

# Grunnlag for Verdsetting av Innmark

## Bruk av plante-, klima- og jorddata ved verdsetting av innmark

Heleen de Wit, Trond Rafoss, Arnold Arnoldussen, Arne O. Skjelvåg, Mauritz Åssveen, Eivind Solbakken og Mikal Klaveness

Jordskifteretten



NIJOS-rapport 4-04

# Grunnlag for Verdsetting av Innmark

## Bruk av plante-, klima- og jorddata ved verdsetting av innmark

Heleen de Wit, Trond Rafoss, Arnold Arnoldussen, Arne O. Skjelvåg, Mauritz Åssveen, Eivind Solbakken og Mikal Klaveness

**Jordskifteretten**



NIJOS-rapport 4-04  
Februar 2004  
ISBN 82 – 7462 – 319 - 4

<b>Tittel:</b>	<b>GRUNNLAG FOR VERDSETTING AV INNMARK</b> Bruk av plante-, klima- og jorddata ved verdsetting av innmark		<b>NIJOS nummer:</b> <b>4-04</b>
<b>Forfatter:</b>	Heleen de Wit, Trond Rafoss, Arnold Arnoldussen, Arne O. Skjelvåg, Mauritz Åssveen, Eivind Solbakken og Mikal Klaveness		<b>ISBN nummer:</b> <b>82-7464 –319-4</b>
<b>Oppdragsgiver:</b>	Jordskifteretten		<b>Dato:</b> <b>09.02.04</b>
<b>Fagområde:</b>	Agroøkologi		<b>Sidetall:</b> 38
<b>Utdrag:</b> Potensiell planteproduksjon er avhengig av jord- og værfaktorer. Jordskifteretten vil bruke disse data som grunnlag for verdsetting av jordbruksarealer. Basert på eksisterende data om planteproduksjon, vær og jordsmonn ble sammenhengen statistisk testet for korn, potet og eng. For korn og potet ble det utviklet modeller som kan bli brukbare i verdsettingssammenheng.			
<b>Abstract:</b> Potential plant production is depended on soil and weather factors. In land consolidation data on potential plant production are needed as a basis in the validation process for agricultural properties. Based on existing data on weather, soil and plant production the relation between these factors was statistical tested for cereals, potatoes and meadows. For cereals and potatoes possible relevant models for land validation were developed.			
<b>Andre NIJOS publikasjoner fra prosjektet:</b> Rafoss,T & de Wit, H, 2002: Grunnlag for Verdsetting av Innmark. En rapport fra NIJOS og Planteforsk på oppdrag fra Jordskifteretten. NIJOS rapport 03/02, 2002, pp. 57			
<b>Emneord:</b> Verdsetting av innmark	<b>Keywords:</b> Validation of Agricultural Areas	<b>Ansvarlig underskrift:</b>  <b>Arne Stensvand (sign)</b> <b>(Planteforsk)</b>  <b>Nils Karbø (sign)</b> <b>NIJOS</b>	<b>Pris kr.:</b> 180,-
<b>Utgiver: NIJOS</b> Norsk institutt for jord- og skogkartlegging Postboks 115, 1430 Ås Tlf.: 64949700 Faks: 64949786 e-mail: nijos@nijos.no			

## Forord

Dette prosjektet ble gjennomført på oppdrag fra Jordskifteretten og er en fortsettelse av et tidligere prosjekt som ble avsluttet i januar 2002. Nåværende prosjektet startet 1. juni 2002 og ble avsluttet i januar 2004.

Prosjektet ble gjennomført av en gruppe bestående av fagpersoner som dekket følgende disipliner: klima/vær, plantedyrkning, jordsmonn og statistisk dataanalyse. Deltakende institutter var *Planteforsk*: Mauritz Åssveen, Trond Rafoss og Are Aastveit; *Institutt for plante- og miljøvitenskap ved NLH*: Arne O. Skjelvåg; *Jordskifteretten*: Mikal Klaveness; *Norsk Institutt for Jord- og Skogkartlegging (NIJOS)*: Heleen de Wit, Eivind Solbakken og Arnold Arnoldussen. En styringsgruppe bestående av *Planteforsk*: Øystein Simonsen, senere Arne Stensvand og *NIJOS*: Nils Karbø og Arnold Arnoldussen, hadde tilsyn med prosjektet.

Prosjektets resultater skal brukes til utvikling av kartprodukter som fremstiller potensielt avlingsnivå for korn, potet og engvekster i jordsmonnkartlagte arealer på Østlandet og i Trøndelag. Målet for arbeidet som presenteres i denne rapporten har vært å bygge modeller som tallfester hvordan avlingsnivå avhenger av jord og klima, og å vise eksempler på kart for potensielt avlingsnivå basert på disse modellene.

Prosjektet benyttet allerede eksisterende data fra Planteforsk og NIJOS. Data for vær, planteavlinger og jord ble sammenstilt i en database, men en omfattende omformatering og gjennomgang var nødvendig for å få data tilgjengelige til prosjektets formål.

Resultatet av dataanalysen vil bidra til et mer objektivt grunnlag for verdsetting av innmark. I tillegg har prosjektet levert en database som forhåpentlig vil ha nytteverdi også i andre sammenhenger.

Ås, februar 2004

Arnold Arnoldussen (sign.)  
Prosjektleder

## Sammendrag og konklusjon

På oppdrag fra Jordskifteretten, har Norsk Institutt for Jord og Skogkartlegging (NIJOS), Planteforsk og Norges Landbrukshøgskole (NLH) undersøkt om statistiske modeller for potensielt avlingsnivå i korn, gras og potet kan benyttes til å bedre grunnlaget for verdsetting av innmark. Denne rapporten presenterer statistiske modeller som beskriver avling hos potet, korn og gras i forhold til jordegenskaper og vær. Modellene er basert på eksisterende feltforsøksdata utført i regi av Planteforsk, jordsmonnsdata fra NIJOS og værdata fra Planteforsk.

Forsøksmaterialet for korn inkluderer forsøk i tidlig og sein bygg, havre, og vårhvete fra perioden 1990-2001 på det sentrale Østlandet og i Trøndelag. Forsøkene i potet er i seine og halvseine sorter og er utført fra perioden 1992-2001, med betydelig større geografisk spredning enn for kornforsøkene. Forsøkene i eng var fler-årige og ble utført i timotei, engsvingel og rødkløver ved Planteforsks forskingsstasjoner med stor geografisk spredning. Både silt-, sand-, leir- og torvjord var representert i datamaterialet, men fordelingen av forsøk over jordart var ubalansert. Værdata for hver vekstsesong og forsøk ble hentet fra nærmeste værstasjon.

Tester av enkle hypoteser på datamaterialet for hvert vekstslag bekreftet at jordsmonnegenskaper som jorddybde, dreneringsgrad, tekstur hver for seg, og i samspill med værvariabler som temperatur, nedbør og fordamping påvirker avlingsnivået. Dette var mest tydelig for potet, og minst tydelig for eng. Både hvilke jord- og vær-variable som hadde effekt på avling, og deres forklaringsgrad, varierte for vekstslagene. Modellene forklarte opptil 41% (korn), 58% (potet) og 48% (eng). Jordvariablene bidro opptil 10% (korn), 43% (potet) og 14% (eng) til forklaring av avlingsmengde. Interaksjonen mellom jordvariabler og værvariabler bidro også til forklaring av avlingsmengde hos korn og potet. Forklaringsgraden og betydningen av jordvariablene hos korn økte imidlertid når kornartene ble analysert hver for seg, i stedet for samlet i en modell.

I modellene for kornart og potet har jordvariablene betydelig forklaringssevne og effekter fra værforhold blir skilt fra jordeffekter. Disse modellene vurderes som nyttige for Jordskifteretten i verdsettingssammenheng. Modellen for engvekster beskriver først og fremst at engavling er avhengig av klima, og i liten grad av jordegenskaper, og vil derfor være lite nyttig for verdsetting av innmark.

Selv om datamaterialet er forholdsvis stort, blir datagrunnlaget for estimering av statistiske modeller likevel tynt på enkelte områder når observasjonene fordeles utover hele variasjonsbredden av jordsmonn. Resultatet av dette er at usikkerheten i estimatene for avlingsnivå blir større for de teksturgrupper som er dårlig representert. En annen kilde til usikkerhet var til dels mangelfulle opplysninger om vanning.

Konklusjonen er at prosjektet har bidratt til å kvantifisere hvordan planteavling avhenger av klima og jordegenskaper. Vi forventer at resultatene fra prosjektet, herunder den underliggende database, programkode og de estimerte regresjonsligninger, kan brukes som et utgangspunkt til å produsere kart over potensiell avling for korn og potet. Det må utvises forsiktighet med ekstrapolering at modellene utover det variasjonsområdet de er estimert

over. Ved bruk i et kartverktøy må det legges opp til et samarbeid med Jordskifteretten om validering av en prototype av et slikt nytt verktøy.

I et avsluttende prosjekt bør det utvikles automatiserte produksjonslinjer for temakart over potensiell planteproduksjon for korn og potet. Her inngår data om både vær, planter og jord. De produserte kartene bør kvalitetssikres av de forskjellige brukerne av produktet.

Databasen og utviklete linjer representerer en verdi i selv og kan brukes i andre sammenhenger enn verdsetting. Det bør vurderes hvordan databasen og relaterte produkter kan opprettholdes, vedlikeholdes og utvides når bedre eller mer komplette data om vær, planter og jord blir tilgjengelig. Dette blir i hovedsak et oppdrag for Planteforsk og NIJOS.

## **Innhold**

<b>FORORD</b> .....	<b>4</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>5</b>
<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>8</b>
<b>2. PROSJEKTMÅL</b> .....	<b>8</b>
<b>3. MATERIALE OG METODER</b> .....	<b>9</b>
3.1 Plantedata.....	9
3.2 Jorddata.....	11
3.3 Værdata.....	12
3.4 Database, vannhusholdningsmodell og dataanalyse.....	14
3.4.1 Databasestruktur.....	14
3.4.2 Vannhusholdningsmodell.....	15
3.4.3 Dataanalyse.....	16
<b>4. RESULTATER</b> .....	<b>18</b>
4.1. Korn.....	18
4.1.1 Datagrunnlag for korn.....	18
4.1.2 Analyse av kornavlinger.....	18
4.2. Potet.....	21
4.2.1 Datagrunnlag for potet.....	21
4.2.2 Analyse potetavlinger.....	21
4.3. Eng.....	23
4.3.1 Datagrunnlag for eng.....	23
4.3.2 Analyse engavlinger.....	23
<b>5. KART FOR KORN- OG POTETDYR KING I ULLENSAKER</b> .....	<b>25</b>
<b>6. DISKUSJON</b> .....	<b>27</b>
<b>7. NYTTE FOR JORDSKIFTERETTEN</b> .....	<b>29</b>
<b>8. VEIEN FRAMOVER</b> .....	<b>31</b>
<b>9. LITTERATUR</b> .....	<b>32</b>
<b>VEDLEGG</b> .....	<b>33</b>

## 1. Innledning

Kunnskap om nivået av potensiell planteproduksjon kan brukes som basis i verdsetting av innmark. Aktuelle avlingsmengder i et bestemt år er avhengige av jordegenskaper, været og et samspill mellom jord og vær. Produksjonspotensialet på teignivå kan avledes fra en tidsserie med observert avling, dyrket under optimale dyrkingsforhold, under ulike værforhold. Slike observasjoner gir informasjon om gjennomsnittlig avlingsnivå, og om stabilitet i avlingsnivå over tid.

Sammenhenger mellom klima, jord og planteproduksjon er komplekse. Ikke bare på grunn av vekslende værforhold, men også på grunn av driftsfaktorer kan oppnådd avling vise seg å være svært forskjellig fra modellsimulert avling. Modellene som benyttes, skal fange opp de grunnleggende klimatiske og hydrologiske faktorene. Jordskifteretten arbeider på svært detaljert nivå. Det betyr at simulerte og jordsmonnkorrigerte avlingstall må ses på som et av flere grunnlag i en verdsettingsprosess.

Dette prosjektet er en oppfølger til et tidligere prosjekt ”Grunnlag for verdsetting av innmark” (Rafoss og de Wit, 2002). I forhold til foregående prosjekt er datagrunnlaget utvidet (både i antall år, geografisk spredning og antall planteforsøk), kvalitetssikret (fordamping, vanning, jordsmonninformasjon), og det er utviklet analysemetoder slik at de enkelt kan gjentas ettersom nye data blir tilgjengelige.

## 2. Prosjekt mål

Prosjektets resultater skal brukes til utvikling av kartprodukter for potensielt avlingsnivå i korn, potet og engvekster i jordsmonnkartlagte arealer på Østlandet og i Trøndelag. Det konkrete målet for det nåværende prosjektet er å lage modeller som tallfester sammenhengene mellom jord, klima og plantevekst og vise eksempler på kart over potensielt avlingsnivå.

Delmål er:

- utvidelse av datagrunnlaget for å oppnå en størst mulig bredde av jordsmonn-egenskaper, samt en lengst mulig tidsserie for å fange opp årlige variasjoner i vær, og samspillet mellom vær og jord
- kvalitetssikring
- sammenkobling av dataene
- analyse av datagrunnlaget for å
  - o teste om datamaterialet bekrefter kjent kunnskap om faktorer som påvirker plantevekst
  - o komme fram til stabile statistiske relasjoner som beskriver plantevekst i forhold til vær- og jordvariabler



### 3. Materiale og metoder

#### 3.1 Plantedata

Plantedata ble hentet fra verdiprøvingen av plantesorter. Verdiprøvingen gjennomføres etter forskrifter om prøving og godkjenning av plantesorter, gitt av Landbruksdepartementet, og etter nærmere retningslinjer for verdiprøving av plantesorter, fastsatt av Statens Landbrukstilsyn (Anonym, 2000). Formålet med verdiprøvingen er å klarlegge om en sort har en dyrkings- og bruksverdi som er tilfredsstillende for å kunne godkjenne sorten for offisiell norsk sortliste. I dette prosjektet er det brukt plantedata fra vekstgruppene korn, eng og potet. I tillegg til verdiprøvingforsøkene er det brukt data fra en forsøksserie med korn der artene bygg, havre og vårhvete prøves i samme forsøksfelt.

