



Statens  
Planteavlsforsøg

---

Beretning nr. S 1538

Statens Planteværnscenter  
Sekretariatet  
Lottenborgvej 2  
2800 Lyngby

# Jordbrugsmeteorologi

Rapport fra  
Jordbrugsmeteorologiprojektet 1980

Søren A. Mikkelsen  
Dataanalytisk Laboratorium

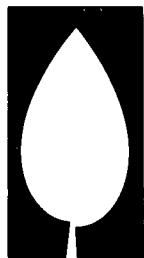
Tidsskrift for Planteavls Specialserie

---

København 1981







Statens  
Planteavlsforsøg

---

Beretning nr. S 1538

# Jordbrugsmeteorologi

Rapport fra  
Jordbrugsmeteorologiprojektet 1980

Søren A. Mikkelsen  
Dataanalytisk Laboratorium

Tidsskrift for Planteavls Specialserie

---

København 1981



## F o r o r d

Denne rapport er en redegørelse for arbejdet på 1. etape af projektet "Jordbrugsmeteorologi", som er finansieret af Landbrugets Samråd for Forskning og Forsøg. 1. etape har været af et års varighed, og projektet videreføres med en 2. etape af to års varighed.

Rapporten består af delene I, II og III. Del I (afsnittene 1, 2 og 3) omfatter eksempler - fortrinsvis fra udlandet - på anvendelser af jordbrugsmeteorologi samt en oversigt over det meteorologiske datamateriale, der er til rådighed her i landet for jordbrugsmeteorologiske undersøgelser. Del II (afsnittene 4, 5, 6 og 7) viser resultaterne af projektarbejdet angående afgrøde-vejr modeller for byg, kortlægning af landet mht. varmesummer, udregning af "normaldøgn" for nogle meteorologiske parametre samt varsling imod ildsotangreb i frugtplantager. Del III (afsnittene 8, 9 og 10) omhandler opgaver for en fremtidig jordbrugsmeteorologisk tjeneste. En sådan søges oprettet ved Statens Planteavlsforsøg ved projektperiodens udløb.

Tabeller, figurer og formler er nummereret fortløbende for hele rapporten. I appendix A er vist en liste over de anvendte symboler. Listen omfatter både matematiske symboler fra de statistiske beregninger og de variabelbetegnelser, som er anvendt i rapporten.

For læsere, som ikke er interesseret i statistiske metoder, kan afsnit 4.2 og de sidste to sider af afsnit 4.4 være vanskeligt tilgængelige. Disse dele af rapporten kan overspringes, uden at det forstyrrer læsningen nævneværdigt.

De statistiske beregninger, som er udført, er foretaget fortrinsvis med programpakken Statistical Analysis System (SAS). Alle databehandlingerne er udført på NEUCC, Det Regionale EDB-center ved Danmarks tekniske Højskole. Projektets arbejdssted er Dataanalytisk Laboratorium, Lyngby.

De anvendte biologiske data stammer fra Statens Planteavlsforsøg.

Nogle meteorologiske data er venligst stillet til rådighed af Meteorologisk Institut, klimatologisk afdeling.

Styringsgruppen for projektet består af følgende medlemmer: forstander Hardy Knudsen, Landbrugscentret, statsmeteorolog Chr. Dumstrei, Meteorologisk Instituts klimatologiske afdeling, afdelingsbestyrer K. Sandvad, Dataanalytisk Laboratorium, vid.ass. Jørgen Jakobsen, Planteværnscentret, vid.ass. Kaj Henriksen, Havebrugscentret, meteorolog F. Lyngelarsen, Meteorologisk Instituts klimatologiske afdeling og konsulent Frank Bennetzen, Landskontoret for Planteavl.

For kritiske kommentarer og gode råd under projektarbejdet rettes en tak til styringsgruppens medlemmer. Desuden tak til afdelingsmeteorolog H.H. Krarup, Vejrtjenesten, for stor imødekommenhed samt til lic.agro. Kristian Kristensen, Dataanalytisk Laboratorium, for givtige samtaler undervejs og kritisk gennemlæsning af manuskriptet til afsnit 4 om afgrøde-vejr modellerne. Øvrige kolleger ved Dataanalytisk Laboratorium takkes for deres velvillige indstilling til projektet.

Renskrivning af rapporten er udført af sekretær Tove Hagerup. En del af programmeringsarbejdet er udført af stud.agro. Jørgen E. Olsen, der er ansat som studentermedhjælp ved projektet.

Januar 1981

Søren Aggergaard Mikkelsen

INDHOLDSFORTEGNELSE

## D E L I

1.	INDLEDNING	7
1.1	Definition	7
1.2	Projektet "Jordbrugsmeteorologi"	8
2.	EKSEMPLER FRA JORDBRUGSMETEOROLOGIEN	9
2.1	Jordbrugsmeteorologisk grundforskning	9
2.2	Afgrøde-vejr modeller	10
2.3	Agro-klimatisk kortlægning	13
2.4	Varsling	14
3.	DATAMATERIALE	16
3.1	Meteorologiske data	16
3.2	Biologiske data	19
3.3	Ønskelige registreringer	20
3.3.1	Meteorologiske observationer	21
3.3.2	Biologiske observationer	21

## D E L II

4.	AFGRØDE-VEJR MODELLER FOR BYG	23
4.1	Data	23
4.2	Statistisk metode	31
4.3	Beskrivelse af modellerne	33
4.4	Afprøvning af modellerne	39
5.	AGRO-KLIMATISK KORTLÆGNING	55
5.1	Udregning af varmesummer	55
5.2	Varmesumskort	60
5.3	Frostdøgnskort	64
6.	"NORMALDØGN"	70
6.1	Data	70
6.2	Anvendelse	71

7.	VARSLING IMOD ANGREB AF ILDSOT	76
7.1	Varslingsmodellen	76
7.2	Eksempler	77
D E L     III		
8.	JORDBRUGSMETEOROLOGISK TJENESTE	79
8.1	Etablering	79
8.2	Forskning	80
8.3	Rådgivning	82
9.	SAMMENDRAG	83
10.	LITTERATURLISTE	86
	APPENDIX A	



# D\_E\_L\_\_\_\_I

## 1. INDLEDNING

Jordbruget i alle dets faser er på godt og ondt underlagt vejrets luner. Et års produktionsresultat er i meget høj grad afhængigt af årets klimaforhold, og naturligt nok er jordbrugserhvervets udøvere særligt interesserede i såvel almindelige vejruddsigter som mere specielle oplysninger om klimaet og dets indflydelse på jordbrugets produktionsforhold.

### 1.1 Definition.

Disciplinen jordbrugsmeteorologi er oprettet som en konsekvens af jordbrugets meget stærke afhængighed af de klimatiske forhold. I jordbrugsmeteorologien kombineres fysikernes og meteorologernes viden om miljøet med jordbrugsforskernes kendskab til miljøets betydning for de fysiske og biologiske processer, som finder sted i jord, planter og dyr.

Adskillige steder i udlandet er jordbrugsmeteorologi en veludviklet videnskab. Under WMO (World Meteorological Organization) findes CAgM (Commission for Agricultural Meteorology), som formidler internationalt samarbejde om jordbrugsmeteorologisk forskning og rådgivning.

Meteorologiske og hydrologiske målinger er nødvendige for jordbrugsmeteorologien, og de jordbrugsmeteorologiske aktiviteter er startet hovedsageligt ved eller i tæt samarbejde med de eksisterende meteorologiske institutter. Jordbrugsmeteorologien udnytter institutternes eksisterende net af standard målestationer, men behøver desuden måling af specielle meteorologiske størrelser som f.eks. den potentielle evapotranspiration. I WMO's Guide to Agricultural Meteorological Practices (Anonym, 1963) gives anvisninger på, hvordan et net af jordbrugsmeteorologiske målestationer bør opbygges.

Et af de områder, hvor udlandets jordbrugsmeteorologer først koncentrerede deres indsats, er de forskellige plantearters krav til

klimaet. Varmekrav udtrykkes oftest ved den varmesum med en given basistemperatur, som er nødvendig for planteartens udvikling. Fugtighedsforholdene beskrives af jordbrugsmeteorologer og hydrologer ved et vandregnskab, som omfatter jordens plantetilgængelige vandmængde, nedbøren og evapotranspiration. Ofte er sådanne studier af vandhusholdningen brugt som grundlag for udvikling af simuleringsmodeller til simulering af planteavlsudbyttet. Jordbrugsmeteorologerne benytter desuden matematisk-statistiske modeller til forudsigelse af udbyttet ud fra klima-variable.

Agro-klimatisk kortlægning er også en jordbrugsmeteorologisk opgave. Denne kortlægning omfatter bl.a. varmesums-kort, nedbørskort og kort for forekomsten af tidlig eller sen nattefrost. Ved hjælp af gode modeller for planteavlsudbyttet vil sådanne korts oplysninger kunne kombineres til et "potentielt udbytte kort" til brug for f.eks. langtidsplanlægningen af vort forbrug af naturressourcer, idealistisk betragtet endog i global sammenhæng.

Der åbnes helt nye perspektiver for jordbrugsmeteorologien med de oplysninger, som satellitterne i en stadig strøm sender tilbage til jorden. Teknikken "remote sensing" kan måske også i mindre målestok - dvs. for den enkelte bedrift - forbedre vore vejlednings- og forudsigelsesmuligheder indenfor planteavlen.

## 1.2 Projektet "Jordbrugsmeteorologi".

I indledningen til sin artikel "Vore afgrøders forhold til udbyttet I" skriver Kristensen (1937), at der ved konsulentmødet den 25. februar 1933 blev udtalt ønske "... om at få iværksat specielle jordbrugsmeteorologiske undersøgelser ....". Et af de få resultater af denne opfordring var Kristensens statistiske undersøgelser af nedbørens indflydelse på planteavlsudbyttets størrelse. Prytz (1948) gennemførte i perioden 1930-46 en del landbrugsmeteorologiske korrelationsundersøgelser for forskellige afgrøder. Men ovenfor omtalte opfordring førte desværre ikke til start af vedvarende, landsdækkende jordbrugsmeteorologiske studier.

Det igangværende projekt "Jordbrugsmeteorologi" er et forsøg på at få startet systematisk jordbrugsmeteorologisk forskning som baggrund for etablering af en egentlig jordbrugsmeteorologisk tjeneste ved Statens Planteavlsforsøg. I projektets styringsgruppe er repræsenteret Meteorologisk Instituts klimatologiske afdeling, Landskontoret for Planteavl og Statens Planteavlsforsøgs forskellige fagområder. Der er således etableret et formaliseret samarbejde mellem meteorologer, planteavlserådsgivere og -forskere. Et samarbejde, som yderligere skal udbygges ved en evt. etablering af en jordbrugsmeteorologisk tjeneste, som det nærmere er beskrevet senere i rapporten.

## 2. EKSEMPLER FRA JORDBRUGSMETEOROLOGIEN

Der skal ikke her gives nogen dækkende gennemgang af den eksisterende jordbrugsmeteorologiske litteratur. Dertil er litteraturen alt for omfattende og omhandler for mange forskellige emner. Med nogle få eksempler fra de grene af jordbrugsmeteorologien, som synes mest relevante, skal der gives en oversigt over denne disciplins anvendelsesmuligheder.

### 2.1 Jordbrugsmeteorologisk grundforskning.

Den jordbrugsmeteorologiske grundforskning behandler en del af de områder, som også den rent fysiske/meteorologiske forskning beskæftiger sig med. Visse emner er dog specielle for jordbrugsmeteorologien, f.eks. jordtemperaturen og den potentielle evapotranspiration.

Kristensen (1959) analyserede målinger af jordtemperaturen i forskellige dybder under bar jord og under kort græs. Målingerne blev foretaget på klimastationen på Højbakkegård i årene 1955-57. Der konstateredes store daglige temperaturvariationer i de øverste jordlag, men variationerne aftog kraftigt med jorddybden. For de årlige temperaturvariationer fandtes stigende tidsforsinkelse med øget jorddybde i maximum og minimum temperaturernes indtræffen. Jordtemperaturens årsvariation udtryktes som en "ren" sinus-funktion af tiden, og der konstateredes temmelig god overensstemmelse

mellem de målte og udregnede ugemiddelværdier af temperaturerne i forskellige jorddybder.

Også Amsen (1970) analyserede jordtemperaturmålinger fra klimastationen på Højbakkegård. Han fandt, at såvel den daglige som den årlige temperaturvariation kunne beskrives ved hjælp af en matematisk model for periodisk endimensional varmemestrømning.

Jordtemperaturen har stor indflydelse på spiringshastigheden for frø. Neild & Greig (1972) bestemte for forskellige grønsager et "spiringsindeks", som varierede med jordtemperaturen. "Spiringsindekset" anvendtes til at forudsige fremspiringstidspunkt for grønsagerne ud fra såtidspunkt og jordtemperatur.

Den potentielle evapotranspiration søges målt efter flere forskellige metoder. Kristensen (1979) undersøgte ved anvendelse af 15 års data fra klimastationen på Højbakkegård relationerne mellem den potentielle evapotranspiration hhv. efter Penman's formel, målt ved vejebart lysimeter, målt over en  $12 \text{ m}^2$  fri vandoverflade samt målt med fordampningsmåleren HL 315. Det konkluderedes, at under vore klimatiske forhold kan den potentielle evapotranspiration estimeres forholdsvis godt efter Penman's formel og efter målinger med HL 315.

Under ledelse af Statens Forsøgsstation ved St. Jyndevad måles for Statens Planteavlsforsøg ugentlig potentiel evapotranspiration med HL 315 på ca. 30 lokaliteter fordelt over hele landet. Disse målinger danner grundlag for en vandingsvejledning, som i vækstsæsonen offentliggøres i tre af jordbrugets fagblade. Resultaterne for vandbalancen og vandingsbehovet for forskellige afgrøder for perioden 1957-78 er publiceret af Gregersen & Knudsen (1980).

## 2.2 Afgrøde-vejr modeller.

Med afgrøde-vejr modeller søger man ved anvendelse af forskellige matematiske teknikker at give kvantitative udtryk for relationerne mellem en afgrødes udvikling/udbytte og en eller flere meteorologiske variable. Indenfor afgrøde-vejr modellerne kan der skelnes mel-

lem simulerings-modeller og empirisk-statistiske modeller.

Simulerings-modeller er kendetegnet ved, at man ud fra et detaljeret kendskab til de fysiske, kemiske og fysiologiske processer, som styrer planteproduktionen, søger at "modellere" denne. Det er karakteristisk, at egentlige simulerings-modeller oftest er udviklet af fler-disciplinære forskerhold. Der behøves omfattende eksperimentelle undersøgelser for at estimere de nødvendige ligningskonstanter og for at validere modellerne. Til den elektroniske databehandling, som er påkrævet ved simuleringsstudier, findes datamat-sprog specielt udviklet til simulering af biologiske processer, f. eks. DYNAMO og CSMP.

Som eksempel på komplekse simuleringsmodeller omtaler Baier (1977) ELCROSS (Elementary Crop Growth Simulator), der er udviklet af hollænderne de Wit, Brouwer og Penning de Vries. Modellen simulerer de basale plantefysiologiske processer fotosyntese, respiration, translokation og transpiration. En lignende omfattende simulerings-model, HEIMDAL, for italiensk rajgræs er her i landet udviklet af Hansen, Jakobsen & Jensen (1976). I fig. 1 er gengivet en oversigt, som viser arbejdsgrundlaget for modellen HEIMDAL.

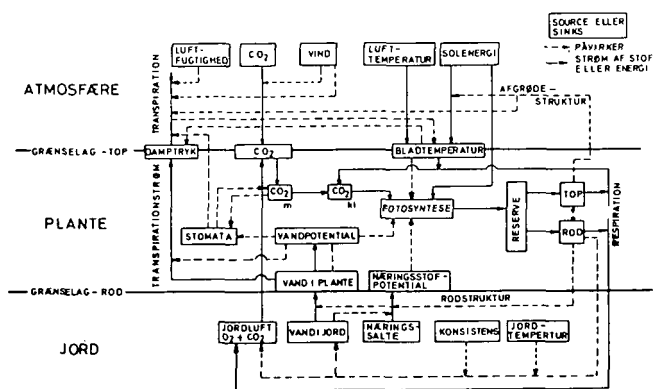


Fig. 1. Arbejdsgrundlaget for modellen HEIMDAL, (Hansen, Jakobsen & Jensen, 1976).

De empirisk-statistiske modeller giver ikke som simuleringsmodellerne noget detaljeret billede af de plantefysiologiske processer. Modellerne er oftest multiple, lineære regressionsmodeller med slutudbyttet som afhængig variabel og vækstsæsonens klimatiske observationer som bestemmende variable. Til estimering af regressionskoefficienterne behøves sammenhængende observationer af udbytte og klima-variable for en længere årrække. Derfor må der inkluderes en "teknologi-variabel" i modellerne, for at forklare det øgede udbytte-niveau, der er forekommet med årene.

Baier (1977) gav en oversigt over de mange statistiske modeller - hovedsageligt for hvede og majs, som er udviklet verden over. De klimatiske variable, som oftest er med i modellerne, er vækstsæsonens månedsnedbør. Undertiden er også inkluderet den potentielle evapotranspiration.

Lewin & Lomas (1974) undersøgte udbytteresultater fra tre langvarige forsøgsserier med hvede. Forsøgene var placeret i forskellige klimaregioner i Israel. Ved en sammenligning af statistiske modeller og simple simuleringsmodeller, baseret på et vandregnskab for jordene, fandt de, at i den tørre klimazone (årlig nedbør ca. 240 mm) "forklarede" både simuleringsmodellerne og de statistiske modeller over 70% af udbyttevariationen. I områderne med større nedbør (årlig nedbør ca. 450 mm) var simuleringsmodellerne imidlertid de statistiske modeller klart overlegne. Her "forklaredes" med simuleringsmodellerne ca. 50% af variationen, men med de statistiske modeller kun ca. 30%.

For det canadiske hvededyrknings-område fandt Williams, Joynt & McCormick (1975), at der med multiple lineære regressionsmodeller kunne "forklares" mellem 57 og 86% af udbyttevariationen i kornafgrøder. Modellerne for byg og havre var bedre end modellerne for hvede. Udbytteoplysningerne blev indhentet fra "Statistics Canada's" registreringer af kornudbytterne i 42 forskellige "afgrøde-distrikter" i 12 år. Foruden nedbøren og den potentielle evapotranspiration inkluderedes i modellerne som bestemmende variable udtryk for "afgrøde-distrikternes" tekstur og topografi.



Som en mellemløst mellem detaljerede simuleringssmodeller og "grove" statistiske modeller findes "crop-weather analysis" modeller. F.eks. udviklede Baier (1973) en model, hvor udbyttet blev beskrevet som summen af daglige tilvækster. Disse fandtes som produktet af funktioner af tre klima-variable: indstråling, temperatur og jordfugtighed.

De statistiske modeller anvendes næsten udelukkende til udbytteforudsigelser, som udnyttes i de respektive landes centrale planlægning. I et vist omfang forsøges det at tillægge regressionskoefficienternes fortegn og størrelse en plantefysiologisk betydning, men disse forsøg er oftest meget forsigtige. Simuleringssmodellerne udnyttes til "simuleringss-eksperimenter" på datamater, hvorved effekten af ændringer f.eks. i nogle parametre indbyrdes størrelsesforhold kan studeres.

### 2.3 Agro-klimatisk kortlægning.

Agro-klimatisk kortlægning omfatter både indsamling og bearbejdning af jordbrugsrelevante klimatiske oplysninger fra et område og afbildning af disse oplysninger på agro-klimatiske kort. For Danmark er af Meteorologisk Institut på grundlag af observationerne i normalperioden 1931-60 optegnet kort for middelnedbør og middeltemperatur for de enkelte måneder, for hele året og for vækstperioden maj-oktober (Anonym, 1975). Med undtagelse af kortene for vækstperioden kan denne publikation dog ikke siges at indeholde specielle jordbrugs-klimatiske oplysninger.

På grundlag af temperaturoplysningerne i månedstillæggene til Meteorologisk Instituts Ugeberetning har Jakobsen (1980) beregnet varmesummen af "Ontario heat units" i de forskellige egne af Danmark. Middelverdier for perioden 1961-76 er indtegnet på et Danmarkskort. "Ontario heat units" er en modifikation af ordinære varmesummer og anvendes i Canada til karakteristik af et områdes egnethed for majsdyrkning.

Som resultat af et samarbejde mellem det meteorologiske Institut, majsavlernes og korn- og grovfoderavlernes organisationer i Fran-

krig er der fremstillet farvekort over den geografiske fordeling af nogle klimatiske størrelser, der er særligt relevante for majsdyrkning (Bloc, Desvignes, Gerbier & Remois, 1978). Kortene omfatter datoerne for første og sidste nattefrost og viser for forskellige perioder af vækstsæsonen varmesummen med basistemperatur  $6^{\circ}\text{C}$ , nedbøren og det potentielle nedbørdeficit. Kortsamlingen er ledsaget af en kort redegørelse for majsplantens udviklingsforløb og dens krav til klimaet.

Ifølge Bloc & Gouet (1977) er varmesummen med basistemperaturen  $6^{\circ}\text{C}$  den størrelse, som bedst beskriver de klimatiske betingelser for majsens udviklingsforløb. For bønner fandt Kish, Ogle & Loadholt (1972), at til forudsigelse af denne afgrødes modningstidspunkt var summationen af "soil moisture-temperature growth units" klart bedre end den simple varmesum. "Soil moisture-temperature growth unit" er en periodes varmesums-bidrag multipliceret med en faktor, som afhænger af den tilgængelige vandmængde i jorden på det pågældende tidspunkt.

I Norge, hvor der på grund af landets specielle topografi findes jordbrugsproduktion i dale og fjeldområder, er der for forskellige regioner foretaget omfattende registreringer af jordbrugsrelevante meteorologiske størrelser. Utaaker (1963) gennemførte i årene 1958-60 sådan agroklimatisk kortlægning af halvøen Nes, Hedmark, og i årene 1963-66 af Sognefjord-området (Utaaker, 1979). Et tilsvarende studium af indstrålingens, temperaturens og jordfugtighedens -og dermed væstklimaet - variation indenfor området Aust-Agder i Syd-Norge fandt sted i årene 1969-72 (Skaar, 1980).

#### 2.4 Varsling.

Med rettidige forudsigelser af angreb på afgrøderne af plantesygdomme og skadedyr kan der opnås bedre resultater af forebyggelses- eller bekæmpelsesforanstaltninger. Hvis jordbrugserhvervets udøvere har tillid til varslingerne, kan en varslingstjeneste evt. bewirke ophør af de bekæmpelser, som ellers foretages rutinemæssigt, uafhængigt af afgrødens øjeblikkelige sundhedstilstand.

Planteværnsafdelingen på Godthåb udsender varsling efter en egentlig prognosemodel imod angreb af kartoffelskimmel (*Phytophthora infestans*). Holm & Jensen (1974) redegjorde for, at der siden 1968 i et forsøg på at forbedre varslingsgrundlaget er arbejdet med modellen "negativ prognose" i stedet for modellen "kritiske døgn". "Negativ prognose" modellen behøver som inddata luftens temperatur og relative fugtighed samt nedbørsmængden.

I Vesttyskland har Schrödter & Fehrmann (1974) udviklet en prognosemodel, som forudsiger det gunstigste tidspunkt for bekæmpelse af knækkefodsyge (*Cercospora herpotrichoides*) i hvede. Forfatterne er ansat på hhv. den jordbrugsmeteorologiske forskningsafdeling ved vejrtjenesten i Braunschweig og plantepatologisk afdeling ved Göttingen Universitet. Det er karakteristisk for udarbejdelsen af sådanne modeller, at der behøves både meteorologisk og plantepatologisk ekspertise. Knækkefodsyge-modellens meteorologiske inddata er luftens temperatur og relative fugtighed samt længden af perioder med favorable temperatur- og fugtighedsbetingelser. Frem for at bruge middelværdier for disse parametre anvendes i modellen parametrenes frekvens-fordelinger.

Med regressionsmodeller har Wikteliuss (1977) prøvet at forudsige angreb i sukkerroer i Sydvest-Sverige af virus-gulso, hvis hovedvektor er ferskenbladlusen (*Myzus persicae*). Ved regressionsberegningerne viste det sig, at den meteorologiske faktor, der var mest afgørende for angrebets styrke, var andelen af sydlige vinde i juli. Dette betragtedes som et kraftigt indicium for, at virus-gulsoen bringes til Sydvest-Sverige fra det Europæiske Kontinent med de sydlige vinde. Denne antagelse underbyggedes af, at vejret i den foregående vinter, som bestemmer overlevelsesbetingelserne for de "hjemlige" ferskenbladlus, ifølge regressionsberegningerne ikke syntes at spille nogen synderlig stor rolle.

Til varsling af angreb af ildsot (*Erwinia amylovora*) i frugtplanter findes forskellige modeller. Billing (1980a) har sammenlignet varslingsystemer udviklet i USA og et system, som er udviklet i Sydøst-England (Billing, 1980b). Billing's engelske system finder

ud fra daglige maximum og minimum temperaturer de dage, hvor en inkubationsperiode kan begynde. Med de nævnte meteorologiske variable som inddata beregnes inkubationsperiodens længde, og tidspunktet for angrebets udbrud bestemmes derved. Denne model beskrives nærmere i afsnit 7, idet den på projektet er anvendt på danske klimaobservationer fra vækstsæsonen 1980.

### 3. DATAMATERIALE

For jordbrugsmeteorologiske aktiviteter er både meteorologiske og biologiske observationer nødvendige. For jordbrugsmeteorologisk forskning, som ved sammenstilling af meteorologiske og biologiske data søger en meteorologisk forklaring på biologiske fænomener, skal de relevante meteorologiske og biologiske observationer være foretaget samme tid og sted. Til udvikling af modellerne anvendes historiske data. I det omfang modellerne derefter skal anvendes til for eksempel varsling af plantesygdomme, er det imidlertid afgørende, at de indgående meteorologiske data er helt aktuelle.

