

INSTITUTT FOR JORDKULTUR
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
1432 AS-NLH

SERIE B 1/86

FELTFORSØKETS UTFORMING OG UTNYTTING

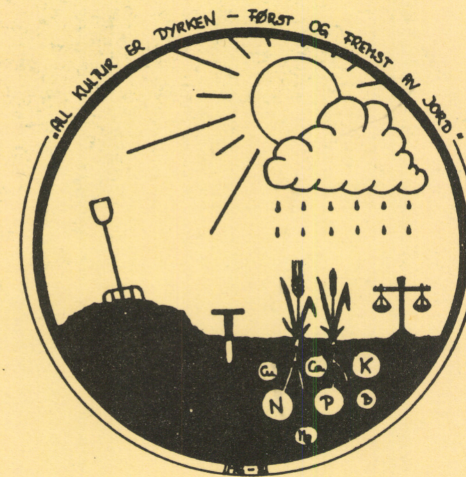
Av

Arnor Njøs

Foredrag for Landbrukets forsøksringer,
Klekken, Ringerike, 3. des. 1986

og

NJF-seminar om Felteforsøketets betydelse
Sveriges Lantbruksuniversitet, 8. des. 1983



DEPARTMENT OF SOIL FERTILITY AND MANAGEMENT
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY
N-1432 AS-NLH, NORWAY

INSTITUTT FOR JORDKULTUR
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE
1432 AS-NLH

SERIE B 1/86

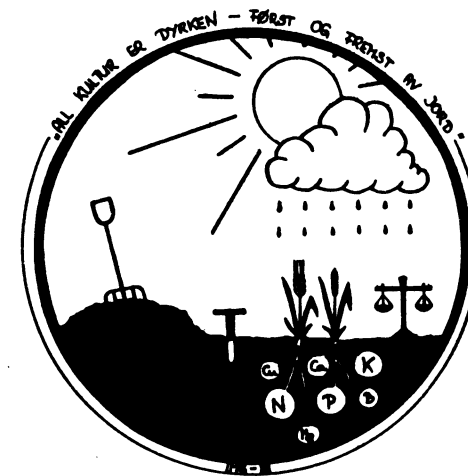
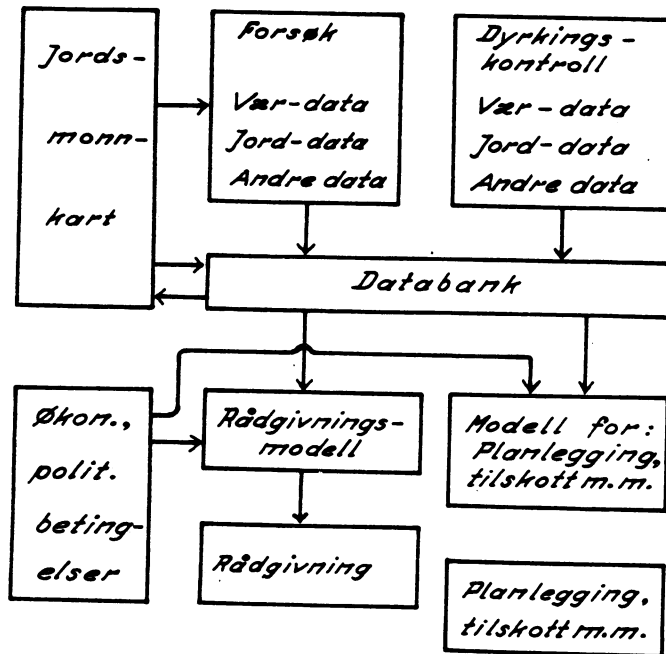
FELTFORSØKETS UTFORMING OG UTNYTTING

Av
Arnor Njøs

Foredrag for Landbrukets forsøksringer,
Klekken, Ringerike, 3. des. 1986

og

NJF-seminar om Felteforsøket's betydelse
Sveriges Lantbruksuniversitet, 8. des. 1983



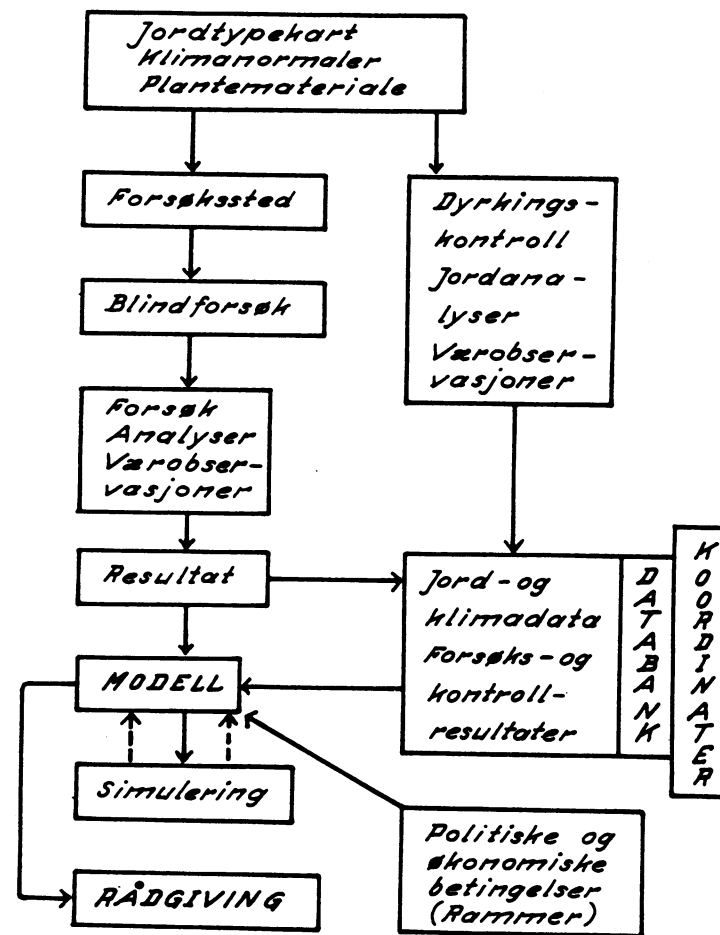
DEPARTMENT OF SOIL FERTILITY AND MANAGEMENT
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF NORWAY
N-1432 AS-NLH, NORWAY