Alle forsøk blir behandlet så optimalt som mulig med hensyn til jordarbeiding, gjødsling og ugrassprøyting, dvs. at disse behandlingene gjennomføres i tråd med resten av skiftet der forsøket ligger. Forsøkene blir imidlertid verken soppsprøytet eller behandlet med vekstregulerende midler.

Prøveflatene ble vannet etter behov. Bufferarealet rundt flatene fikk samme vannmengde, men ikke alle forsøkssteder har utbygd vanningsanlegg. Informasjon om vanning er tatt med i databasen, såfremt den var tilgjengelig.

Alle forsøk som er brukt i dette arbeidet er planlagt og styrt fra Planteforsk selv om den praktiske gjennomføringen skjer både ved Planteforskstasjoner, forsøksgårder og i flere forsøksringer. Resultatene har derfor gjennomgått en felles kvalitetssikring slik at det skal bety lite hvor forsøkene er gjennomført. Ujevne forsøk med stor forsøksfeil er ikke tatt med i det endelige datagrunnlaget.

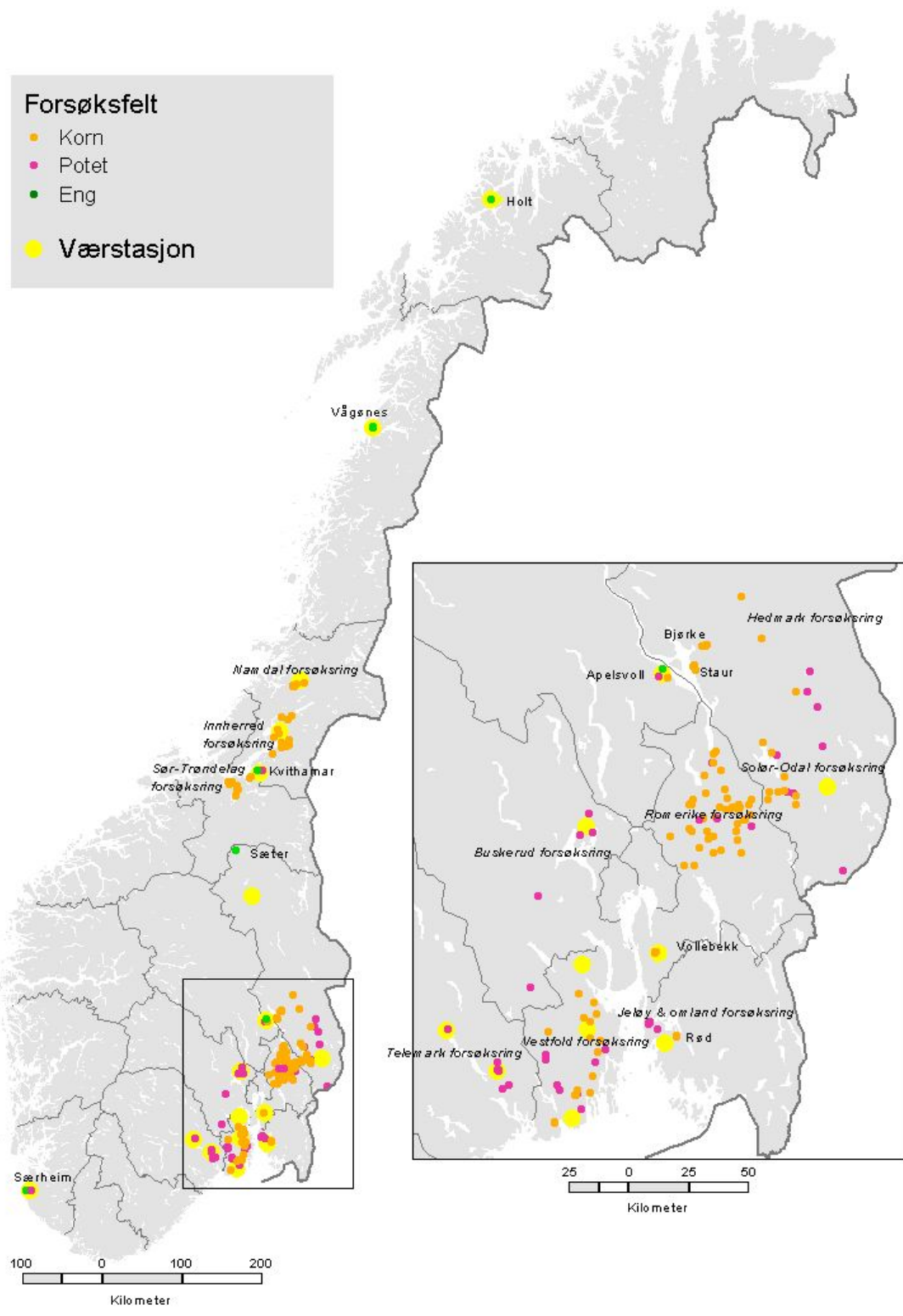
For korn gjennomføres det sortsforsøk både på Østlandet og i Midt-Norge (Trøndelag). Forsøk i artene tidlig og seint bygg, tidlig og sein havre og vårhvete fra Østlandet inngår i datamaterialet, mens forsøk fra Midt-Norge inkluderer kun tidlig og seint bygg, og tidlig havre. Materialet for korn består av i alt 547 sortsforsøk fra perioden 1990-2001. Til sammen 3332 sortsobservasjoner er fordelt på 37 kornsorter, hvorav 22 kornsorter går igjen i forsøkene. I over 100 forsøk var det manglende eller usikre jordsmonn-, vær- eller vanningsdata, og derav ble antall forsøk i dataanalysen redusert.

For poteter er det 830 sortsobservasjoner i 97 forsøk på Østlandet, Sør-Vestlandet, Midt-Norge og Nord-Norge for halvseine/seine sorter fra perioden 1990-2001 inkludert i datamaterialet. Observasjonene var fordelt over 48 sorter, hvorav 10 sorter går igjen i forsøkene. I over 20 forsøk var det manglende eller usikre jordsmonn-, vær- eller vanningsdata. Dette førte til et redusert antall forsøk i dataanalysen.

For eng blir artene som hovedregel prøvd i fem distrikter: Østlandet, Fjellbygdene i Sør-Norge, Vestlandet, Midt-Norge og Nord-Norge. Materialet består av 130 forsøk i timotei, engsvingel og rødkløver i perioden 1990-2001. Forsøkene går over tre år, og det betyr at det er opptil 3 registrerte sumavlinger (sum av to eller tre slåtter) per forsøk. Til sammen 4190 sortsobservasjoner er fordelt på 130 sorter, hvorav 23 målesorter går igjen. I over 40 forsøk var det manglende eller usikre jordsmonn- eller værdata. Dette førte til et redusert antall forsøk i dataanalysen.

Figur 1 viser geografisk fordeling av både forsøksfelt og værstasjon.

For en fullstendig oversikt over antall forsøk per vekstslag og forsøksted henvises til Vedlegg 1. Vedlegg 2 viser variablene som inngår i plantematerialet.



**Figur 1** Kart over forsøksfelt og værstasjoner.

## 3.2 Jorddata

I jordsmonnkartlegginga ved NIJOS skaffes det informasjon om jordegenskaper som har direkte eller indirekte betydning for plantevekst. Viktige faktorer som bestemmer jordas egenskaper er geologisk opphav, klima, topografi, biologisk aktivitet, menneskelige påvirkninger og tid. Kartleggingsmetodikken ved NIJOS bygger på den amerikanske ”Soil Survey Manual” (Soil Survey Staff 1993), men er tilpasset nasjonale behov.

Jordsmonndatabasen ved NIJOS omfatter i dag vel fire millioner dekar dyrka mark, eller nær 40% av det totale jordbruksarealet i Norge.

Ved jordsmonnkartleggingen er det den øverste meteren av løsmassene som beskrives. De grunnleggende kartleggingsenhetene er jordserie og jordtype. Jordserien reflekterer jordsmonnutvikling opphavsmateriale, tekstur og lagdeling i øverste meter, humusinnhold, naturlig dreneringsgrad og jorddybde hvis denne er grunnere enn 100 cm. På dyrka mark er teksturen i øverste sjikt (ploglaget) viktig både når det gjelder agronomiske egenskaper og risiko for erosjon og avrenning. Jordsmonn som tilhører en bestemt serie, inndeles videre i jordtyper på grunnlag av teksturforskjeller i plogsjiktet.

Alle forsøksfeltene ble kartfestet, digitalisert og koblet mot jordsmonndatabasen for å finne hvilke jordtyper forsøkene var utført på. Størsteparten av forsøkene lå på jordsmonnkartlagt areal, men enkelte forsøk utført i forsøksringer havnet utenfor, og måtte utelates fra dataanalysen. Figur 2 viser forsøksfelt på Østlandet i forhold til geologisk avsetning.

Jordtypene som inngikk i datagrunnlaget ble slått sammen til teksturgrupper basert både på tekstur i ploglaget og i underliggende sjikt samt rotsperredybde (f.eks. dybde til fjell eller andre sperrelag). Torvjord, planert jord og jord med matjordlag over 50 cm tykkelse (antropogen matjord) ble plassert i en egen kategori (Tabell 1).

Tabell 1 Teksturgrupper med tilhørende dominerende geologisk avsetningstyper.

<b>Teksturgruppe</b>	<b>Dominerende avsetningstyper</b>
Sand	Elv, strand, breelv
Sand på leire	Strand over hav
Siltig sand	Strand, elv, morene, breelv, skred
Sandig silt	Flom, elv, strand, hav, innsjø, morene
Silt	Flom, elv
Silt på leire	Flom over hav, strand over hav
Lettleire	Morene, forvitring
Grunn lettleire	Morene
Siltig lettleire	Hav, strand, innsjø, flom
Mellomleire	Hav, innsjø, skred
Stiv leire	Hav
Planert jord	Hav, strand
Antropogen matjord	Strand, hav
Torv	Torv

Ved jordsmonnkartleggingen er minstestørrelsen på kartfigurene vanligvis fire dekar. Jordtyper som har mindre utbredelse enn dette vil normalt ikke komme ut som egne figurer på jordsmonnkartet. Ofte vil slike jordtyper inngå i et kompleks der en kartfigur kan bestå av inntil tre jordtyper. Jordtypen som står først i signaturen, vil være den som dominerer arealmessig innenfor figuren. I en kartfigur tåles det også et visst innslag av "fremmede jordtyper" uten at det vil framgå av kartsignaturen. I slike tilfeller er det ikke mulig å avgjøre sikkert hvilken jordtype forsøket faktisk er utført på. Dette er en systematisk kilde til usikkerhet i jorddataene. For de forsøkene som falt innenfor komplekser med to eller tre jordtyper, foretok vi en kvalitativ vurdering av om jordtypene var 'like nok' med hensyn på egenskaper for plantevekst. For noen forsøk vurderte vi at usikkerheten med hensyn på plassering av forsøket ikke syntes å ha betydning for dataanalysen, mens andre forsøk, med usikker jordsmonninformasjon, kunne ekskluderes fra datagrunnlaget.

Vedlegg 3 inneholder en oversikt over antall forsøk per vekstslag og teksturgruppe. Vedlegg 4 viser jordsmonnvariablene som inngår i databasen.