Datamaterialets tilgængelighed er en anden vigtig egenskab. Både for udvikling og anvendelse af modeller er det påkrævet, at data lagres på elektronisk medium. Arbejdsforbruget til fremskaffelse og ophulning af data fra forskellige kilder vil ofte være meget stort i sammenligning med arbejdsforbruget ved den efterfølgende elektroniske databehandling.

Den følgende oversigt omfatter primært de data, der er arbejdet med på projektet. I et vist omfang omtales dog også andre datakilder, ligesom det nævnes, hvilke yderligere observationer, der er ønskelige ud fra et jordbrugsmeteorologisk synspunkt.

#### 3.1 Meteorologiske data.

Systematiske, landsdækkende meteorologiske registreringer foretages af Meteorologisk Institut. De observationer, som foretages af Klimatologisk afdeling, danner grundlaget for udsendelse af uge- og månedsoversigter (Ugeberetning om nedbør m.m.) og udregning af normaler. Vejrtjenestens observationer anvendes sammen med oplysninger

fra udlandet, satellitfotografier m.m., til udsendelse af vejrudsigter flere gange dagligt. Vejrtjenesten udsender endvidere dagligt en vejrberetning med oplysninger fra ca. 15 stationer (Meteorologisk Instituts Vejrberetning). Udsendelse af denne skriftlige vejrberetning ophører pr. 31. marts 1981.

Klimatologisk afdelings observationer omfatter ca. 100 manuelt betjente klimastationer, ca. 500 nedbørsstationer og ca. 30 solautografer. I 1975 blev påbegyndt oprettelse af et net af automatiske klimastationer, som for tiden omfatter 21 stationer.

På klimastationerne observeres dagligt kl. 8, 14 og 21 vindretning og -hastighed og luftens temperatur, tryk og relative fugtighed. Desuden observeres dagligt maximum og minimum lufttemperatur samt nedbør. Automatstationerne registrerer hvert 10. minut lufttemperatur, vindretning og -styrke. En del af dem registrerer desuden nedbør og globalstråling.

På alle statens forsøgsstationer undtagen Tystofte er placeret en klimastation, på to af dem (Jyndevad og Årslev) desuden en automatstation. De fleste af forsøgsstationerne kører dog med et reduceret program, som kun omfatter én daglig registrering af lufttemperatur, maximum og minimum lufttemperatur samt nedbør.

Data fra klimastationerne arkiveres løbende på magnetbånd på Meteorologisk Institut. Denne elektroniske arkivering omfatter dog kun observationerne fra 1973 til nu.

På synop-stationerne, som hører under Vejrtjenesten, registreres flere meteorologiske parametre end på klimastationerne. Der observeres flere gange dagligt, og data arkiveres dagligt på Meteorologisk Institut på magnetbånd. Den elektroniske arkivering går tilbage til 1959 - for enkelte stationers vedkommende dog til 1953.

En fuldstændig oversigt over Meteorologisk Instituts observationer og datas lagringsform er udarbejdet af Jakobsen & Gruno (1974) i forbindelse med luftforureningsgruppens arbejde.

På Hydroteknisk Laboratoriums klimastation, Højbakkegård, foretages omfattende meteorologiske målinger til undersøgelse af klima og vandbalance. Også på Forsøgsanlæg Risø foretages systematiske observationer, specielt af vindhastighed og -retning. Af Geografisk Institut, Århus Universitet og Geografisk Institut, Københavns Universitet foretages sporadiske meteorologiske målinger i tilknytning til forskningsprojekter.

For Statens Planteavlsforsøg foretages under ledelse af Statens forsøgsstation ved St. Jynde vad de tidligere omtalte ugentlige målinger af den potentielle evapotranspiration på ca. 30 lokaliteter. Ved de fleste af Statens Forsøgsstationer foretages udover målingerne for Meteorologisk Institut specielle meteorologiske målinger i forbindelse med planteavls-undersøgelser. På projektet er udarbejdet en upubliceret oversigt over disse observationer (Meteorologiske Observationer ved Statens Planteavlsforsøg, 1980).

Klimatologisk afdeling på Meteorologisk Institut udarbejder årligt en oversigt over de meteorologiske forhold ved Statens forsøgsstationer i det forløbne år. Oversigten består af 10-døgns-middelværdierne for de parametre, som er registreret ved forsøgsstationernes klimastationer. Indtil 1979 er oversigten blevet publiceret i Beretning fra Statens Planteavlsudvalg. For året 1979 er den publiceret særskilt (Anonym, 1980). Oversigtens fremtidige form og indhold diskuteres for tiden i projektets styringsgruppe.

For årene 1940-79 er disse oversigter på projektet hullet op og er nu tilgængelige for EDB. Tabel 1. viser de år og forsøgsstationer, som denne databank omfatter.

Abed 1940-79	Lyngby 1940-67	St. Vildmose 1940-70
Askov 1940-79	Ribe 1940-70	Tylstrup 1940-79
Blangstedgård 1940-79	Roskilde 1968-79	Tystofte 1940-73
Borris 1940-79	Rønhave 1958-79	Ødum 1949-79
Hornum 1940-79	Silstrup 1972-79	Åkirkeby 1940-79
Højjer 1940-79	Spangsbjerg 1940-73	Årslev 1940-79
Jynde vad 1940-79	Studsgård 1940-73	

Tabel 1. Databank med 10-døgns-middelværdier for de meteorologiske observationer ved Statens forsøgsstationer.



### 3.2 Biologiske data.

Der foretages hvert år af Statens Planteavlsforsøg og af de landøkonomiske foreningers forsøgsvirksomhed meget omfattende registreringer af forskellige planteavls-karakteristika. Den parameter, som vises størst interesse i forsøgsarbejdet, er naturligvis udbyttets størrelse, men også udbyttets kvalitet og dets forskellige komponenter undersøges indgående.

De mange forsøg er imidlertid anlagt ud fra vidt forskellige bevinge-grunde. Det indebærer, at det er forskellige faktorer, som bevidst varieres i forsøgene. Som eksempler kan nævnes genetiske faktorer, næringsstoffaktorer, vandfaktoren og forskellige sygdomsfaktorer. Idet alle faktorerne vekselvirker med de klimatiske betingelser, er det vanskeligt at finde forsøg, hvis resultater umiddelbart kan anvendes i generelle jordbrugsmeteorologiske studier. Endvidere indeholder biologiske observationer - til forskel fra f.eks. fysiske/meteorologiske observationer - altid en naturlig variation, som kan sløre de i denne forbindelse interessante kausale meteorologisk-biologiske sammenhænge.

Omend der mht. meteorologiske datas tilgængelighed stadig kan gøres mange forbedringer, så er disse data dog lagret centralt og i stort omfang på datamat-anvendelig form. De fleste relevante biologiske data findes derimod hos forskellige kilder og kun sjældent på elektronisk medium.

Hvert år udarbejdes af Statens Planteavlsforsøg de almindeligst dyrkede afgrøders "normaludbytter" på forsøgsstationerne. Disse normaludbytter samles centralt på Dataanalytisk Laboratorium og publiceres i Beretning fra Statens Planteavlsudvalg. Normaludbyttet for en afgrøde er defineret af Lund & Dorph-Petersen (1971). Kort kan normaludbyttet for en afgrøde på en forsøgsstation beskrives som udbyttet af det forsøgsled (eller gennemsnit af alle sådanne forsøgsled), som med hensyn til gødskning, jordbehandling, afgrødepleje mv. er normale for vedkommende areal og år. For studier af klimaforholdenes indvirkning på planteavlsudbyttets størrelser er

normaludbytterne derfor et særdeles relevant biologisk datamateriale. Normaludbytternes egnethed øges af, at der på forsøgsstationerne samtidigt er foretaget meteorologiske observationer.

Fra Statens Planteavlfsforsøgs sortsforsøg foreligger et stort datamateriale, som omfatter mange andre parametre end blot det endelige udbytte. Der har ikke på projektets 1. etape været ressourcer til nærmere at undersøge dette datamateriales egnethed for jordbrugs-meteorologiske studier.

På Askov Forsøgsstation har der siden 1894 været placeret et fastliggende forsøg med staldgødning og kunstgødning. Forsøget er anlagt både på Askov lermark og Askov sandmark, og er begge steder gennemført for vårsæd og vintersæd. Dette datamateriale synes meget velegnet, idet der for samme lange periode er foretaget meteorologiske målinger på stedet.

For studier af klimaets indvirkning på omfanget og intensiteten af angreb af plantesygdomme og skadedyr findes ikke tilsvarende langtids-registreringer af kvantitative bedømmelser af angrebene. Siden 1906 har Statens plantepatologiske Forsøg (nu Institut for Plantepatologi) udsendt Månedsoversigt over plantesygdomme, hvor et antal indberettere fordelt over hele landet rapporterer om plantesygdommes og skadedyrs angreb. Angrebene styrke bedømmes kvalitativt.

Stapel (1977) har på basis af disse månedsoversigter opstillet diagrammer, hvor forskellige skadevolderes angrebsstyrke for landet som helhed i årene 1906-76 er vurderet på en skala 1-11.

### 3.3 Ønskelige registreringer.

I kraft af jordbrugsmeteorologiens hidtidige beskedne placering her i landet er det ikke overraskende, at der ud fra et jordbrugsmeteorologisk synspunkt eksisterer en del ønsker angående meteorologiske og biologiske observationer. Ønskerne angående meteorologiske registreringer er fremført overfor Meteorologisk Instituts projektgruppe vedrørende Instituttets fremtidige datapolitik. Ønskerne skal ses i lyset af bestræbelserne for at få oprettet en egentlig

jordbrugsmeteorologisk tjeneste ved Statens Planteavlsvforsøg, hvorfor der henvises til beskrivelsen af en sådan tjeneste i rapportens afsnit 8.

### 3.3.1 Meteorologiske observationer.

På en del meteorologiske stationer bør jordtemperaturen måles i forskellige dybder under bar jord og under græs. For nærmere undersøgelser af hyppigheden af nattefrost ved jordoverfladen ønskes temperaturen i græshøjde registreret. På flere lokaliteter end det er tilfældet nu bør måles globalstrålingen og dens spektrale sammensætning. Forsøgsvis bør jordfugtigheden måles ved nogle stationer.

Ved den geografiske placering af disse målesteder og nye meteorologiske stationer i øvrigt bør der også tages jordbrugsmeteorologiske og jordbundsmæssige hensyn. For eksempel kan nye automatstationer placeres, så nettet af automatstationer bliver repræsentativt for landets forskellige typer af dyrkningsområder. Stationerne bør desuden placeres på lokaliteter, hvor der i forvejen foretages systematiske biologiske observationer, for eksempel på Statens Forsøgsstationer.

De meteorologiske data, som i fremtiden skal indgå i varslingsmodeller, skal være helt aktuelle. Derfor bør nogle af automatstationerne gøres aflæselige for øjeblikkelige registreringer.

### 3.3.2 Biologiske observationer.

Det tilgængelige datamateriale angående omfanget og intensiteten af plantesygdommes og skadedyrs angreb er ikke tilstrækkeligt detaljeret. Den af Stapel (1977) udarbejdede oversigt er anvendelig for meget generelle opgørelser, som f.eks. er foretaget af Zethner & Esbjerg (1978) angående knopormeangrebs afhængighed af klimatiske forhold. Men materialet kan ikke bruges som grundlag for varslingsmodeller. Til sådanne arbejder savnes på nuværende tidspunkt dansk talmateriale. Ved iværksættelse af nye undersøgelser på området bør jordbrugsmeteorologiske interesser indrages allerede i planlægningen af forsøgene.

Tilsvarende betragtninger gælder for andre planteavlfsforsøg. Eventuelt bør særlige jordbrugsmeteorologiske forsøgsserier iværksættes i landets forskellige klimaområder for at indsamle et optimalt datamateriale til undersøgelse af vejrets og klimaets indflydelse. I sådanne forsøgsserier bør fænologiske iagttagelser indgå som en vigtig bestanddel. Planter og dyr retter sig ikke efter kalenderen men efter en biologisk-meteorologisk tidsakse. Med baggrund i resultaterne herfra vil der fra jordbrugsmeteorologisk hold kunne ydes rådgivning overfor forsøgsinstitutionerne angående både den geografiske placering af fremtidige forsøg og fortolkningen af tidligere landsdækkende forsøgsserier.

## D E L \_ \_ \_ I I

## 4. AFGRØDE-VEJR MODELLER FOR BYG.

## 4.1 Data.

De meteorologiske data, som er hentet fra den i forbindelse med projektet oprettede klima-data-bank, er måneds-middelværdierne for temperatur og nedbør for månederne april til juli. De anvendte biologiske data er normaludbytterne i byg ved Statens Forsøgsstationer. I tabel 2 er givet en oversigt over datamaterialet. Tabellen viser de forsøgsstationer og år, for hvilke der foreligger anvendelige, sammenhørende meteorologiske og biologiske observationer. I tabellen er anført middelværdi og variationskoefficient for normaludbyttet samt middelnedbør og -temperatur for perioden 1. april til 31. juli for de aktuelle årrækker. Desuden er vist de anvendte værdier for tilgængeligt vand ved forsøgsstationerne. Der er foretaget den viste, meget grove opdeling af stationerne efter jordtype i SAND og LER. Det samlede datamateriale omfatter 367 observationer, hvoraf 144 er fra sandjorde og 223 fra lerjorde.

Forsøgsstation m.v.	Årrække	Antal år	Normaludbytte, byg		Middelværdier hele perioden 1.4 - 31.7		Tilgængeligt vand i rod- zonen, mm	Jord- type
			Middelværdi hkg/ha	Variations- koeff., %	Totale nedbør, mm	Temperatur °C		
Abed	50-73	24	46	14	204	12.4	160	LER
Askov	50-79	30	40	13	239	11.4	125	SAND
Blangstedg.	50-74	25	51	11	196	12.2	170	LER
Borris	50-79	30	44	11	220	11.5	135	SAND
Højer	50-79	30	47	16	202	11.8	155	LER
Jyndevad	50-79	30	30	29	233	11.9	65	SAND
Roskilde	70-79	10	46	14	171	11.6	140	LER
Rønhave	59-79	21	52	13	207	11.9	170	LER
Silstrup	73-79	7	53	13	175	11.1	160	LER
Studsgård	50-73	24	32	23	241	11.4	80	SAND
Tylstrup	50-79	30	38	17	199	11.4	110	SAND
Tystofte	50-73	24	45	11	188	12.2	150	LER
Ødum	50-79	30	47	12	195	11.4	155	LER
Åkirkeby	50-79	30	50	15	182	11.2	170	LER
Årslev	50-71	22	45	14	202	12.1	160	LER

Tabel 2. Oversigt over datamaterialet.

I figur 2 er på et Danmarkskort vist forsøgsstationernes geografiske placering.

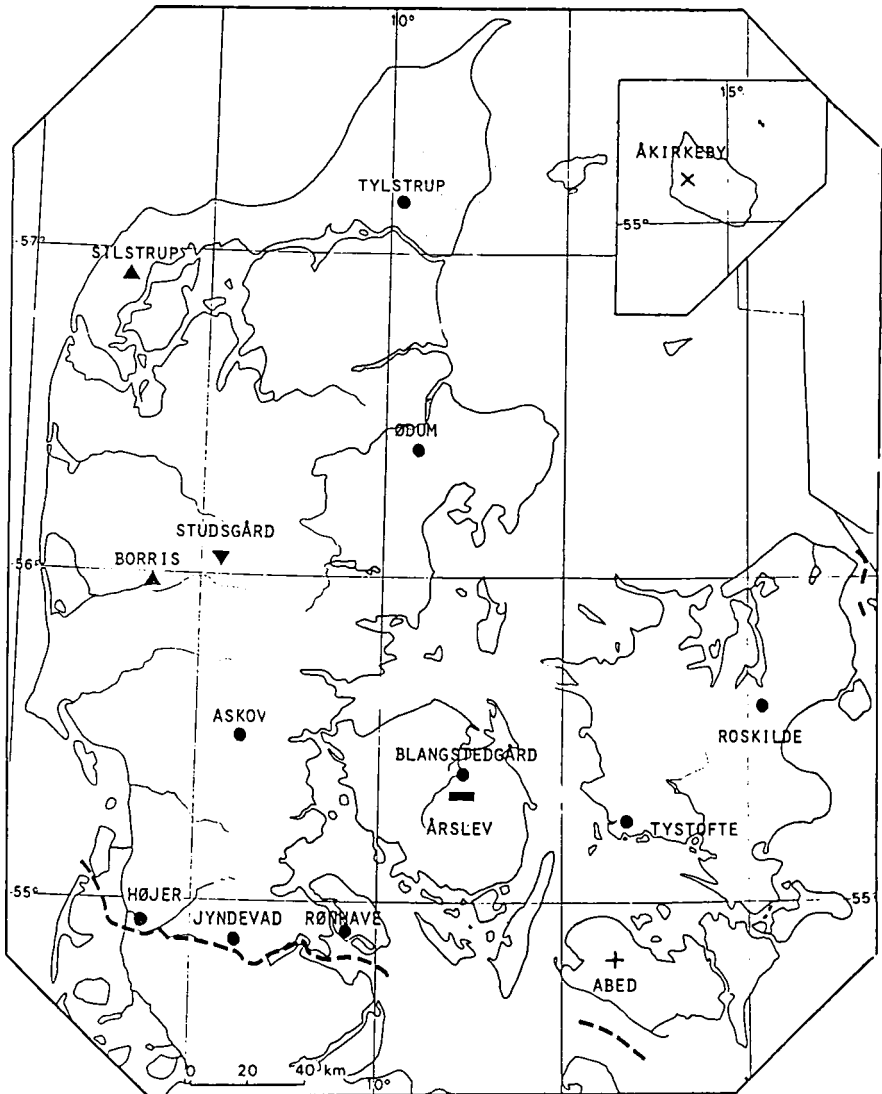


Fig. 2. Den geografiske placering af de omtalte forsøgsstationer m.v. Tidligere forsøgsstation, nu Havebrugscentret ■, nuværende forsøgsstation ●, nuværende filial ▲, nuværende forsøgsareal x, nedlagt forsøgsstation ▼, tidligere forsøgsareal + .



Variationskoefficienterne for normaludbytterne er udregnet uden hensyn til den udbyttetigning på grund af "teknologiforbedringer", som vides at være foregået i den undersøgte periode. "Teknologiforbedringer" inkluderer øget gødningstilførsel, forbedrede kulturforanstaltninger m.v. Variationskoefficienterne er således udregnet som spredningen  $s$  i % af middelværdien  $\bar{x}$ , hvor  $s$  findes af

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (1)$$

Her betegner  $x_i$  de registrerede normaludbytter de enkelte år, og  $n$  er antal år. Variationskoefficienterne karakteriserer dyrkningssikkerheden på stationerne. I tabel 2 kan det iagttages, at de tre stationer med de største variationskoefficienter, Jyndevad, Studsgård og Tylstrup (hhv. 29%, 23% og 17%) også er de tre stationer med mindst tilgængeligt vand i rodzonen.

Værdierne for tilgængeligt vand i rodzonen ved stationerne har været genstand for mange overvejelser. De divergerer for en del stationers vedkommende fra de værdier, som er givet af Hansen (1976) ud fra retentionskurver. Aslyng (1976) har givet grovere vurderinger på grundlag af resultaterne fra Hansen (1976) og overvejelser om dyrkningssikkerheden på stationerne. De værdier, som her er anvendt, er hovedsageligt hentet fra Aslyng (1976). I forhold til værdierne fra Aslyng (1976), som f.eks. for alle lerjordene angiver 160 mm, er der dog foretaget en finjustering bl.a. med skelen til normaludbytternes størrelse på de pågældende stationer. Værdierne for lerjordene spænder herefter fra 140 til 170 mm vand.

Til illustration af normaludbytternes store afhængighed af den tilgængelige vandmængde i rodzonen er vist fig. 3.

På ordinataksen er afsat middelværdi af normaludbytterne for årene 1960-69. Ved at betragte middelværdien for en 10-årig periode opnås

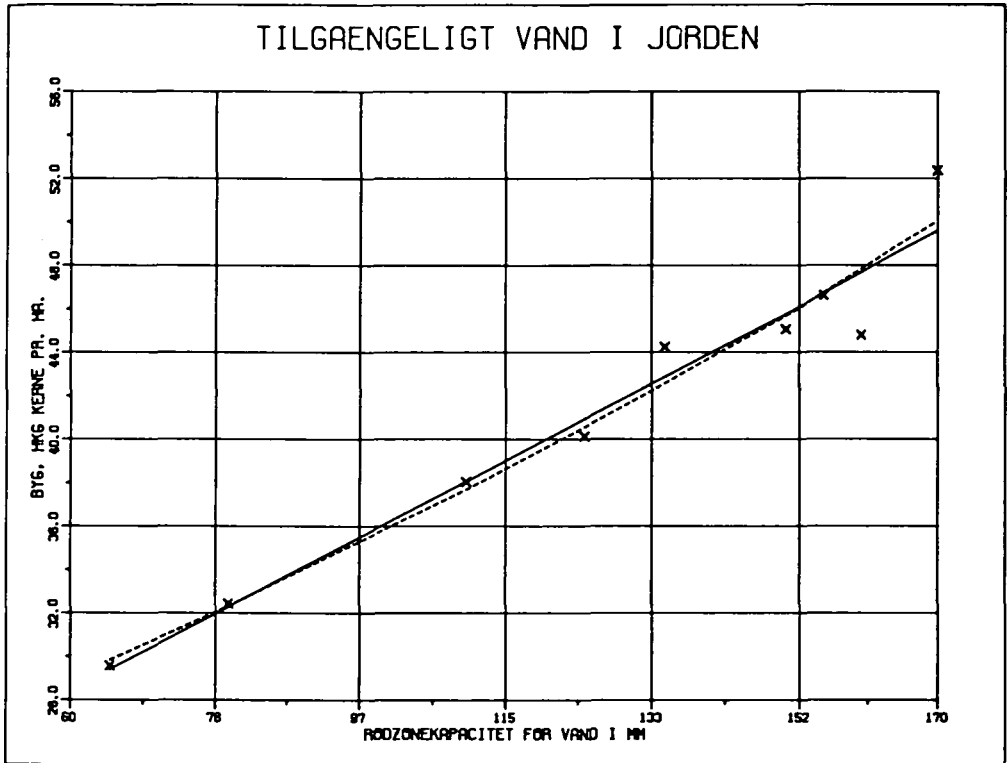


Fig. 3. Ni forsøgsstationers normaludbytter (middelværdi for årene 1960-69) afbildet imod stationernes tilgængelige vandmængde i rodzonen. Stationerne er, opført efter stigende rodzonekapacitet: Jydevad, Studsgård, Tylstrup, Askov, Borris, Tystofte, Ødum, Årslev og Rønhave.

nogen udjævning af den klimatisk betingede årsvariation. På abscissen er afsat tilgængeligt vand for følgende stationer, opført efter stigende rodzonekapacitet: Jydevad, Studsgård, Tylstrup, Askov, Borris, Tystofte, Ødum, Årslev og Rønhave. I figuren er indtegnet den rette linie, som "bedst" beskriver normaludbyttets afhængighed af den tilgængelige vandmængde i rodzonen. Ligningen for denne lineære regressionsmodel er

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i \quad (2)$$

hvor  $Y_i$  er 10-års middelværdien for normaludbyttet ved stationen med rodzonekapaciteten  $x_i$ , og  $\varepsilon_i$  er residualen - den del af udbyttet, som modellen ikke kan forklare.  $\beta_0$  og  $\beta_1$  er modellens parametre. Estimatet  $\hat{\beta}_1$  for  $\beta_1$  i (2) er  $\hat{\beta}_1 = 0.19$ , hvilket svarer til en forøgelse på 0.19 hkg byg pr. ha pr. mm rodzonekapacitet. Aslyng (1976) fandt ved beregninger, hvori også stationernes normalnedbør inkluderedes, en forøgelse på ca. 0.2 hkg pr. ha pr. øget mm vand. I fig. 3 er med brudt streg indtegnet det andengradspolynomium, som "bedst" beskriver normaludbyttets afhængighed af rodzonekapaciteten. Ligningen bliver nu

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 \cdot x_i^2 + \varepsilon_i \quad (3)$$

med betegnelser som ovenfor ved formel (2). Andengradsleddet bidrager dog ikke signifikant (partiel F-test, 5% niveau) til forklaringen af datas variation.

Det øgede udbyttelniveau, som er forekommet med årene, er illustreret i fig. 4. For de stationer, hvorfra der foreligger normaludbytter i byg for alle årene 1950-79 er dannet middelværdi for hvert år. Det er stationerne Jyndevad, Tylstrup, Askov, Borris, Ødum, Højer og Åkirkeby. Disse middelværdier er afbildet imod årene, og med fuldt optrukket streg er vist den rette linie (2), som "bedst" beskriver en lineær sammenhæng. Hældningskoefficienten  $\hat{\beta}_1 = 0.32$ , hvilket svarer til en "gennemsnitlig" udbyttetigning i perioden 1950-79 på 0.32 hkg byg pr. ha pr. år. Med brudt streg er vist det andengradspolynomium (3), som "bedst" beskriver sammenhængen. Andengradsleddets koefficient  $\hat{\beta}_2$  er negativ og antyder en aftagende tendens for udbyttetigningen. Andengradsleddets bidrag til forklaringen af datas variation er dog ikke signifikant (partiel F-test, 5% niveau).