FELTFORSØKETS UTFORMING OG UTNYTTING

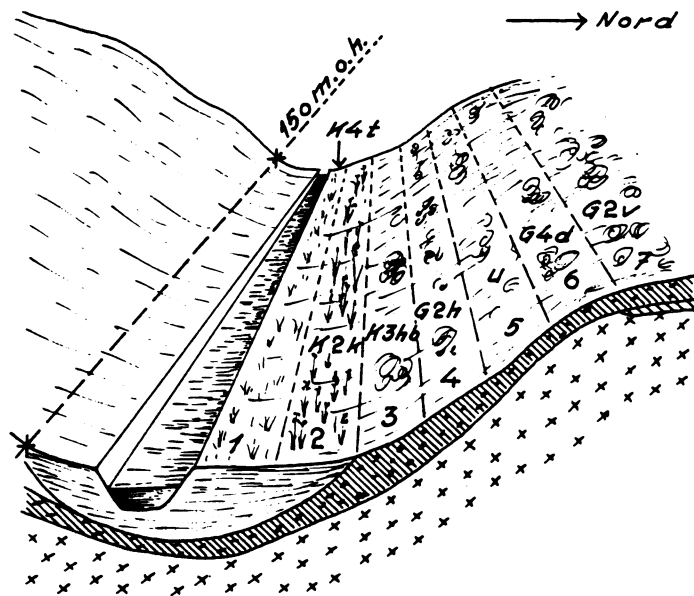
Av

Arnor Njøs

N-1432 As-NLH



Jordtyper og dyrkingsklasser



INNHOLD

	<u>Side</u>
1.	Innledning
2.	Utviklingen i jordbruket
3.	Ulikheter mellom omgivelser i feltforsøk og de mer kontrollerte vekstforsøk
3.1	Vann- og gassbevegelse i jord
3.2	Skalæffekter
3.3	Kontakt mellom røtter og tilførte stoffer.
3.4	Tidsfunksjoner
3.5	Tetthet og fasthet
3.6	Bestandseffekt
4.	Vi må leve med og utnytte variasjonen
4.1	Variasjonen innen et forsøksfelt
4.2	Steds og årsvariasjonen
4.3	Andre variasjonsårsaker
5.	Oppdeling av stedsvariasjonen - jordsmonnkartlegging
6.	Feltforsøkets oppgave som metodikkverktøy
7.	De langvarige fastliggende forsøkene
8.	Kontrolldyrking som kunnskapskilde
9.	Modeller - Simulering
10.	Kunnskapsstrømmen i et system med feltforsøk og kontrolldyrking
11.	Sammendrag
12.	Summary
13.	Litteratur

Arnor Njøs
N-1432 As-NLH, Norge

FELTFORSØKETS UTFORMING OG UTNYTTING

1. Innledning

Feltforsøket er et verktøy, en del av metodikken i jordbruksforskningen. Feltforsøket er også et kontaktmiddel mellom forskeren/rådgiveren og bonden som vist i fig. 1. I denne figuren utgjør feltforsøket bru over en foss. Fossen kan sammenlignes med bakgrunnsstøy og forstyrrelser. Om forskeren eller rådgiveren roper sitt budskap, drukner det i bakgrunnsstøyen. Om rådgiveren prøver å ro over i båt, er det usikkert om han når fram. Ved hjelp av feltforsøket kan alle tre parter møtes og forstå hverandre. Bonden kan bringe fram sine behov og de andre kan gjøre rede for sine opplysninger.

Fig. 1.

2. Utviklingen i jordbruket

Jordbruket representerer noe helt nytt i Jordens utvikling - det første alvorlige forsøk på å mestre naturen. Jordbruket er et markbrukssystem hvor bonden øker energistrømmen gjennom systemet for å få mere energi ut av systemet. Det er på en måte en vedlikeholdt økologisk ubalanse, hvor vedlikeholdsutgiftene er tilført arbeid og hjelpeenergi i form av jordarbeiding, gjødsel, maskiner, plantevern osv. Humusmaterialet kan ha vært råhumus eller torv før oppdyrking. Etter grøfting, kalking, jordarbeiding og gjødsling vil det organiske materialet komme i en tilstand av mold, en tilstand som egentlig er en økologisk ubalanse og som bare vedlikeholdes ved de nevnte tiltak. Fig. 2 viser hvordan innsats av arbeid, hjelpeenergi og jordareal for produksjon av én bestemt energimengde i mat, f.eks. 1MJ, 1GJ eller 1TJ, har endret seg med tiden. Arbeidsproduktiviteten har økt sterkt ved innsats av trekkdyr, maskiner og plantevernmidler. Arealproduktiviteten har økt gjennom

*VARIASJON: Innen felt-
variasjon under kontroll med:*

<i>Blokkforsøk</i>	<i>Blindforsøk</i>
+ + + + + + +	+ + + + 0 0 0 0 -
+ + + + + + +	+ + + + 0 0 0 - -
0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 - 0 -
0 0 0 0 0 0 0	0 0 + 0 0 0 - 0 +
- - - - - - -	0 0 0 0 - 0 + + 0
- - - - - - -	+ 0 + 0 0 0 0 + 0
	+ + + + 0 + + 0 -
	+ 0 0 + + 0 + + 0

vil tvinge fram økt arealproduktivitet, fordi alle prognoser går ut på stigende folketall, samt at mulighetene for å ta i bruk nytt land er sterkt begrenset (Eswaran 1982).

3. Ulikheter mellom omgivelser i feltforsøk og de mer kontrollerte vekstforsøk

Husdyrproduksjonen i vår del av verden er preget av kontrollerte omgivelser. Feltforsøk med planter utføres i et fysisk miljø som er lite kontrollert. Det er store variasjoner i tid og rom for de forhold som gjelder vann, varme, ventilasjon og fasthet. Ved drenering og vanning kan vi bringe vannfaktoren under noenlunde kontroll. Det er særlig vanskelig å kontrollere overskudd av vann på tett jord.

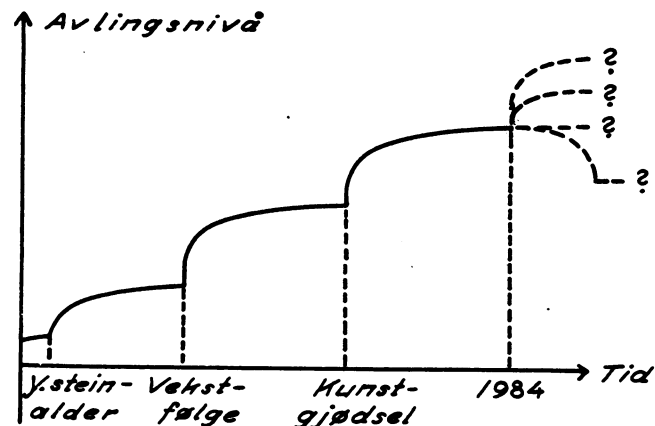
I rammeversøk kan vi homogenisere topplaget i jorda slik at variasjonen blir redusert. Men variasjonen i de jordlag vi ikke har homogenisert, er der fortsatt. I lysimeterforsøkene kan vi eliminere variasjonen i sammensetning av jorda både i side og dybde.

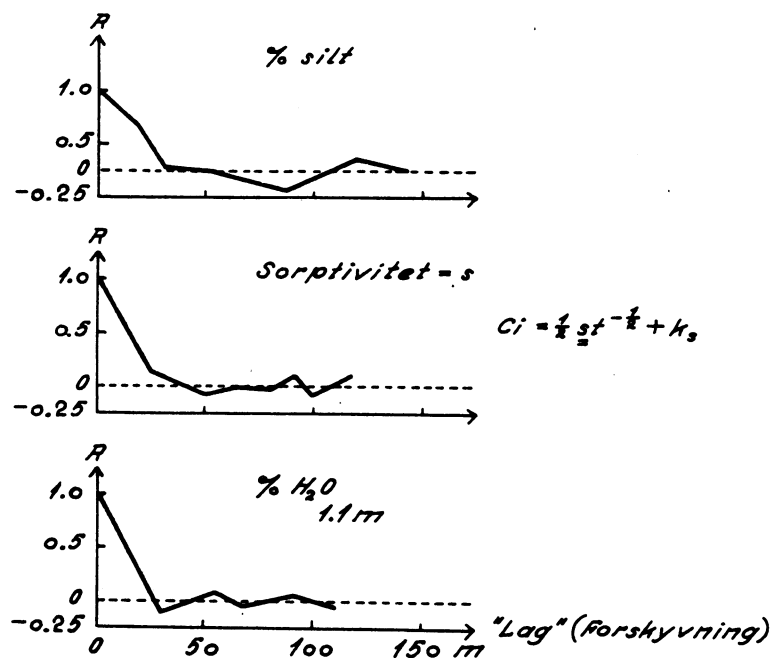
I monolittene beholder vi jorda som den er til full rotsonedybde. Eventuelt kan vi også der homogenisere topplaget.

