle-size distributions to achieve compatibility within soil databases. GEODERMA, Vol. 90, Nr. 3-4, s. 169-185.
- ØVERBØ, E. 2000: Jordsmonnkartlegging, Feltinstruks 2000. NIJOS dokument nr. 5/00.
- PENNING DE VRIES, F.W.T.; JANSEN, D.M.; BERGE, H.F.M. TEN; BAKEMA, A. 1989: Simulation of ecophysical processes of growth in several annual crops. Simulation Monographs 29, Wageningen, s. 136.
- PUSCHMANN, O.; HOFSTEN, J.; ELGERSMA, A. 1999: Norske landbrukslandskap – en inndeling i 10 regioner. Ås. NIJOS-rapport 13/1999.
- RAFOSS, T.; WIT, H. DE, 2002: Grunnlag for verdsetting av innmark. NIJOS rapport 03/02

- RILEY, H. 1996: Estimation of physical properties of cultivated soils in southeast Norway from readily available soil information. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences, Supplement No 25 1996*, 51pp., Ås.
- SAVIN, I.YU.; OVECHKIN, S.V.; ALEKSANDROVA, E.V. 1997: The WOFOST Simulation Model of Crop Growth and Its Application for the Analysis of Land Resources. *Eurasian Soil Science, Vol. 30, No. 7, 1997*, s. 758-765.
- SCHUH, W.M.; BAUDER, J.W. 1986: Effect of soil properties on hydraulic conductivity-moisture relationships. *Soil Science of America Journal 50*, s. 848-855.
- SKJELVÅG, A.O.; KUCHAR, L. 1993: Improved calculation of normal yields of cereals. *Ås*, s. 11-12, 23-24.
- STATISTISK SENTRALBYRÅ 2001: www.ssb.no
- SUPIT, I.: <http://www.iwan-supit.cistron.nl/~iwan-supit/contents/start.htm>
- TIETJE, O.; TAPKENHINRICHS, M. 1993: Evaluation of pedo-transfer functions. *Soil Science of America Journal 57*, s. 1088-1095.
- TVEITO, O.E.; FØRLAND, E.; DAHLSTRÖM, B. et al. (eds.) 1997: Nordic precipitation maps. DNMI Rapport 22/97 klima, 22 s.
- TVEITO, O.E.; FØRLAND, E.; HEINO, R. et al. (eds.) 2000: Nordic temperature maps. DNMI Rapport 9/00 klima, 54 s.
- VELDKAMP, A.; KOK, K.; KONING, G.H.J. DE; SCHOORL, J.M.; SONNEVELD, M.P.W.; VERBURG, P.H. 2001: Multi-scale system approaches in agronomic research at the landscape level. *Soil and Tillage Research 58*: 129 – 140.
- VERECKEN, H.; MAES, J.; ORSHOVEN, J. VAN; FEYEN, J. 1989: Deriving Pedotransfer Functions of Soil Hydraulic Properties. I: BOUMA, J.; BREGT, A.K. (eds.) 1989: Land qualities in space and time. Proceedings of a symposium organized by the International Society of Soil Science (ISSS), Wageningen, the Netherlands, 22-26 August 1988, s. 121-124.
- VOSSEN, P.; RIJKS, D. 1995: Early crop yield assessment of the EU countries: the system implemented by the Joint Research Centre; Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- WERKGROEP DOS 2001: Een proloog; Wat is en wil de werkgroep Duurzame Ontwikkeling en Systeem Innovatie (DOS). Alterra, Wageningen, 24 s.
- WOLF, J. 1986: Reclamation. I: KEULEN, H. VAN; WOLF, J. (eds.) 1986: Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Pudoc Wageningen, s. 309-326.
- WOLF, J.; BERKHOUT, J.A.A.; DIEPEN, C.A. VAN; IMMERZEEL, C.H. VAN 1989: A study on the limitations to maize production in Zambia using simulation models and a geographic information system. I: BOUMA, J.; BREGT, A.K. (eds.) 1989: Land qualities in space and time. Proceedings of a symposium organized by the International Society of Soil Science (ISSS), Wageningen, the Netherlands, 22-26 August 1988. Pudoc 1989, s. 209-212.
- WÖSTEN, J.H.M.; GENUCHTEN, M.TH. VAN 1988: Using texture and other soil properties to predict the unsaturated soil hydraulic functions. *Soil Science of America Journal 52*, s. 1762-1770.
- WÖSTEN, J.H.M.; LILLY, A.; NEMES, A.; LE BAS, C. 1999: Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *GEODERMA 90*, Nr. 3-4, s. 169-185.

WÖSTEN, J.H.M.; LILLY, A.; NEMES, A; LE BAS, C. 1998: Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and in land use planning. DLO Winand Staring Centre, Report 157, Wageningen, The Netherlands.

ÅSSVEEN, M.; Abrahamsen, U. 1999: Varmesum for sorter og arter av korn. Grønn forskning 2/99, s. 55 – 59.

8. Vedlegg

Bakerst i dette heftet ligger følgende kart i en lomme:

Nr.	Område	Tema	Målestokk
1	Sør-Østlandet (hele studieområde)	Egnethet for sent bygg	1:850 000
2	Romerike og Vestfold	Egnethet for sent bygg	1:400 000
3	Sør-Østlandet	Egnethet for bygg, unntatt tørre år	1:850 000
4	Romerike og Vestfold	Egnethet for tidlig bygg	1:400 000
5	Romerike og Vestfold	Egnethet for bygg, med tørre år	1:400 000

Tabell 11: Oversikt over vedlagte kart