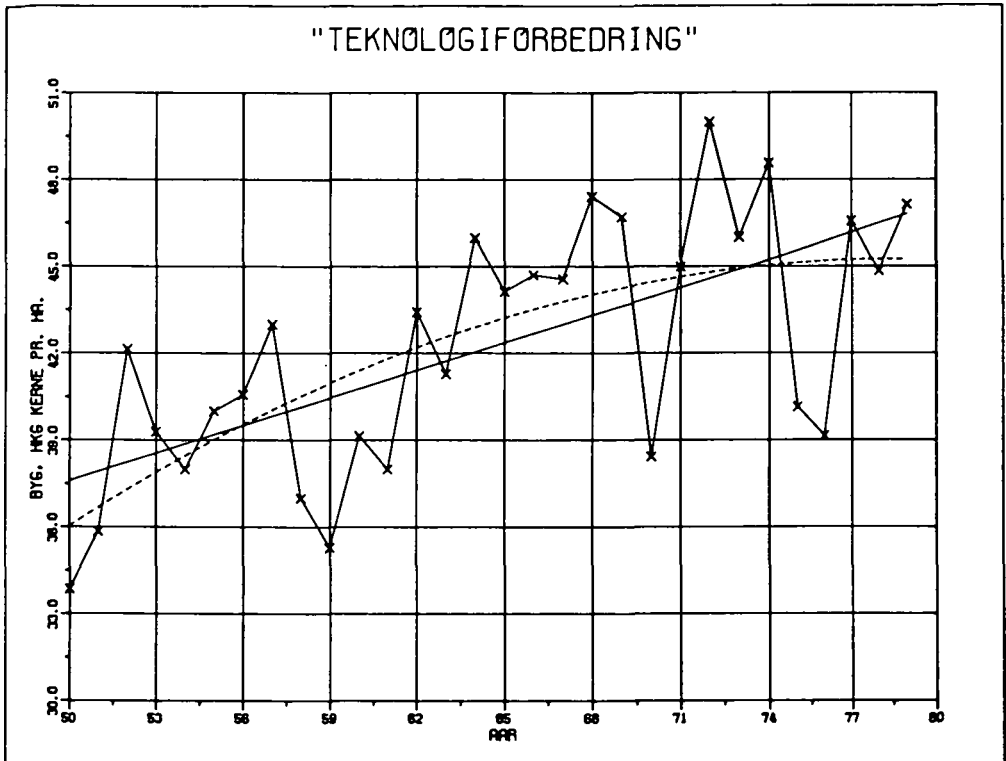


Fig. 4. Normaludbyttens års-middelværdier for stationerne Jyde-  
vad, Tylstrup, Askov, Borris, Ødum, Højer og Åkirkeby, å-  
rene 1950-79.

De klimatiske variables inter-korrelation er illustreret med tabel 3. De 30 observationer, som ligger til grund for korrelationsberegningerne, er årsmiddelværdierne for T4-T7 og N4-N7 (hhv. temperatur og nedbør for månederne april til juli) for årene 1950-79 af alle de i tabel 2 anførte observationer. For alle månederne er der en negativ korrelation mellem månedens middeltemperatur og nedbør. Korrelationen er dog kun for maj og juli signifikant. Resultatet er ikke overraskende. I vort klima er en stor nedbørmængde i vækstsæsonen ofte ledsaget af en lav temperatur. Den negative korrelation er mere udtalt for sammenhængen mellem nedbør og antal solskinstimer. Men idet registrering af solskinstimer kun foreligger for nogle af stationerne, er denne variabel ikke taget med i beregningerne.

	N4	N5	N6	N7
T4	-0.33	-0.09	0.23	0.23
T5	0.05	-0.50**	0.21	0.22
T6	0.34	-0.15	-0.04	0.39*
T7	0.06	0.14	-0.26	-0.48**

Tabel 3. Koefficienter for korrelationen mellem middelværdierne for månedernes temperatur og nedbør. N = 30. Stjerner angiver signifikansniveau <sup>+)</sup> .

I tabel 4 og 5 er for hhv. Jydevad og Ødum som eksempler fra to forskellige jordtyper vist de simple korrelationskoefficienter mellem normaludbyttet og vækstsæsonens klimatiske variable i den undersøgte 30-års-periode. I tabellernes øverste halvdele er vist korrelationen, når normaludbytterne ikke er korrigeret for "teknologiforbedring". Koefficienterne i tabellernes nederste halvdele er for udbytter, som er korrigeret for en lineær udbytteøgning med årene. Den omtalte teknologiforbedring andrager for Jydevad 0.20 og for Ødum 0.27 hkg byg pr. ha pr. år.

Forskellene mellem Jydevad og Ødum i korrelationskoefficienterne skal gives en forsigtig, plantefysiologisk forklaring. På Jydevads sandjord er en stor nedbør i maj-juni tvingende nødvendig for opnåelse af et stort udbytte. Derimod reagerer Ødums lerjord tilsyneladende negativt på øget nedbør, når denne falder i april og maj. Først hen i juni er jordens reserver så udtømte, at øget nedbør medfører øget udbytte.

<sup>+)</sup>  En \* angiver niveauet 5%, \*\* niveauet 1% og \*\*\* niveauet 0.1 %.

	T4	T5	T6	T7	N4	N5	N6	N7
UDBB(ukorr)	0.01	-0.14	-0.12	-0.20	0.04	0.54**	0.47**	0.10
UDBB(korr)	0.07	-0.11	-0.12	-0.18	0.01	0.55**	0.47**	0.12

Tabel 4. Koefficienter for korrelationen mellem normaludbyttet i byg og vækstsæsonens klimatiske variable: ved Jyndeved, perioden 1950-79 (n = 30). Nederste del af tabellen viser korrelationen, når normaludbytterne er korrigeret for en lineær "teknologiforbedring". Stjernerangiver signifikansniveau.

	T4	T5	T6	T7	N4	N5	N6	N7
UDBB(ukorr)	0.20	-0.30	-0.40*	-0.14	-0.23	-0.09	0.29	-0.17
UDBB(korr)	0.35	-0.23	-0.41*	-0.07	-0.32	-0.16	0.36*	-0.03

Tabel 5. Koefficienter for korrelationen mellem normaludbyttet i byg og vækstsæsonens klimatiske variable: ved Ødum, perioden 1950-79 (n = 30). Nederste del af tabellen viser korrelationen, når normaludbytterne er korrigeret for en lineær "teknologiforbedring". Stjerner angiver signifikansniveau.

Dette afsnits indledende undersøgelser af datamaterialet viser, at der i afgrøde-vejr modeller til beskrivelse af forsøgsstationernes normaludbytter i byg foruden klima-variable skal inkluderes en "teknologi-variable" (AAR) og stationernes rodzonekapacitet for vand (VAND). De forskellige korrelationer mellem udbyttet og klima-variable for Jyndeved og Ødum antyder, at modellerne vil være forskellige for SAND og LER. Den fundne inter-korrelation mellem klimavariablene viser, at de bestemmende variable ikke er uafhængige af hinanden.



#### 4.2 Statistisk metode.

Det er ikke tilfredsstillende blot at kunne konstatere, at på sandjorde som ved Jyndevad giver øget nedbør i maj-juni øget udbytte. Det vidste vi jo i forvejen. For at give et kvantitativt udtryk for bygudbyttets afhængighed af de klimatiske forhold må flere klimatiske variable inddrages som bestemmende variable. Den statistiske metode, der anvendes, er multipel lineær regression, som kort skal beskrives på matrix-form. For en udførlig beskrivelse af denne metode og især dens anvendelser henvises til Draper & Smith (1966).

Den multiple lineære regressionsmodel formuleres generelt som

$$Y_i = \sum_{j=0}^s \beta_j x_{ij} + \epsilon_i \quad (4)$$

hvor  $Y_i$  er det målte udbytte nr.  $i$ ,  $x_{ij}$  er den  $j$ 'te klimavariabel m.v., som "hører sammen med" udbyttet nr.  $i$ ,  $\beta_j$  er  $x_{ij}$ 's ukendte regressionskoefficient, som skal estimeres ud fra det foreliggende datamateriale,  $s$  er antallet af parametre i modellen udover  $\beta_0$ , og  $\epsilon_i$  er den del af det målte udbytte  $Y_i$ , der ikke kan forklares med modellen. Modellens forudsætninger er, at residualerne  $\epsilon_i$  er indbyrdes uafhængige med middelværdi 0 og konstant varians  $\sigma^2$ .

Den generelle model kan opskrives bekvemt på matrix-form

$$\underline{Y} = \underline{X}\underline{\beta} + \underline{\epsilon} \quad (5)$$

Her er  $\underline{Y}$  en  $n \times 1$  søjlevektor bestående af de  $n$  udbyttemålinger. Hvis vi som eksempel tager udbyttemålingerne fra SAND, er  $n=144$ , og  $\underline{Y}$  er en  $144 \times 1$  vektor.  $\underline{X}$  er en  $n \times p$  matrix med  $n = 144$  observerede værdier af de bestemmende variable svarende til udbyttemålingerne, og  $p$  er antallet af parametre i modellen.  $\underline{\beta}$  er  $p \times 1$  vektoren bestående af de  $p$  parametre, og  $\underline{\epsilon}$  er en  $n \times 1$  vektor med residualerne for de 144 observationer. De forventede værdier af normaludbytterne bliver således

$$E(\underline{Y}) = \underline{X}\underline{\beta} \quad (6)$$

Estimaterne for parametrene ( $\underline{\hat{\beta}}$ ) opnås efter mindste kvadraters metode. Ved denne metode findes de værdier for parametrene, som ved indsættelse i (5) minimerer summen af residualestimaternes kvadrater. Ved simple matrixmanipulationer og differentiering kan det vises (Draper & Smith, 1966), at parameterestimaterne  $\underline{\hat{\beta}}$  findes som

$$\underline{\hat{\beta}} = (\underline{X}'\underline{X})^{-1}\underline{X}'\underline{Y} \quad (7)$$

Med dette estimat for  $\underline{\hat{\beta}}$  kan findes prædicerede værdier for normaludbytterne. Vektoren  $\underline{\hat{Y}} = \underline{X}\underline{\hat{\beta}}$  består for SAND af disse 144 prædicerede værdier, og estimatet for vektoren  $\underline{\epsilon}$  bestående af de 144 residualer findes da som

$$\underline{\hat{\epsilon}} = \underline{Y} - \underline{\hat{Y}} \quad (8)$$

Ved grafisk afbildning og forskellige andre metoder kan residual-estimaterne analyseres nærmere og dermed give indtryk af den anvendte models egnethed.

Variansen for en prædiceret værdi  $\underline{\hat{Y}}_0$  af en vektor  $\underline{X}_0'$  - en  $1 \times p$  vektor af samme form som en række fra den oprindelige matrix  $\underline{X}$  i (5) - findes som

$$\text{Var}(\underline{\hat{Y}}_0) = \underline{X}_0' (\underline{X}'\underline{X})^{-1} \underline{X}_0 \sigma^2 \quad (9)$$

Med et estimat for  $\sigma^2, s^2$ , som fås fra regressionsanalysen, kan angives konfidensintervaller for prædicerede værdier.

Multipel lineær regression er en analysemetode, som ofte anvendes ved bearbejdning af materiale fra ikke-eksperimentelle undersøgelser. Det foreliggende materiale er typisk i så henseende. På forsøgsstationerne er gennem en årrække observeret en række klimatiske størrelser og nogle normaludbytter. Men det var ikke på forhånd planlagt, at observationerne skulle udnyttes til opbygning af afgrøde-vejr modeller. Tilsvarende vides det heller ikke på forhånd, hvilke af de målte klimavariabler og vekselvirkninger imellem dem, der bør medtages i modellerne.

Til udvælgelse blandt de mange mulige bestemmende variable af de variable, som skal med i regressionsmodellerne, er anvendt stepwise-teknikken (Draper & Smith, 1966; Helwig & Council, 1979) som en del af beslutningsgrundlaget. Ved stepwise-metoden medtages i modellen først den bestemmende variabel, som er stærkest korreleret med den afhængige variabel (her udbyttet). Derefter inkluderes den bestemmende variabel, som bidrager mest til en yderligere forklaring af den afhængige variables variation. Sådan fortsættes med tilføjelse af én bestemmende variabel ad gangen, men efter hver tilføjelse undersøges samtlige bestemmerde variable i modellen for, om deres bidrag til forklaringen er signifikant (partielle F-tests). Hvis bidraget er insignifikant, droppes den pågældende variabel. Stepwise-proceduren fortsætter, indtil ikke flere af de tilbageværende mulige bestemmende variable tilfredsstiller det opstillede minimumskrav mht. "forklaring" af restvariationen (partielle F-tests) for inklusion i modellen.

Især i tilfælde som det her foreliggende, hvor de mulige bestemmerde variable er interkorrelerede, er det ikke tilrådeligt blindt at forlade sig på stepwise-teknikkens sorteringsmekanisme. Man bør vurdere den resulterende model ud fra sit kendskab til de fysiske forhold, som søges beskrevet og derefter i overensstemmelse med vurderingen tilføje/udelukke bestemmende variable. Mulige modellens prædiktionssevne bør også undersøges ved at anvende modellerne på et andet datamateriale end det, som er grundlaget for estimering af modellens parametre ("ægte prædiktion"). Begge metoder er anvendt her, og metoden "ægte prædiktion" omtales udførligt i afsnit 4.4.

#### 4.3 Beskrivelse af modellerne.

I tabel 6 er anført de 35 variable, som anses for mulige bestemmerde variable i afgrøde-vejr modellerne for byg. Variablene er opdelt efter type i "teknologi"-variable, jord-variable, klima-variable, "teknologi"-klima-variable og jord-klima-variable. Indenfor de tre første typer af variable er medtaget kvadratiske led som f.eks.  $TK_4 (= T_4 * T_4)$ , kvadratet af aprils middeltemperatur. Begrundelsen er, at biologiske relationer ofte beskrives signifikant bedre med anden-

Variabel-type	Betegnelse	Beskrivelse
"Teknologi-variable"	AAR AARK	(AAR*AAR)
Jord-variable	VAND VANDK	(VAND*VAND)
Klima-variable	T4,T5,T6,T7 N4,N5,N6,N7 TK4,TK5,TK6,TK7 NK4,NK5,NK6,NK7 TN4,TN5,TN6,TN7 NEDB_S TEMP_V	(T4*T4,T5*T5, osv.) (N4*N4,N5*N5, osv.) (T4*TK4,T5*TK5, osv.) (N4*NK4,N5*NK5, osv.) (T4*TN4,T5*TN5, osv.) (N8+N9+N10+N11+N12+N1+N2+N3) ((T12+T1+T2+T3)/4)
"Teknologi-klima-variable"	NEDBAAR	((N5+N6)*AAR)
Jord-klima-variable	TV4,TV5,TV6,TV7 NV4,NV5,NV6,NV7	(T4*VAND,T5*VAND, osv.) (N4*VAND,N5*VAND, osv.)

Tabel 6. Mulige bestemmende variable. For symbolforklaringer henvises til appendix A.

grads- end med førstegradspolynomier. Indenfor klima-variablene er anført en del klima-vekselvirkninger. For eksempel betegner TN5 ( $T5*N5$ ) vekselvirkningen af temperatur og nedbør i maj måned. De to variable NEDB\_S og TEMP\_V betegner hhv. den totale nedbør i de forløbne måneder august til og med marts og middeltemperaturen i de forløbne måneder december til og med marts. Begge variable kan tænkes at have indflydelse på udbyttet, idet de bl.a. har betydning for jordens N-mineralisering og -udvaskning. "Teknologi"-klima-variablen NEDBAAR er fremkommet som produktet af ( $N5+N6$ ) og AAR og kan repræsentere en øget effekt af maj-juni-nedbøren, som på nogle jor-

de evt. er forekommet med årenes "teknologi-forbedringer". Tilsvarende betegner jord-klima-variablene vekselvirkninger mellem jordens tilgængelige vandmængde og klimaet. Det synes sandsynligt, at der udover en positiv virkning af øget rodzonekapacitet for vand og en positiv virkning af f.eks. maj-nedbøren eksisterer en vekselvirkning imellem de nævnte faktorer.

Med den teknik, som kort er beskrevet i afsnit 4.2, er fundet de i tabel 7 anførte modeller som de "bedste" modeller for SAND. Det er modellen SAND2, som forudsiger årets normaludbytte ved udgangen af juli måned, og modellen SAND3, som forudsiger det allerede ved udgangen af juni måned.

I tabellen er vist de variable (udover intercept, dvs.  $\hat{\beta}_0$  fra (4)), som indgår i modellerne, fortegnene for parameterestimaterne, de signifikansniveauer, hvorpå variablenes bidrag til forklaringen af udbyttet er forskellige fra 0 (partielle F-tests) samt modellernes residualvarianser,  $s^2$ , og multiple korrelationskoefficienter,  $R^2$ . De multiple korrelationskoefficienter på 0.75 og 0.74 angiver, at modellerne forklarer hhv. 75% og 74% af den totale variation i de 144 observerede normaludbytter. Variansestimaterne er modellernes residualvarianser og beskriver den udbyttevariation, der - forudsat modellerne er korrekte - ikke kan forklares med klimatiske variable.

Parameterestimaternes ( $\hat{\beta}$  i (7)) størrelser er ikke angivet. Dette skyldes dels de relativt store spredninger på estimerne, dels frygt for, at numeriske angivelser ville medføre "overfortolkning" af modellens enkelte led. Det skal erindres, at de bestemmende variable er interkorrelerede - især efter tilføjelsen af kvadratiske led. Et "partielt bidrag" til udbytteforklaringen fra et af modellens led bør derfor ikke vurderes isoleret fra modellens øvrige led. Det skønnes, at angivelse af signifikansniveauerne giver tilstrækkelig information om de enkelte variables betydning i modellerne.

I begge modellerne for SAND synes fortegnene for de mest betydende parameterestimer rimelige ud fra plantefysiologiske betragtninger. "Teknologi"-variablene afspejler den udbytteforøgelse med årene, som omtaltes ved de indledende undersøgelser af materialet. Det

Model	Bestemmende variable i modellen	Parameter-estimer-nes for-tegn	Signifikans niveau	Varians-estimatet $s^2$	Multiple korrela-tionsko-efficient $R^2$
SAND2	AAR	+	0.025	19.5	0.75
	AARK	-	0.021		
	VAND	+	<0.001		
	T6	-	0.700		
	T7	+	0.026		
	N5	+	0.009		
	N6	+	0.140		
	TK7	-	0.020		
	NK5	-	0.029		
	NK6	-	0.017		
	NEDBAAR	+	0.070		
	TV6	-	0.323		
	NV5	-	<0.001		
	NV6	-	0.036		
SAND3	AAR	+	0.035	20.6	0.74
	AARK	-	0.028		
	VAND	+	<0.001		
	T6	-	0.975		
	N5	+	0.011		
	N6	+	0.103		
	NK5	-	0.008		
	NK6	-	0.005		
	NEDBAAR	+	0.058		
	TV6	-	0.309		
	NV5	-	<0.001		
	NV6	-	0.044		

Tabel 7. Modeller for normaludbytter på sandjorde, SAND, med 144 observationer.

er forventeligt, at estimatet for VANDs parameter er positivt og stærkt signifikant. For de her behandlede sandjorde er effekten af maj-juni nedbøren positiv, men månedsnedbørernes kvadrater er også signifikante med negative parameterestimater. Endelig skal kommenteres vekselvirkningerne NEDBAAR og NV5. NEDBAARs positive effekt udtrykker, at på sandjordene er merudbyttet af øget nedbør i maj-juni blevet større med årene. En sandsynlig forklaring er, at med årene er kvælstofniveauet øget betydeligt. Især på sandjorde vil maj-juni nedbørens størrelse have stor indflydelse på udnyttelsen af kvælstoffet og dermed på udbyttets størrelse. NEDBAAR kan på denne måde opfattes som en vekselvirkning mellem nedbør og især kvælstof. Den negative vekselvirkning NV5 mellem VAND og N5 udtrykker, at jo større den tilgængelige vandmængde i jorden er, des mindre bliver merudbyttet ved en øget maj-juni nedbør, hvilket synes ganske plausibelt.

I tabel 8 er vist den "bedste" model, LER2, for lerjordene (223 observationer). Modellen kan forudsige årets normaludbytte ved udgangen af juni måned. Ved sammenligning med modellerne for SAND bemærkes her en noget lavere multipel korrelationskoefficient på 0.53. Lerjorde er mere dyrkningssikre end sandjorde, og det er naturligt, at vækstsæsonens klimatiske forhold kan forklare en større del af udbyttevariationen på sandjorde end på lerjorde.

I LER2 er ingen af "teknologi"-variable AAR og AARK signifikante, og i forhold til SAND-modellerne er fortegnene for de to variables parameterestimater modsatte. Hvis man i modellen havde medtaget AAR alene og udeladt AARK, ville AAR dog blive signifikant og med et positivt parameterestimat. Vækstsæsonens nedbørsforhold spiller en helt anden rolle end på sandjordene. April-nedbørens (N4) signifikante negative effekt og apriltemperaturens (T4) signifikante positive effekt skal betragtes i lyset af de tilsvarende kvadratiske leds (NK4 og TK4) signifikante virkninger. De talmæssige forhold mellem parameterestimaterne for T4, N4, TK4 og NK4 giver dog grundlag for konstatering af en sandsynlig negativ indflydelse af øget aprilnedbør og en tilsvarende positiv indflydelse af øget middeltemperatur i april måned.

Model	Bestemmende variable	Parameter estimator-nes for-tegn	Signifi-kansni-veau	Varians-estimatet $s^2$	Multiple korrela-tionskoeffi-cient, $R^2$
LER2	AAR	-	0.680	23.4	0.53
	AARK	+	0.368		
	VAND	+	0.001		
	T4	+	0.001		
	T6	-	0.690		
	N4	-	0.001		
	N6	-	0.244		
	TK4	-	0.001		
	TK5	-	0.001		
	TK6	+	0.848		
	NK4	+	0.002		
	NK5	-	0.005		
	NEDB_S	-	0.001		
	TN6	+	0.141		
	NV4	+	0.015		

Tabel 8. Model for normaludbytterne på lerjorde, LER, med 223 observationer.

Den negative indflydelse af NEDB\_S, totalnedbøren i den forudgående vinter, er påfaldende klar. Denne effekt kan være en effekt af øget kvælstofudvaskning. NEDB\_S er ikke signifikant for sandjordene. Dette kan i denne sammenhæng forklares med, at på sandjordene udvaskes kvælstoffet så let, at al det mineraliserede kvælstof er udvasket hvert forår, uanset vinternedbørens størrelse.

Effekten af NEDB\_S for lerjorde kan også tolkes i sammenhæng med bemærkningerne ovenfor angående april-vejret og da udtrykke en negativ effekt af en kold, fugtig jord i det tidlige forår, som vanskeliggør såbedstilberedningen og udsætter såtidspunktet på lerjordene. I denne henseende er sandjordene med mindre varmekapacitet og stør-



re vandledende evne ikke så følsomme. Virkeligheden i jord-klima-plante systemet er måske en kombination af de to fremførte forklaringer.

For hele datamaterialet under et (367 observationer) er som "bedste" model fundet modellen TOTAL2. Modellen omfatter 20 bestemmende variable,  $R^2$  er 0.73, og  $s^2$  er 23.7. Modellen er i et vist omfang fremkommet ved kombination af SAND2 og LER2. Både ud fra plantedyrknings-betragtninger og ud fra de nævnte to modelleres forskelle mht. bestemmende variable og statistiske egenskaber i øvrigt synes det rimeligt at kommentere disse to modeller fremfor modellen TOTAL2. Ved yderligere arbejde med TOTAL2 kan denne model måske udvikles til at være acceptabel for alle jorde og derfor mere anvendelig for generelle udbytteestimer. Udviklingsarbejdet vil bl.a. omfatte afprøvning af mere sofistikerede regressions-teknikker.

#### 4.4 Afprøvning af modellerne.

Ved prædiktation med en model må skelnes skarpt imellem, om der prædiceres på observationer, som har været inkluderet i parameterestimeringen, eller der prædiceres på helt uafhængige observationer. Det første tilfælde skal i det følgende benævnes "prædiktation", mens det andet tilfælde skal benævnes "ægte prædiktation". Når modellerne herefter anvendes til ægte prædiktation, markeres det med en \* efter modellens navn, f.eks. SAND2\*. Også ægte prædicerede værdier og ægte residualer markeres med \*, f.eks.  $\hat{Y}^*$  og  $\epsilon^*$ .

Prædiktation fra sandjordene med SAND2 er illustreret i fig. 5. Data er fra Jyndevad, og prædicerede og målte normaludbytter er afbildet imod år. Der er tilsyneladende god overensstemmelse mellem de prædicerede (—) og de målte (----) værdier. Tilsvarende er i fig. 6 vist prædiktation fra lerjordene med LER2. Data er fra Ødum. I fig. 7 og 8 er for hhv. SAND2 (144 observationer) og LER2 (223 observationer) afbildet alle prædicerede normaludbytter imod målte, og vinkelhalveringslinien er indlagt i figurerne. Fig. 9 og 10 viser residualerne (8) afbildet imod år for SAND2 og LER2.