I feltlysimetret som f.eks. kan bestå av forsøksenheter av størrelse 20 m x 4 m x 0,9 m (se Uhlen 1978) kan vi homogenisere topplag og underlag hver for seg.

Temperatur, vanntilgang, CO₂-tilgang, lys og næringstilgang kan bringes under nesten fullstendig kontroll ved dyrking i næringsløsning i klimarom. Ved dyrking i veksthus, kan vi få delvis kontroll.

Hvordan skiller feltforsøkene seg så ut fra de mer kontrollerte vekstforsøkene?





vannregulering, kalking og gjødsling. Innsatsen av hjelpeenergi har altså økt sterkt og kostnadene har følgelig steget sterkt.

Fig. 2.

På grunn av tendensen til stadig høyere krav til levestandard kan arbeidskostnadene øke selv om arbeidsproduktiviteten øker sterkt. Alternativt jordbruk ville gi større innsats av arbeid, redusert bruk av andre innsatser, spesielt av kunstgjødsel, og følgelig redusert arbeids- og arealproduktivitet.

I fig. 3 er det gjort et forsøk på å vise utviklingen i avlingsnivå med tid, hvor innføringen av den ordnede vekstfølgen (Norfolk-omløpet) svarer til et av trinnene oppover. Denne vekstfølgen omfattet korn, radvekster og kløvereng. I radvekståret ble det myldet ned husdyrgjødsel, ugraset ble fjernet ved hjelp av mekanisk ugraskamp (radrensing), og sykdommer/skadedyr fra kornårene ble sanert. I engperioden var veksten selvforsynt med nitrogen, på grunn av belgvekstene. Det ble også en ettervirkning av nitrogen ved ompløying, og det ble bygd opp en grynstruktur i jorda i engårene.

Fig. 3

Det siste trinnet er innføringen av kunstgjødsel, samtidig med kalking, drenering, tidligere såing og andre kulturtiltak. Vi vet ikke riktig om vi har nådd et platå på denne kurven eller om vi fortsatt er på den sterkt stigende delen. Utviklingen videre kan vi heller ikke forutsi, kanskje kan vi finne vekstregulatorer av typen Triacantanol, som har gitt store resultater i veksthus (Nilsen et al. 1981) men som hittil ikke har virket så godt på friland. Kanskje vil de alternative jordbruksformene (biologisk-dynamisk, biologisk-organisk jordbruk m.fl.) slå igjennom, og vi vil gå tilbake til nivået i første del av vårt århundre. Men det er vel trolig at etterspørselen etter mat

3.1 Vann- og gassbevegelse i jord

Porestørrelsefordelingen i jorda har ofte et helt annet mønster i marken enn i forsøksbeholdere med homogenisert jord. Strømningsmønsteret i profilet blir derfor ulikt. I jord med kolloidmateriale (leirjorder, humusjorder) kan jordløsningen under forhold med sterk nedbør transporteres raskt i grovporesystemet, ved en modifisert kortslutning. I beholdere med homogenisert jord har jordløsningen nærmest stempelbevegelse. Strømningsforholdene i monolitter ligner strømningsforholdene i marken.

3.2 Skalaeffekter

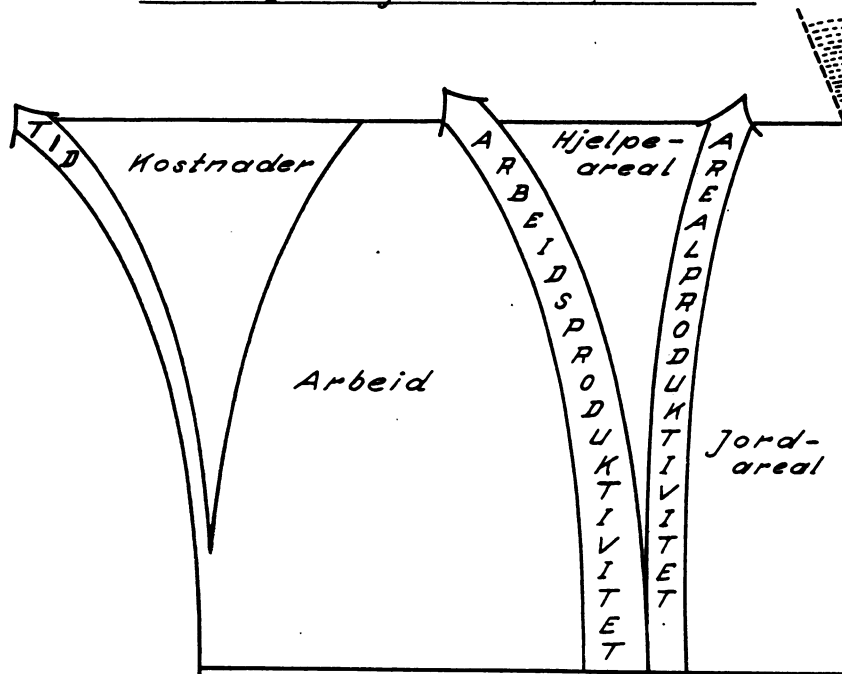
I forsøksbeholdere og forsøksrammer blir det ikke målt overflateavrenning og jordtap ved erosjon. I marken utgjør overflateavrenningen ofte en betydelig del av nedbøren. På Sørøstlandet i Norge er overflateavrenningen f.eks. målt til 150-200 mm pr. år, med stor variasjon fra år til år (Uhlen 1978). Feltforsøk med ruter som er korte i fallretningen vil ikke i fullt monn bli utsatt for skalaeffekten, fordi den sterke gravevirkningen av overflatevannet ikke kommer fram. Først ved hellingslengder på 50 m og mer begynner gravevirkningen å slå igjennom.

3.3 Kontakt mellom røtter og tilførte stoffer

I en homogenisert jord er det stor sannsynlighet for at de fleste røtter/rothår vil komme i kontakt med et tilført stoff. I marken blir stoffet tilført på overflaten, eventuelt myldet ned, men jordblandingen er lite intensiv. I et forsøkskar er det muligens 10 ganger mer intensiv blanding enn i kulturjord som er blitt arbeidd med i jordfreser, og kanskje 50 ganger mer intensiv enn etter pløying.

I jorda under topplaget skjer det ingen innblanding i felt unntatt der det er jordarbeiding til større dybde enn ved

Endringer i jordbruket med tid



Virknninger av forandringer i areal- og arbeidsproduktivitet

▨ Nye produksjoner, annen bruk

vanlig pløying. Tungmetalloverskudd i kar i veksthus kan sannsynligvis gi langt større skader på plantevekst, eventuelt langt større opptak, enn i feltforsøk. Dette gjelder generelt for stoffer som bindes sterkt i jorda. Her vil lysimeterforsøket komme adskillig nærmere markforsøket.