### 3.3 Værdata

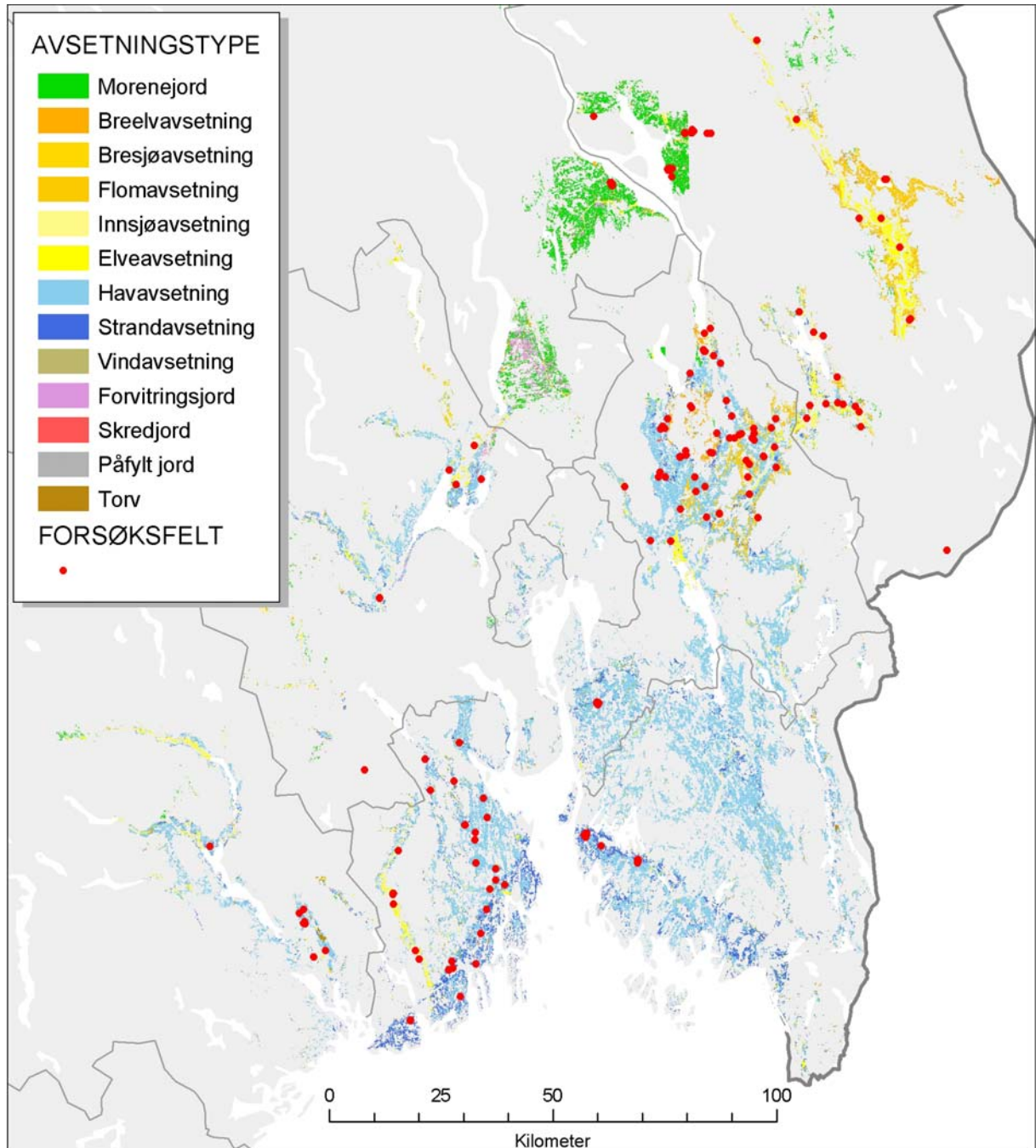
Til analyse av værets innvirkning på avlinger ble det brukt værdata fra værstasjonen nærmest forsøksstedet (vedlegg 5 viser forsøkssteder og nærmeste værstasjoner). I tilfeller der nærmeste værstasjon ikke var utstyrt for registrering av de aktuelle parametere av temperatur, stråling, nedbør og vind ble det brukt data fra nærmeste stasjon med tilfredstillende utrustning. Værstasjoner fra både Meteorologisk Institutt og Planteforsk ble vurdert, men kun data fra Planteforsk-stasjoner ble brukt. Dette fordi Meteorologisk institutt sine stasjoner lå nærmest kun for ett av forsøksområdene, og for å få et mest mulig konsistent datatilfang.

Ulikhetene i utrustning av værstasjonene hadde også betydning for hvilke metoder som kunne benyttes for utregning av beregnede parametere som potensiell fordamping. I dette arbeidet ble det valgt å gjøre slike beregninger så likt som mulig for de forskjellige stasjonene, i stedet for å velge den best mulige metoden for hver enkelt stasjon. For enkelte år og noen stasjoner manglet det data for en eller flere dager. I så fall ble de manglende dataene beregnet som middeltall fra dagen før og etter, eller som middel fra flere år tilbake dersom det var mange dager som manglet.

Potensiell fordamping i døgnet ble beregnet ved Penmans (1956) formel på grunnlag av netto innstråling, temperatur, luftfuktighet og vind. Til beregning av netto innstråling ble forholdet mellom målt globalstråling og teoretisk klarværstråling benyttet som et mål på skydekke. Skydekket benyttes igjen til å beregne hvor mye av den langbølgete utstrålinga som blir reflektert tilbake fra atmosfæren som langbølget innstråling.

For å kunne bruke værdata fra vekstsesongen som forklaringsvariable i en statistisk modell for planteavling må det benyttes en eller annen form for aggregater av værdata. Til dette formål ble det vurdert som mest hensiktsmessig å aggregere værdata i form av summer og midler over utviklingsfaser for vekstene. Dette gir også større mulighet til å finne en biologisk bakgrunn for eventuelle kvantitative sammenhenger mellom værforhold og avling, enn om man hadde basert aggregeringen på faste dato-intervaller. Siden utviklingen hos planter hovedsakelig er styrt av temperatur, kan det defineres tommelfingerregler for når skiftene

mellom de ulike fenologiske fasene inntreffer når observasjoner av disse mangler. For øvrig var overgangene mellom vekstfaser observert for en stor del av forsøkene i kornmaterialet. Et resultat av denne typen aggregeringsmetode vil være at temperatursum over temperaturstyrte vekstfaser blir omtrent lik for alle forsøk og dermed ubrukelig som forklaringsvariabel. Middelerdien for temperatur vil imidlertid ikke påvirkes av denne aggregeringsmetoden, og vil dermed kunne brukes som forklaringsvariabel for temperaturnivået gjennom vekstfasen.

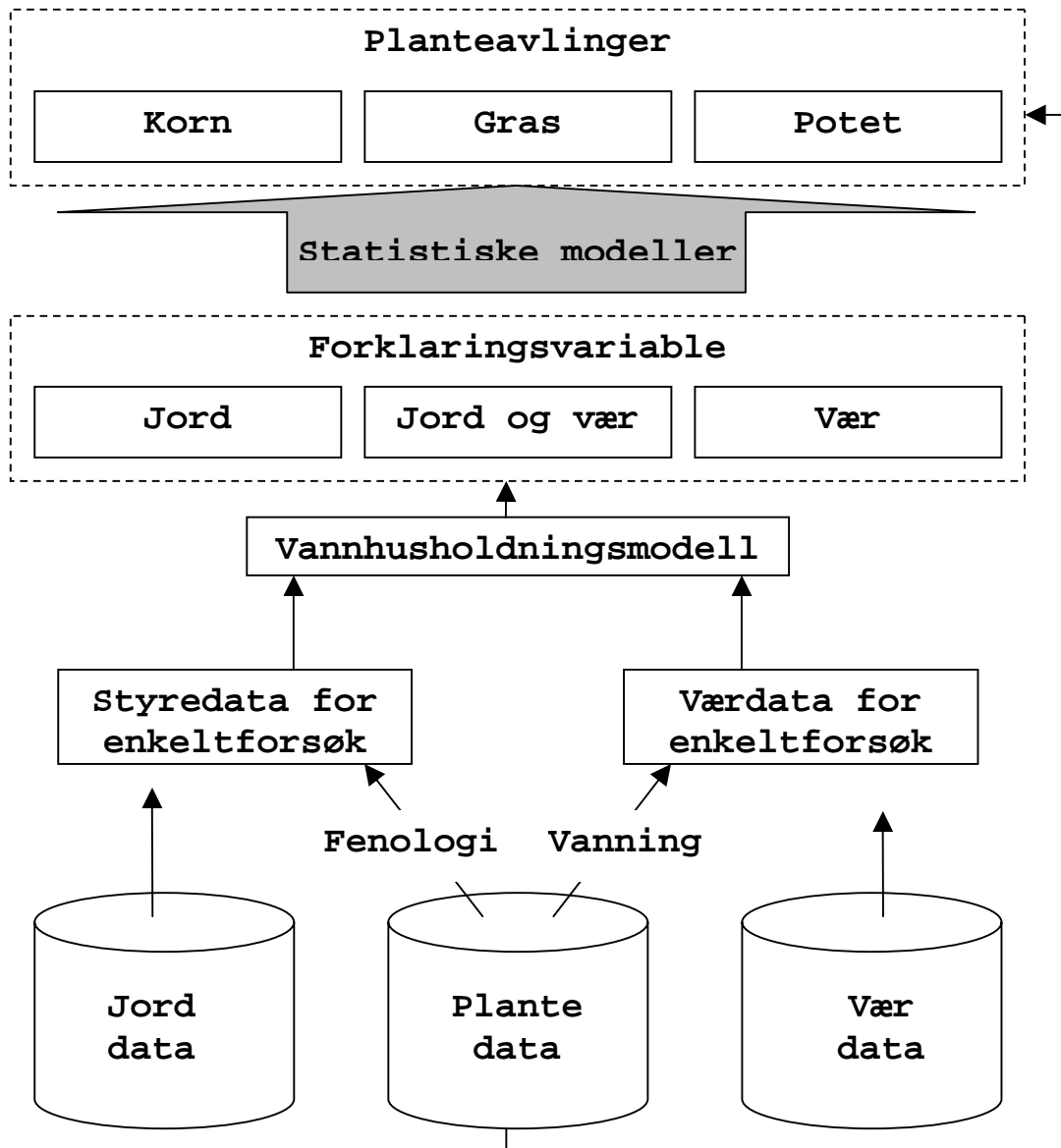


Figur 2 Forsøksfelt og geologisk avsetningstype.

## 3.4 Database, vannhusholdningsmodell og dataanalyse

### 3.4.1 Databasestruktur

Plante-, vær- og jorddata ble samlet i en felles database. Dette ble gjort først og fremst for å rasjonalisere beregnings- og analyseprosessen, samtidig som det gav bedre oversikt og muligheter for å kvalitetssikre data. Hovedstrukturen er bygget opp rundt tabeller med henholdsvis plante-, jord- og værinformasjon (Figur 3). Basert på disse er det laget to såkalte utsnitt (views) i databasen som inneholder inngangsvariabler til vannhusholdningsmodellen.



Figur 3 Databasestruktur.

Utgangsvariabler fra vannhusholdningsmodellen (beskrevet nedenfor) er både sammensatte variabler beregnet på grunnlag av jord- og værdata, og rene værvariabler. Vannhusholdningsmodellen opererer på døgnbasis, mens utgangsvariablene som benyttes i

den statistiske analysen består av aggregerte verdier for en eller flere fenologiske faser for det enkelte forsøk.

Som tidligere beskrevet, er målet for prosjektet å fremskaffe tallfestede sammenhenger for hvordan planteavlinger avhenger av jord- og værforhold. I den statistiske modelltilnærminga (regresjon) som benyttes betraktes derfor planteavling som en avhengig variabel, avhengig av jord- og vær-variable. Jord- og vær-variablene betraktes på sin side som uavhengige variable.

Siden alle beregningsrutiner er knyttet opp mot databasen, kan disse forholdsvis enkelt kjøres på nytt når det kommer inn nye data. Eksempelvis vil de resultater som presenteres i denne rapporten kunne oppdateres ettersom nye data blir tilgjengelige.

### 3.4.2 Vannhusholdningsmodell

En vannhusholdningsmodell er brukt for å tallfeste vannforsyning i forsøka og for å koble vær og vannforsyning med fenologisk utvikling i korn, gras og potet. Informasjon om vanning, dersom tilgjengelig, er tatt med. Modellen bygger på en delmodell av Ritchie (1972), som tallfester fordamping fra jord og planter hver for seg. Denne delmodellen er påbygd av Skjelvåg (1981a) og Baadshaug (upublisert) til et vannregnskap for jord med rotsjikt av gitt dybde. Maksimal rottdybde kan velges.

Inngangsdataene i modellen er jord-, vær- og biologiske data, oppsummert i Vedlegg 6. Jorddata er jorddybde, sjiktykkelse, plantetilgjengelig vann og fordamping fra jordoverflaten under vannmettede og inntørka forhold. Værdata er daglige verdier for temperatur, potensiell fordamping, innstråling og nedbør. Biologiske data er maksimal bladarealindeks, og dato for start eller slutt av fenologiske utviklingsfaser (Tabell 2, 3 og 4). For eng er inndelingen i vekstfaser noe enklere enn for korn og potet.

Tabell 2 Beskrivelse av fenologiske faser hos korn.

Fase	Fase nr	Definert ved
Såing til spiring	1	Temperatursum regnet fra sådag
Spiring til begynnende stråstrekking	2	Temperatursum regnet fra sådag
Beg. stråstrekking til skyting	3	Dato for aksskyting (observert)
Skyting til gulmodning	4	Gulmodningsdato (observert)
Gulmodning til høsting	5	Høstedato (observert)

Tabell 3 Beskrivelse av fenologiske faser hos potet.

Fase	Fase nr	Definert ved
Setting til spiring	1	Temperatursum regnet fra settedag
Spiring til begynnende knollsetting	2	Temperatursum regnet fra settedag
Beg. knolls. til fullt utviklet bladverk	3	Temperatursum regnet fra settedag
Fullt utv. bladverk - risdreping	4	Observert eller en uke før høsting
Risdreping til høsting	5	Høstedato (observert)

Tabell 4 Beskrivelse av vekstfaser hos eng.

Fase	Fase nr	Definert ved
Vekststart til 23. juni	1	Vekststart når 7-dagers middel for $T > 5^{\circ}\text{C}$
Midten av vekstsesongen	2	23. juni til 31. juli
Slutten av vekstsesongen	3	August og september

Potensiell evapotranspirasjon er det daglige, maksimale vannforbruket fra jord og planter til sammen. Det aktuelle vannforbruket er avhengig av mengden av plantetilgjengelig vann, som bestemmes av jordas kapasitet til å holde på vann, og nedbør. Nedbør legges til i vannlagret ved at jordsjiktene fylles opp til metning i rekkefølge ovenfra. Vann i fuktspenningsområdet fra metning til feltkapasitet holdes i vannlagret i inntil tre dager før det får renne av fra rotsjiktet. Det regnes ikke med overflateavrenning, og kapillær tilførsel fra dybder under rotsjiktet er heller ikke tatt med.

Fordamping fra jord beregnes som funksjon av potensiell evapotranspirasjon, bladarealindeks, maksimal akkumulert fordamping under vannmettede forhold og stigningskoeffisient for akkumulert fordamping over tid fra jorda som er blitt tørr i overflaten. Potensiell evapotranspirasjon fra planter beregnes som differansen mellom potensiell evapotranspirasjon og fordamping fra jord.