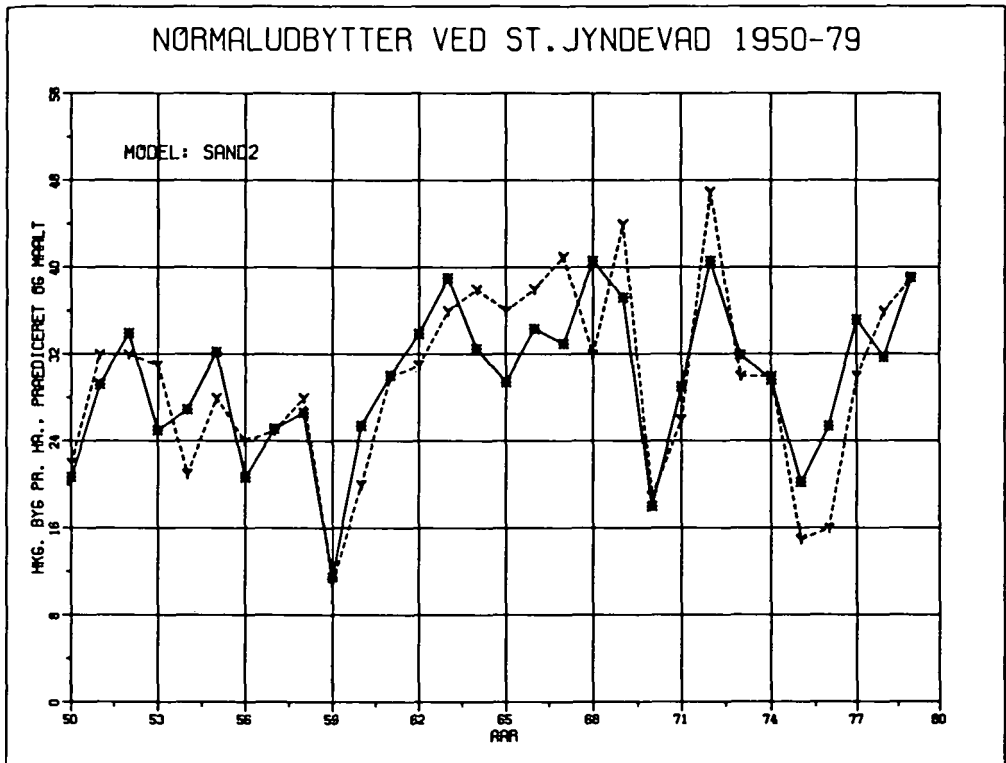


Fig. 5. Målte (Y---Y) og prædicerede (\*—\*) normaludbytter med SAND2. Data fra Jyndevad.

Ved sammenligning af figurerne 7 og 8 ses en noget større spredning omkring vinkelhalveringslinien i fig. 8. (LER) end i fig. 7 (SAND). Dette til illustration af, at SAND2 prædicerer "bedre" end LER2. Residualplottene i fig. 9 og 10 viser, at i nogle år er prædiktio-  
 nerne meget forskellige fra de målte værdier. Dette gælder i særlig høj grad for LER, hvor der for eksempel for 1969 findes et residual på ca. 15 hkg/ha. SAND2 (fig. 9) har for årene 1953 og 1969 prædiceret for lavt for alle stationerne. Året 1953 var nedbørsrigt med en samlet nedbør for månederne april-juli på 256 mm imod normalt ca. 205 mm. Året 1969 havde en stor maj-nedbør på 80 mm imod normalt ca. 45 mm. Derimod var maj måned i året 1954 tør med en nedbør på 28 mm. For dette år har SAND2 prædiceret for højt for alle stationerne.

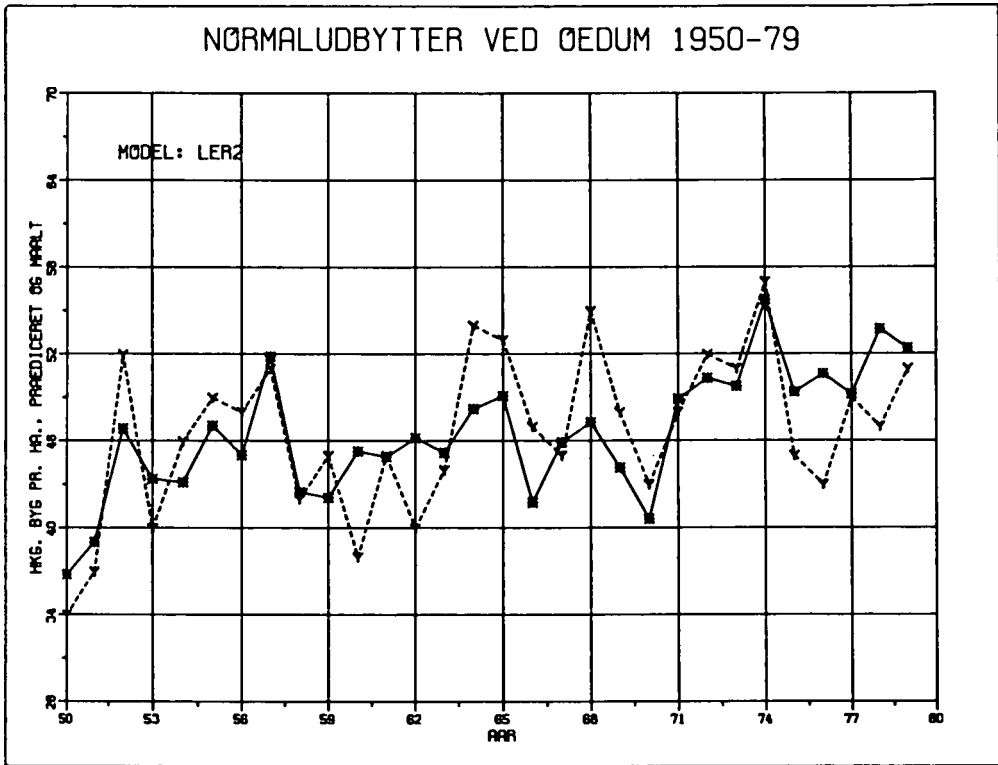


Fig. 6. Målte (Y---Y) og prædicerede (\*—\*) normaludbytter med LER2. Data fra Ødum.

For LER2 (fig. 10) gælder, at 1969-udbytterne er prædiceret for lavt og 1967-udbytterne for højt for alle stationerne. Nedbørsforholdene 1969 er kommenteret ovenfor. 1967-nedbøren var større end normalt i april og maj men mindre end normalt i juni og juli.

Hidtil er kun behandlet modellernes evne til prædiktion, til at "efterligne" de kendte resultater, som har dannet grundlaget for estimering af parametrene. Hvis modellerne skal anvendes i praksis til forudsigelse af årets bygudbytte, er det imidlertid altid ægte prædiktion, som foretages.

Modellernes evne til at foretage ægte prædiktion er undersøgt på forskellige måder, og flere modeller end de her viste er behandlet.

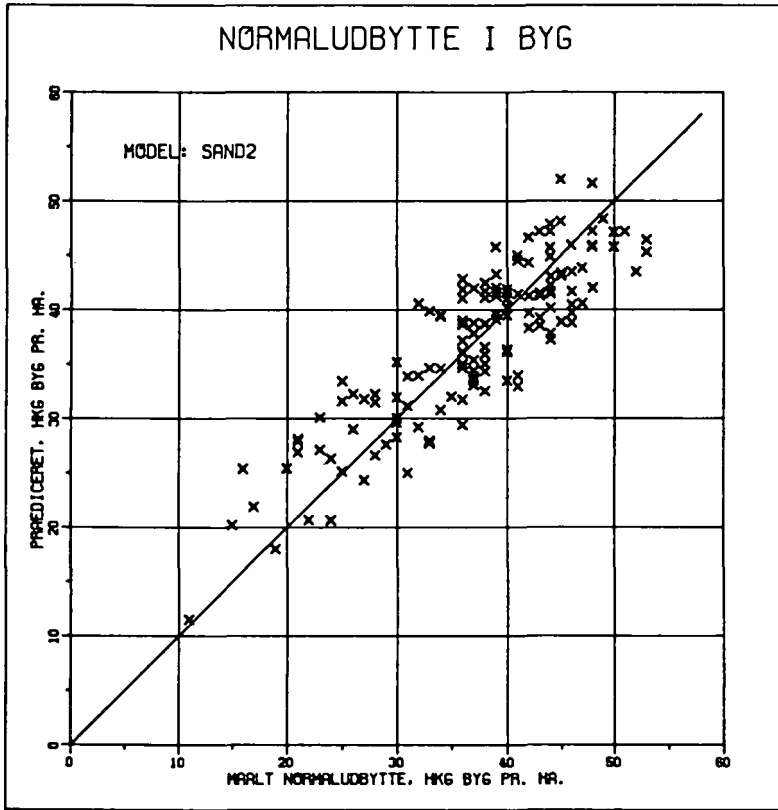


Fig. 7. Prædicerede normaludbytter afbildet imod målte. Model SAND2, 144 observationer fra sandjordene.

I alt har for sandjorde været undersøgt 10 forskellige modeller og for lerjorde 5 modeller. Resultaterne af disse undersøgelser har været meget tungtvejende for valget af "bedste" modeller. Som eksempel skal vises, hvordan en af undersøgelserne er foretaget for SAND.

SANDs 144 observationer er opdelt i to dele, parameterestimationen er foretaget på den ene del af materialet, hvorefter ægte prædiktion med de fundne parameterestimer er foretaget på den anden del af materialet. Eksempelvis er parameterestimation foretaget på data fra årstal, hvis rest ved division med 3 er forskellig fra 0 (modu-

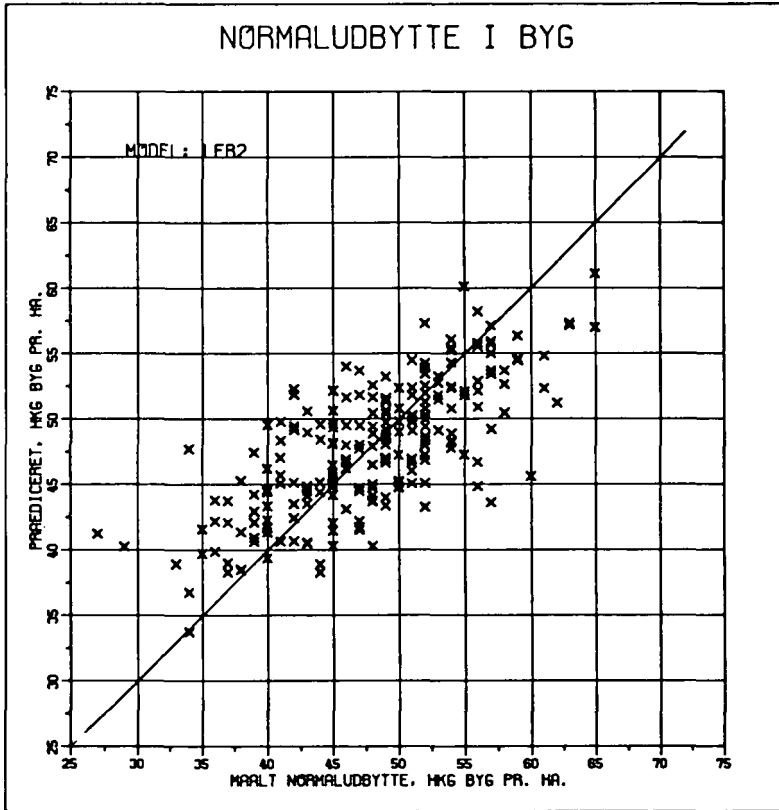


Fig. 8. Prædicerede normaludbytter afbildet imod målte. Model LER2  
223 observationer fra lerjordene.

lus(AAR,3)≠0). Derefter er ægte prædiktion foretaget for de årstal, som er delelige med 3 (modulus(AAR,3)=0). Herved er opnået 144:3 = 48 ægte prædiktioner. Tilsvarende manøvrer er foretaget for datamaterialet med modulus (AAR,3)=1 og datamaterialet, hvor modulus (AAR,3)=2. Fra disse tre manøvrer er således fremkommet 144 ægte prædiktioner og ægte residualer for hver af de undersøgte modeller. I fig. 11 er for Jynde vad afbildet de fundne ægte prædiktioner med modellen SAND1\* og de målte normaludbytter imod år. Modellen SAND1 er den "fulde" model; det vil sige, den omfatter samtlige de mulige bestemmende variable, som er anført i tabel 2. Fig. 12 viser - også fra Jynde vad - de tilsvarende ægte prædiktioner opnået med modellen

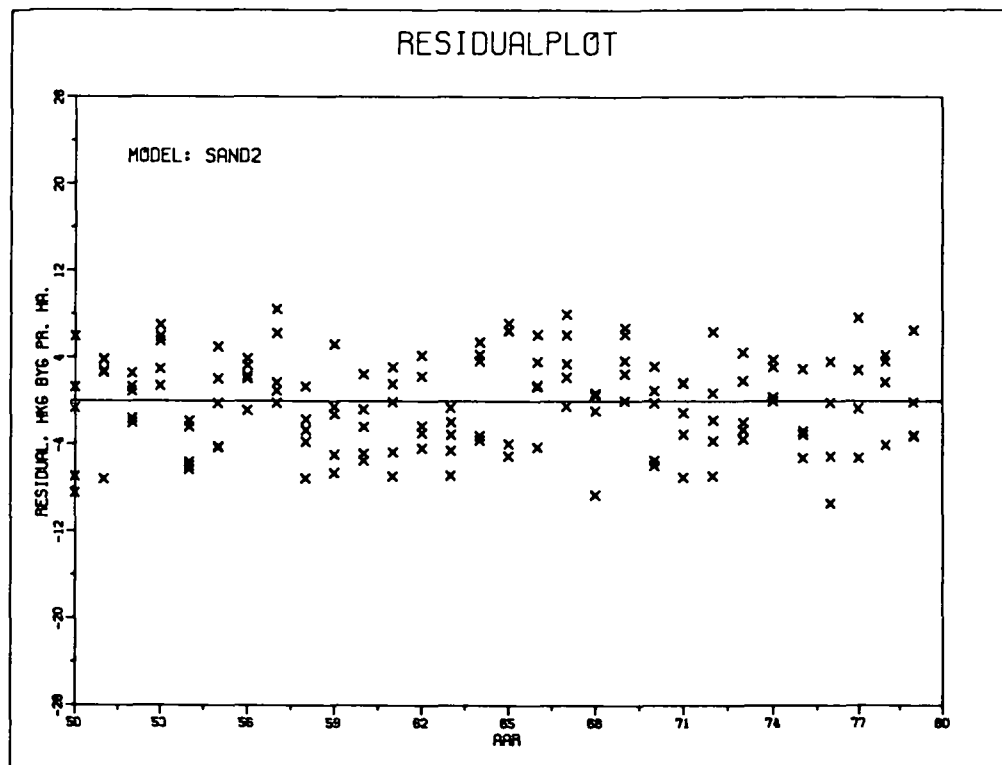


Fig 9. Residualerne fra modellen SAND2 afbildet imod år. 144 observationer fra sandjordene.

SAND2\*. Det iagttages, at med SAND2\*, hvor der er foretaget en udvælgelse blandt de mulige bestemmende variable, er der opnået betydeligt bedre prædiktioner end med SAND1\*, den "fulde" model. Dette forhold skal illustreres tydeligere i tabel 9.

En undersøgelse helt analog til de ovenfor beskrevne manøvrer er foretaget for LER. I fig. 13 og 14 er for SAND2\* og LER2\* (henholdsvis 144 og 223 observationer) afbildet samtlige ægte prædicerede værdier imod målte, og vinkelhalveringslinien indlagt. De ægte residualer er for SAND2\* og LER2\* afbildet imod år i fig. 15 og 16. Til disse 4 figurer kan knyttes kommentarer som til figurerne 7, 8, 9 og 10. Også her ved de ægte prædiktioner viser SAND2\* sig "bedre"

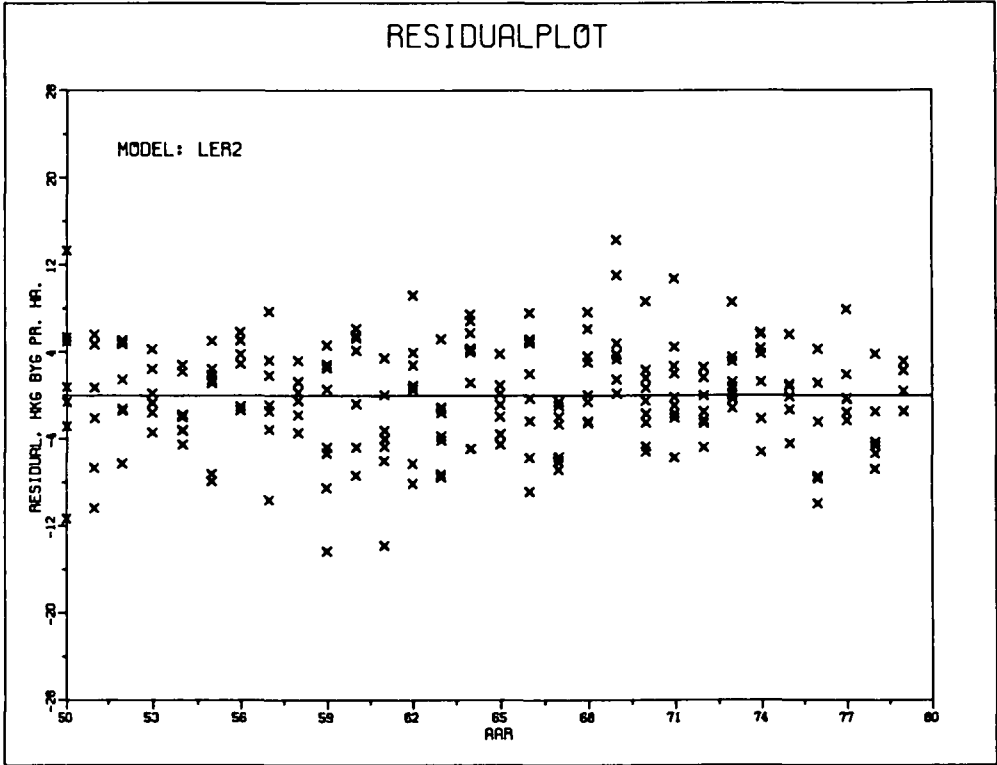


Fig. 10. Residualerne fra modellen LER2 afbildet imod år. 223 observationer fra lerjordene.

end LER2\*. Residualplottene viser det samme billede som ved de prædicerede værdier, blot er de numerisk største, ægte residualer en smule større end de numerisk største residualer (fig. 9 og 10).

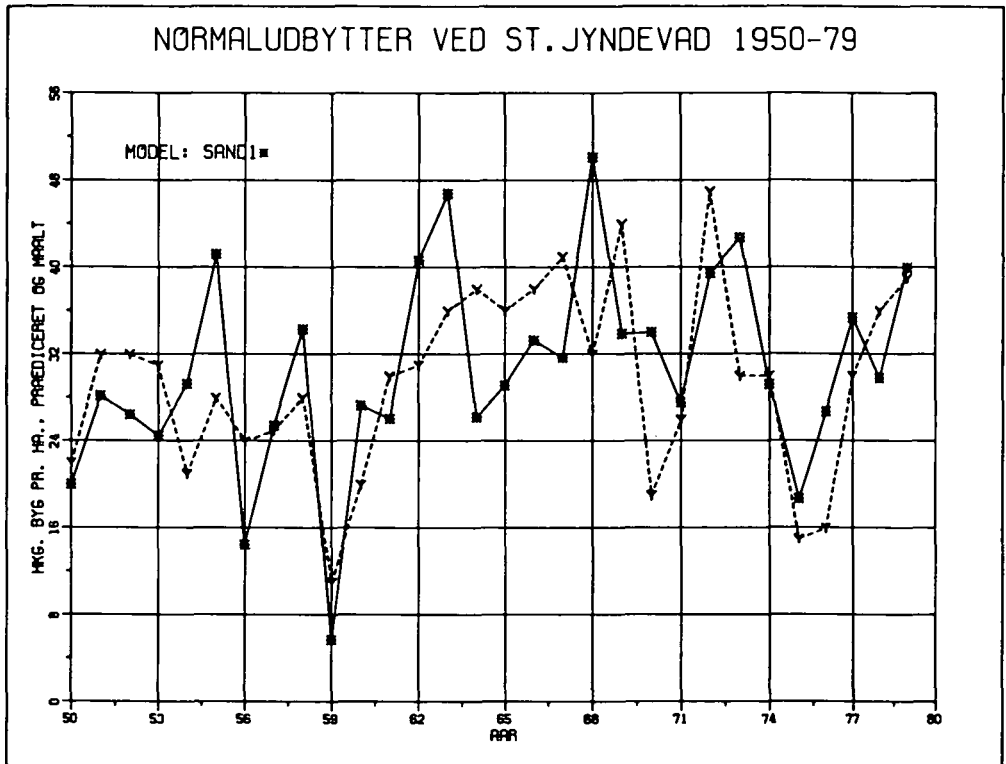


Fig. 11. Målte (Y---Y) og ægte prædicerede (\*—\*) normaludbytter med SAND1\*. Data fra Jyndevad.



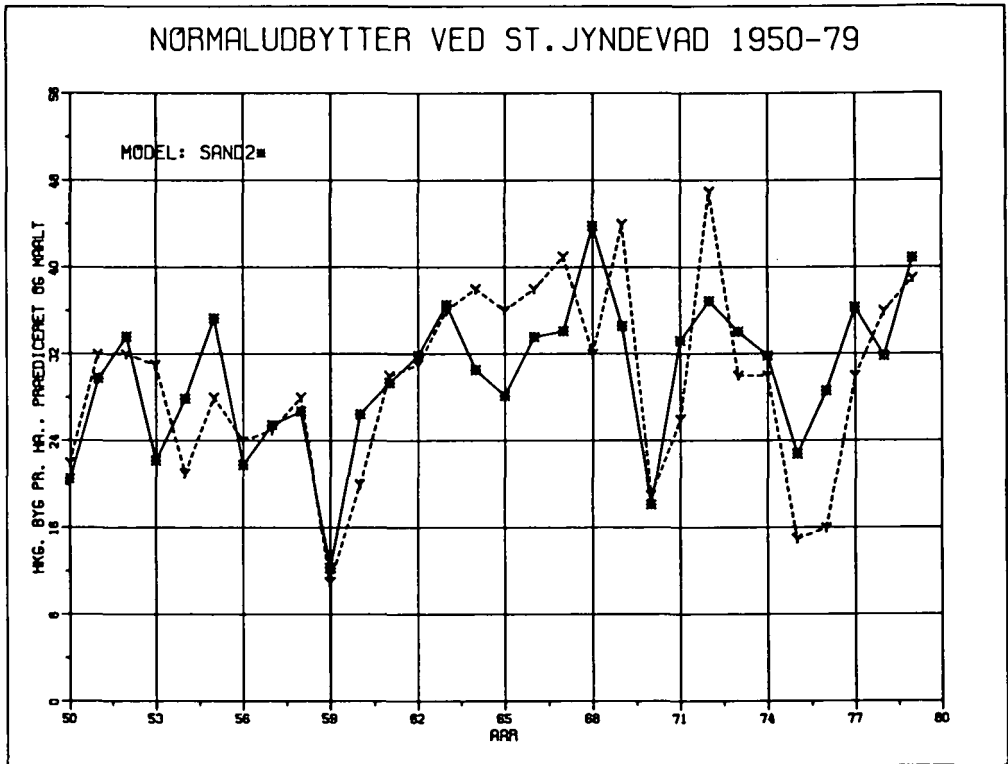


Fig. 12. Målte (Y---Y) og ægte prædicerede (\*—\*) normaludbytter med SAND2\*. Data fra Jynde vad.

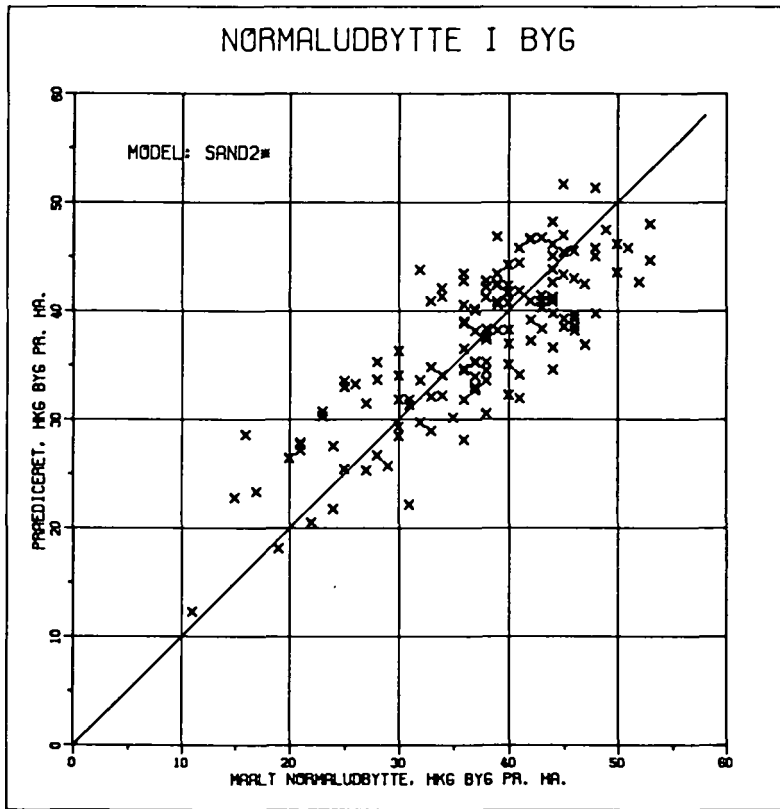


Fig. 13. Ægte prædicerede normaludbytter afbildet imod målte. Model SAND2\*, 144 observationer fra sandjordene.