3.4 Tidsfunksjoner

Vekst og opptak av næring, samt transpirasjon, er funksjoner av tid. Disse funksjoner endrer seg med bl.a. temperaturen. Her er det fysiske miljøet over og under jordoverflaten avgjørende, og ikke jordas heterogenitet, resp. homogenitet.

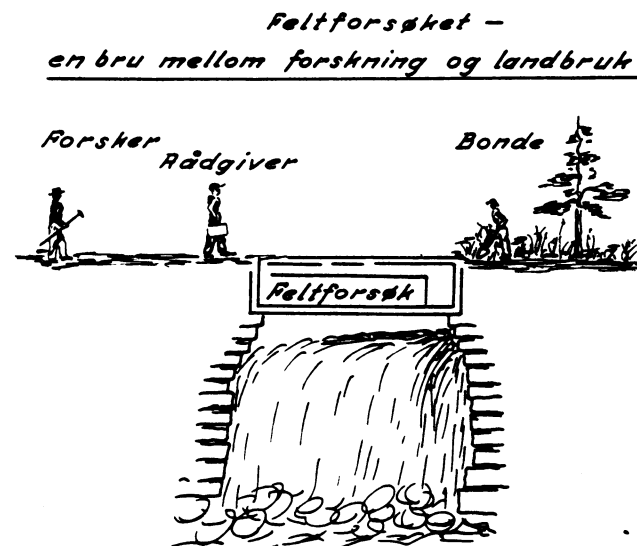
3.5 Tetthet og fasthet

Etter blanding og fylling av jord i beholdere kan fastheten bli nokså forskjellig fra forholdene i marken. Røttenes utvikling og gjennomveving av jord vil ofte være betydelig mer intensiv i forsøkskar enn i jord under feltforhold. Dette virker i samme retning som sannsynligheten for kontakt mellom rot og tilført stoff som følge av blanding og homogenisering.

3.6 Bestandseffekt

I mange karforsøk står karene fritt slik at plantene har en større effektiv mottaksflate for solenergi enn i felten. Vannforbruket vil f.eks. ikke være sammenlignbart med feltforhold.

Feltforsøket vil være det siste steget for overføring av forskningsresultater til praksis. Dette gjelder blant annet når det er tale om miljøvirkninger av forurensninger.



FIGURTEKSTER

- Figur 1. Feltforsøket kan fungere som bru mellom forsker, rådgiver og bonde.
- Figur 2. Endringer i arbeidsproduktivitet og arealproduktivitet med tiden.
- Figur 3. Utviklingen i avlingsnivå med tid fra yngre steinalder til i dag.
- Figur 4. Korrelogrammer for variasjonen i fysiske størrelser med avstand e. Vachaud (1982).
- Figur 5. Bruk av blokker og blindforsøk for å kontrollere jordvariasjon. I venstre del er feltforsøk med blokk-inndeling en tilstrekkelig kontroll med variasjonen. I høyre del vil blindforsøk, kombinert med kovariansanalyse, være en brukbar løsning.
- Figur 6. Jordsmonnkart, basert på jordtyper, kan brukes til å lage avledede kart for dyrkingsklasser. I figuren står K for korndyrking, G for grovfôr dyrking. Små bokstaver, som d, h, t står for begrensninger (dybde - helling, kornstørrelse) e. Njøs og Prestvik (1981).
- Figur 7 a Rådgivningsmodell for planteproduksjonen basert på forsøk og dyrkingskontroll i tillegg til jordsmonnkart.
- Figur 7 b Rådgivnings- og planleggingsmodell basert på forsøk og dyrkingskontroll i tillegg til jordsmonnkart.

4. Vi må leve med og utnytte variasjonen4.1 Variasjonen innen et forsøksfelt

Dyrking av planter på friland er utsatt for stor variasjon i omgivelser, både i tid og rom, både over og under jord-overflaten. Denne variasjonen er vår virkelighet, vi må godta den, bli fortrolig med den, og utnytte den. Vi må skaffe oss kunnskaper om variasjonen ved kartlegging av dens vesen, vi må avdekke fordelingsfunksjoner for de parametre som har størst betydning for veksten.

Jordfysikerne arbeidet i første halvdel av dette århundre med enkle systemer for å få anledning til å bruke generelle fysiske lover - først og fremst de generelle transportlovene:

Fourier's 1. lov, 1807

Ohms lov 1827

Poiseuille's lov 1844

Fick's 1. lov 1855

Darcy's lov 1856

Disse lovene gjelder for en stasjonær tilstand hvor den drivende kraften er konstant og hvor det ikke lagres eller brukes noe av det som transporteres. Enkelt kan transportloven skrives

$$v = K \cdot i \quad (1)$$

v = mengde pr arealenhet og tidsenhet

K = transportkonstant, f.eks. ledningsevne

i = drivende kraft f.eks. endring i vannpotensial med avstand.

Disse lovene ble kombinert med den generelle kontinuitetsloven for å gi transportlover som gjelder en ikke-stasjo-

nær tilstand, dvs. oppladning eller utladning (f.eks. oppvarming - avkjøling). I 1970-årene og enda mer i 1980-årene har jordfysikerne for alvor begynt å interessere seg for variasjonen av fysiske størrelser i marken fordi dette ser ut til å være en betingelse for å kunne overføre teoriene til praktisk nytte. Typiske tall for variasjonskoeffisienter for noen fysiske størrelser er sammenstilt av Warrick & Nielsen (1980):

<u>Parameter</u>	<u>Variasjonskoeff. %</u>
Jordtetthet	7
% leir	17-53
% vann pF 2	10-40
% vann pF 4,2	33-51
Vannledningsevne, mettet	86-190
- " - umettet	280-420

Det er særlig variasjonen i vannledningsevne som er stor. Frekvensfordelingen av en størrelse som vannledningsevne følger ikke normalfordelingen. Medianen er helt forskjellig fra det aritmetiske gjennomsnittet. En log-normal fordeling beskriver variasjonen betydelig bedre enn en normal fordeling.

Et regnvær som fortsetter over lang tid, kan fylle opp alle porer i topplaget. Infiltrasjonen er til å begynne med vesentlig en kapillær prosess, hvor de små porene fylles først og de største ikke deltar i transporten og lagringen av vann. Men etter hvert fylles også de største porene og etter en tid står det vann på overflaten. Noe renner av i side og lager erosjon. Noe finner vei nedover i profilet. Dersom profilet nedover har en forholdsvis ensartet porestørrelse, kan vi få en jamn strøm nedover hvor det gamle vannet skyves først ut i dreneringssystemet og det nye følger etter. Men vanligvis er porene ulike store, og da blir det en spredning i strømhastigheter som fører til en viss blanding av gammelt og nytt vann. Har vi en totoppet porestørrelsefordeling, med én topp for porer mellom aggregater og én topp for porer inne i aggregater, kan vi i enkelte tilfelle få en kortslutning hvor vannet strømmer vesentlig i porene mellom aggregatene.

REINER, L., A. MANGSTL & C. ENGLERT 1980. Datensammlungen, Auskunftssysteme und Computeranwendungen in der Landwirtschaft. Stand, Nutzung, Ausblick. Kurzfass. Selbstverl. Ackerbau und Versuchswesen Weihenstephan 1980. 78 s.