Så lenge det finnes lett tilgjengelig vann innenfor aktuell rottdybde, som økes gradvis fra vekststart til et gitt utviklingsstadium og deretter holdes konstant, vil aktuell evapotranspirasjon ( $E_a$ ) fra planter være lik den potensielle ( $E_p$ ), og  $E_a/E_p = 1,0$ . Når vanninnholdet i rotsjiktet er tungt tilgjengelig for plantene, det vil si at vannet regnes å være bundet tilsvarende fuktspenning mellom pF 3,0 og 4,2 (visnepunktet), blir  $E_a/E_p$  satt til forholdet: (gjenværende, tungt tilgjengelig vannmengde)/(maksimal, tungt tilgjengelig vannmengde). Vannforsyningen til plantene karakteriseres på denne måten ved  $E_a/E_p$ , som varierer fra 1,0 til 0,0, og hvor lavere tallverdier betyr sterkere tørke. Vannhusholdningsmodellen beregner denne indeksen for hver dag og hver enkelt utviklingsfase hos plantene fra vekststart til høsting.

Utgangsvariablene fra vannhusholdningsmodellen er oppsummert i Vedlegg 7. Værvariablene er for eksempel temperatur, nedbør, potensiell fordamping og globalstråling, enten summert over en eller flere fenologiske faser eller som middelvei for en bestemt fenologisk fase.  $E_a/E_p$  blir beregnet som middelvei over en fenologisk periode.

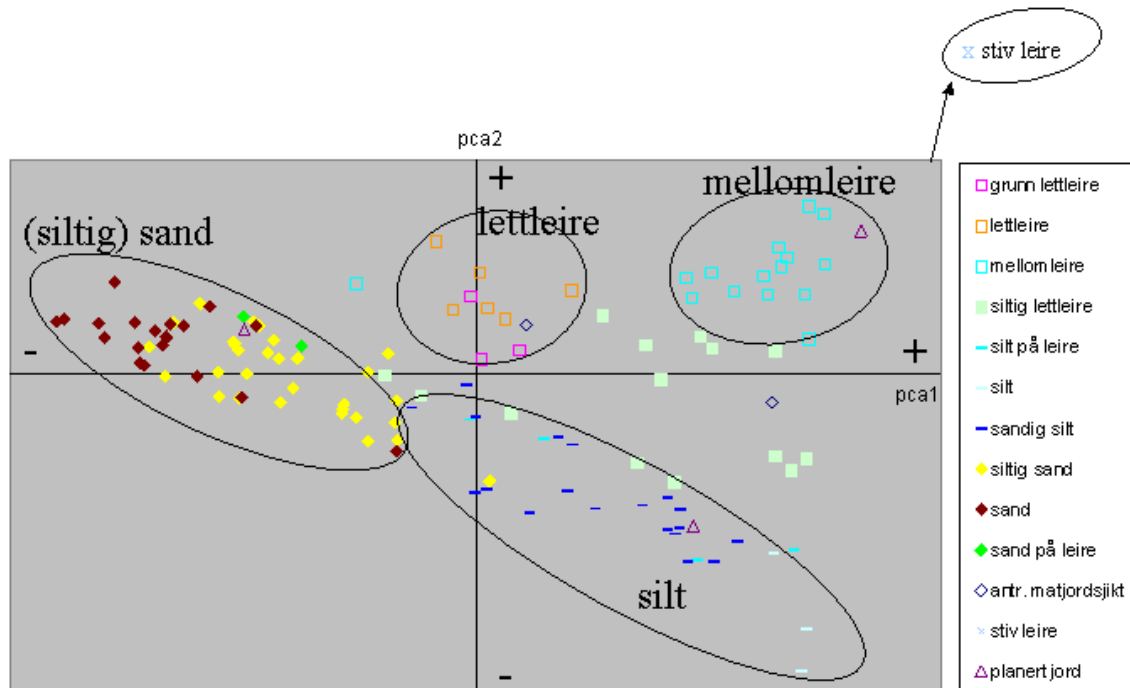
### 3.4.3 Dataanalyse

Gjennomsnittlig avlingsmengde per forsøk, og variasjon i denne størrelsen, er det dataanalysen søker å forklare på grunnlag av det som er tilgjengelig av registreringer over værforhold i vekstsesongen og jordegenskaper på forsøksstedet. I analysen er det også benyttet beregnede forklaringsvariabler som er sammensatt av både jord- og værfaktorer, eksempelvis  $E_a/E_p$  (se avsnitt 3.4.2).

For at statistiske modeller skal være stabile må forklaringsvariablene være mest mulig uavhengig av hverandre. Ved statistisk modellering av forklaringsvariabler som samvarierer kan man typisk oppleve at to forklaringsvariabler som hver for seg virker positivt på responsvariabelen avling, kan komme ut som henholdsvis negativ og positiv for avling dersom de er med i modellen samtidig.



Et annet eksempel på et tilsvarende problem er ved modellering av jordfaktoren tekstur. Tekstur er definert som prosentvis innhold av sand, silt og leire i et jordsjikt. Problemet her er at summen av sand, silt og leire er 100%. Dersom man benytter sandinnhold som forklaringsvariabel og senere legger til siltinnhold så er disse to variablene ikke uavhengige av hverandre. Dette er grunnen til at to såkalte prinsipalkomponenter ble konstruert. I disse inngår informasjon om tekstur i A og B sjiktet. I en prinsipalkomponentanalyse blir informasjonen om flere variabler (i dette tilfellet 6) komprimert til et mindre antall uavhengige variabler (i dette tilfellet 2) hvor likevel mesteparten av informasjonen i variablene er beholdt (i dette tilfellet 95%). Figur 4 viser hvordan teksturgruppene plasserer seg i forhold til prinsipalkomponent 1 og 2. For torvjord er det ikke gjort registreringer av sand-, silt- og leirinnhold og denne inngår følgelig ikke i prinsipalkomponentanalysen.



Figur 4 Teksturgruppens gruppering på prinsipalkomponenter basert på silt-, sand- og leirinnhold i A og B sjikt. Tekstur  $pca_1$  på X-aksen, tekstur  $pca_2$  på Y-aksen. Stiv leire faller utenfor skalaen i denne figuren, og er i en gruppe for seg selv. Hvert punkt står for en jordtype, som er videre aggregert til teksturgruppe (se Tabell 1).

Et annet problem som kan oppstå når man skal lage generelle statistisk modeller er knyttet til kategoriske forklaringsvariable. Dersom man benytter kategoriske forklaringsvariable i modellen, så estimeres det i prinsippet en modell for hver kategori av den kategoriske forklaringsvariabelen. Problemet her er at dersom ikke alle klassene av den kategoriske variabelen er tilstrekkelig representert i datautvalget, vil man stå uten en modell for disse klassene. Dette problemet kan i noen tilfeller løses ved å konvertere den kategoriske variabelen til en kvantitativ variabel. Naturlig dreneringsgrad i jord er et eksempel på en slik variabel. I datamaterialet var denne opprinnelig gjengitt med bokstavkoder på en skala fra A til S, som henholdsvis refererer fra svært godt drenert til svært dårlig drenert jord. Naturlig dreneringsgrad ble konvertert fra bokstavkoder til heltall (fra -3 til 3), som vist i Vedlegg 8.

## 4. Resultater

### 4.1. Korn

#### 4.1.1 Datagrunnlag for korn

Grunnlaget for analysen i korn er data fra 369 forsøk fra perioden 1990-2001. Gjennomsnittsavlinga for hvert forsøksfelt er kun basert på målesorter, det vil si sorter som går igjen i forsøksseriene. Det totale antallet forsøk er 547, men manglende jordsmonn- og værdata ga en reduksjon til 440 forsøk, hvorav 71 hadde usikker jordsmonninformasjon. Usikker jordsmonninformasjon betyr at forsøkene var koblet til et kartpolygon med opptil 3 jordtyper, uten at en visste eksakt hvilken av jordtypene forsøket ble utført på, og at disse jordtypene var forskjellige med hensyn på egenskaper av betydning for avling. Cirka en fjerdedel av forsøkene ble vannet, mens for 5% av forsøkene var det ikke kjent om vanning hadde foregått. Det viste seg at fordamping beregnet for Bjørke og Apelsvoll fra 1990-1994 hadde et systematisk avvik fra fordamping for andre år og steder, som skyldtes en feil i grunnlagsdataene. Dette problemet ble ikke løst før rapporten gikk i trykk, og derfor ble forsøk fra Bjørke og Apelsvoll fra 1990-1994 ekskludert fra dataanalysen.

#### 4.1.2 Analyse av kornavliger

Nedbørsunderskudd, stråling og temperatur, summert over hele vekstsesongen, sammen med teksturgruppe og kornslag forklarte opp mot 50% av variasjonen i kornavling. Dette tyder på at dataene bekrefter noen enkle hypoteser om vær og jordegenskaper som påvirker avlingsmengde, og at avlingsnivået til kornslaga er ulikt.

*Tabell 5 Statistiske modeller for sammenheng mellom avlingsmengde hos tre kornslag og jord- og værvariabler. Her vises kun regresjonskoeffisientens fortegn, forklaringsgrad ( $R^2$ ) og signifikansnivå (\*,  $p < 0.05$ ; \*\*,  $p < 0.01$ , \*\*\*,  $p < 0.001$ ) for hvert ledd i modellen. Forsøk med ukjent vanningsinformasjon og på torvjord utelatt.*

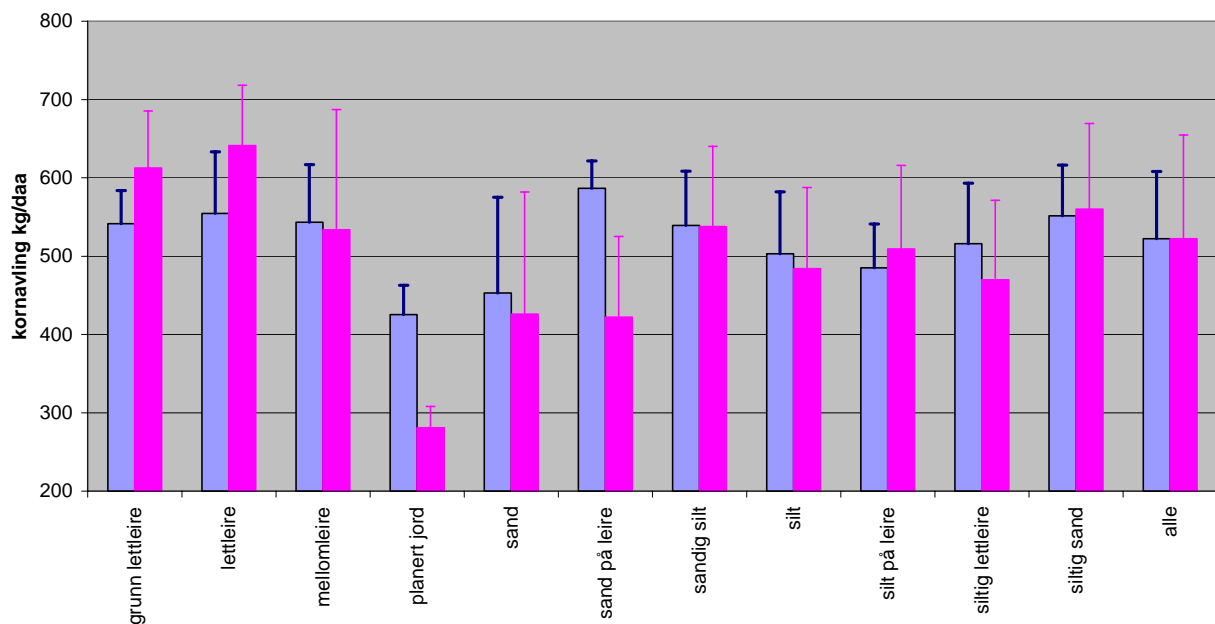
		havre n= 113	bygg n= 122	hvete n= 69
Forklaringsvariabel	fortegn			
Jorddybde	positivt	0.03*	0.03*	0.01
Dreneringsgrad <sup>2</sup>	negativt	0.02	0.03**	0.10*
Jorddybde x sum nedbør1_5 <sup>1</sup>	negativt	0.02	0.06**	0.02
Sum stråling 1_5 <sup>1</sup>	positivt	0.05**	0.06**	0.03
Tørkeindikator meaep_3 <sup>2</sup>	positivt	0.05**	0.06***	0.12**
Interaksjon MTD3 <sup>3</sup> * USK3 <sup>4</sup>	positivt	0.22***	0.16***	0.08*
Hele modellen		$R^2 = 0.41***$	$R^2 = 0.39***$	$R^2 = 0.35***$

<sup>1</sup>Summert over vekstfase 1 til 5, fra såing til høsting. <sup>2</sup>Middelverdi av Ea/Ep i vekstfase 3 (stråstrekking). <sup>3</sup>Middelverdi av temperatur i vekstfase 3 (stråstrekking). <sup>4</sup>Nedbør minus potensiell fordamping i vekstfase 3 (stråstrekking).

En og samme modell for havre, bygg og hvete forklarte 35-41% av variasjonen i avlingsmengde (Tabell 5). Hos alle kornarter var avlingsmengde positivt korrelert med jorddybde, stråling og tørkeindikatoren Meaep i vekstfase 3 (stråstrekking – skyting). Avlingsmengde hos bygg og hvete var negativt korrelert med naturlig dreneringsgrad opphøyd i annen potens. Det vil si at både godt og dårlig naturlig drenert jord påvirker

avlinga negativt. Interaksjonen mellom middeltemperatur og nedbørsoverskudd i vekstfase 3 fikk positivt fortegn, og det vil si at høy temperatur og nok nedbør til sammen har en positiv effekt på avling. Disse relasjonene er i samsvar med kjent kunnskap om faktorer som påvirker avling hos korn.