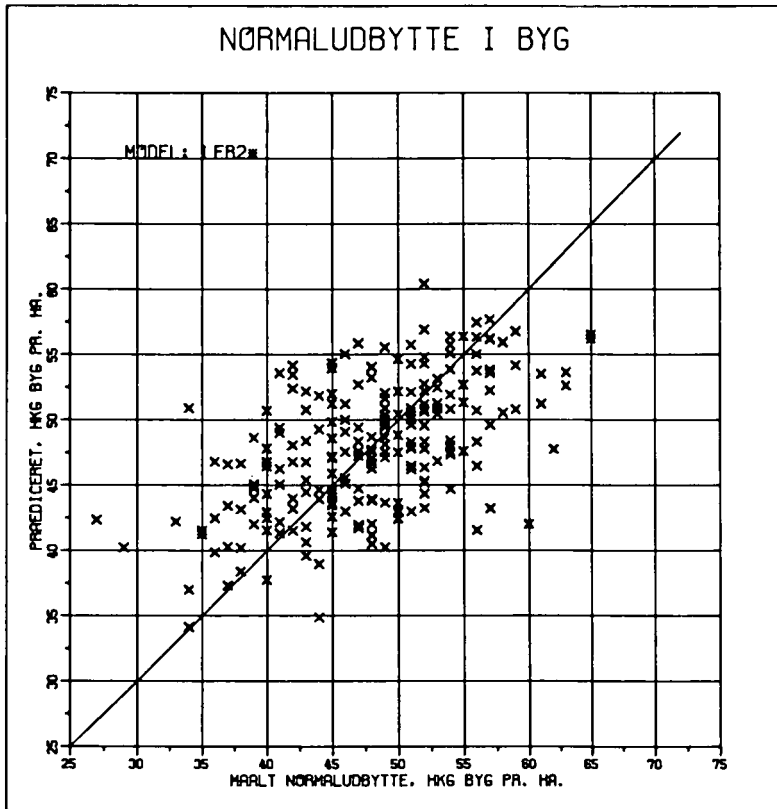


Fig. 14. Ægte prædicerede normaludbytter afbildet imod målte. Model LER2\*, 223 observationer fra lerjordene.

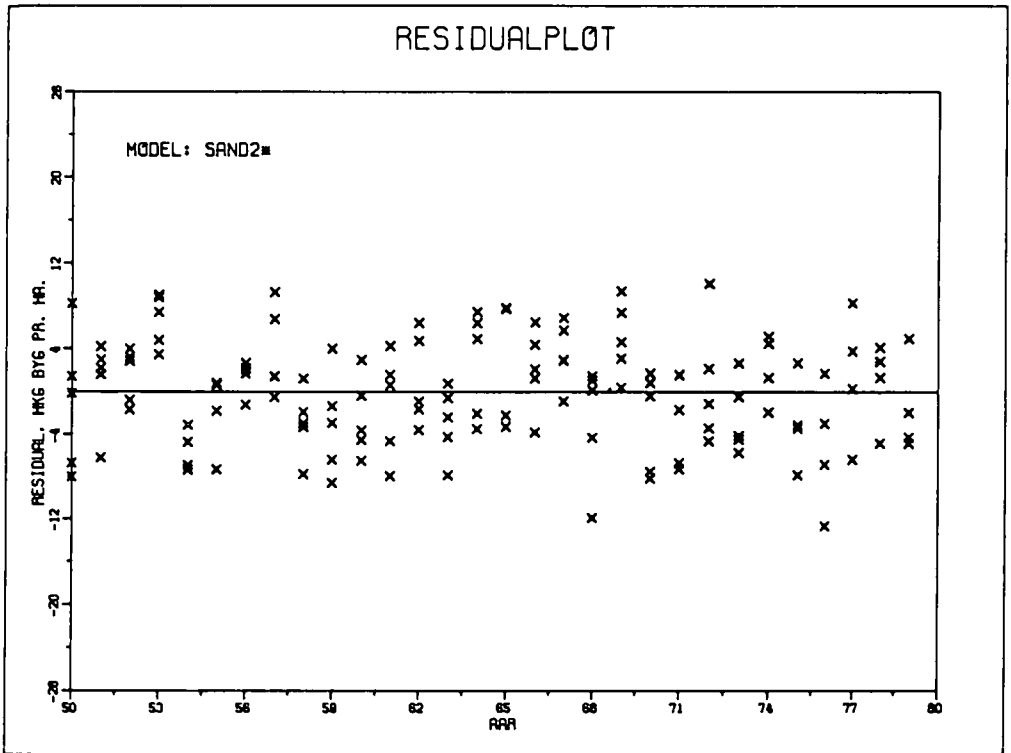


Fig. 15. De ægte residualer fra modellen SAND2\* afbildet imod år.  
144 observationer fra sandjordene.

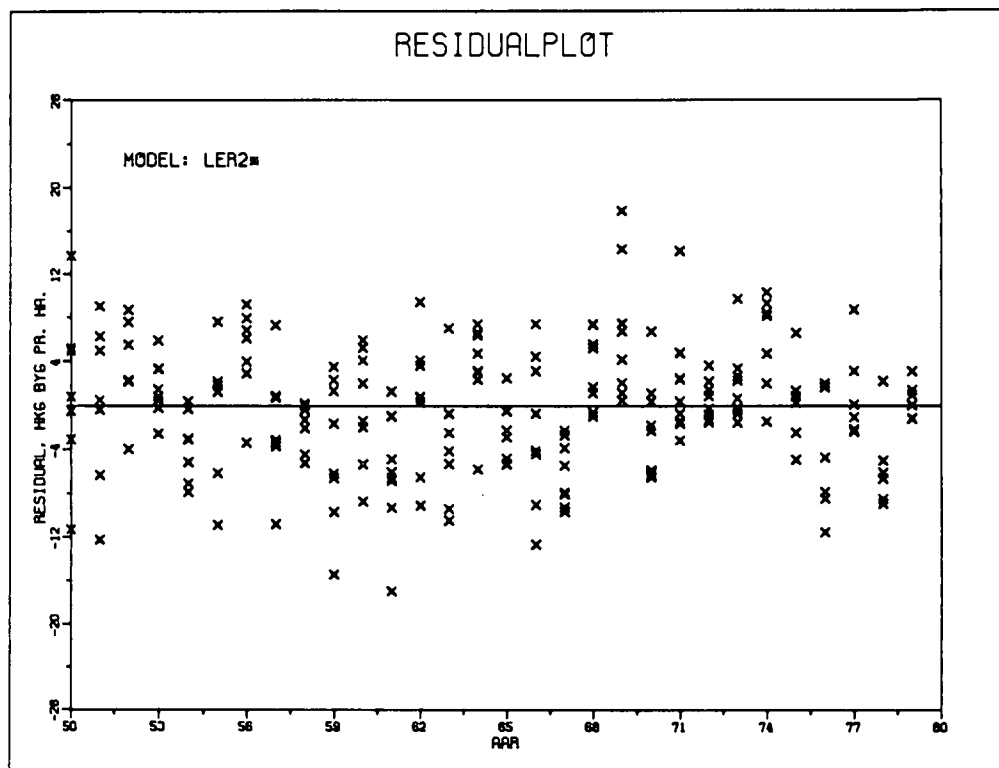


Fig. 16. De ægte residualer fra modellen LER2\* afbildet imod år.  
223 observationer fra lerjordene.

I tabel 9 er pr. forsøgsstation og totalt summeret kvadraterne af residualerne ( $\hat{\epsilon}_1^2$ ) og de ægte residualer ( $\epsilon_1^{2*}$ ) for modellerne SAND1, SAND2 og SAND3. Det iagttages, at i alle tilfælde med undtagelse af model SAND3 for Tylstrup, er residualkvadratsummen mindre for prædiktions end for ægte prædiktions. Den store forbedring, som er opnået med hensyn til ægte prædiktions ved at foretage udvælgelse blandt de mange mulige bestemmende variable, illustreres af forskellen i total kvadratsum for SAND1\* og SAND2\*. Endvidere konstateres, at SAND3\* kan konkurrere med SAND2\* både hvad angår prædiktions og ægte prædiktions. Den stationsvise opgørelse viser nogen forskel mellem

stationerne, både for prædiktion og ægte prædiktion. Dårligst er det for Jyndevad, og det er resultaterne fra netop denne station, som er afbildet i figurerne 5, 11 og 12. Ifølge tabel 2 er Jyndevad den station, hvor normaludbytterne varierer mest fra år til år.

Station	Antal obser- vati- oner	Model					
		SAND1	SAND1*	SAND2	SAND2*	SAND3	SAND3*
		$\Sigma \hat{\epsilon}_i^2$	$\Sigma \epsilon_i^{2*}$	$\Sigma \hat{\epsilon}_i^2$	$\Sigma \epsilon_i^{2*}$	$\Sigma \hat{\epsilon}_i^2$	$\Sigma \epsilon_i^{2*}$
Askov	30	261	914	431	609	486	744
Borris	30	467	1323	539	729	574	817
Jyndevad	30	527	2145	648	1109	680	1046
Studsgård	24	398	1732	404	551	515	666
Tylstrup	30	437	1164	494	474	444	418
Totalt	144	2090	7278	2516	3472	2699	3691

Tabel 9. Summen af residualernes kvadrater ved prædiktion og ægte prædiktion, opgjort stationsvis, for sandjordene.

En tilsvarende tabel 10 er opstillet for modellerne LER1 og LER2. Bemærk, at antal observationer varierer meget fra station til station. Gevinsten med hensyn til ægte prædiktion ved at anvende LER2\* fremfor LER1\* er her mindre udtalt. Forholdet skyldes sikkert - som tidligere omtalt - at afgrøde-vejr modellerne forklarer meget mindre af udbyttevariationen på lerjorde end på sandjorde. Tabel 10 viser dog store forskelle imellem de enkelte stationer.

Når afgrøde-vejr modellerne pr. 1. juli eller 1. august anvendes til forudsigelse af årets normaludbytter, kan spredningen på dette udbytteestimat findes fra formlen (9). Denne spredning vil variere fra år til år afhængig af de bestemmende variables værdier og vil være størst i år med "unormale" klimaforhold. Bemærkningerne til residu-

Station	Antal obser- vati- oner	Model			
		LER1	LER1*	LER2	LER2*
		$\Sigma \hat{\epsilon}_i^2$	$\Sigma \epsilon_i^{2*}$	$\Sigma \hat{\epsilon}_i^2$	$\Sigma \epsilon_i^{2*}$
Abed	24	594	1126	647	1038
Blangstedgård	25	519	1173	563	833
Højer	30	691	926	690	729
Ødum	30	375	903	461	604
Roskilde	10	95	276	115	184
Rønhave	21	406	938	405	629
Silstrup	7	202	426	163	300
Tystofte	24	324	682	340	592
Åkirkeby	30	832	1562	934	1428
Årslev	22	448	1158	524	867
Totalt	223	4486	9170	4842	7224

Tabel 10. Summen af residualernes kvadrater ved prædiktion og ægte prædiktion, opgjort stationsvis, for lerjordene.

alplottene fig. 9, 10, 14 og 15 antyder, at for klimamæssigt specielle år er residualerne numerisk store. Et skøn over spredningens størrelse kan imidlertid fås ved følgende betragtninger over de ovenfor omtalte ægte prædicerede værdier.

Et ægte residual

$$\epsilon_t^* = Y_t - \hat{Y}_t^* \quad (10)$$

er differencen mellem de statistiske uafhængige variabel  $Y_t$ , det observerede udbytte, og  $\hat{Y}_t^*$ , det ægte prædicerede. De to variable er uafhængige netop fordi  $\hat{Y}_t^*$  er prædiceret med parameterestimer, som med mindste kvadraters metode er fundet fra observationer, som er uafhængige af  $\hat{Y}_t^*$ . Da fås for variansen på  $\epsilon_t^*$ :

$$\text{var}(\epsilon_t^*) = \text{var}(Y_t) + \text{var}(\hat{Y}_t^*) \quad (11)$$

hvorfor

$$\text{var}(\hat{Y}_t^*) = \text{var}(\epsilon_t^*) - \text{var}(Y_t) \quad (12)$$

Som eksempel behandles igen de ægte prædicerede udbytter med SAND2\* opdelt i 3 grupper med 48 værdier hver efter de 3 mulige værdier af modulus(AAR,3). I tabel 11 er anført estimerne for  $\text{var}(\epsilon_t^*)$ , som på sædvanlig vis er

$$s_{\epsilon_t^*}^2 = \frac{\sum_t (\epsilon_t^* - \bar{\epsilon}_t^*)^2}{n-1} \quad (13)$$

Her forudsættes, at  $\text{var}(\epsilon_t^*)$  er uafhængig af  $t$ . Estimerne for  $\text{Var}(Y_t)$  er residualvarianserne MSE fra modellens variansanalysetabeller i de 3 tilfælde. Disse estimeres troværdighed er betinget af, at modellerne er korrekte. Estimerne for  $\text{var}(\hat{Y}_t^*)$  fås da ifølge (12) som  $s_{\epsilon_t^*}^2 - \text{MSE}$ .

	Modulus(AAR,3)=0 n=48	Modulus(AAR,3)=1 n=48	Modulus(AAR,3)=2 n=48
$s_{\epsilon_t^*}^2$ (df=47)	23.4	21.6	27.4
MSE (df=81)	19.4	20.7	18.3
$s_{\hat{Y}_t^*}^2$	$4 = \underline{2.0}^2$	$0.9 = \underline{0.9}^2$	$9.1 = \underline{3.0}^2$

Tabel 11. Approximative spredninger på ægte prædicerede værdier ( $Y_t^*$ ) med modellen SAND2\*.



	Modulus(AAR,3)=0	Modulus(AAR,3)=1	Modulus(AAR,3)=2
	n=73	n=75	n=75
$S_{\epsilon_t}^2 *$	35.2 (df=72)	29.6 (df=74)	30.2 (df=74)
MSE	21.4 (df=134)	23.6 (df=132)	22.3 (df=132)
$S_{Y_t}^2 *$	13.8= <u>3.7</u> <sup>2</sup>	6.0= <u>2.4</u> <sup>2</sup>	7.9= <u>2.8</u> <sup>2</sup>

Tabel 12. Approximative spredninger på ægte prædicerede værdier ( $Y_t^*$ ) med modellen LER2\*.

Tilsvarende beregninger er gennemført for de ægte prædicerede værdier med LER2\*, og resultaterne vist i tabel 12.

Groft sammenfattende kan siges, at for estimater på sandjorde vil spredningen være af størrelsesordenen 2 hkg/ha og for lerjorde af størrelsesordenen 3 hkg/ha.

## 5. AGRO-KLIMATISK KORTLÆGNING.

### 5.1 Udregning af varmesummer.

For afgrøder som majs, frilandsagurk eller -bønner, der her i landet befinder sig i marginalområdet for deres dyrkning, vil agro-klimatiske kort til beskrivelse af den geografiske fordeling af afgrødens dyrkningsmuligheder være af nytte for vejledning vedrørende afgrøden. For majs er afgrødens varmekrav den kritiske størrelse, og ifølge tidligere omtalte franske undersøgelser (Bloc & Gouet, 1977) er varmesummen med basistemperatur  $6^{\circ}\text{C}$  den bedste parameter til karakteristik af majsens udviklingsmuligheder på en given lokalitet.

Udregning af varmesummer kræver imidlertid registrering af døgn-middeltemperaturen  $t_d$ , idet varmesummen VS med basistemperaturen  $T$  for perioden dag nr. (d) 1 til dag nr. p fås af:

$$VS = \sum_{d=1}^P (t_d - \bar{T}) \quad (14)$$

for  $t_d > T$ . Hvis  $t_d \leq T$ , er døgnet bidrag til VS lig med 0.

For en kortlægning af landet med hensyn til den "normale" varmesum ville kræves daglige observationer for en længere årrække fra en række stationer fordelt over landet. Et sådant datamateriale findes endnu ikke tilgængeligt for EDB.

Fra Meteorologisk Institut foreligger for ca. 90 danske landstationer normale månedsmiddeltemperaturer for normalperioden 1931-60. Ved hjælp af disse normaler og den multiple lineære regressionsmodel (jvf. afsnit 4.2):

$$t_d = \beta_0 + \beta_1 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot d\right) + \beta_2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot d\right) + \beta_3 \cdot \cos\left(\frac{4\pi}{365} \cdot d\right) + \beta_4 \cdot \sin\left(\frac{4\pi}{365} \cdot d\right) + \epsilon_d \quad (15)$$

er simuleret "normalårets" 365 døgnmiddeltemperaturer for de ca. 90 stationer. I modellen (15) er  $t_d$  døgnmiddeltemperaturen på årets dag nr.  $d$ ,  $d = 1, 2, 3, 4, \dots, 365$ ,  $\beta_0 - \beta_4$  modellens parametre og  $\epsilon_d$  residualerne. Ved indsættelse af månedernes normaltemperaturer som  $t_d$  og de dertil svarende dagnumre i året for de respektive måneders midtpunkter er fundet mindste-kvadraters-estimerer for parametrene  $\beta_0 - \beta_4$ . Med disse estimerer er udregnet døgnmiddeltemperaturer som en funktion af dagnr., hvorefter "normal-varmesummer" for en ønsket periode og med en given basistemperatur øjeblikkeligt kan udregnes på datamaten. I fig. 17 er for stationen ved Landbohøjskolen illustreret simuleringen. Med + er markeret normaltemperaturerne, og med fuldt optrukket streg er vist den simulerede temperaturs forløb når alle 12 måneds-normal-temperaturer inddrages i parameterestimeringen. Den stiplede linie viser simuleringen, hvor kun normalerne for månederne marts til oktober, begge inclusive, er grundlaget for parameterestimeringen.

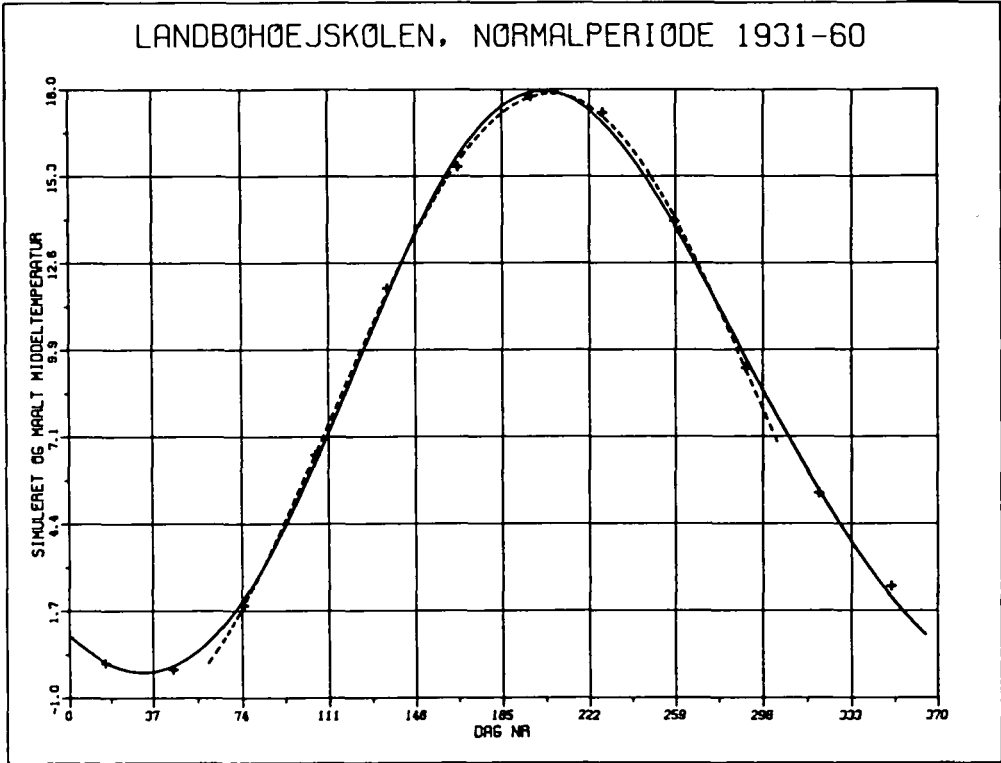


Fig. 17. Månedernes normale døgn-middel-temperaturer (+) og simulerede "normale" årlige temperaturforløb ud fra normaltemperaturerne i alle årets måneder (—) hhv. månederne marts til oktober (-----). Klimastationen ved Landbohøjskolen.

Denne model for temperaturens årlige gang kan opfattes som en Fourier-række, bestående af grundsvingningen og første oversvingning. Neild, Seeley & Richman (1978) har for områder med fastlandsklima opnået gode resultater med denne metode.

Til kontrol af metoden under danske forhold er den anvendt på synop-data fra Karup og Kastrup, som af Meteorologisk Institut er stillet til rådighed for projektet. Disse data omfatter for perioden 1953-79 daglige registreringer af bl.a. maximum og minimum temperaturen ( $t_{\max}$  og  $t_{\min}$ ), hvoraf døgnmiddeltemperaturen  $t_d$  som er dannet som

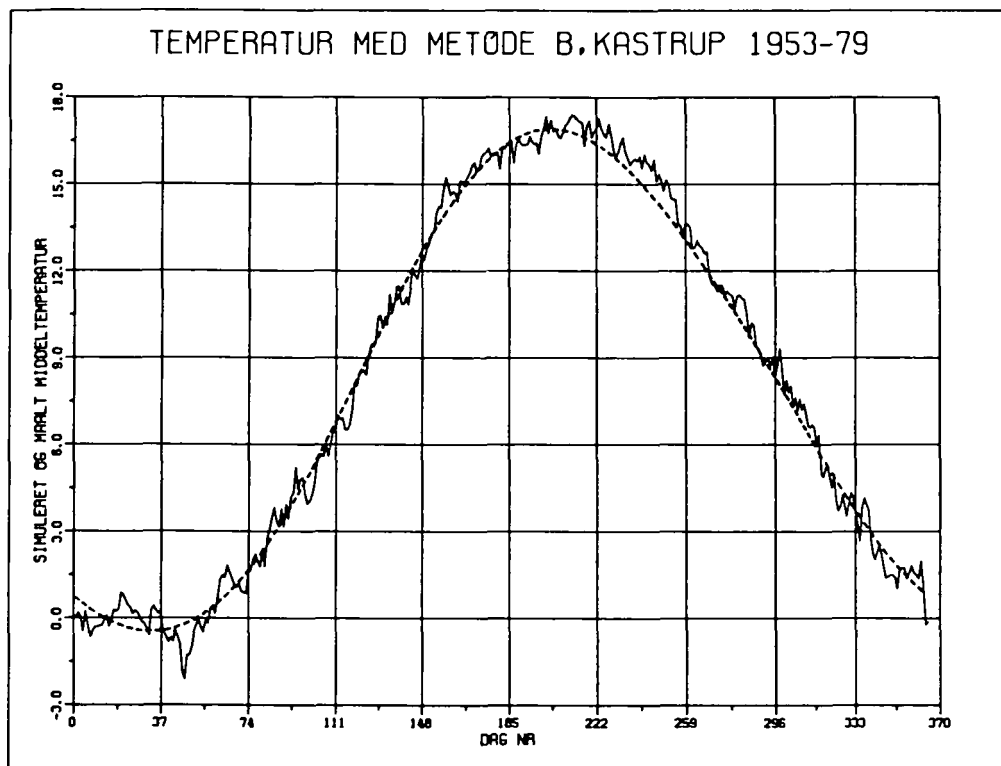


Fig. 18. "Normalårets" døgnettemperaturer (—) og simuleret "normalt" årligt temperaturforløb (----). Synopsstationen ved Kastrup.

$$t_d = (t_{\max} + t_{\min})/2 \quad (16)$$

Som middelværdier over alle 27 år af disse døgnettemperaturer er dannet et "normalår" med 365 "normale" døgnettemperaturer. I fig. 18 er dette temperaturforløb for Kastrup vist med fuldt optrukket linie. For normalåret er fra disse døgnettemperaturer dannet måneds-middeltemperaturer, ud fra hvilke "normalårets" temperaturforløb er simuleret efter (15). Dette temperaturforløb er vist i figuren med stiptet linie. Der ses nogen variation i de observerede værdier omkring det simulerede forløb. På både figur 17 og 18 iagttages, at i sensommeren, august måned, er den simulerede temperatur lavere end den målte.

Ud fra de udregnede døgnmiddeltemperaturer for "normalåret" for Karup og Kastrup er efter den "korrekte" metode (14) udregnet varmesummer (VSN) for forskellige perioder og med forskellige basistemperaturer. De tilsvarende varmesummer (VSS) er også udregnet fra de simulerede temperaturforløb, og differencen VSN - VSS i % af VSN er udregnet. I tabel 13 er for udvalgte perioder og basistemperaturer vist denne relative differens for de to stationer. Karup og Kastrup repræsenterer for danske forhold henholdsvis "indlandsklima" og "kystklima".

Periode	<u>Karup</u>			<u>Kastrup</u>		
	Basistemperatur			Basistemperatur		
	0°C	4°C	6°C	0°C	4°C	6°C
Hele året	1.4	2.1	3.4	1.2	1.9	2.9
1.5 - 31.10	1.8	2.7	3.5	1.7	2.4	3.1
1.4 - 31.8	0.5	0.7	1.6	0.4	0.6	1.0

Tabel 13. Differensen VSN-VSS (hhv. "korrekt udregnet" og simuleret varmesum) i % af VSN for forskellige perioder og basistemperaturer ved Karup og Kastrup.

Af tabellen konstateres en lidt større afvigelse ved Karup end ved Kastrup. Den relative afvigelse af den simulerede varmesum (VSS) fra den "korrekt" udregnede (VSN) er altid positiv og er mindst for den korteste periode, vækstsæsonen 1.-4. til 31.-8. Med stigende basistemperatur vokser afvigelsen, men selv med basistemperaturen 6°C overstiger afvigelsen ikke ca. 3.5%. Det konkluderes, at simulering af varmesummer ud fra modellen (14) ved lave basistemperaturer givet et acceptabelt resultat. Simuleringen undervurderer antageligt varmesummerne med 1-3%, men de simulerede værdier kan give et anvendeligt billede af forholdet mellem varmesummer forskellige steder i landet.