ROSE, C.W. 1975. The role of modelling and field experiments in understanding complex systems. In : Developments in Field Experiment Design and Analysis. Bulletin 50, Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops. Commonwealth Agricultural Bureaux : 129 - 154.

VACHAUD, G. 1982. Soil Physics Research and water management. In "Whither Soil Research". Trans. 12. International Congress of Soil Science New Dehli 8. - 16. February 1981. Papers : 32 - 58.

UHLEN, G. 1976. Effect of nitrogen, P and K fertilizers and farm manure in longterm experiments with rotation crops in Norway. Annales agronomiques 27 : 547 - 564.

UHLEN, G. 1978. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimetres on a cultivated soil. Meldinger fra Norges landbruks-høgskole 57 (27 : 1 - 26), (28 : 1 - 23), (29 : 1 - 22).

WARRICK, A.W. & D.R. NIELSEN 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. 1980. Applications of soil physics. Academic Press, N.Y. : 319 - 355

WELCH, L.F. 1976. The Morrow Plots - hundred years of research. Annales agronomiques, 27 : 881 - 890.

13. LITTERATUR

BECKETT, P.H.T. & R. WEBSTER 1971

Soil variability : A review

Soils and Fertilizers, 34 (1) :1 - 15

BRUSTAD, K. & A. NJØS 1980. Simulation of flow patterns and ion-exchange in soil percolation experiments. Part I. Tracer experiments and flow model.

Water, Air, and Soil Pollution 14 : 159 - 170.

COOKE, G.N. 1976. Long-term fertilizer experiments in England: The significance of their results for agricultural science and for practical farming.

Annales agronomiques 27 : 503 - 536.

ESWARAN, H. 1982. Priorities for soil research in the tropics. In "Whither Soil Research". Trans. 12. International Congress of Soil Science. New Dehli 8 - 16. February 1982. : 286-293.

FISCHBECK, G. 1982. Einfluss der Anbautechnik auf die Ertragsbildung von Getreide. Netherlands Journal of Agricultural Science. 30 (1): 25 - 46.

NILSEN, S. 1981. Optimalisering av energiforbruk ved biomasseproduksjon i biologiske systemer.

NLVF-Utredning nr. 118. Energiøkonomisering i landbruket : 131 -138.

NJØS, A. 1981. Energiøkonomisering og dyrkingsteknikk i planteproduksjonen. NLVF-Utredning nr. 118. Energiøkonomisering i landbruket : 63 - 86.

NJØS, A. & O. PRESTVIK. 1981. Jordsmonnkartlegging. (Vedlegg til Utkast til Stortingsmelding om løsmassekartlegging). Institutt for jordkultur. Serie B/81 : 1 - 14.

Hagen-Poiseuilles ligning uttrykker sammenhengen mellom strømhastighet og ledningsstørrelse

$$v = k \cdot d^2 \quad (2)$$

v = strømhastighet, lineær

d = porediameter

k = konstant

Hvis vi har tilnærmet mettet strømming, vil volumene av store porer (gamle rotganger, meitemarkganger og tørkesprekker) dominere strømmingen. Svært mye av det sist tilførte vannet (med mobile joner som NO₃, Cl) kan komme raskt ut i dreneringssystemet. Vi bør derfor ikke lage oss noe aritmetrisk gjennomsnitt av en størrelse som vannledningsevne, men karakterisere variasjonen. Strømningsmålinger på store jordvolumer, med f.eks. 0,1-1,0 m² tverrsnittsareal, kan gi mer representative opplysninger om strømningsmønstret i marken enn målinger i små volumer.

Beckett & Webster (1971) har vist at halvparten av variasjonen innen et felt kan være til stede på et hvilket som helst areal av 1 m² størrelse. Innen-felt-variasjonen øker bare moderat med størrelsen etter deres mening. I tabell 1 har forfatterne vist variasjonen innen felt og mellom felter. Felt kan tilsvare omtrent det som er en ensartet dyrkingsenhet på en gård.

Tabell 1. Variasjonskoeffisienter, % i topplaget for økende størrelse av prøvetakingsområdet.

Jord-analyse	1 m ²	Innen felt 100 m ²	Felt	Mer enn ett felt
K	11-40	11-112	21-142	35-125
P	7-45	13-121	11-131	35-320

Disse tallene gjelder variasjonskoeffisienter for enkeltprøver tatt ut for bestemmelse av "tilgjengelig" K og P i jorda. Medianverdiene for P innen felt var henholdsvis 30 - 40 - 45 for 1 m² - 100 m² - hele feltet. For N og organisk materiale var medianverdiene omtrent halvparten. Forfatterne slår fast at mye av variasjonen innen et felt er til stede allerede på arealer av 1 - 100 m² størrelse.

Fig. 4.

I fig. 4 er vist korrelogrammer for variasjonen i felt for noen fysiske størrelser (Vachaud 1982). Figuren viser at i dette tilfelle avtar korrelasjonen mellom naboruter til 0 først når avstanden mellom dem blir over ca. 30 m. Lignende korrelogrammer kan selvsagt også bestemmes for kjemiske størrelser og for avlinger.

Det som er sagt i det foregående peker på at blokkinnndeling alene ikke kan gi tilstrekkelig kontroll med jordvariasjonen. I alle fall i langvarige forsøk kan en planlagt innsamling av data før forsøket settes i gang, både av avlinger og jorddata, gi mulighet for kovarianskorreksjon i selve forsøksperioden. Ett år høsting på forhånd er i mange tilfelle for lite.

I fig. 5 er vist ett tilfelle hvor blokkinnndeling kan være en bra løsning, og ett tilfelle hvor blindforsøket bør utnyttes til å korrigere senere resultater. Det kunne her være interessant å bruke datateknikken til å plassere forsøksleddene på en mest mulig effektiv måte. Hvis behandlingen er sorter og gjødsling vil også spesielle forsøksplaner med småblokker f.eks. lattice square være nyttige. I rene sortsforsøk kan lattice være en bra plan.

Fig. 5. .

4.2 Steds- og årsvariasjon

Tabell 2 viser variasjonskomponenter i en tysk forsøksserie med N x fungicider x sorter x steder x år i kveite, e. Fischbeck (1982).

Data banks - Models - Simulation

In most field experiments the extension value of results would be increased if soil analyses, soil profile descriptions, weather parameters, as well as other relevant information were recorded together with geographical co-ordinates (x,y, and elevation) and stored in a combined Soil-Climate-Terrain-Crop databank.

Another input to the databank would be a crop x soil x weather recording system adapted to single farm areas. A given control farm should have at least one control area, properly marked with regard to x, y, z co-ordinates, and sampled for soil analysis. Every year the farmer should record a set of information such as weekly rainfall, daily temperature, sowing and harvesting dates, fertilizers, crop variety, yield, etc. Soil samples should be collected at least every second year and analysed to follow changes.

Important future tasks

Short term research projects often are financed by industries, government agencies and other customers with clearly defined objectives. It is more difficult to raise funds for long term fundamental research. The research councils, if governed by users' interests are generally not in favour of such research problems.