Figur 5 viser at det var betydelig forskjell mellom teksturgrupper i registrert avling. Predikert avling viste mindre forskjell mellom teksturgrupper. Planert jord og sand på leire ble sterkt overvurdert i prediksjonsmodellen, mens lettleire ble undervurdert. Forskjellen mellom predikert og målt på forsøksnivå varierte fra -250 til 290 kg daa<sup>-1</sup>, og var spesielt stor i tørkeår, på Romerike og i Vestfold (data ikke vist).



Figur 5 Gjennomsnittet i predikert (blå) og registrert (rosa) kornavling i kg/daa per teksturgruppe. Predikert avling basert på modellene vist i Tabell 5. Variasjonsbredden er antydnet ved standardavviket.

Variablene i modellene i Tabell 5 bidro i forskjellig grad til forklaringen av avling hos havre, bygg og hvete. Værvariablene bidro mest, og kun jordvariablene naturlig dreneringsgrad og jorddybde forklarte noe av variasjonen i avlingsmengde. Tekstur kom ikke med som forklaringsvariabel. For å teste om forklaringsgraden kunne økes og betydningen av jordsmonnet for avling kunne komme klarere fram ble dataene analysert separat for bygg og havre. Effekten av mindre geografisk spredning ble testet ved å analysere kun forsøk på Østlandet. I tillegg ble forsøk uten vanning analysert for seg.

Separat tilpassede modeller for havre (Tabell 6) og bygg (Tabell 7) økte forklaringsgraden sammenlignet med modellene vist i Tabell 5. Stråling forsvant fra modellene, mens tekstur kom inn. Når kun forsøk uten vanning ble analysert, økte forklaringsgraden ytterligere. Jorddybde og interaksjonen mellom jorddybde og nedbør forklarte da mer av variasjonen i avlingsmengde. Figur 4 i Avsnitt 3.5.3 viser at tekstur\_pca2 skiller spesielt mellom silt og leire, og det negative fortegnet kan tolkes slik at teksturgrupper som skårer høyt på pca\_2, økende leirinnhold, gir mindre avling enn siltjord i begge kornslaga. I havre hadde interaksjonen mellom tekstur\_pca2 og nedbørsunderskudd positivt fortegn, og det kan tolkes slik at en tørkeperiode setter ned havreavlinga mindre på siltjord enn på leirjord. En negativ

virksomhet av høy temperatur i spirefasen (MTD\_1) kan sannsynligvis tilskrives dårlig spiring og etablering av plantebestanden.

Tabell 6 Statistiske modeller for sammenheng mellom avlingsmengde hos havre og ulike jord- og værvariabler basert på data fra Østlandet. Her vises kun regresjonskoeffisientens fortegn, forklaringsgrad ( $R^2$ ) og signifikansnivå (\*,  $p < 0.05$ ; \*\*,  $p < 0.01$ , \*\*\*,  $p < 0.001$ ) for hvert ledd i modellen.

Forklaringsvariabel	Fortegn	havre, n= 109	havre n= 84 kun uvannet
		Variasjon forklart	
Tekstur (pca_2) <sup>1</sup>	negativt	0.04**	0.05*
Jorddybde	positivt	0.03*	0.12***
Dreneringsgrad ^2	negativt	0.02	0.04*
Tekstur (pca_2) <sup>1</sup> x nedbørsunderskudd1_5 <sup>2</sup>	positivt	0.04**	0.03*
Interaksjon MTD_3 <sup>3</sup> * USK3 <sup>4</sup>	positivt	0.24***	0.20***
MTD_1 <sup>3</sup>	negativt	0.03*	0.08**
Hele modellen		$R^2 = 0.41$ ***	$R^2 = 0.52$ ***

<sup>1</sup>For en forklaring av tekstur pca2 se avsnitt 3.4.3. <sup>2</sup>Summert over vekstfase 1 til 5, såing - høsting <sup>3</sup>Middelverdi av temperatur i vekstfase 3 (stråstrekking), resp. vekstfase 1 (såing-spining). <sup>4</sup>Nedbør minus fordamping i vekstfase 3 (stråstrekking).

Tabell 7 Statistiske modeller for sammenheng mellom avlingsmengde hos bygg og ulike jord- og værvariabler basert på data fra Østlandet. Her vises kun regresjonskoeffisientens fortegn, forklaringsgrad ( $R^2$ ) og signifikansnivå (\*,  $p < 0.05$ ; \*\*,  $p < 0.01$ , \*\*\*,  $p < 0.001$ ) for hvert ledd i modellen.

Forklaringsvariabel	Fortegn	bygg n= 109	bygg n= 84 kun uvannet
		Variasjon forklart	
Tekstur (pca_2) <sup>1</sup>	negativt	0.03*	0.03*
Jorddybde	positivt	0.06***	0.07**
Jorddybde x nedbørsunderskudd1_5 <sup>2</sup>	positivt	0.09***	0.11***
Jorddybde x sum nedbør1_5 <sup>2</sup>	negativt	0.11***	0.12***
Interaksjon MTD3 <sup>3</sup> * USK3 <sup>4</sup>	positivt	0.05**	0.04*
Tørkeindikator Meaep_3 <sup>5</sup>	positivt	0.11***	0.12***
MTD_1 <sup>3</sup>	negativt	0.05**	0.06**
Hele modellen		$R^2 = 0.50$ ***	$R^2 = 0.55$ ***

<sup>1</sup>For en forklaring av tekstur pca2 se avsnitt 3.4.3. <sup>2</sup>Summert over vekstfase 1 til 5, såing - høsting <sup>3</sup>Middelverdi av temperatur i vekstfase 3 (stråstrekking), resp. vekstfase 1 (såing-spining). <sup>4</sup>Nedbør minus fordamping i vekstfase 3 (stråstrekking). <sup>5</sup>Middelverdi av Ea/Ep i vekstfase 3 (stråstrekking), se avsnitt 3.4.2.

Modellene ovenfor viser at flere jord- og værvariabler har effekter på avlingsmengde i havre og bygg, men de viser også at modellene er følsomme for hvilke forsøk som blir tatt med i analysen.

En forklaringsgrad på om lag 50% er ganske vanlig i undersøkelser som dette. I feltforsøk over flere år og på flere steder i Aust-Agder forklarte heller kompliserte modeller med stråling, temperatur, vannhusholdning og fenologisk utviklingstrinn om lag 60% av

variasjonen i frø- og risavling hos åkerbønne (Skjelvåg 1981b). Da var værobservasjonene gjort på hvert enkelt forsøksfelt.

Jord og klima står i et nært samspill gjennom vannhusholdningen, men også med jordtemperaturen. Over en årrekke og over steder med forskjellige jordsmonn betyr det at samspilleffektene kan bli vel så sterke som virkningene av vær og jord hver for seg.

I denne analysen er det mange faktorer som bidrar til den uforklarte delen av avlingsvariasjonen. Det er til dels stor geografisk avstand mellom det enkelte forsøksfelt og nærmeste værstasjon, og regional representativitet kan i enkelttilfeller være dårlig. I tillegg kommer også reint lokalklimatisk variasjon. Eksempelvis kan sommernedbøren oppvise svært stor lokal variasjon.

Det er mindre grunn til å anta at værepisoder som er så kortvarige at de maskeres av summering eller midling over fenologiske faser, har utstrakt betydning for den uforklarte delen av avlingsvariasjonen. Slike episoder må knyttes til ekstremt vær som frost, ekstrem hete og slagregn med etterfølgende legde, og slike tilfeller er helst sjeldne i tallmaterialet.

I planteproduksjonen er driftslederfunksjonen viktig for avlinga. Under ellers tilsynelatende like vilkår kan avlingsutbyttet i kornproduksjonen variere mye. Til denne funksjonen hører blant annet kalktilstanden i jorda og tilhørende mikronæringstilstand, pakkeskader med følger for fysiske mikrobiologiske forhold i jorda og virkninger av hvilken forgrøde det har vært på forsøksfeltet. For øvrig er forsøka ikke sprøyta mot sjukdommer, og det kan være stor variasjon i sjukdomsangrep mellom år og forsøkssteder.

## **4.2. Potet**

### **4.2.1 Datagrunnlag for potet**

Grunnlaget for dataanalysen er 71 forsøk fra perioden 1992-2001. Gjennomsnittsavlinga per forsøk er, som for korn, kun basert på målsorter. Det totale antallet forsøk er 97, men for 22 av disse var jordsmonninformasjon manglende (17 forsøk) eller usikker (5 forsøk) og for 4 forsøk manglet det værddata. Av disse 71 forsøkene var over 50% vannet. I 16 forsøk var det vannet etter behov uten nærmere opplysninger om vanningsmengde eller tidspunkt for vanning. Det viste seg at fordamping beregnet for Bjørke og Apelsvoll fra 1992-1994 hadde et systematisk avvik fra fordamping for andre år og steder, som skyldtes en feil i grunnlagsdataene. Dette problemet ble ikke løst før rapporten gikk i trykk, og derfor ble forsøk fra Bjørke og Apelsvoll fra 1992-1994 ekskludert fra dataanalysen.

### **4.2.2 Analyse potetavlinger**

Temperatursum over hele vekstsesongen sammen med teksturgruppe, og interaksjon dem imellom, forklarte omlag 55% av variasjonen i potetavling. Nedbørsum var også en bra forklaringsvariabel, men ikke i kombinasjon med tekstur.

Hos potet var jorddybde og begge prinsipalkomponenter (pca) for tekstur positivt korrelert med avling (Tabell 8). Samspillet mellom tekstur\_pca1 og temperatursum i vekstfase 4 (fra fullt utviklet bladverk til risdreping) var negativt korrelert med avling, hvilket kan tolkes slik at høy temperatur på leirjord påvirker avling negativt. Nedbørsunderskudd var negativt korrelert med avlingsmengde, som ventet. Jordvariablene forklarte til sammen 43% av

variasjonen i avlingsmengde, mens været forklarte 8%. Interaksjonen mellom vær- og jordegenskaper forklarte 6%, mens 42% av variasjonen forble uforklart med denne modellen.

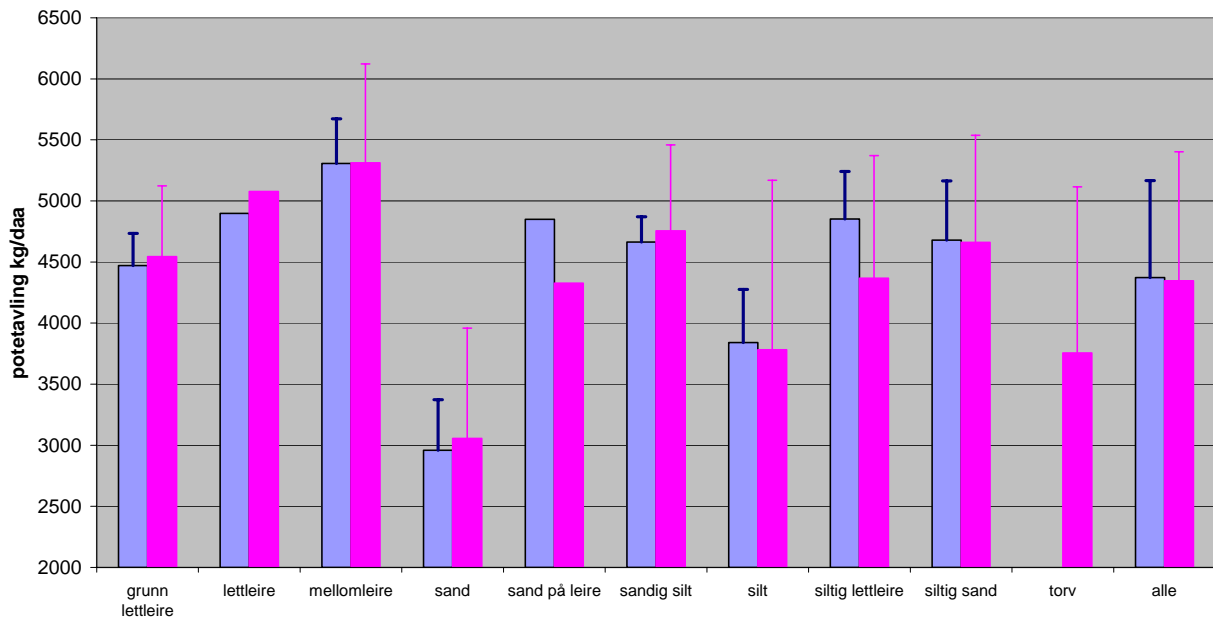
Tabell 8 Statistiske modeller for sammenheng mellom avlingsmengde hos potet og ulike jord- og værvariabler. Her vises kun regresjonskoeffisientens fortegn, forklaringsgrad ( $R^2$ ) og signifikansnivå (\*,  $p < 0.05$ ; \*\*,  $p < 0.01$ , \*\*\*,  $p < 0.001$ ) for hvert ledd i modellen.

Forklaringsvariabel	Fortegn	
Jorddybde	positivt	0.19***
Tekstur (pca_1) <sup>1</sup>	positivt	0.10**
Tekstur (pca_2) <sup>1</sup>	positivt	0.14**
Nedbørsunderskudd1_5 <sup>2</sup>	negativt	0.08*
Tekstur (pca_1) <sup>1</sup> x temperatursum_4 <sup>3</sup>	negativt	0.06*
Hele modellen		$R^2 = 0.58***$

<sup>1</sup>For en forklaring av tekstur pca1 og pca2 se avsnitt 3.4.3. <sup>2</sup>Nedbør minus fordamping summert over vekstfase 1 til 5 (setting – høsting). <sup>3</sup>Temperatursum over vekstfase 4 (fullt bladverk - risdreping)

Figur 6 viser predikert og målt kornavling per teksturgruppe basert på modellen beskrevet ovenfor. Målt gjennomsnittlig avling mellom teksturgrupper varierte fra 3000 kg/daa på sand til 5300 kg/daa på mellomleire. Siltig lettleire ble noe overvurdert i prediksjonsmodellen. Avviket mellom predikert og målt på forsøksnivå varierte fra -2400 til 1400 kg daa<sup>-1</sup>, og var spesielt stort i tørkeåret 1997, og på Romerike (data ikke vist).