## 5.2 Varmesumskort.

Ved simulering med modellen (15) er udregnet varmesummer med forskellige basistemperaturer for de ca. 90 lokaliteter, hvorfra der foreligger temperatur-normaler. Med korttegningsprogrammet SYMAP (Dougenik & Sheehan, 1975), som er implementeret på NEUCC og yderligere bearbejdet af Ravn (1980) er derefter med EDB udtegnet kort over varmesummernes størrelse og geografiske fordeling. Som eksempel er vist fig. 19 for varmesummen med basistemperatur  $6^{\circ}\text{C}$ , der som tidligere nævnt anses for relevant for majs-dyrkningsmulighederne. På kortet er på stationernes omtrentlige geografiske beliggenhed anført varmesummens størrelse for perioden 1. maj til 31. oktober.

SYMAP-programmet indeholder faciliteter til interpolation af måleværdien mellem de aktuelle målepunkter, og udregner derved en interpoleret værdi i alle kortets punkter. På grundlag af alle værdierne - de målte og interpolerede - udtegnes derefter niveaukort for varmesummen. I programmet kan indlægges barrierer, over hvilke der ikke foretages interpolation. Ved varmesumskortene er således indlagt barrierer f.eks. omkring Bornholm, omkring Fyn med omliggende øer og omkring Sjælland med Lolland-Falster og Møn. Derved undgås, at varmesummen på f.eks. Fyn "smitter af" på varmesummen i Jylland. Fig. 20 viser et sådant varmesumskort, hvor interpolation er foretaget, og områderne er skraveret i overensstemmelse med lokaliteternes varmesummer. På figuren er vist signaturforklaring i nederste ~~væn~~stre hjørne.

Nogle af de anvendte observationssteder for normaltemperaturerne er kyststationer som for eksempel fyrtårne. Disse stationers afsmitende effekt ind i landet ved interpolation er antageligt større end den reelle, klimatiske virkning ind i landet af kystklimaet. Derfor er fig. 21 udtegnet - et Danmarkskort, hvor de ca. 25 kyststationer ikke er taget med. For majsdyrkingen er dette kort antageligt mere relevant end fig. 20. Bemærk de ændrede signaturforklaringer på fig. 21.

Fig. 19. Simuleret varmesum med basistemperatur  $6^{\circ}\text{C}$  for perioden 1. maj til 21. oktober for ca. 90 stationer.

Fig. 20. Niveauekort for simuleret varmesum med basistemperatur  $6^{\circ}\text{C}$  for perioden 1. maj til 31. oktober. Alle stationer med ved interpolation.



Fig. 21. Niveauekort for simuleret varmesum med basistemperatur  $6^{\circ}\text{C}$  for perioden 1. maj til 31. oktober. Kyststationer udeladt ved interpolation.

Danmarkskortet fig. 21 viser i store træk et velkendt billede. De bedste varmebetingelser findes på øerne og i Sønderjylland med Als. Midtjylland og især Nordjylland fremtræder som koldere områder. Det skal bemærkes, at billedet naturligvis kan ændres noget og gøres mere detaljeret ved valg af flere signaturniveauer og/eller andre niveaugrænser. I fig. 20 og 21 er niveauerne valgt på en sådan måde, at der i hvert af de fire intervaller falder lige mange observationspunkter.

Endelig er i fig. 22 og 23 vist tilsvarende kort for varmesummen med basistemperatur  $0^{\circ}\text{C}$  for hele året. I fig. 23, hvor interpolerede værdier er udregnet, er kyststationerne igen udeladt.

### 5.3 Frostdøgnskort.

For de omtalte ca. 90 meteorologiske landstationer foreligger også normaler for perioden 1931-60 for månedernes middel-minimum-temperaturer. Ud fra disse normaler er med modellen (15) simuleret døgnminimum-temperaturens "normale" årlige gang. Ved at tælle antal døgn med minimum temperatur mindre end nul i dette temperaturforløb opnås antal frostdøgn for stationerne.

I fig. 24 er disse antal frostdøgn anført på stationernes omtrentlige geografiske beliggenhed.

For døgn-minimum-temperaturen er simuleringen mere tvivlsom end for døgnmiddeltemperaturen. Optælling af antal frostdøgn ud fra simuleringen er ikke kontrolleret så grundigt som udregning af varmesummer i afsnit 5.1. Men foreløbige, meget summariske undersøgelser tyder på, at der med simuleringen opnås en overvurdering af antal frostdøgn på ca. 20%. I tiltro til, at overvurderingen er af samme størrelsesorden for de forskellige lokaliteter, er udtegnet kort med de interpolerede værdier, fig. 25 og 26. Disse kort kan da vise forholdet mellem "normale" antal frostdøgn i landets forskellige egne. I fig. 26 er kyststationerne udeladt. Bemærk, at signaturerne og niveaugrænserne er ændret fra fig. 25 til fig. 26.

5

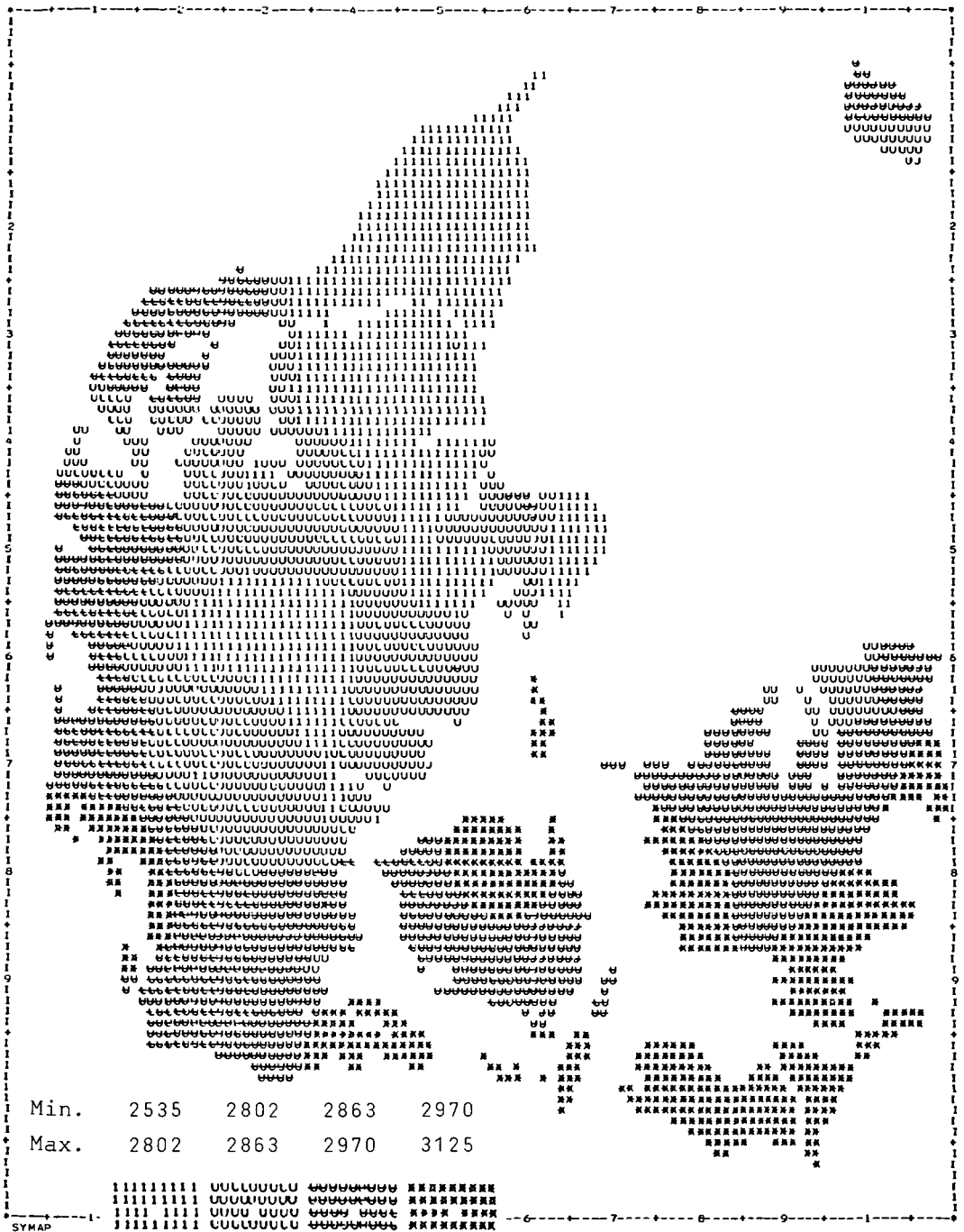


Fig. 23. Niveaunkort for simuleret varmesum med basistemperatur 0°C for hele året. Kyststationer udeladt ved interpolation.

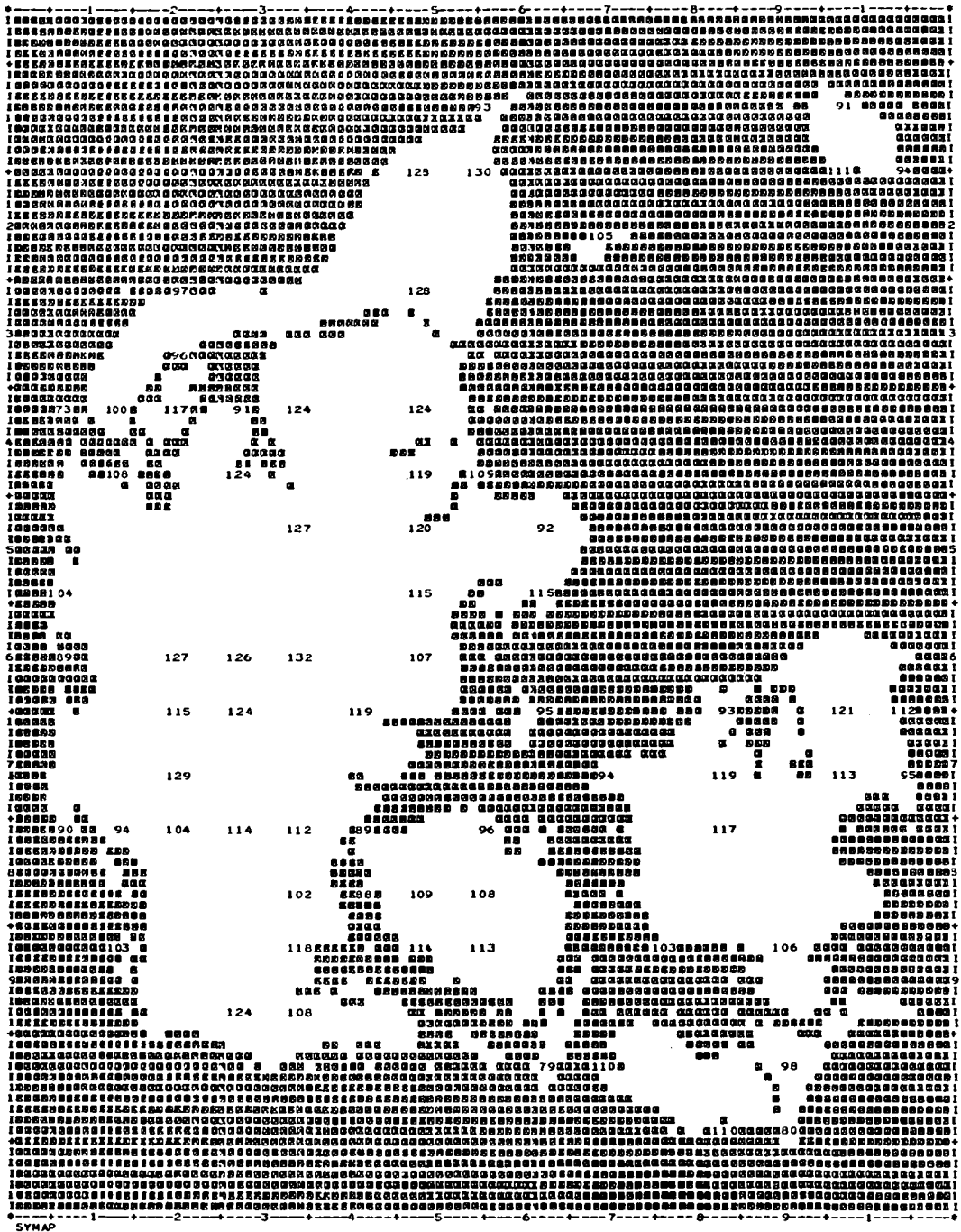


Fig. 24. Simuleret antal frostdøgn for hele året for ca. 90 stationer.

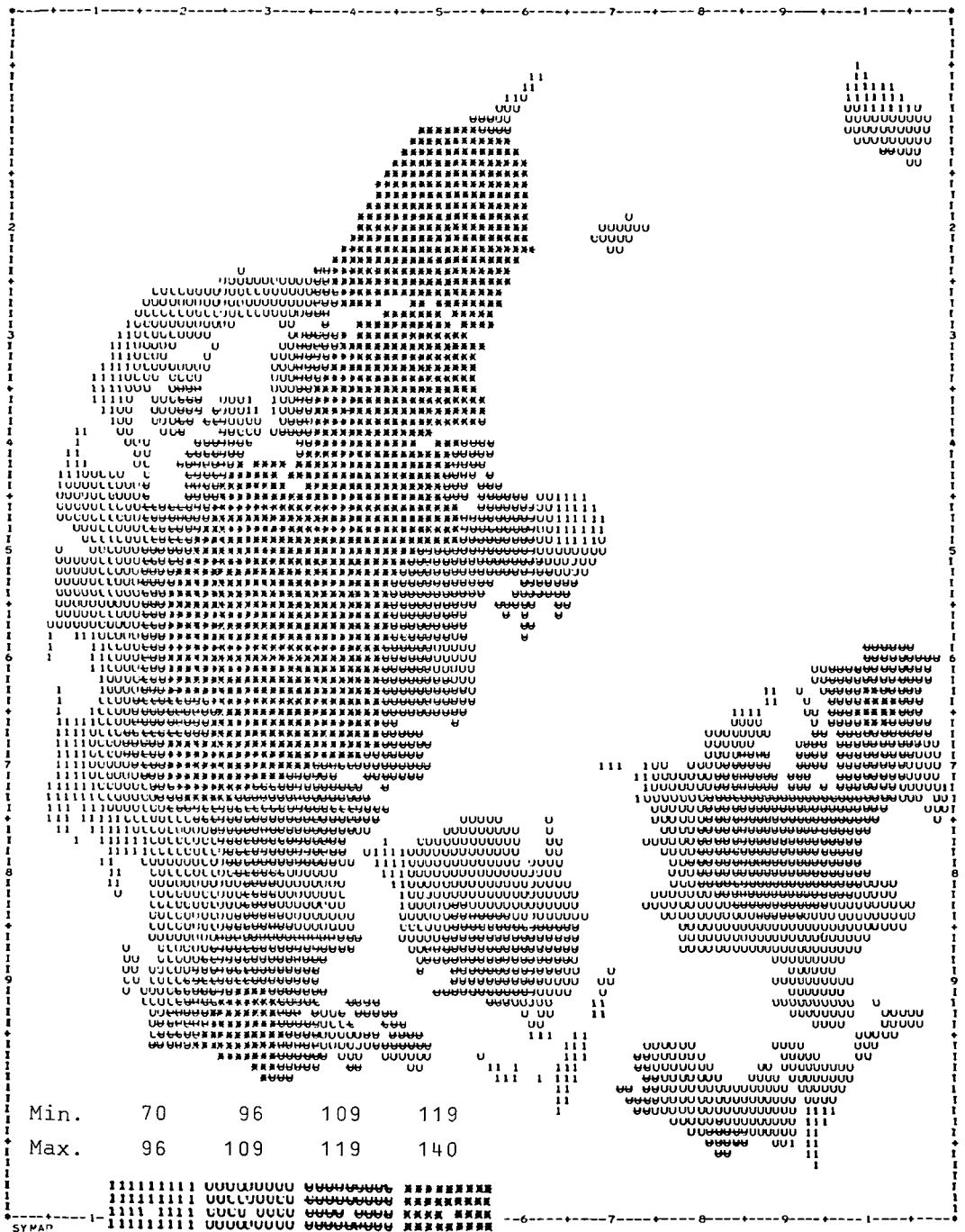
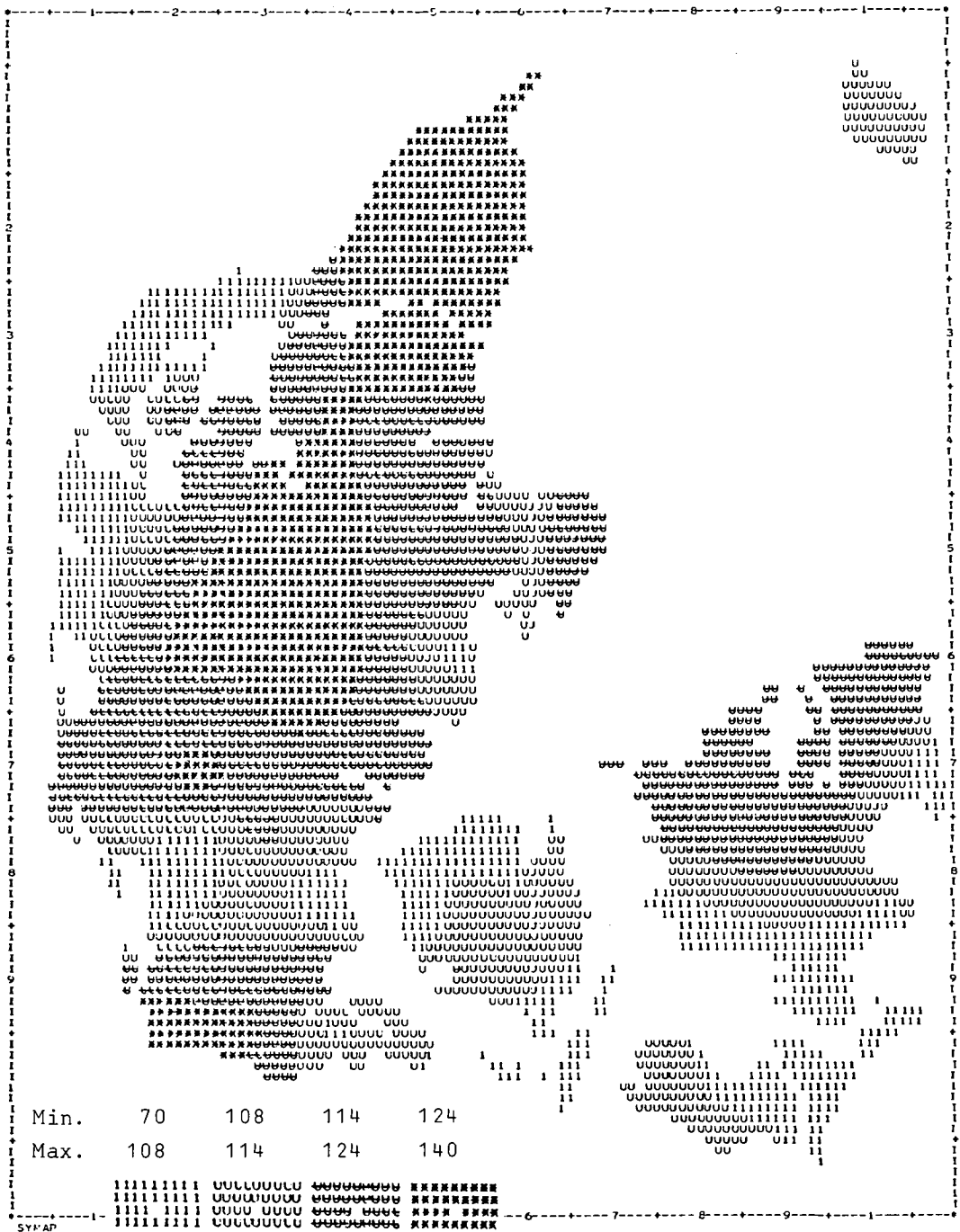


Fig. 25. Niveaunkort for simuleret antal frostdøgn for hele året. Alle stationer med ved interpolation.



I begge figurerne observeres det største antal frostdøgn i Midt- og Nordjylland. I fig. 25, hvor kyststationerne er medtaget, ses tydeligt effekten af de få frostdøgn ved f.eks. Skagen og Kelsnor på Langeland. Det er dog tvivlsomt, om kyststationernes afsmittende effekt ind i landet ved SYMAP's interpolation svarer til kystklimats reelle fysiske effekt ind i landet. Derfor er også fig. 26 uden kyststationerne udtegnnet.

Både for varmesumskortene og især for frostdøgnskortene gælder, at de ikke bør læses eller fortolkes for detaljeret. Det skal erindres at observationsværdierne er simulerede værdier, og at der ved udtegnning af niveaushortene er anvendt en interpolation, som ikke tager hensyn til f.eks. landets topografi. Specielt for frostdøgnetes vedkommende gælder, at lokale forhold spiller en stor rolle, jvf. meteorologernes velkendte udtryk "særligt udsatte steder". Desuden kan der især i tilfælde med inversion meget vel forekomme frost ved jordoverfladen, selv om minimumstermometeret i 2 meters højde viser en minimumstemperatur større end 0°C.

Kortene giver et overblik over nogle af de klimatiske forhold, som er af særlig betydning for jordbruget. De er en spød begyndelse til en agro-klimatisk kortlægning af landet, som skal udbygges efterhånden som et bedre datamateriale - f.eks. i form af daglige registreringer for en længere årrække - bliver tilgængeligt for EDB. Korttegningsprogrammet SYMAP er velegnet til fremstilling af oversigtskortene. Hvis der i fremtiden etableres en direkte terminaladgang til Meteorologisk Instituts datalagre med helt "friske" data, kan teknikken også anvendes til øjeblikkelig udtegnning af kort for den geografiske fordeling af for eksempel nedbøren, fordamningen og vandingsbehovet for en aktuel måned i vækstsæsonen.

## 6 "NORMALDØGN".

### 6.1 Data.

På grundlag af datamaterialet fra de to synop-stationer Karup og Kastrup 1953-79 er for årets 36 dekader tegnet figurer for "normaldøgn". Af disse dekader er den sidste i hver måned af varierende



længde. Normaldøgnene viser for hver dekade den "normale" døgnvariation i temperatur, relativ luftfugtighed og vindhastighed ved de to stationer.

Ved stationerne er der i årene 1959-72 observeret hver time, i årene 1953-58 og 1973-79 hver tredje time, kl. 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 og 21 GMT. Der ligger altså et forskelligt antal enkeltobservationer til grund for middelværdierne ved de forskellige klokkeslet. For de ovenfor anførte klokkeslet - hver tredje time - består materialet for hver station af ca.  $27 \times 10 = 270$  observationer pr. klokkeslet, når der bortses fra de få "missing values". For døgnets øvrige hele klokkeslet består materialet af ca.  $14 \times 10 = 140$  observationer. Der er foruden middelværdi for hver parameter udregnet spredning (1) for enkeltobservationer.

## 6.2      Anvendelse.

I fig. 27, 28 og 29 er vist normaldøgnene for hhv. temperatur, relativ luftfugtighed og vindhastighed fra forårsperioden 11.-20. maj. De klokkeslet, der er vist på figurerne, er dansk normaltid. Med \* er markeret middelværdien, og med  $\nabla$  og  $\Delta$  er markeret middelværdien plus hhv. minus spredningen. Med stiplet linie er vist det døgnforløb for den klimatiske størrelse, som er simuleret ud fra den tidligere omtalte cos-sin-model (15). Parametrene i modellen er estimeret på grundlag af middelværdierne for hver af døgnets 24 timer.

Det ses på figurerne, at døgnvariationen på dette tidspunkt af året beskrives relativt godt med (15) - især for temperaturens vedkommende. For den relative luftfugtigheds vedkommende iagttages en meget stor spredning på enkeltobservationerne - især midt på eftermiddagen. Det velkendte forhold, at når temperaturen er højest, er den relative luftfugtighed lavest, vises tydeligt i fig. 27 og 28.

De klimatiske størrelses døgnvariation er stor på dette tidspunkt af året. Normaldøgnene for vinterperioden, for eksempel for årets første dekade, udviser meget mindre døgnvariation. Denne periode er imidlertid temmelig uinteressant for jordbrugsmeteorologien. Derimod er høstperioden, for eksempel dekaden 11.-20. august af stor

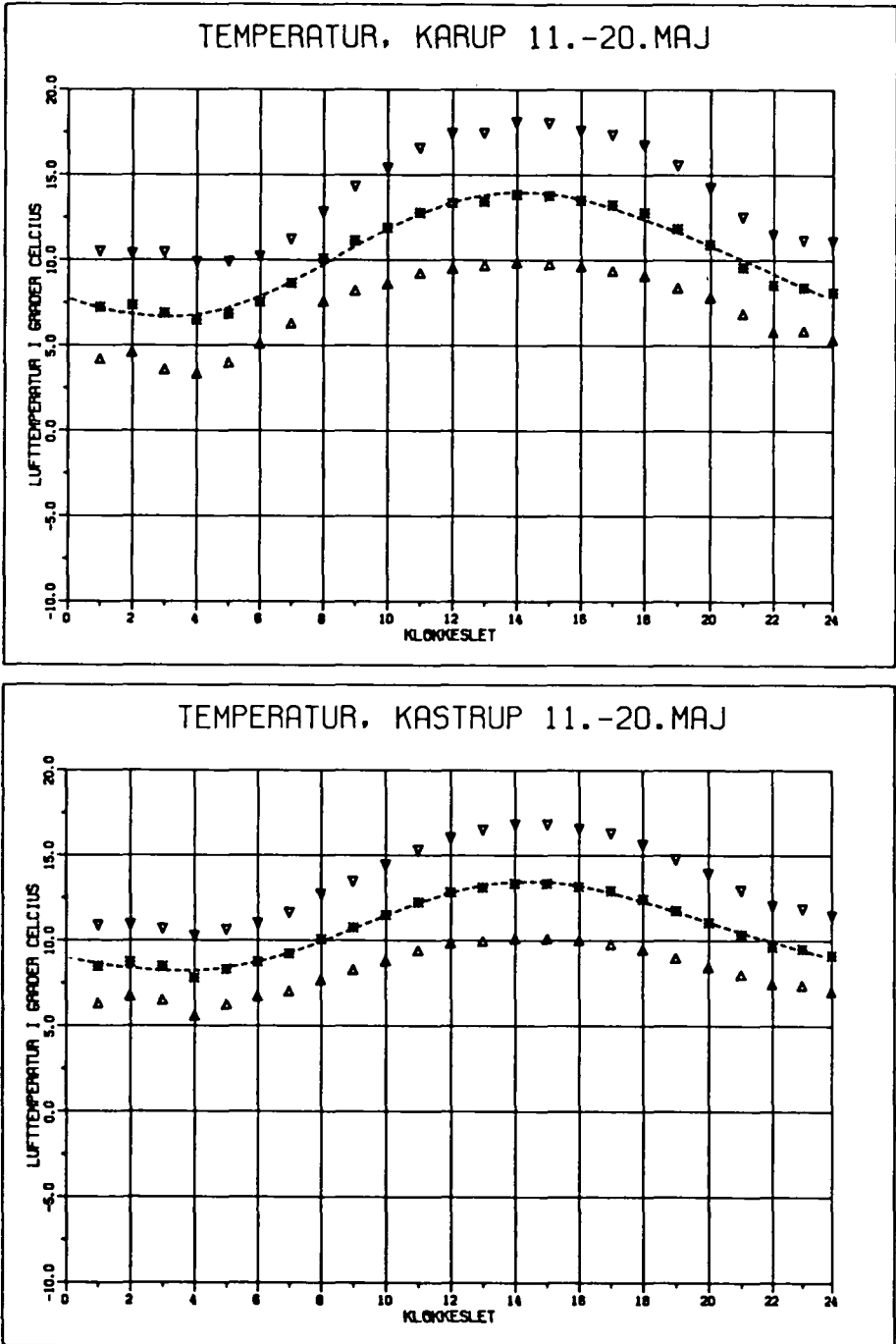


Fig. 27. "Normaldøgn" for temperatur 11.-20. maj. Middelværdi \*, middelværdi plus hhv. minus spredning på enkeltobs. V, Δ og simuleret døgnforløb ---. Synopstationerne Karup og Kastrup.

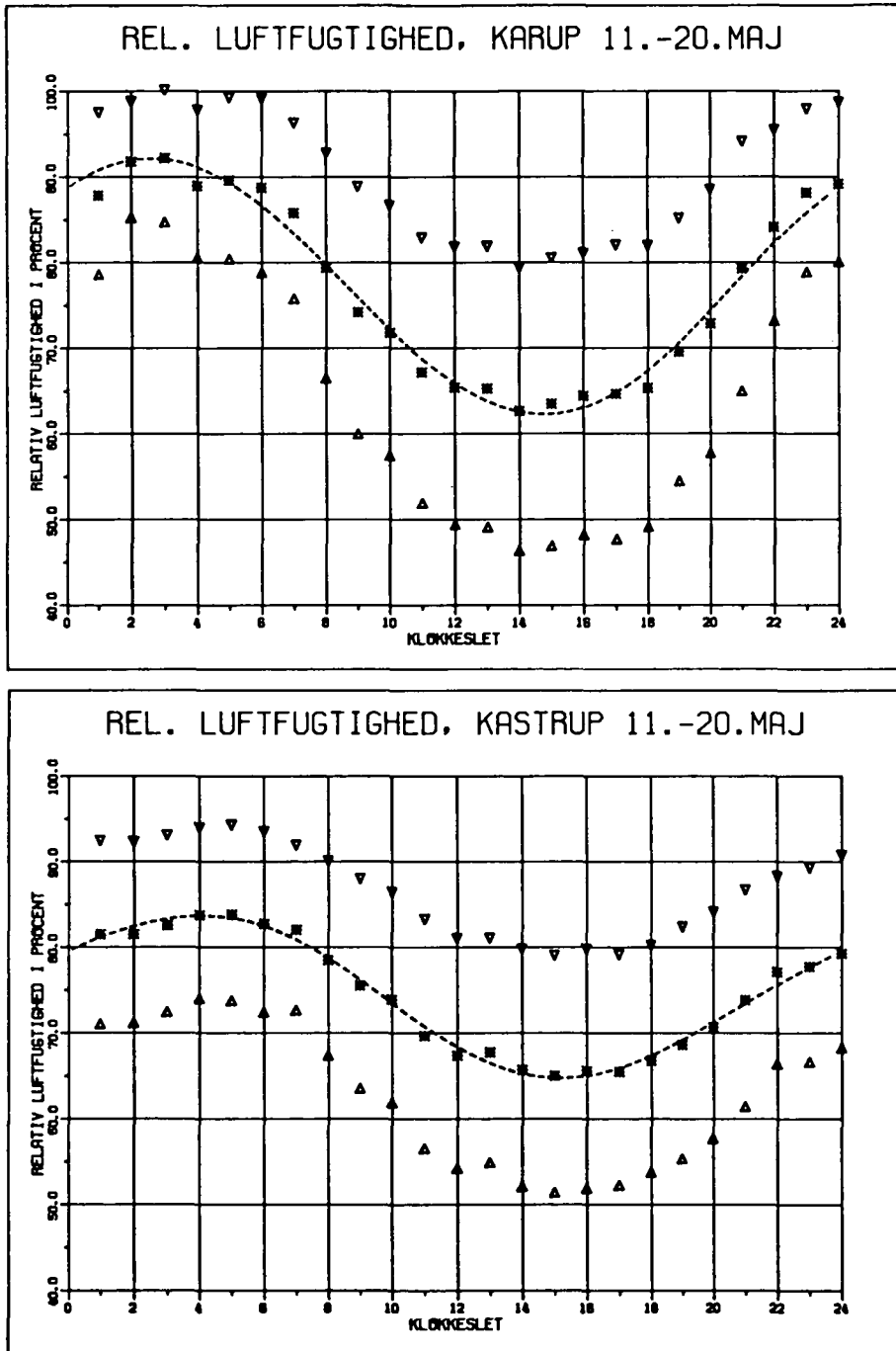


Fig. 28. "Normaldøgn" for relativ luftfugtighed 11.-20. maj. Mid-  
delværdi \*, middelværdi plus hhv. minus spredning på en-  
keltobs. ▽, Δ og simuleret døgnforløb ---. Synopstatio-  
nerne Karup og Kastrup.

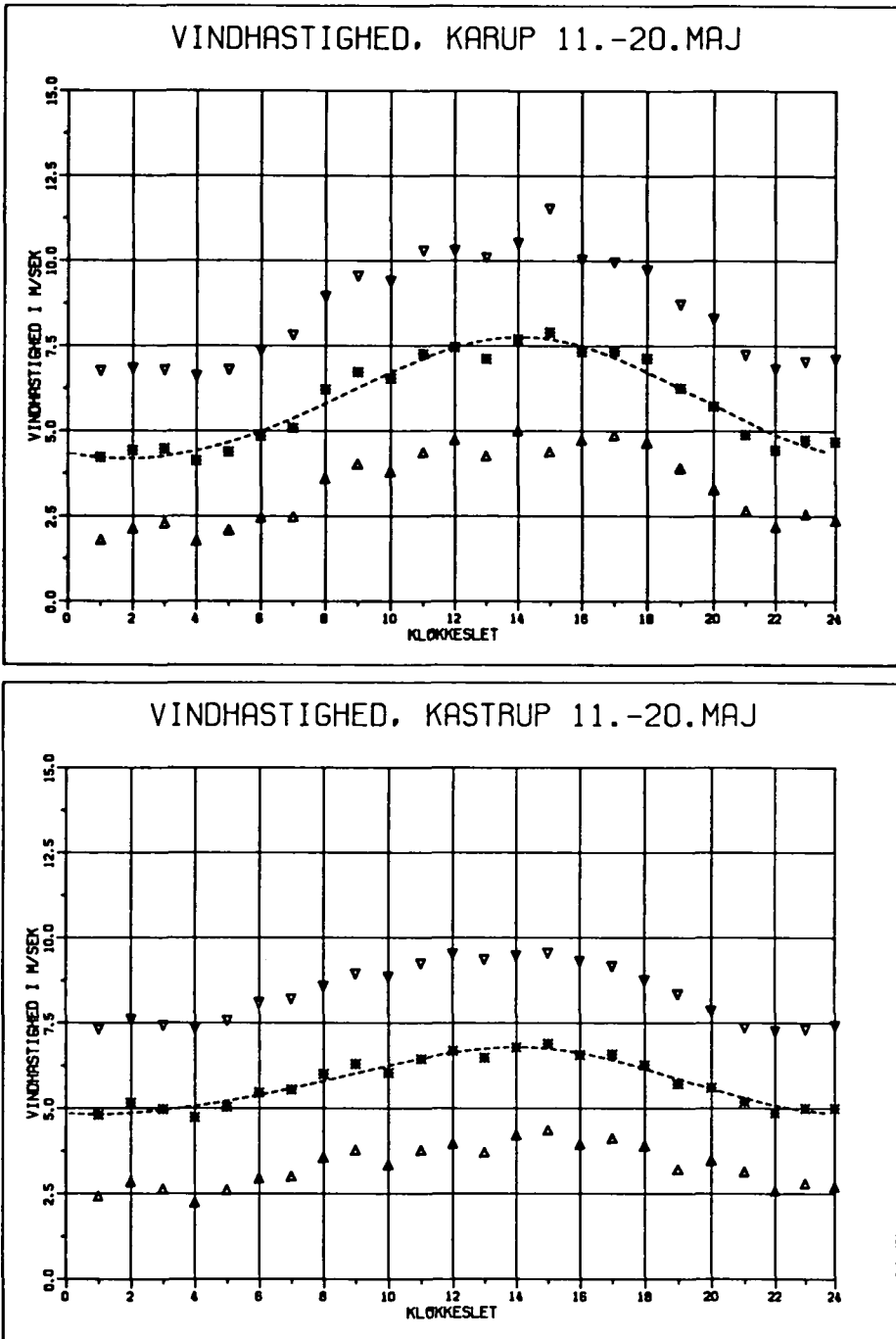


Fig. 29. "Normaldøgn" for vindhastighed 11.-20. maj. Middelværdi \*, middelværdi plus hhv. minus spredning på enkeltobs.  $\nabla$ ,  $\Delta$  og simuleret døgnforløb ---. Synopstationerne Karup og Kastrup.

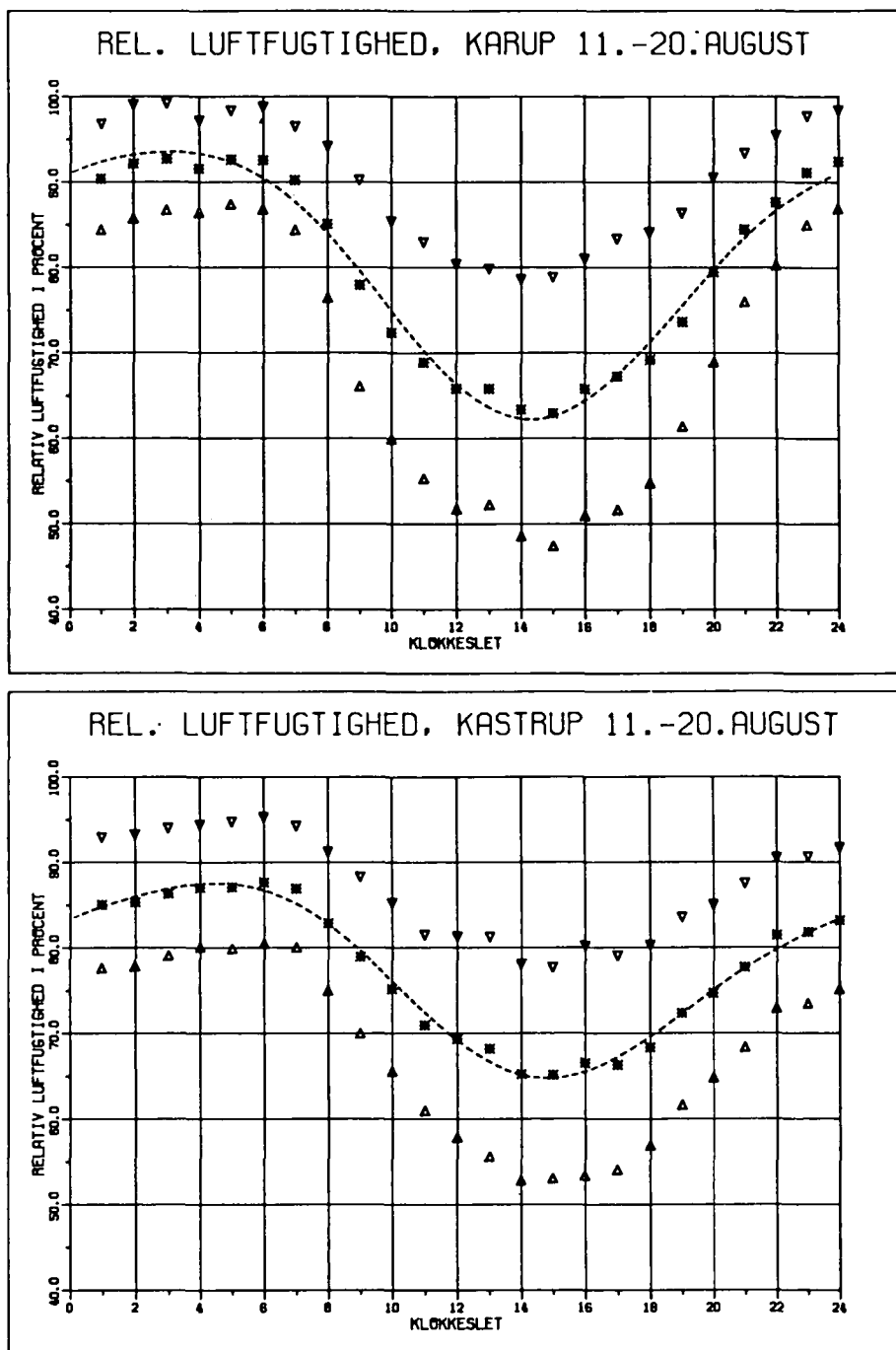


Fig. 30. "Normaldøgn" for relativ luftfugtighed 11.-20. august. Middelværdi \*, middelværdi plus hhv. minus spredning på enkeltobs.  $\nabla$ ,  $\Delta$  og simuleret døgnforløb ---. Synopstationerne Karup og Kastrup.

interesse. Også på denne tid af året er døgnvariationen i den relative luftfugtighed meget stor som vist i fig. 30. Minimum indtræffer midt på eftermiddagen, og det er normalt det optimale tidspunkt for høstning af kornafgrøder. Ikke uventet er døgnvariationen størst ved Karup med det - efter danske forhold - typiske indlands-klima.

Normaldøgnene, der foreligger for hele året, repræsenterer ingen nyskabelse - de fremstiller blot kendte klimatiske registreringer. De kan tjene som referencemateriale for undersøgelser og som vejledningsgrundlag. I perioden 11.-20. maj foretages meget omfattende sprøjtninger med ukrudtsbekæmpelsesmidler i kornafgrøder. Fig. 28 og 29 dokumenterer rigtigheden af den vejledning angående valg af sprøjtetidspunkt, som gives landmændene. Det optimale tidspunkt er tidligt om morgenen. Da er risikoen for vinddrift mindst (fig. 29) samtidig med at den relative luftfugtighed er størst (fig. 28). En høj relativ luftfugtighed forbedrer sprøjtemidlets muligheder for at trænge ind i planten.

## 7. VARSLING IMOD ANGREB AF ILDSOT.

Ildsot er ganske afgjort ikke den plantesygdom, som her i landet påfører jordbruget (frugtavlen) de største økonomiske tab. At det alligevel er varsling imod netop denne plantesygdom, der er arbejdet med på projektet, skyldes kendskabet til en tilsyneladende vellykket engelsk varslingsmodel (Billing, 1980b), som tillige er beskrevet kort af Dinesen (1980).

### 7.1 Varslingsmodellen.

Modellens inddata er døgnets maximum og minimum temperatur og nedbør. Ud fra maximum og minimum temperaturen bestemmes det potentielle antal fordoblinger af bakteriepopulationen (PD) for det pågældende døgn. Hvis døgnnedbøren er 2.5 mm eller mere, kan en ny infektion starte og en eksisterende infektion videreudvikles. Ved hver ny infektion påbegyndes en summation af de daglige PD-værdier. Også en daglig "point-værdi", R, for nedbørens størrelse, summeres.

På grundlag af sammenhørende observationer af udbrud af ildsot og de nævnte summerede klimatiske størrelser bestemte Billing (1980b) det lineære udtryk, som bedst beskrev sammenhængen mellem  $t$ , antal dage fra infektion med ildsot til sygdommens udbrud, og  $\Sigma PD$  og  $\Sigma R$ . Denne relation bruges til udregning af inkubationsperi-  $t$   $t$  odens længde for nye infektioner og kan derefter anvendes til varsling af tidspunktet for ildsotens udbrud. Relationen er:

$$\Sigma PD \geq (36t/\Sigma R) \quad (17)$$

Ildsoten bryder ud, når de summerede værdier af de daglige potentielle fordoblinger bliver lig med eller overstiger værdien på højre side af (u)lighedstegnet.

Modellen er her refereret meget kort, og mange detaljer er udeladt. Gennemgangen viser imidlertid et karakteristisk mønster for sådanne varslingsmodeller. Idet man går ud fra, at smitstoffet altid er til stede, bestemmer de klimatiske betingelser tidspunktet for en inkubationsperiodes start. Under inkubationsperioden summeres en klimafhængig størrelse, som karakteriserer infektionens eksistensbetingelser. Når en grænseværdi for denne størrelse nås, bryder sygdommen ud.

## 7.2 Eksempler.

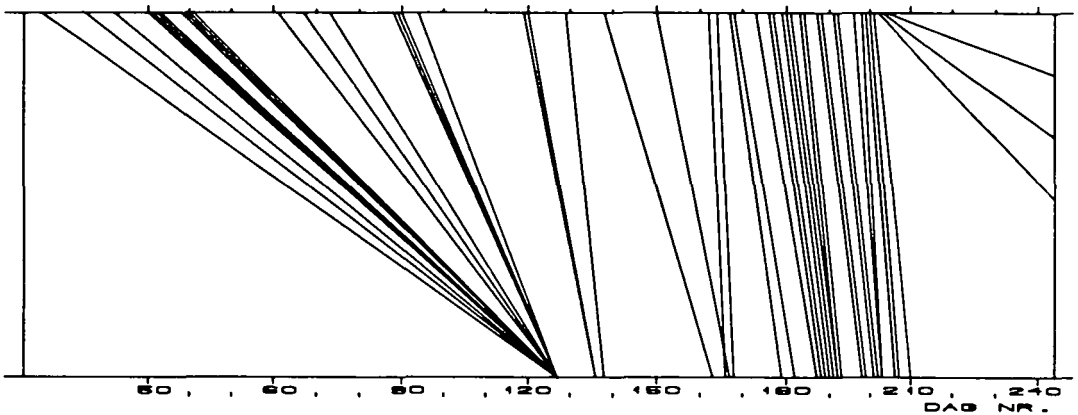
Modellen er uden modifikationer anvendt på danske forhold i 1980. I fig. 31 er vist eksempler på grafiske uddata fra anvendelse af modellen for data fra Borris og Blangstedgård. På figurernes vandrette akser er anført dagnr. De rette linier, som forbinder øverste og nederste vandrette akser, viser inkubationsperioders forløb. En ret linie "starter" på øverste vandrette akse på det dagnr. i året, hvor en infektion starter og "ender" på nederste vandrette akse på det dagnr. i året, hvor sygdommen ifølge (17) bryder ud.

Hvis mange inkubationslinier "ender" i samme punkt, hvis mange af inkubationslinierne er næsten lodrette (inkubationsperioden kort), eller hvis en ny inkubationsperiode starter samme dag som en anden ender, er der grund til at varsle. Ved Borris (fig. 31) skulle der

således have været varslet først i maj (dagnr. 128), først i juli (dagnr. 190) og midt i juli (dagnr. 200).

Modellen er ikke afprøvet under danske forhold. En sådan kontrol søges gennemført i 1981 i samarbejde med Botanisk afdeling, Institut for plantepatologi ved Planteværnscentret. Modellen skal bruges på daglige klimaregistreringer, og modelresultaterne skal sammenlignes med observationer af ildsot-forekomst i frugtplanter, som ligger tæt ved de meteorologiske stationer. Modelkontrollen kan måske føre til modifikationer i modellen, når den anvendes under danske forhold.

#### ILDSOT VED BORRIS



#### ILDSOT VED BLANGSTEDGAARD

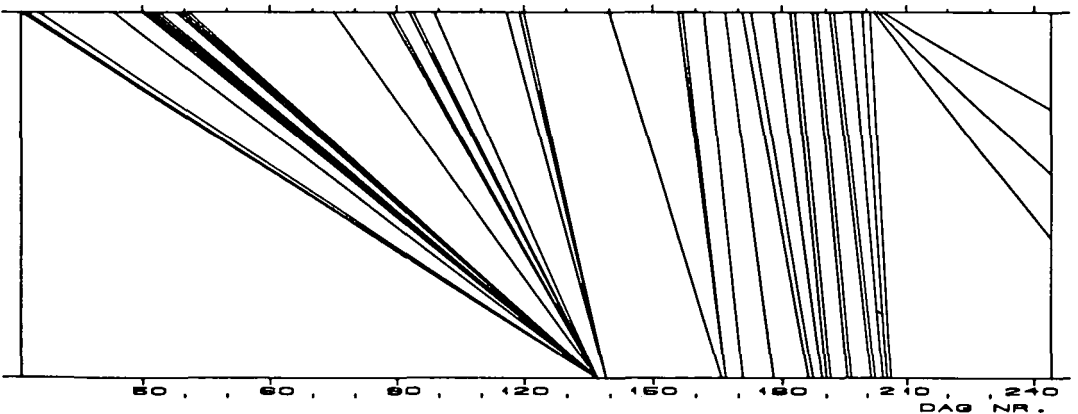


Fig. 31. Varsling imod ildsot ved Borris og Blangstedgård 1980.  
Model efter Billing (1980b).



# D E L \_\_\_\_ III

## 8. JORDBRUGSMETEOROLOGISK TJENESTE.

### 8.1 Etablering.

Allerede i styringsgruppens ansøgning af august måned 1979 til Landbrugets Samråd for Forskning og Forsøg om midler til projektets første etape blev det anført, at der sigtedes imod oprettelse af en permanent jordbrugsmeteorologisk tjeneste ved Statens Planteavlsforsøg. I den første etape er der i styringsgruppen og også i større kredse indenfor planteavlsforskningen arbejdet videre med planerne. Henvendelser til projektet fra både jordbrugsforskere og fra meteorologer har accentueret behovet for jordbrugsmeteorologisk forskning og rådgivning.

Nærværende rapport viser resultaterne af de første, spæde jordbrugsmeteorologiske studier indenfor afgrøde-vejr modeller, agro-klimatisk kortlægning og varsling for plantesygdomme. I ansøgningen om bevillinger til projektets 2. etape af to års varighed er der redegjort for, hvordan den her igangsatte forskning skal fortsættes og videreudvikles og derved danne grundlaget for en jordbrugsmeteorologisk tjeneste. Denne tænkes oprettet ved projektets ophør ved udgangen af 1982.

Gennem styringsgruppens personsammensætning er der etableret et tættere samarbejde mellem Meteorologisk Institut, Landskontoret for Planteavl og Statens Planteavlsforsøg. Ved etablering af en jordbrugsmeteorologisk tjeneste ved Statens Planteavlsforsøg vil et endnu tættere og mere formaliseret samarbejde med Meteorologisk Institut og jordbrugets konsulenttjenester være nødvendigt.

Den jordbrugsmeteorologiske tjeneste skal udføre jordbrugsmeteorologisk forskning og medvirke ved mere service-betonet vejledning i biologisk-meteorologiske spørgsmål overfor jordbrugserhvervet og jordbrugsforskningen. I begge henseender er bistand af meteorologisk ekspertise påkrævet. For forskningen behøves indsigt i den egentlige meteorologiske/klimatologiske forskning, og for vejledning af jord-

bruget er meteorologernes vejrforudsigelser centrale. Gennem samarbejdet med jordbrugets konsulenttjenester skal rådgivningen og varslingerne formidles til jordbrugserhvervets udøvere.

## 8.2      Forskning.

Efterhånden som flere og flere af dyrkningsfaktorerne i jordbrugets planteproduktion beherskes, vil indflydelsen på produktionsresultatet af en af de få faktorer, der er udenfor vores kontrol, nemlig vejret, være relativt stærkere. Klimasvingninger fra år til år giver anledning til udbyttevariationer, som kan være katastrofale, både for den egentlige planteavl og indenfor landbruget især for den animalske produktion, som aftager planteprodukterne.

Den jordbrugsmeteorologiske forskning skal studere klimaets betydning for andre produktionsfaktorerers indflydelse på produktionsresultatet. Vi ved, at der forekommer vekselvirkning mellem vandfaktoren og næringsstoffaktorerne. Der kræves dog yderligere forskningsindsats for kvantitativt at kunne bestemme f.eks. det optimale kvælstofniveau af afhængighed af nedbøren.