Some fundamental tasks, suitable for long term field experiments should be mentioned:

Efficiency of plant uptake of water and nutrients. Utilization of fertilizers and water. Environmental influence on biological processes. Measurement of photosynthesis and respiration in the field, to detect limitations. Adaption of plant material to limitations. Toxicity and deficiency of elements in the soil.

These tasks may be classified within the Soil-Plant-Atmosphere system. In many cases the interactions are more important than the main effects, especially for a deeper understanding of the system. In long term experiments more instrumentation for automatic recording of time dependant parameters will be necessary.

12. SUMMARY

The working conditions for field experiments

Experiments in climate chambers and greenhouses may be carried out under nearly complete environmental control. In the field the environmental conditions are only partly controlled. The field is heterogenous in all directions. The soil in lysimetres and frame experiments is generally homogenized, the monoliths being exceptions from this rule. Field scale effects are eliminated in experiments with small units, such as pots, lysimetres and frames (cfr. surface run-off, erosion).

The field hydrology is different from the hydrology of the pot experiment or lysimetre experiment. The soil's reaction against changes is an important factor, with differing time rates for different parameters. The rate coefficients change as soon as the soil is removed from its natural environment. Any disturbance of a natural soil will result in changes of the transport coefficients for water, gases and heat.

Field variation

In series of experiments the variance components for site and year x site may be large. The farm manager effect plays an important part in the year x site interaction but there are also real interactions, such as (dry years - wet years) x (drought susceptible - drought rolerant soils). The site variation may be subdivided into soil and climate variation. The soil series and soil phases may function as units both for research and extension. Field trials should be located to soil series which cover large areas and are of economic importance. Long lasting trials on so-called benchmark sites are of special value, far beyond local research and extension.

Dummy trials before a long term measurement period can be useful if covariance analysis is used as an auxilliary to the normal statistical procedures.

Tabell 2

Variasjon i "Landesortversuche" i V.Tyskland
96500 ruter 1969-79.

N x sorter x fungicider x steder x år

Variasjons- årsak	Var. komp, %	
	Uten N _o	Med N _o
Ar x sted	54,2	47,5
Sted	14,0	10,1
Ar	11,2	7,3
Sort	5,2	4,3
Ar x sort	3,0	2,5
Ar x sted x sort	2,6	2,3
Ar x sted x N	1,3	4,8
Sted x N	0,8	3,6
Fung.	0,5	0,5
Ar x N	0,3	3,2
N	0,1	6,7

E. Fischbeck (1982) og Reiner et al. (1980)

Ar x sted-variasjonen er helt dominerende både når No-ledet er med, og når det er utelatt. Denne variasjon kan nok delvis tilskrives bedriftsledereffekten. En dyktig bedriftsleder vil under forhold med våte høster greie å så høstkveiten til nesten normal tid (kanskje enda viktigere i vårkorn). En mindre dyktig bedriftsleder får kanskje en uheldig start i slike år, f.eks. p.g.a. svært sen såing i vannmettet jord. Den dyktige bedriftslederen kan høste store avlinger også de vanskelige årene, mens den andre opplever de rene svartår.

Ar x sted-variasjonen kan inneholde samspill av typen (våte år - tørre år) x (tørkesvak jord - tørkesterk jord). Slike samspill kan bli av betydelig størrelse. Stedseffekten utgjør i tabell 1 14 % av totalvariasjonen der No ikke er med og 10 % der No er med. Denne hovedeffekten skyldes

jord-klima kombinasjoner. Det er ofte en får inntrykk av at sted er en plass hvor forsøket legges fordi denne plassen ikke skal brukes til andre formål. Men i tillegg spiller gårdbrukerens interesse for å ta imot forsøk en stor rolle for plasseringen, muligens den største rollen. Kan vi makte å kartlegge stedvariasjonen vil vi også bevisst kunne bruke den til å planlegge forsøksserier. Videre vil vi kunne dele opp år x sted-samspillet på en bevisst måte som kan gi ny kunnskap for videre planlegging.

4.3 Andre variasjonsårsaker

Om vi går tilbake til Fischbeck's tabell over variasjonskomponenter, utgjør årsvariasjonen 11 prosent der No ikke var tatt med og 7 prosent der No var med. På de neste plassene i rangeringen kommer sort med 5,2 prosent (uten No) og N med 6,7 prosent (med No). Deretter kommer sort x år med 3 prosent (uten No) og N x sted x år med 4,8 prosent (med No). Hvis vi prøver å summere resultatene i tabellen kan det se ut som om sort x år-samspillet slår igjennom som viktig faktor ved sortsvurdering, mens samspillet innsatsfaktor x sted er viktig når det gjelder dyrkingstekniske faktorer som N og fungicider. Dette vil nok avhenge noe av hvilke variasjonsområder som er avdekket av de år og steder som er med i en undersøkelse, samt av hvilke sorter som er med. Samspillet sort x sted kunne f.eks. bli ganske stort hvis utvalget av sorter omfatter betydelig variasjon i toleranse mot Al-forgiftning (Låg pH på mineraljord). Med hensyn til fungicider har Reiner et al. (1980) vist et interessant samspill mellom avlingsnivå og fungicider - også i vinterkveite i en 5-årig forsøksserie.

Behandling	Avlingsnivå	
	5t/ha	7,8 t/ha
Kontroll	-	-
Fungicid	<+100 kg/ha	+1350 kg/ha

Det er ved høgt avlingsnivå at det har blitt økt avling ved å holde unna blad- og rotsykdommer. Dette kan henge sammen med at bestanden da har vært så tett at spredningen har vært av stor betydning.

Databanker - Modeller - Simulering

I de fleste forsøk bør det gå inn jordanalyser, jordbeskrivelser, koordinatfesting, måling av nedbør og temperatur, slik at det kan bygges opp en kombinert databank for resultater og forsøksbetingelser.

Ved hjelp av modeller og simulering vil forsøksresultatene kunne utnyttes bedre enn i dag. Rådgiveren kan spesifisere betingelsene og få svar på mange spørsmål.

Parallelt med forsøksvirksomheten bør det utvikles en dyrkingskontroll etter lignende form som husdyrkontrollen. Data for avlinger, jordanalyser, værobservasjoner bør koordinatfestes og gå inn i den generelle Klima-Jord-Plantebasen.

Viktige oppgaver framover

Kortsiktige prosjekter vil for en del bli finansiert av forskningsråd og oppdragsgivere, f.eks. industri, kommuner og konsulentfirma. De langsiktige og fundamentale oppgaver har vanskelig for å få finansiering. De er ikke populære nok til å bli betalt av forskningsrådene. Av fundamentale oppgaver, hvor det fastliggende feltforsøket fortsatt vil spille en rolle, kan nevnes:

Effektivitet i plantenes opptak av næringsstoffer og vann. Utnytting av tilført gjødsel og vann. Bedre forståelse av stoffskifteprosesser i forhold til omgivelsene. Måling av fotosyntese og ånding i felt, for å finne begrensninger. Tilpasning av plantemateriale til begrensninger. Forgiftninger og mangler av stoffer i jord.

Alle disse oppgavene kan rubriseres under Jord-plante-atmosfæresystemet. Samspillene vil i svært mange tilfelle være viktigere enn hovedeffektene, for å øke vår forståelse av systemet. En grundig og ofte kostbar instrumentering kan bli nødvendig i fastliggende, langvarige forsøk.