Det var kun tre potetforsøk på torvjord, på Holt, Romerike og Jeløy. Forsøkene viste både store avlinger og svært lave avlinger, og datagrunnlaget er for tynt til å dra konklusjoner om potensiell potetavlinga på torvjord.



Figur 6 Gjennomsnittet i predikert (blå) og registrert (rosa) potetavling per teksturgruppe. Prediksjoner med modellen vist i Tabell 8. Feiltfelt refererer til standardavvik. For lettleire og sand på leire  $n=1$ . Torv var ikke med i forklaringsmodellen.

## 4.3. Eng

### 4.3.1 Datagrunnlag for eng

I databasen er det 84 engforsøk fra perioden 1990-2001. Hvert forsøk går i 3 år, der det gjøres avlingsregistreringer i hvert av de tre engårene. Til sammen er det 208 avlingsobservasjoner fra disse 84 engforsøkene. Disse fordeler seg over artene engsvingel, timotei og rødkløver med henholdsvis 63, 78 og 67 avlingsobservasjoner. Forsøksresultatene for hvert engår er behandlet som uavhengige i dataanalysen. I hvert forsøk inngår det i gjennomsnitt 13 sorter, hvorav 4 målsorter. Dataanalysen er basert på et utvalg der kun målsortene inngår. Vanning av engforsøkene foregikk kun på Apelsvoll.

### 4.3.2 Analyse av engavlinger

Av artene engsvingel, timotei og rødkløver var det kun for sistnevnte at det kunne påvises en effekt av engår på avling. Rødkløver viste altså en signifikant nedgang i avlingsnivå med engår, hvilket betyr at engår må inngå som forklaringsvariabel i modellen som beskriver avlingsmengde for rødkløver.

For engsvingel bidro interaksjonen mellom profilttekstur og temperatursum over hele vekstsesongen signifikant til forklaringen av avlingsmengde. Når engår ble tatt med i modellen for rødkløver, bidro både profilttekstur, og interaksjonen mellom profilttekstur og temperatursum signifikant til forklaringen. For timotei bidro profilttekstur signifikant til forklaringen av avlingsmengde.

Tabell 9 Statistiske modeller for sammenheng mellom avlingsmengde hos engvekster og ulike jord- og værvARIABLER. Her vises kun regresjonskoeffisientens fortegn, forklaringsgrad ( $R^2$ ) og signifikansnivå (\*,  $p < 0.05$ ; \*\*,  $p < 0.01$ , \*\*\*,  $p < 0.001$ ) for hvert ledd i modellen.

Forklaringsvariabel	Fortegn	Rødkløver n= 64	Engsvingel n= 62	Timotei, n= 71
Engår (klassevariabel)	negativt	0.13***	0.01	0.02
Temperatursum_13 <sup>1</sup>	positivt	0.11***	0.20***	0.10***
Nedbørsum_13 <sup>1</sup>	positivt	0.02	0.01	0.05*
Middeltemperatur_2 <sup>2</sup>	negativt	0.07**	0.10**	0.12***
Tekstur_pca1 <sup>3</sup>	negativt	0.06**	0.03	0.04*
Tekstur_pca1 x nedbørsum13	positivt	0.04*	0.05	0.08**
Dreneringsgrad	positivt	0.04*	0.00	0.00
		$R^2 = 0.48***$	$R^2 = 0.40***$	$R^2 = 0.41***$

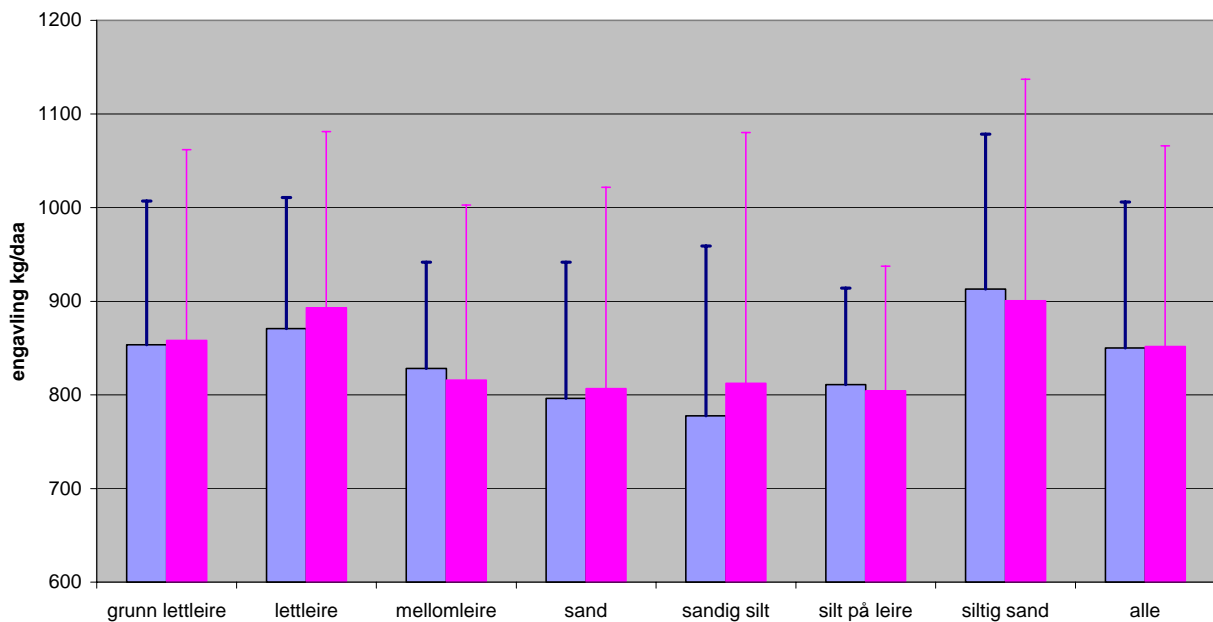
<sup>1</sup>Summert over vekstfase 1 til 3 (vekststart – 30. september). <sup>2</sup>Middeltemperatur over vekstfase 2 (23. juni – 31. juli) <sup>3</sup>For en forklaring av tekstur\_pca1 se avsnitt 3.4.3.

En og samme modell for rødkløver, engsvingel og timotei forklarte 40-48% av variasjonen i avlingsmengde (Tabell 9). Avlingsmengde var positivt korrelert med temperatur og nedbør summert over hele vekstsesongen mens en høy middeltemperatur i vekstfase 2, det vil si fra slutten av juni og ut juli, påvirket avlingen negativt.

Avlingen var negativt korrelert med tekstur\_pca1. Figur 4 i Avsnitt 3.4.3 viser at tekstur\_pca1 skiller spesielt sand fra mellomleire, og det betyr her at engavling på sand vil være høyere enn på mellomleire. Dette må sees i sammenheng med interaksjonen mellom nedbørsum og tekstur\_pca1, som er positiv. Altså vil økende nedbør på sand ha en negativ effekt på avling,

mens det motsatte skjer på mellomleire. Dette resultatet virker ulogisk, og er et utslag av at variablene er internt korrelerte. Det vil si at variablene påvirker hverandre, og at hovedeffekten ("sand er mer produktiv enn mellomleire") blir svekket av nedbør, slik at forskjellene mellom teksturgruppene minsker med økende nedbør. Figur 7 viser at avlingsnivået i sand og mellomleire var nokså likt. Værvariablene har større effekt på avlingsnivå enn jordvariablene for alle engvekster.

Den målte gjennomsnittsavling per teksturgruppe varierte mellom 800 og 900 kg/daa (Figur 7), og hadde en større variasjonsbredde per teksturgruppe enn den predikerte avlingen. Avviket mellom predikert og målt på forsøknivå varierte fra -440 til 310 kg daa<sup>-1</sup>. Det var ingen klare mønstre i fordeling av residualer over år eller sted (data ikke vist).



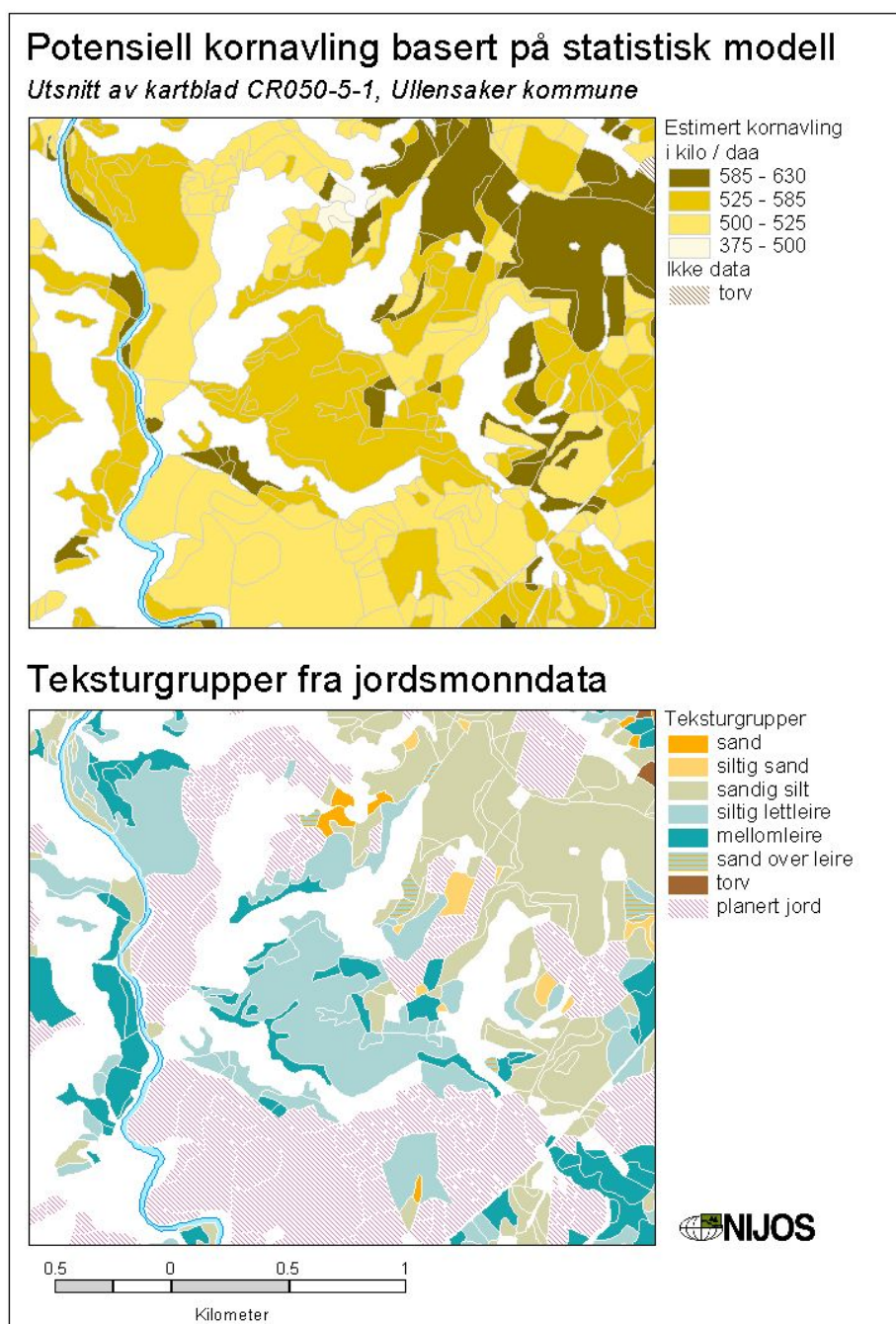
Figur 7 Gjennomsnittet i predikert (blå) og registrert (rosa) engavling per teksturgruppe under modellen vist i Tabell 9.  $R^2 = 0,50$ . Alle engvekster er med. Feiltfelt refererer til standardavvik.



## 5. Kart for korn- og potetdyrking i Ullensaker

De beste forklaringsmodellene for korn (her havre) (avsnitt 4.1) og potet (avsnitt 4.2) ble brukt til å lage kart for potensiell produksjon i Ullensaker (Figur 8 og 9). På kartet var det flere jordtyper som ikke var representert i databasen. En vurdering ble foretatt om disse jordtyper falt innenfor teksturgruppene i databasen. For potet var det planert jord som falt utenfor, mens for korn var det torv.

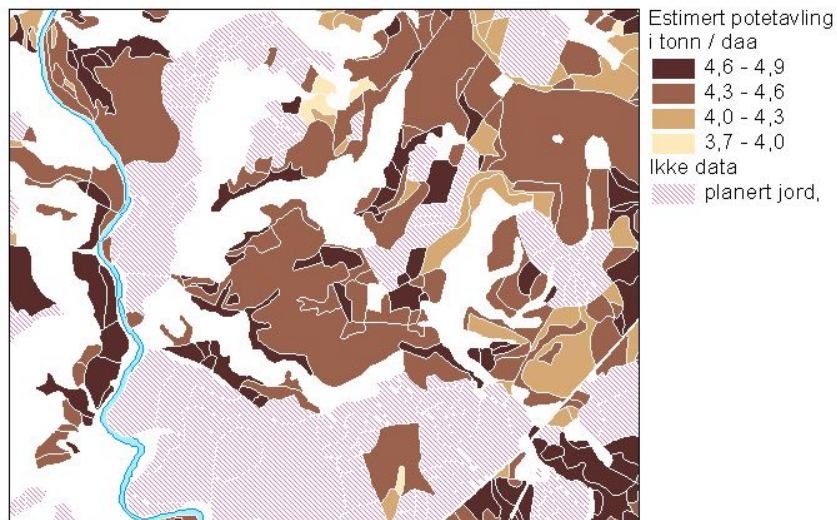
For alle jordtyper predikerte modellen korn- og potetavling for 1992-2001, med bruk av værdata (aggregert etter fenologiske faser) fra Solør-Odal.



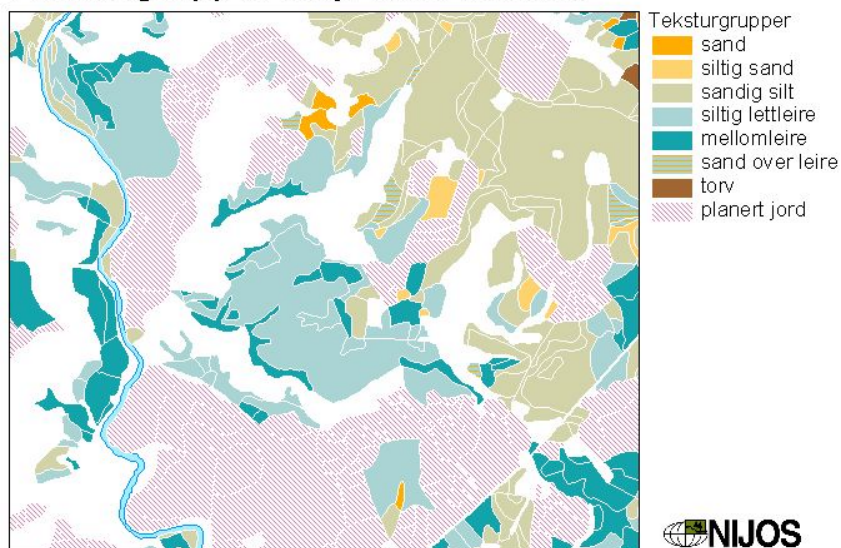
Figur 8 Potensiell kornavling (havre) og aggregerte teksturgrupper.

## Potensiell potetavling basert på statistisk modell

Utsnitt av kartblad CR050-5-1, Ullensaker kommune



## Teksturgrupper fra jordsmonndata



0,5 0 0,5 1  
Kilometer

NIJOS

Figur 9 Potensiell potetavling og aggregerte teksturgrupper.

For potet var det teksturgruppene mellomleire og siltig leitleire som var mest produktive, og teksturgruppen sand som var minst produktiv. For korn (havre) var teksturgruppen sandig silt mest produktiv, og planert jord minst produktiv.

Kartene viser potensielle avlinger. Faktorer som hellingsgrad, stein- og blokkinnhold i jordsmonnet og frekvens av fjellblotninger som er avgjørende for om et areal er egnet for dyrking av vekstene, inngår ikke som faktorer i modellene som ligger bak.

## 6. Diskusjon

Datagrunnlaget for analyse av avlingsnivå har en noe ulik karakter for de forskjellige vekstslagene når det gjelder jordegenskaper og værforhold. Forsøkene i eng er fordelt ganske jevnt over forskjellige klimasoner: Sør-Vestlandet, det sentrale Østlandet, Trøndelag, Nordland og Troms, mens kornforsøkene foregikk kun i Trøndelag og på Østlandet. Hovedandelen av potetforsøkene ble gjennomført på Østlandet.

For å kunne tallfeste betydningen av en variabel for avlingen, er det nødvendig at vi har tilstrekkelig med variasjon i variabelen. I tillegg er det viktig å være oppmerksom på at jordartene som er med i datamaterialet ikke inkluderer alle jordarter i Norge. For eksempel er stiv leire dårlig representert, og ekstrapolering av de statistiske modellene til avling på stiv leire vil derfor være svært usikker.

Tar vi for oss de ulike vekstslagene, så er det hos eng at vi finner minst variasjon i jordsmonnegenskaper og hos korn mest variasjon (se vedlegg 3). Siltjord og siltig lettleire er dårlig representert hos eng. Variasjonsbredden i plantetilgjengelig vann, en variabel som inneholder informasjon om tekstur, rotsperredybde og organisk materiale, er minst hos eng, nemlig 110 mm, og størst hos potet, nemlig 197 mm. Dette peker også mot at jordvariasjonen hos eng er relativt begrenset. Hos korn er alle teksturgrupper representert, men variasjonsbredden i plantetilgjengelig vann er mindre enn hos potet (data ikke vist). Det er viktig å merke seg at dataanalysen er foretatt per vekstslag innenfor vekstgruppe, altså separat for timotei, engsvingel og rødkløver hos eng, og for hvete, bygg og havre hos korn. Det var ingen forsøk i timotei på mellomleire og ingen forsøk på stiv leire for havre. Utvalget av jordsmonnegenskaper som modellene baserer seg på er derfor ulikt både på vekstslag- og arts-nivå. Dette kan ha betydning for hvordan jordsmonnegenskaper slår ut i modellene.

Variasjon i værvariablene, i form av temperatursum og nedbørsum over vekstperioden (fra såing-høsting for korn, setting – høsting for potet, fra vekststart ut september for eng) var størst for eng (data ikke vist). Dette skyldes at engforsøkene hadde en mye større geografisk spredning enn både potet og kornforsøkene.

Modellene basert på alle kornarter forklarte mellom 35% og 41% av variasjonen i avlingsmengde hos korn. Dersom man begrenset datautvalget til kun forsøk fra Østlandet uten vanning, økte forklaringsgraden til 50-55%. Værvariablene bidro med omlag 30% av den totale forklaringsgraden på 52% hos havre, mens 10% for bygg. Dette er i samsvar med velkjent kunnskap om at bygg tåler tørke og værvariasjoner bedre enn havre. Hos havre bidro tekstur som selvstendig forklaringsvariabel, og i samspill med nedbørsoverskudd i vekstfase 3, betydelig til forklaringen. Hos bygg var jorddybde den viktigste jordvariabelen. Dette illustrerer at kriterier for utvalg av data til statistiske modeller for avlingsmengde påvirker i høy grad hvor sterkt forklaringsvariablene slår ut, og hvor godt effekten av jordsmonn på avling kommer fram.

I potetmodellen bidro jordvariablene tekstur, dreneringsgrad og rotsperredyp med 43% av den totale forklaringsgraden på 58%. Dette er et godt resultat. Modellen ser ut til å være brukbar til å skille på jordegenskaper, slik at den vil være nyttig til verdsettingsformål. Ved anvendelse av modellen må man ta i betraktning datautvalget den er basert på og de

begrensninger som dette måtte medføre. Ikke alle klimaforhold og teksturgrupper er like godt representert. Eksempler på det er stiv leire og torvjord, og kombinasjonen av tørke og siltjord.

Gitt den store klimavariasjonen i engforsøkene, kommer variabler som beskriver denne variasjonen (temperatursum og nedbørsum for vekstsesongen) ut som sentrale elementer i eng-modellen. Modellene for timotei og engsvingel var temmelig like, og her bidro værvariablene 27-30% av den totale forklaringsgraden på cirka 40%. Jordvariabelen tekstur\_prinsipalkomponent 1 bidro til forklaringen bare 4%. Utfra modellene må vi konkludere at dreneringsgrad og jorddybde ser ut til å ha liten betydning for timotei- og engsvingelavling, men det er mulig at betydningen av disse blir overskygget av klima. For rødkløver var engår den viktigste forklaringsvariabelen, som antakeligvis er en effekt av overvintring og konkurrerende arter som kommer inn i påfølgende engår. Hos rødkløver kom betydningen av tekstur, jorddybde og dreneringsgrad tydeligere fram enn hos engsvingel og timotei, men likevel var disse variablene underlegne værvariablene i modellen. Modellene som er funnet for eng skiller altså i liten grad på jordegenskaper, og vil derfor ha begrenset verdi for verdsetting av innmark.

## 7. Nytte for jordskifteretten

Jordskifteretten har uttrykt behov for et bedre grunnlag for verdsetting av innmark. Spesielt er det et behov for sikre tall for potensielt avlingsnivå på de ulike jordsmonnstyper her i landet. Denne typen informasjon, for de viktigste jordbruksvekstene, i form av praktisk anvendbare kart eller tabeller, vil kunne bli et viktig verktøy i verdsettingsprosessen. God tilgjengelighet via lokale databaser eller internett vil også være viktig for nytteverdien av et slikt verktøy.

For å bedre grunnlaget for verdsetting av innmark er jordskifteretten først og fremst på jakt etter jordas *potensielle* produksjon, altså det avlingsnivå som kan oppnåes ved god jordbruksmessig drift. Et steds *aktuelle* produksjon er generelt lavere enn den potensielle og blir blant annet bestemt av kantvirkninger og lokalt vær i området. Driftsfaktorer som vanning, grøfting, arrondering, ugrassituasjon og dyktighet /innsats hos gårdsbrukeren vil også ha betydning for den aktuelle avlingen. Den potensielle produksjonen tar heller ikke hensyn til terrengforhold, som en bratt skråning eller et høyt steininnhold i plogsjiktet. Disse faktorer har ingen innflytelse på produksjonsnivået, men bestemmer i stor grad muligheten til mekanisering av gårdsarbeidet. Jordskifteretten har egne prosedyrer som tar hensyn til terrengfaktorer i verdsettingsprosessen.

For å kunne vurdere jordas potensielle produksjon må det tas utgangspunkt i de naturgitte klima- og jordbunnsforhold for ulike planteslag. Tallfesting av jordas produksjonsevne for ulike vekster krever at man må kvantifisere samspillet mellom jordsmonnegenskaper, vær og planteslag. Der møter man komplekse interaksjoner mellom temperatur, nedbør og stråling, jordas kapasitet til å levere vann i de perioder da plantene trenger det mest, samt oppvarming om våren som påvirker tidspunktet for våronn og spiring og så videre.

Kvaliteten på produktet som etterspørres av Jordskifteretten blir i høy grad bestemt av hvor godt disse komplekse interaksjonene mellom klima, jord og planteslag kan beskrives og håndteres. Verktøyet som etterspørres skal brukes til å verdsette innmark innenfor relativt små geografiske avstander, eksempelvis innenfor en bygd. Det innebærer et høyt krav til presisjon. Jorddata foreligger i en skala som stort sett vil være presise nok til formålet, og klimadata kan beregnes slik at de er tilpasset denne skalaen. Lokalklimatiske effekter av en viss oppløsning står det fortsatt igjen å handtere tilfredsstillende.

Datamaterialet for engvekster har et mindre omfang, men stor geografisk spredning. Modellen som ble funnet forklarer i hovedsak forskjeller i avling basert på klimaforskjeller. Jordsmonnfaktorer kommer i liten grad fram som en differensierende faktor. Imidlertid er det også en realitet at gras generelt stiller mindre krav til jordsmonnet enn korn og potet. Dersom man skal finne fram til jordsmonneffekter på eng, må datamaterialet utvides på en måte som trekker inn større lokale variasjoner i jordsmonn, før det kan bli utviklet et modell som kan brukes i verdsettingssammenheng.

I prosjektet er det utviklet modeller for potet, korn og engvekster. Modellene er stort sett i samsvar med kunnskap om faktorer som påvirker avlingsnivået. Modellene for korn og potet gir et grunnlag til å produsere temakart for potensielt avlingsnivå dersom man holder seg innenfor modellenes gyldighetsområde. Det må legges opp til et samarbeid med Jordskifteretten om validering av en prototyp av dette nye verktøyet.

Sammenlignet med eksisterende dyrkningsklassekart, vil kartfremstillinger basert på resultater fra dette prosjektet (eksempler vist i Kapittel 5), være mer nyttige til verdsetting av dyrka mark fordi de vil gi mer eksakt informasjon.

Konklusjonen er at prosjektet har bidratt til å kvantifisere hvordan planteavling avhenger av klima og jordegenskaper. Vi forventer at resultatene, herunder den underliggende database, programkode og de estimerte regresjonsligninger, kan brukes som et utgangspunkt til å produsere kart over potensiell avling for korn og potet som er brukbare for verdsettingsformål.

## 8. Veien framover

Av praktiske grunner måtte prosjektet avsluttes innen januar 2004. Dette prosjektet har i henhold til formålet levert statistiske modeller for potensielt avlingsnivå i relasjon til klima og jordsmonn. Eksempelkart basert på disse statistiske modellene ble produsert.

Et nytt prosjekt bør startes for å utvikle automatiserte produksjonslinjer for temakart over potensiell planteproduksjon for korn og potet basert på resultatene fra dette prosjektet. En slik produksjonslinje vil kreve inngangsvariable for klima, planteutvikling og jordsmonn. Spesielt for klima vil det være flere måter å gjøre dette på når man skal generere kart. Eksempelvis kan det benyttes en mest mulig nøyaktig tilnærming og bruke regionaliserte klimadata i form av såkalte klimagrid, eller man kan benytte data fra nærmeste klimastasjon. Begge disse alternativene vil kunne brukes til å beregne fenologiske faser. Jordsmonndata er allerede tilgjengelig i for de jordsmonnkartlagte arealer.

I det nye prosjektet bør det også undersøkes hvordan brukerne opplever kvaliteten av dette produktet. Brukerne i denne sammenhengen bør vi finne innenfor Jordskifteretten, forsøksringene eller kommunale landbrukskontorer.

I det nye prosjektet har Planteforsk, Institutt for Plante- og Miljøvitenskap ved NLH og NIJOS en sentral rolle. Eventuell andre samarbeidspartner, som Institutt for Landskapsplanlegging – NLH, bør vurderes for å komme i mål.

Ved at datamaterialet ble samlet og sammenstilt i et moderne databaseverktøy, representerer denne delen av resultatet fra prosjektet en verdi som kan brukes til andre formål enn verdsetting. Ved ferdigstilling av prosjektet bør det vurderes hvordan databasen og programkode kan opprettholdes og vedlikeholdes og hvordan databasen kan utvides når nye data fra planteforsøk, vær og jord blir tilgjengelige. Det er viktig at dagens database blir godt dokumentert og tatt vare på.

## 9. Litteratur

- Anonym. 2000. Retningslinjer for verdiprøving av korn og oljevekster; fôrvekster; gras til grøntanlegg; potet. Landbrukstilsynet.
- Penman, H. L. 1956. Evaporation: an introductory survey. *Neth. J. Agric. Sci.* 4:9-29.
- Rafoss, T. & de Wit, H. 2002. Grunnlag for verdsetting av innmark. En rapport fra NIJOS og Planteforsk på oppdrag fra Jordskifteretten; NIJOS rapport 03/02, 2002, pp57.
- Ritchie, J. T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Res.* 8:1204-1213.
- Skjelvåg, A. O. 1981a. Experimental and statistical methods of plant experiments used in an agroclimatic investigation in Aust-Agder, Norway. *Acta. Agric. Scand.* 31:343-357.
- Skjelvåg, A. O. 1981b. Effects of climatic factors on the growth and development of the field bean (*Vicia faba* L. var *minor*) III. Yield and its components. *Acta Agric. Scand.* 31: 382-394.
- Soil Survey Staff 1993. Soil Survey Manual. USDA, Washington.



## Vedlegg

- 1 Antall forsøk per vekstslag og forsøkslokalitet på jordsmonnkartlagt areal.
- 2 Variabler som inngår i plantedataene
- 3 Antall forsøk per vekstslag, fordelt over teksturgruppe og forsøkslokalitet
- 4 Jordsmonnegenskaper i databasen
- 5 Forsøkssteder og nærmeste værstasjoner
- 6 Inngangsvariabler til vannhusholdingsmodellen
- 7 Utgangsvariabler til vannhusholdningsmodellen
- 8 Omkodning av klassevariabelen dreneringsgrad (bokstavkode) til tallvariabel.

*Vedlegg 1 Antall forsøk per vekstslag og forsøkslokalitet på jordsmonnkartlagt areal.*

	POTET		ENG			KORN						
	Kode	Potet	Eng-svingel	Rød-kløver	Timotei	Eng hvete	Vår Tidlig bygg	Seint bygg	Tidlig havre	Sein havre	Korn	
Apelsvoll	1	10	6	6	8	20	12	12	12	12	11	59
Bjørke	2						10	11	11	12	12	56
Staur	3						5	5	5	5	5	25
Rød	4						3	3	3	4	4	17
Vollebekk	5						8	7	7	7	6	35
Særheim	6	6	4	6	5	15						
Solør Odal	7	9					11	7	10	10	7	45
Kvithamar	8	6	3	6	5	14						
Vågønes	9		5	5	6	16						
Holt	10	10	2	1	1	4						
Romerike	11	8					35	22	33	21	30	141
Hedmark	12						4	4	4	4	4	20
Vestfold	13	9					11		6	2	5	24
Innherred	14							2	7	4		13
Namdal	15							5				5
Buskerud	18	5										
Telemark	19	6										
Jeløy	20	7										
Sæter	21		5	4	6	15						
Artstotal			25	28	31		99	78	98	81	84	
Total		76					84					440

*Vedlegg 2 Variabler som inngår i plantedataene*

	Variabel	Enhet
Korn	Kornavling	Kg/dekar
	Sådato	
	Spiredag	
	Aksskytingsdag	
	Gulmodningsdag	
	Høstedag	
	Vanningsdato	
	Vanningsmengde	
Potet	Potetavling	Kg/dekar
	Settedag	
	Spiredag	
	Knollsettingsdag	
	Risdrepingsdag	
	Høstedag	
	Vanningsdato	
Eng	Vanningsmengde	millimeter
	Engavling	Kg/dekar

Vedlegg 3 Antall forsøk per vekstslag, fordelt over teksturgruppe og forsøkslokalitet

Antall potetforsøk per teksturgruppe, og forekomst av teksturgruppe per forsøkslokalitet. Forsøk med upålitelig jordsmonninformasjon i parentes.

Teksturgruppe	Sted	Antall forsøk	Teksturgruppe	Sted	Antall forsøk
grunn lettleire	Apelsvoll	8	silt	Solør Odal	2 (1)
lettleire	Apelsvoll	1		Vestfold	1
mellomleire	Buskerud	1	siltig lettleire	Jeløy	1
	Jeløy	2		Telemark	4
	Vestfold	1	siltig sand	Buskerud	3
sand	Holt	9 (4)		Jeløy	1
	Jeløy	2		Kvithamar	6
	Vestfold	2		Romerike	1
sand på leire	Telemark	1		Solør Odal	1
sandig silt	Apelsvoll	1		Særheim	6
	Buskerud	1		Telemark	1
	Romerike	6		Vestfold	4
	Solør Odal	6	torv	Holt	1
	Vestfold	1		Jeløy	1
				Romerike	1
				SUM	76 (5)

Antall forsøk per teksturgruppe for engvingel, timotei og rødkløver, og forekomst av teksturgruppe per forsøkslokalitet. Antall forsøk med upålitelig jordsmonninformasjon i parentes. Forsøk er her definert som årlig registrert sumavling fra et forsøk, men et forsøk varer i 3 år. Antall forsøk for eng i Vedlegg 1 er 84, og det totale antallet registrert årlige sumavlinger fra 84 forsøk er 208.

teksturgruppe	sted	engsvingel	timotei	rødkløver
grunn lettleire	Apelsvoll	11	16	15
lettleire	Apelsvoll	5	5	4
mellomleire	Kvithamar	6		14
sand	Kvithamar	3	4	
	Vågønes	7	5	4
	Holt	3		3
	Sæter	7	13 (1)	5 (2)
sandig silt	Sæter	2	3	3
silt på leire	Holt	3	3	
siltig sand	Særheim	11	12	15
	Kvithamar		8	1
	Vågønes	1	3	3
	Sæter	3		
torv	Vågønes	1	6	
	SUM	63	78 (1)	67 (2)

Vedlegg 3 forts.

Antall kornforsøk per teksturgruppe for bygg, havre og vårhvete, og forekomst av teksturgruppe per forsøkslokalitet. Antall forsøk med upålitelig jordsmonninformasjon i parentes

Teksturgruppe	Sted	Bygg	Havre	Vårhvete
grunn lettleire	Apelsvoll	15	11	5
letteire	Apelsvoll	9	9	7
	Bjørke	19 (9)	17 (8)	8 (7)
mellomleire	Bjørke	3	3	1
	Rød	4	4	2
	Vollebekk	6	8 (1)	5
	Solør-Odal	2	2	1
	Romerike	3	3	1
	Vestfold	1	2	1
	Innherred	2	2	
silt	Romerike	2	2	2
	Hedmark	2	2	1
silt på leire	Romerike	7	5	4
	Vestfold	1		
	Innherred		1	
siltig lettleire	Romerike	9	7	8 (2)
	Vestfold	1	2	2
	Solør-Odal	2		
	Innherred	2	1	
	Namdal	1		
siltig sand	Apelsvoll	1	1	
	Bjørke		3	1
	Staur	10	10	5
	Rød	2	4 (4)	1 (1)
	Vollebekk	6	4 (4)	2 (2)
	Solør-Odal	2		2
	Romerike	8	7 (2)	5
	Hedmark	2	2	1 (1)
	Vestfold		3	
	Innherred	2		
	Namdal	2		
sand	Romerike	14	14	8
	Vestfold	2		3
	Innherred	3		
	Namdal	2		
sandig silt	Apelsvoll	2	2	
	Bjørke		1	
	Solør-Odal	11	15	8
	Romerike	9	8	5
	Hedmark	4	4 (4)	2
	Vestfold			3
sand på leire	Vestfold	1		1
planert jord	Romerike	2	5 (3)	2 (1)
antr. matjordsjikt	Vollebekk	2	1 (1)	
stiv leire	Vollebekk			1
	Romerike	1		
		179 (28)	165 (27)	98 (16)

Vedlegg 4 *Jordsmonnegenskaper i databasen. Inntil 4 jordsjikt per jordtype*

Variabelnavn	Forklaring	Enhet
Jtkode	jordtypekode	kategori
U	maksimal fordamping fra jord med våt jordtype	mm
Alfam	kapillærkoeffisient for fordamping fra jord med tørr yte	mm/√dag
Avs1	geologisk avsetning	kategori
Drener	dreneringsgrad	kategori
Rsperrlag	betegnelse for type rotsperre	kategori
Rsperrdypcm	jorddybde	cm
Rawc_60	plantetilgjengelig vann til 60 cm dybde, beregnet som forskjellen mellom vanninnhold ved pF 2.0 og pF 4.2	mm
Sbet	sjiktbetegnelse i hvert jordsjikt	kategori
Rtycm	tykkelse i hvert jordsjikt	cm
Frasikt	andel grus i hvert jordsjikt	%
Orgc	innhold organisk materiale i hvert jordsjikt	%
Sand	sand innhold i hvert jordsjikt	%
Silt	silt innhold i hvert jordsjikt	%
Leir	leir innhold i hvert jordsjikt	%
R_tilgjvamm	lett tilgjengelig vann i hvert sjikt (pF 2.0 – pF 3.0)	mm
R_ttilgjvamm	tungt tilgjengelig vann i hvert sjikt (pF 3.0 – pF 4.2)	mm
Kornst	kornstørrelse i hvert jordsjikt	kategori
Prof tkstr	teksturgruppe	kategori

Vedlegg 5 *Forsøkssteder og nærmeste værstasjoner*

Forsøkssted	Værstasjon
Hedmark forsøksring	Alvdal
Sæter fagsenter	Alvdal
Bjørke forsøksgård	Apelsvoll
Staur forsøksgård	Apelsvoll
Apelsvoll forskningscenter	Apelsvoll
Holt forskningscenter	Holt
Buskerud forsøksring	Hønefoss
Kvithamar forskningscenter	Kvithamar
Innherred forsøksring	Mære
Solør Odal forsøksring	Roverud
Romerike forsøksring	Roverud
Vestfold forsøksring	Ramnes
Vestfold forsøksring	Sande
Vestfold forsøksring	Tjølling
Særheim forskningscenter	Særheim
Jeløy forsøksring	Tomb
Rød forsøksgård	Tomb
Vågønes forskningsstasjon	Vågønes
Vollebekk forsøksgård NLH	Ås

*Vedlegg 6 Inngangsvariabler til vannhusholdningsmodellen*

Værvariabel	enhet	Jordvariabel	enhet	Biologiske parametere	enhet
Globalstråling	MJ/m <sup>2</sup>	Maksimal fordamping fra jord med våt jordoverflate	mm	Sjudagersmiddel for lufttemperatur for vekststart	°C
Nedbør	mm	Stigningskoeffisient for akk. fordamping, tørr jordoverflate	mm/(√ d)	Ekstinksjonskoeffisient for lysoppfangning hos bladverket	
Potensiell fordamping	mm	Dybde av jordsjikt, rotsperredybde	cm	Maksimal bladarealindeks, nådd ved definert stadium	m <sup>2</sup> per m <sup>2</sup>
Temperatur	°C	Vannkapasitet ut over feltkapasitet per jordsjikt	mm	Så-, spire-, gulmodnings-, skyte- og høstetid (korn); settedag (potet)	dagnr
Vanningsdag	dagnr	Vasskapasitet lett tilgjengelig vann per jordsjikt	mm	Temperatursum for å bestemme start fenologisk periode i fravær av observasjoner	°C
Vanningsmengde	mm	Vannkapasitet tungt tilgjengelig vann per jordsjikt	mm		

*Vedlegg 7 Utgangsvariabler for vannhusholdning og for vær, aggregert over utviklingsfaser for ulike planteslag.*

Fasesummer	Fasemiddel
Globalstråling	Globalstråling
Temperatur	Temperatur
Oppfanget stråling til fotosyntese	Aktuell/potensiell evapotranspirasjon
Nedbør (inkl. vanning)	Oppfanget stråling til fotosyntese
Potensiell evapotranspirasjon	Plantetilgjengelig vann
Evapotranspirasjon fra planter	Bladarealindeks
Potensiell evaporasjon, jordoverflate	Antall dager i de ulike faser
Aktuell evaporasjon fra jord	
Nedbørøverskudd (??)	
Antall dager i de ulike faser	

*Vedlegg 8 Omkodning av klassevariabelen dreneringsgrad (bokstavkode) til tallvariabel.*

bokstavkode	beskrivelse	tallkode
A	Overflødig sterkt drenert	-3
B	Overflødig sterkt til godt drenert	-3
C	Godt til overflødig sterkt drenert	-3
D	Godt drenert	-2
E	Godt til moderat godt drenert	-2
F	Moderat godt til godt drenert	-1
G	Moderat godt drenert	-1
H	Moderat godt til ufullstendig drenert	0
J	Ufullstendig til moderat godt drenert	0
K	Ufullstendig drenert	1
L	Ufullstendig til dårlig drenert	1
M	Dårlig til ufullstendig drenert	2
N	Dårlig drenert	2
P	Dårlig til svært dårlig drenert	3
R	Svært dårlig til dårlig drenert	3
S	Svært dårlig drenert	3