Fra en jordbrugsmeteorologisk tjeneste skal der gives råd til de "ægte" meteorologer og klimatologer angående jordbrugets ønsker til den teoretiske meteorologiske forskning. Som skitseret af Krarup (1975) kan man forestille sig, at forudsigelser fra meteorologernes side af sammensatte vejrelementer som f.eks. fordampningen ville være af værdi for jordbruget. Men iværksættelse af sådanne forudsigelser vil kræve en meteorologisk grundforskning. Jordbruget er naturligvis meget interesseret i forbedringer i de almindelige vejrudsigter og i udvikling af "rimeligt gode" langtidsvejrudsigter. For en fremtidig udnyttelse af satellit-informationer indenfor jordbruget behøves en koordineret forskningsindsats for meteorologer og jordbrugsmeteorologer.

De udviklede afgrøde-vejr modeller for byg - eller forbedrede udgaver af dem - kan som vist tidligere i rapporten forudsige årets "normaludbytte" ved udgangen af juni eller juli måned. Suppleret med oplysninger om den geografiske fordeling af landbrugsjorden,

dennes tekstur samt statistiske oplysninger om de forskellige afgrøders fordeling på landbrugsarealet, kan sådanne modeller forudsige landets totaludbytte med en vis, forudberegnat sikkerhed.

Modellerne kan endvidere anvendes til kortlægning af landet mht. "potentielt udbytte". Med klimaoplysninger fra en årrække - f.eks. 30 år - kan modellerne kortlægge landet med hensyn til dyrknings-sikkerhed (eller udbyttevariation). Sådanne kortlægninger vil forbedre grundlaget for planlægningen af vort fremtidige forbrug af landbrugsjord til forskellige formål. De her nævnte anvendelser af afgrøde-vejr modeller kræver dels en udvikling af modeller for andre afgrøder, dels en yderligere indsats vedrørende de allerede udviklede byg-modeller. Desuden skal der forskningsmæssigt samarbejdes med andre instanser for tilvejebringelse af de nødvendige statistiske oplysninger.

Arbejdet med afgrøde-vejr modeller øger kendskabet til det ydre miljøes betydning for planteproduktionen. Med gode afgrøde-vejr modeller kan man "på datamaten" foretage eksperimenter, som i praksis ville være vældigt ressourcekrævende eller endog umulige. Modellerne kan give kvantitative vurderinger af effekterne af f.eks. klimaændringer.

For udvikling af modeller til varsling for angreb af plantesygdomme og skadedyr skal den jordbrugsmeteorologiske tjeneste samarbejde med plantepatologer. Fra udlandet ved vi, at omfattende, nøje planlagte registreringer og eksperimenter er nødvendige for at udforske de komplekse sammenhænge, det dynamiske klima-planteskadegørersystem består af. Til en begyndelse kan man dog forsøge sig med adoption af et udenlandsk system, som det her i rapporten er illustreret med ildsot-varslingen.

Et andet forskningsområde, som hører hjemme i jordbrugsmeteorologisk regie, er planlægningen af jordbrugets arbejdsoperationer med hensyntagen til vejrets hidtidige forløb og dets sandsynlige fremtidige forløb. Herunder hører den rettidige anvendelse af landbrugets tekniske hjælpemidler. F.eks. afhænger den optimale høststrategi for en landbrugsejendom af vejret i vækstsæsonen, den nutidige vejr-

situation, det pågældende landbrugs afgrødevalg, mejetærskerkapacitet og tørringskapacitet samt udsigterne for vejret i den nærmeste fremtid. Lignende betragtninger gælder for det optimale såtidspunkt og det optimale tidspunkt for forebyggelse eller bekæmpelse af plantesygdomme og skadedyr.

### 8.3 Rådgivning.

Rådgivning af jordbruget i jordbrugsmeteorologiske spørgsmål skal formidles i samarbejde med jordbrugets konsulenttjenester. Rådgivningen kan være i form af udsendelse af specielle jordbrugsvejrudsigter, udarbejdet sammen med Meteorologisk Institut. Især i vækstperioden samt i det tidlige forår og i høstperioden er der behov for vejrudsigter, som er udformet med henblik på jordbrugets øjeblikkelige situation. Derfor kræves jordbrugsuddannede personers medvirken. Det er desuden essentielt, at vejrudsigterne formuleres af personer, der "taler modtagerens sprog".

Rådgivningen kan også være i form af varslinger imod angreb af plantesygdomme og skadedyr. Varslingernes succes er betinget af, at de udformes rettidigt og ekspederes hurtigt. Ellers kan det gunstigste tidspunkt for forebyggelse/bekæmpelse nemt forpasses. Derfor behøver en jordbrugsmeteorologisk tjeneste direkte adgang til Meteorologisk Instituts database via en terminaltilslutning, så de friskeste meteorologiske oplysninger altid er tilgængelige. Formidlingen til jordbrugserhvervet kan gennemføres via en telefonavis, evt. via et fremtidigt tekst-TV-system og desuden naturligvis i jordbrugets fagblade. Til fagbladene kan med den på projektet anvendte EDB-korttegningsteknik SYMAP øjeblikkeligt fremstilles oversigtskort for registrerede og/eller varslede angrebs geografiske fordeling og intensitet.

På basis af den jordbrugsmeteorologiske tjenestes forskning og erfaringer fra rådgivning vil tjenesten kunne rådgive andre forskningsinstitutioner. I planlægningen af landsdækkende forsøg kan udpeges gunstige placeringer af forsøgene med henblik på forsøgsstedernes repræsentativitet for forskellige klimatyper. Ved fortolkningen af ældre såvel som fremtidige forsøgsresultater vil relevan-

te klimaoplysninger kunne indhentes fra den klima-databank, som er oprettet på projektet. Formodentlig vil tjenestens medarbejdere oparbejde en sådan ekspertise angående klimatiske faktorerers vekselvirkninger med øvrige plantedyrkningsfaktorer, at tjenesten desuden vil kunne bidrage til selve fortolkningen af forsøgsresultaterne.

Specielt med hensyn til Statens Planteavlfsforsøgs store mængder data fra mange års forsøg bør en jordbrugsmeteorologisk tjeneste i samarbejde med Dataanalytisk Laboratorium søges at systematisere data-opbevaringen. Via en egentlig datapolitik og herunder en central opbevaring af de relevante forsøgsresultater skabes der gunstige muligheder for jordbrugsmeteorologisk forskning og dermed rådgivning.

## 9. SAMMENDRAG.

Rapporten er en redegørelse for arbejdet på 1. etape af projektet "Jordbrugsmeteorologi", som finansieres af Landbrugets Samråd for Forskning og Forsøg.

Jordbrugsmeteorologi er en tværvidenskabelig disciplin, som kombinerer meteorologers viden om miljøet med jordbrugsforskeres kendskab til miljøets betydning for jord, planter og dyr. I mange lande er jordbrugsmeteorologi en veludviklet videnskab, og internationalt samarbejde på området formidles gennem WMO's (World Meteorological Organization) CAgM (Commission for Agricultural Meteorology).

For jordbrugsmeteorologiske studier behøves biologiske og meteorologiske observationer, foretaget samme tid og sted. I mange tilfælde kan behovet for meteorologiske observationer dækkes af Meteorologisk Instituts net af standard målestationer. Visse meteorologiske størrelser som f.eks. den potentielle evapotranspiration og jordtemperaturen er dog specielle for jordbrugsmeteorologien.

I forbindelse med projektet er der oprettet en klima-databank bestående af 10-døgns-middelværdierne for nogle af de observationer, som foretages for Meteorologisk Institut af Statens forsøgsstationer. Databanken omfatter observationerne for årene 1940-79.

På grundlag af databankens måneds-middelværdier for temperatur og nedbør i vækstsæsonen og de normaludbytter for byg, som hvert år opgøres for forsøgsstationerne, er med multipel lineær regression udviklet afgrøde-vejr modeller for bygudbyttet på sandjorde og lerjorde. I modellerne indgår som bestemmende variable desuden den tilgængelige vandmængde i rodzonen ved stationerne samt "teknologi-variable" til forklaring af det øgede udbyttelniveau, der er forekommet med årenes øgede kvælstofforbrug, forbedrede sorter m.m..

De "bedste" modeller er udvalgt ved at kombinere plantefysiologiske overvejelser med resultaterne fra udvælgelse ved hjælp af den statistiske teknik Stepwise. Desuden er de mulige modellers prædiktionssevne undersøgt ved at anvende modellerne på observationer, som er forskellige fra det datamateriale, der er grundlaget for parameterestimationen.

For sandjordene (144 observationer) er med 14 bestemmende variable opnået en  $R^2$ -værdi på 0.75. For lerjordene (223 observationer) er med 15 bestemmende variable opnået  $R^2 = 0.53$ . Med modellerne kan årets normaludbytte i byg ved stationerne forudsiges ved udgangen af juni måned. For sandjordene viser modellerne en signifikant positiv effekt af maj-nedbøren. For lerjordene iagttages en sandsynlig negativ effekt af vinterneedbøren og nedbøren i april måned.

Med EDB-korttegningsprogrammet SYMAP er tegnet klimatologiske Danmarkskort, som viser den geografiske fordeling af vækstsæsonens varmesummer med forskellige basistemperaturer. Varmesummerne er udregnet for ca. 90 lokaliteter, hvor årets "normale" temperaturforløb er simuleret med en cosinus-sinus-model ud fra lokaliteternes måneds-normal-temperaturer for perioden 1931-60. SYMAP-programmet interpolerer sig derefter - ud fra de 90 observationssteder - frem til varmesummens værdi i alle punkter og udtegner kort for varmesummens størrelse.

For årets 36 dekader er for de meteorologiske synop-stationer Karup og Kastrup udregnet "normaldøgn" for de klimatiske parametre lufttemperatur, vindhastighed og luftens og luftens relative fugtighed.

I figurer er ved kurver vist eksempler på de "normale" forløb i døgnet for de nævnte parametre.

Principperne i jordbrugsmeteorologisk varsling imod angreb af plantesygdomme og -skadedyr er vist ved at adoptere en engelsk model for varsling imod angreb af ildsot i frugtplantager. Modellens ind-data er døgnværdier for max. og min. temperatur samt nedbør.

Med den forskning, som udføres på projektet, søges dannet grundlaget for etablering af en permanent jordbrugsmeteorologisk tjeneste ved Statens Planteavlsforsøg ved projektperiodens udløb. Tjenesten skal i tæt samarbejde med Meteorologisk Institut og jordbrugets konsulenttjenester udføre jordbrugsmeteorologisk forskning og rådgivning. Til udvikling af biologisk-meteorologiske modeller skal anvendes historiske data. Når modellerne derefter skal bruges i praksis, for eksempel til varsling imod angreb af plantesygdomme, er helt "friske" meteorologiske data nødvendige.

En sådan tjeneste skal også - i samarbejde med Meteorologisk Institut - udforme vejrudsigter specielt for landbruget. Især i det tidlige forår, i vækstsæsonen og i høstperioden er der stor interesse i jordbruget for vejrudsigter med specielle jordbrugsrelevante oplysninger.

# 10. LITTERATURLISTE.

- Amsen, M.G. (1970): Periodisk endimensional varmemestrømning i jord belyst ved en matematisk model. *Horticultura* 24, 72-79.
- Anonym (1963): Guide to Agricultural Meteorological Practices. WMO - No. 134, Geneve.
- Anonym (1975): Middelnedbør og middeltemperatur 1931-60. Det Danske Meteorologiske Institut.
- Anonym (1980): Oversigt over de meteorologiske forhold på forsøgsstationerne 1979. Statens Planteavlsvforsøg. 15 pp.
- Aslyng, H.C. (1976): Jordklassificering og høstudbytte i Danmark. *Tidsskr. f. Landøkonomi* 163, 345-358.
- Baier, W. (1973): Crop-weather Analysis Model: Review and Model Development. *Jour. of Applied Meteorology* 12, 937-947.
- Baier, W. (1977): Crop-weather Models and their Use in Yield assessments. WMO Technical Note No. 151, 1-48.
- Billing, E. (1980a): Fireblight (*Erwinia amylovora*) and weather: a comparison of warning systems. *Ann. appl. Biol.* 95, 365-377.
- Billing, E. (1980b): Fireblight in Kent, England in relation to weather (1955-1976). *Ann. appl. Biol.* 95, 365-377.
- Bloc, D., Desvignes, Ph., Gerbier, N. & Remois, P. (1978): Contribution a l'Etude Agroclimatologique du Maïs en France. Association Générale des Producteurs de Maïs, Institut Technique des Céréales et des Fourrages & Direction de la Météorologie Nationale. Pau, Frankrig. 35 pp.
- Bloc, D. & Gouet, J.-P. (1977): Influence des sommes de temperature sur la floration et la maturité du Maïs. *Ann. Amélor. Plantes* 28, 89-111.
- Dinesen, I.G. (1980): Varsling for ildsot. *Frugtavleren* 8, 198-201.



- Dougenik, J.A. & Sheelan, D.E. (1975): SYMAP. User's Reference Manual. Harvard University.
- Draper, N.R. & Smith, H. (1966): Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons. 407 pp.
- Gregersen, A. & Knudsen, H. (1980): Vindhastighed, vandbalance og vandingsbehov 1957-78. Tidsskr. Planteavl 84, 111-161.
- Hansen, G.K., Jakobsen, B.F. & Jensen, S.E. (1976): Simuleret Plan-teproduktion. Hydroteknisk Laboratorium, Den kgl. Veterinær-og Landbohøjskole.
- Hansen, L. (1976): Jordtyper ved Statens Forsøgsstationer. Tidsskr. Planteavl 80, 742-758.
- Helwig, J.T. & Council, K.A. (1979): SAS User's Guide. 1979 Edition. SAS Institute Inc. 494 pp.
- Holm, S. & Jensen, A. (1974): Varsling for kartoffelskimmel efter prognose. Meddelelse fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plante-kultur nr. 1142.
- Jakobsen, A. (1980): Majs. Pjece fra Landbrugets Informationskon-tor. 34 pp.
- Jakobsen, H. & Gruno, H. (1974): Meteorologiske data på datamat-an-vendelig form. Luftforureningsgruppen, Meteorologisk Insti-tut. 52 pp.
- Kish, A.J., Ogle, W.L. & Loadholt, C.B. (1972): A prediction tech-nique for snap bean maturity incorporating soil moisture with the heat unit system. Agric. Meteorol. 10, 203-209.
- Krarup, H.H. (1975): Landbruget og vejret. Tolvmandsbladet 47, 315-319.
- Krishnan, A. & Kushwaha, R.S. (1972): Analysis of soil temperatures in the arid zone of India by Fourier techniques. Agric. Meteorol. 10, 55-64.

- Kristensen, K.J. (1959): Temperature and Heat Balance of Soil. *Oikos* 10, 103-120.
- Kristensen, K.J. (1979): A Comparison of Some Methods for estimation of Potential Evaporation. *Nordic Hydrology* 10, 239-250.
- Kristensen, R.K. (1937): Vore Afgrøders forhold til klimaet. *Tidsskr. Planteavl* 42, 145-181.
- Lewin, J. & Lomas, J. (1974): A comparison of statistical and soil moisture modeling techniques in a long-term study of wheat yield performance under semi-arid conditions. *Jour. Appl. Ecol.* 11, 1081-1090.
- Lund, E.W. & Dorph-Petersen, K. (1971): Landbrugsafgrødernes udbytteforhold. *Tidsskr. Planteavl* 75, 508-531.
- Neild, R.E. & Greig, J.K. (1972): An agroclimatic procedure to determine growing seasons for vegetables. *Agric. Meteorol.* 9, 225-240.
- Neild, R.E., Seeley, M.W. & Richman, N.H. (1978): The Computation of Agriculturally Oriented Normals from Monthly Climatic Summaries. *Agric. Meteorol.* 19, 181-187.
- Prytz, K. (1948): Landbrugsmeteorologiske korrelationsundersøgelser. *Ingeniørvidenskabelige Skrifter*. 124 pp.
- Ravn, J. (1980): Brugervejledning til varslingsystemerne. Studieopgave ved Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole. 18 pp.
- Schrödter, H. & Fehrmann, H. (1974): Prediction of the optimal period for controlling eye-spot (*Cercospora herpotrichoides*) of wheat. In: *Agrometeorology of the wheat crop. Proceedings of the WMO-Symposium*. WMO - No. 396, 167-175.
- Skaar, E. (1980): Application of Meteorological Data to Agro-climatological Mapping. *Int. J. Biometeor.* 24, 3-12.

- Stapel, Chr. (1977): Den økonomiske betydning af plantesygdommenes og skadedyrenes bekæmpelse i landbruget. Ugeskr. f. Agron., Hort., Forst. og Lic. 122, 735-746.
- Utaaker, K. (1963): The Local climate of Nes, Hedmark. Univ. Bergen Skrifter. 117 pp.
- Utaaker, K. (1979): Lokal- og vekstklime i Sogn. Forskning og Forsøk i Landbruket 30, 113-204.
- Wikteliuss, S. (1977): The Importance of Southerly Winds and Other Weather Data on the Incidence of Sugar Beet Yellowing Viruses in Southern Sweeden. Sweedish J. agric. Res. 7, 89-95.
- Williams, G.D.V., Joynt, M.I. & McCormick, P.A. (1975): Regression analyses of Canadian Praire crop-district cereal yields 1961-1972, in relation to weather, soil and trend. Can. J. Soil Sci. 55, 43-53.
- Williams, G.D.V., McKenzie, J.S. & Sheppard, M.I. (1980): Mesoscale Agroclimatic Resource Mapping by Computer, an Example for the Peace River Region of Canada. Agric. Meteorol. 21, 93-109.
- Zethner, O. & Esbjerg, P. (1978): Outworm attack in relation to rainfall and temperature during 70 years. In: Proceedings of the Nordic symposium on climatic changes and related problems. Editor: K. Frydendahl. pp. 103-108.
- Regelmæssigt publicerede meddelelser med meteorologiske data.
- Hydroteknisk Laboratorium, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole.  
Klima og Vandbalance. Højbakkegård. Udkommer årligt.
- Meteorologisk Institut: Meteorologisk Instituts Vejrberetning. Udkommer dagligt.
- Meteorologisk Institut: Ugeberetning om nedbør mm. Udkommer ugentligt.

Statens forsøgsstation ved St. Jydevad: Meteorologiske data fra statens forsøgsstationer. Udkommer årligt. Stenciltryk nr. 1-15. (1964-79).

Statens Planteavlsforsøg: Beretning fra Statens Planteavlsudvalg. Udkommer årligt. Indeholdt indtil 1980 Oversigt over de meteorologiske forhold på forsøgsstationerne.

APPENDIX ASYMBOLLISTE

AFsnit\_\_4

VariabelbetegnelserForklaring

AAR	Årstal ( $\div$ 1900), hvor en observation stammer fra.
AARK	Årstallet ovenfor kvadreret. Fællesbetegnelse for de 223 observationer fra lerjorde.
LER1, LER2	Betegnelser for to modeller for lerjordenes normaludbytter.
LER1*, LER2*	Betegnelse for de to modeller, anvendt til "ægte prædiktion".
N4, N5, N6, N7	Nedbør i månederne april-juli.
NEDBAAR	Produktet af maj-juni totalnedbør og årstallet.
NEDB_S	Nedbør i den forudgående vinter, dvs. for månederne august-marts.
NK4, NK5, NK6, NK7	Nedbør i månederne april-juli, kvadreret.
NV4, NV5, NV6, NV7	Vekselvirkning mellem den tilgængelige vandmængde i rodzonen og nedbør i månederne april-juli.
SAND	Fællesbetegnelse for de 144 observationer fra sandjordene.
SAND1, SAND2, SAND3	Betegnelser for tre modeller for sandjordenes normaludbytter.

<u>Variabelbetegnelser</u>	<u>Forklaring</u>
SAND1*,SAND2*,SAND3*	Betegnelser for de tre modeller, anvendt til "ægte Prædiktation".
T4,T5,T6,T7	Middeltemperatur i månederne april-juli.
TEMP_V	Middeltemperatur for den forløbne vinter, dvs. for månederne december-marts.
TK4,TK5,TK6,TK7	Middeltemperatur for månederne april-juli, kvadreret.
TN4,TN5,TN6,TN7	Vekselvirkning mellem nedbør og temperatur i månederne april-juli.
TOTAL2	Betegnelsen for en ikke nærmere beskrevet model for samtlige 367 observationer.
TV4,TV5,TV6,TV7	Vekselvirkning mellem den tilgængelige vandmængde i rodzonen og middeltemperaturen i månederne april-juli.
VAND	Den tilgængelige vandmængde i rodzonen.
VANDK	Den tilgængelige vandmængde ovenfor, kvadreret.

Matematiske symboler m.v.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ ---	Parametre i en regressionsmodel.
$E(Y)$	Den forventede værdi for vektoren Y.
$\epsilon_i$ , $i=1,2,3$ ---	Residualer i en regressionsmodel.
modulus	Betegnelsen for divisionsrest, f.eks. er $\text{modulus}(43,3) = 43-14*3 = 1$ .
n,N	Antal observationer.

Matematiske symboler m.v.Forklaring

$R^2$	Multipel regressionskoefficient. $R^2 \times 100$ betegner den procentdel af den totale variation, som "forklares" af modellen.
$\sigma^2$	Varians for en stokastisk variabel.
$\sum_{j=0}^s$	Summation over indeks j.
$s^2$	Estimat for variansen $\sigma^2$ .
$\text{var}(X)$	Varians ( $\sigma^2$ ) for den stokastiske variabel X.
$\underline{X}$	Matrix bestående af de bestemmende variables værdier.
$\underline{Y}$	Vektor bestående af den afhængige variabels værdier.
-	Betegner middelværdi-dannelse, f.eks. $\bar{x}$ middelværdien for x.
-	Vektor-notation, f.eks. er $\underline{Y}$ en søjlevektor.
$\underline{\underline{X}}$	Matrix-notation, f.eks. er $\underline{\underline{X}}$ en matrix.
'	Transponering, f.eks. er $\underline{\underline{X}}'$ den transponerede af $\underline{\underline{X}}$ .
$-1$	Invertering, f.eks. er $\underline{\underline{X}}^{-1}$ den inverse af $\underline{\underline{X}}$ .

Afsnit\_\_5VariabelbetegnelserForklaring

d	Døgn nr. i året, d=1,2,3 ---, 365.
$t_d$	Døgn-middel-temperatur for døgn nr. d.
T	Basistemperatur for en varmesum.
VS	Varmesum med en given basistemperatur for en given periode.
VSN	En tilsvarende "normal" varmesum.
VSS	En tilsvarende simuleret varmesum.

Matematiske symboler m.v

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4,$	Parametre i en regressionsmodel.
$\epsilon_i, i=1,2,3 \text{ ---}$	Residualer i en regressionsmodel.
$\sum_{d=1}^p$	Summation over indeks d.

Afsnit\_\_7Variabelbetegnelser

t	Dag nr. i en inkubationsperiode.
PD	Potentielt antal fordoblinger i en bakteriepopulation.
R	"Point"-værdi for døgnnedbørens størrelse.

Matematiske symboler m.v.

$\sum_t$	Summation over indeks t.
----------	--------------------------











## Institutioner ved Statens Planteavlsforsøg

### Sekretariatet

Statens Planteavlsskontor, Kongevejen 83, 2800 Lyngby .....	(02) 85 50 57
Informationstjenesten, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby .....	(02) 87 53 27
Dataanalytisk Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby .....	(02) 87 06 31
Sekretariatet for Sortsafprøvning, Tystofte, 4230 Skælskør .....	(03) 59 61 41
Statens Bisygdomsnævn, Kongevejen 83, 2800 Lyngby .....	(02) 85 62 00

### Landbrugscentret

Statens Forsøgsstation, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde .....	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsareal, Bornholm, Rønnevej 1, 3720 Åkirkeby .....	(03) 97 53 10
Statens Biavlsforsøg, Ledreborg Allé 100, 4000 Roskilde .....	(02) 36 18 11
Statens Forsøgsstation, Rønhave, 6400 Sønderborg .....	(04) 42 38 97
Statens Forsøgsstation, Tylstrup, 9380 Vestbjerg .....	(08) 26 13 99
Statens Forsøgsstation, Tystofte, 4230 Skælskør .....	(03) 59 61 41
Statens Forsøgsstation, Ødum, 8370 Hadsten .....	(06) 98 92 44
Statens Forsøgsstation, Borris, 6900 Skjern .....	(07) 36 62 33
Statens Forsøgsstation, Silstrup, 7700 Thisted .....	(07) 92 15 88
Statens Forsøgsstation, Askov, 6600 Vejen .....	(05) 36 02 77
Statens Forsøgsstation, Lundgård, 6600 Vejen .....	(05) 36 01 33
Statens Marskforsøg, Siltoftvej 2, 6280 Højer .....	(04) 74 21 05
Statens Forsøgsstation, St. Jyndeved, 6360 Tinglev .....	(04) 64 83 16
Statens Planteavls-Laboratorium, Lottenborgvej 24, 2800 Lyngby .....	(02) 87 06 31
Statens Planteavls-Laboratorium, Pedersholm, 7100 Vejle .....	(05) 82 79 33

### Havebrugscentret

Institut for Grønsager, Kirstinebjergvej 6, 5792 Årslev .....	(09) 99 17 66
Institut for Væksthuskulturer, Kirstinebjergvej 10, 5792 Årslev .....	(09) 99 17 66
Institut for Frugt og Bær, Blangstedgårdsvej 133, 5220 Odense SØ .....	(09) 15 90 46
Institut for Landskabsplanter, Hornum, 9600 Års .....	(08) 66 13 33

### Planteværnscentret

Institut for Pesticider, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby .....	(02) 87 25 10
Institut for Plantepatologi, Lottenborgvej 2, 2800 Lyngby .....	(02) 87 25 10
Planteværnsafdelingen på »Godthåb«, Låsbyvej 18, 8660 Skanderborg ...	(06) 52 08 77
Institut for Ukrudtsbekæmpelse, Flakkebjerg, 4200 Slagelse .....	(03) 58 63 00
Analyselaboratoriet for Pesticider, Flakkebjerg, 4200 Slagelse .....	(03) 58 63 00