11. SAMMENDRAG

Feltforsøkets rammebetingelser

Klimarom- og veksthusforsøk kan utføres under nesten fullstendig kontroll av vekstbetingelser. I marken er omgivelsene bare delvis kontrollert. Marken er heterogen i alle retninger, mens jord i lysimeter- og karforsøk er homogensiert. Unntak er monolitter. Markens skalaeffekter elimineres i kar-, lysimeter- og rammebetingelser (jfr. overflateavrenning, erosjon).

Markens hydrologi er forskjellig fra karforsøkets og lysimeterets hydrologi. Generelt er jordas bufferevne mot forandringer en meget viktig faktor, med ulike tidsfunksjoner for de ulike parametre. Tidsfunksjonene endrer seg så snart jorda kommer ut av sitt naturlige miljø. Enhver forstyrrelse av naturlig lagret jord vil dessuten endre transportparametrene for vann, gasser og varme.

Variasjon i felt

I forsøksserier er varianskomponentene for sted og år x sted store. I år x sted går inn bedriftsledereffekten, samt samspill av typen (tørre - fuktige år) x (tørkesvak - tørkesterk jord). Stedsvariasjonen kan deles opp ved hjelp av opplysninger fra jordsmonnkart og klimanormaler. Jordtyper kan fungere som inndelingsgrunnlag både for forsøksvirksomheten og rådgivningen. Jordtypene blir enhetene i dette systemet.

Feltforsøk bør legges ut slik at de dekker jordtyper som er økonomisk viktige og har stort arealgrunnlag. Fastliggende forsøk på såkalte "benchmark sites" vil ha verdi langt utover lokal forskning og rådgivning.

Innenfor det enkelte forsøksareal kan blindforsøk for forsøksperioden og utnytting av kovariansanalyse i forsøksperioden være et supplement til blokkinnvidningen.

5. Oppdeling av stedsvariasjonen - jordsmonnkartlegging

Fra plantevekstens synspunkt er jord- og klimaparametre de viktigste kjennetegn som går inn i begrepet sted. Fra driftssynspunkt er også terrengparametre nødvendige kjennetegn for sted. Vi kan si at hvert sted har en bestemt jord-, klima- og terrengkvalitet.

En rasjonell måte for stedsbeskrivelse er jordsmonnkartlegging. En jordtype er et avgrenset område med et ensartet jordsmonn og klima. I definisjonen av en jordtype går det inn de egenskaper for jordprofilen som er varige, dvs. opphavsmateriale, lagdeling, kornstørrelse, naturlig dreneringsgrad og struktur. Det er egenskaper under topplaget som tillegges mest vekt. Egenskapene for topplaget, f.eks. moldinnhold, bidrar til å dele inn i undertyper. Også helingsgrad, stein- og blokkinnhold og erosjonsmotstand er med og bestemmer undertype.

Siden klimaet er en av de viktigste jordsmonndannende faktorene, er det gitt at to avsetninger som er like i alt unntatt klima, vil gi to forskjellige jordtyper. Kvartærgeologisk kartlegging konsentrerer seg om avsetningene. Jordtypekartlegging tar utgangspunkt i avsetningene og gir dessuten opplysninger om de egenskaper i rotsonen som har betydning for planteproduksjon, samt om de egenskaper ved terrenget som har betydning for driftsforhold i jord- og skogbruk.

Jordtypene kan brukes som forsknings- og rådgivningsenheter i planteproduksjonen. Ved å bygge på jordtypene kan marken dessuten klassifiseres for bestemt bruk. Dyrkingsklasser for matkorn, førkorn, grovfôr, grønnsaker og frukt kan avledes fra jordtyper.

Fig. 6.

I fig. 6 er det gjort et forsøk på å gi en skjematisk forklaring av jordtypebegrepet (se Njøs & Prestvik, 1981).

6. Feltforsøkets oppgave som metodikk-verktøy

I svært mange tilfelle er feltforsøk en etterprøvningsmetode for behandlinger som allerede har vært prøvd under mer kontrollerte betingelser. I noen tilfelle er det også en etterprøving over et stort område for behandlinger som har vært prøvd ett enkelt sted. Sortsprøvingen er eksempel på dette. Etter grundig utvalg og utsortering ved en foredlingsstasjon blir en liten del av det opprinnelige materialet sendt ut. Den delen av materialet som har kommet gjennom sorteringen er ingen tilfeldig del. Eksempelvis kan dette materialet være valgt ut under samme klimaforhold, men ulik jordtype i forhold til det som er vanlig i området hvor materialet skal til omfattende prøving. En del av det kasserte materialet kunne tenkes å ha vært bedre tilpasset enkelte tilstander ute, eksempelvis dårlig drenering - tett massiv struktur, eller kombinasjon grovkornet jord og låg pH. Risikoen er alltid tilstede for at tilpasningen til spektret av egenskapskombinasjoner for jord kan være konsentrert til bare en del av spektret. (jord med stort nyttbart lager av vann og plantenæring og med god drenering). På dette området kunne det være behov for en vurdering av stedets betydning ved førsteutvalget.

Innenfor gjødsling og kalking vil feltforsøket både gjøre nytte som siste steg i forskningen og som materiale for testing og kalibrering av jordanalyser. Enkelte forskere har kanskje vært av den oppfatning at jordkulturforsøk skulle gjøre seg selv overflødige ved å gjøre mulig en gjennomprøving av jordanalysemetodene. Deretter kunne analysene være hovedgrunnlaget for rådgivning. Dette ser ikke ut til å være oppnåelig foreløpig.

Det vil alltid være vanskelig å mestre den store variasjonen i jord og klima, samt samspillet mellom jord og klima ved hjelp av jordanalyser alene.

10. Kunnskapsstrømmen i et system med feltforsøk og kontroll- dyrking

Modeller for feltforsøk

Fig. 7 viser et strømndiagram for modell for rådgivning i jordbruket, basert på feltforsøk og dyrkingskontroll. Det forutsettes at en har forholdsvis godt kjennskap til området slik at systemet med forsknings/rådgivningsenheter kan baseres på jordtypekart og klimanormaler.

Fig. 7.

Både forsøksfelter og kontrollfelter må plasseres slik at det blir et rimelig antall felter innen de jordtyper hvor rådgivning skal foretas. Koordinatfesting av alle opplysninger er særlig viktig siden koordinatene vil være det viktigste felles kjennetegnet for materialet i databanken. Med tiden kan det bli tilbakeføring av data fra databanken til jordtypekartene og på lengre sikt også klimanormalene. Databanken kan faktisk både brukes til jordregister, grunnlag for rådgivning og forskning, og digital kartbase for bestemte tema.

En skal være noe kritisk ved innlegging av data i en slik bank. Dårlig utførte forsøk og kontrollfelter bør ikke komme inn, hvis en vet at målingene er upålitelige. Det er ingen vits i å ha arealer med presisjon av m^2 hvis hektaravlingene må oppgis i hele tonn pr. ha. Altså: et visst samsvar i presisjon!

"Benchmark Experiments" er et internasjonalt system for utprøving av standard dyrkingsteknikk på viktige jordtyper. Steder der forsøkene utføres blir kalt "Benchmark Sites" og de viktige jordtypene "Benchmark Soils". Prosjektet er ment å skulle bli grunnlaget for en utvidet internasjonal dyrkingsklassifikasjon.

$$\frac{dm}{dt} = - km \quad (4)$$

m = masse av materiale, f.eks. organisk

t = tid

k = konstant

Denne lovmessigheten kan brukes til å beskrive endringer i organisk materiale i jorda med tid f.eks. etter oppdyrking. Det kan regnes ut en halveringstid, osv. I mange tilfelle er det nødvendig å bruke langt mer innviklede beskrivelser i et slikt tilfelle, f.eks. hvis det blir dyrket korn og halmen pløyes ned hvert år.

I følge Rose (1975) er fordelene med deterministiske modeller:

Nærmere forhold modell-prosess

Mulig å utføre konsekvensanalyser for alternative hypoteser, vedrørende årsak-virkning.

Mulig å ekstrapolere i tid og rom (men ofte nødvendig med tilskuddsdata for å gjøre det).

Modellen vil bli brukt til simulering dvs. data kan settes inn fra de forsøksmaterialene en har. Statistiske metoder kan brukes til å teste avvik fra modellen.

Det kan ikke understrekes nok at en modell må være enklest mulig, men likevel så omfattende at den ikke skyver verdifull kunnskap til side. Vi må gå gjennom forutsetningene for modellen og vite om de holder.

I stedet for å bruke en ren deterministisk modell kan det hende at det må brukes en blandet modell. Se f.eks. Brustad & Njøs (1980). Modellbygging er et typisk samarbeidsområde for matematikere, statistikere, biologer (bl.a. jordbruksforskere) fysikere og kjemikere. Hvis en modell blir så komplisert at den bare kan brukes på samme materiale hvor de ulike tidskonstantene er beregnet, er den egentlig nytteløs.

7. De langvarige fastliggende forsøkene

De langvarige, fastliggende forsøkene har en egenverdi som kan sammenfattes på følgende måte (se f.eks. Cooke 1976):

Sammenligning organisk gjødsel og mineralgjødsel, samt deres restverdi.

Endringer i organiske og uorganiske reserver i jorda som resultat av bruk.

Næringsbalansestudier og frigjøring av planteernæring fra jord. Kalibrering og testing av jordanalyser.

Ettervirkning av ulike vekster.

Disse forsøkene er, hvis rutestørrelsen er tilstrekkelig stor for destruktiv prøvetaking og for å unngå overslepingeffekter, en stor kunnskapskilde som kan utnyttes i flere retninger. Morrow Plots ved University of Illinois ble utnyttet på en spesiell måte i 1955 - 79 år etter anlegg (Welch 1976). Da ble O-rutene, som i hele perioden ikke hadde fått gjødsel, og som derfor hadde låge avlinger, tilført kalk og N,P,K i kunstgjødsel. Avlingene steg på ett år til 91 prosent av maksimalavlingene. En fremtidig rutedeling bør forutsettes ved anlegg av slike felter. Feltene bør anlegges på så jamn jord som mulig, og det bør legges vekt på at det ikke oppstår uønskede virkninger.

Jordpakking kan bli et problem dersom rutestørrelsen er lite tilpasset maskinstørrelsen. Det er også viktig at dyrkingsteknikken i det store og hele blir gjennomdrøftet. Skal det tas sikte på at forsøket håndteres på samme måte som i praktisk jordbruk, eller skal virkningen av maskiner tas bort ved at alt arbeid utføres svært skånsomt? I rotvekststyrkingen er transportarbeidene om høsten en stor påkjenning på jordstrukturen. I en virkelig vekstfølge kan dermed de positive ettervirkningene av sykdomssanering og næringstilførsel bli eliminert av tilsvarende negative virkninger som skyldes høsting og transport.

Hvis feltforsøk skal bli verdifulle kunnskapskilder, må det i tillegg til behandlinger og resultater lagres flest mulig opplysninger om jord og klima. Et minimum er full stedfesting (x, y, z koordinater), moldinnhold og kornstørrelsefordeling (jordart) i topplag og underlag, kjemiske jordanalyser og værobservasjoner i veksttida. I de fastliggende langvarige forsøkene er det nødvendig med profilbeskrivelse og fysiske og kjemiske analyser for hele profilet. Værobservasjonene må være mer detaljert.

8. Kontrolldyrking som kunnskapskilde

I husdyrbruket har vi lenge hatt en husdyrkontroll, hvor tilført fôr og produsert melk eller tilvekst, blir registrert. Dette er forholdsvis enkelt i husdyrproduksjonen, hvor miljøet varierer lite både med tid og sted. I fjøset er tilførselen av vann ubegrenset og av førstoffer bestemt av siste kontrollerte behov. Det er ingen lekkasjer av førstoffer, og kua står ikke på hodet i bløtgjødsel, men i rene trygge, luftige omgivelser.

Forholdene i marken er totalt forskjellige. Vannforsyningen er avhengig av nyttbart lager ved starten av sesongen, av påfyll med nedbør, og forbruk ved fordampning, avrenning på overflaten, avrenning i drens-systemet og eventuelt dypere gjennomstrømning.

Næringsforsyningen er bestemt av frigjøring av næring i jorda, tilførsel med gjødsel, med nedbør og luft, og av tap ved utvasking, avrenning og i gassform (dentrifikkasjon, NH_3 -avgivelse, etc).

De forskjellige tilstandsendringene (prosessene) har tidsfunksjoner som i det minste er avhengig av temperaturen, men ofte også av oksygenkonsentrasjon, fuktighet, m.m. Sluttresultatet, avlingen, er relativt lett å måle, men vil ikke hjelpe oss videre uten tilleggsopplysninger. Det må i det minste foreligge noen viktige parametre for jord og noen for været i sesongen. Det aller minste kravet for værobservasjoner er nedbøren, både mengde og fordeling, og

for jord kornstørrelsefordeling i topplaget og de neste 20-30 cm, moldinnhold og de viktigste kjemiske jordanalyser.

For at alle data skal være mulig å finne igjen, må kontrollfeltet være stedfestet, dvs. xyz koordinater er nødvendig. xy-koordinatene tas ut som UTM-koordinater fra det økonomiske kartverket. Notater om alle tiltak (f.eks. gjødsling, vanning) må følge med.

Kontrollfeltet må være ensartet. Det kan nærmest betraktes som en ensartet prøveflate, f.eks. tilsvarende en blokk i et forsøk. Større kontrollfelter kan brukes når det er svært ensartet jord.

9. Modeller - Simulering

De fleste jordbruksforskere er velkjente med statistiske modeller, også kalt stokastiske eller probabilistiske modeller av typen:

$$Y_{ijk} = M + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk} \quad (3)$$

Y_{ijk} = avling

M = populasjonsgjennomsnitt
(estimeres ved aritmetisk gjennomsnitt av et utvalg)

A_i = hovedvekt for faktor i (f.eks. sort)

B_j = " " " j (f.eks. sted)

$(AB)_{ij}$ = samspill

e_{ijk} = tilfeldig, normal fordelt feil

Slike modeller er statiske, dvs. de har ikke med tiden som faktor, og de utnytter ikke kjent kunnskap fra lovmessigheter funnet i laboratoriet eller veksthuset.

Deterministiske modeller gir en matematisk beskrivelse av tilstandsendringer i et system. De handler om årsak - virkning. De er dynamiske, dvs. de beskriver endringer som funksjon av tid. Et enkelt eksempel kan være: