

# 17. Økologi – fremtidens jordbrugsvidenskab

*Jacob Weiner*

## Introduktion – organisationsniveauer og reduktionisme i biologi og jordbrugsvidenskab

I de kommende år vil man se store undervisnings- og forskningsmæssige forandringer inden for jordbrugsvidenskaben, ligesom der vil ske store forandringer inden for selve jordbrugserhvervet. Dette kapitel vil behandle forholdet mellem økologi, der vinder frem som videnskabelig disciplin, og jordbrugsvidenskabelig forskning og undervisning. Ordet “økologi” refererer som nævnt til den videnskabelige disciplin og ikke til den anden, almindelige betydning af ordet “økologi”, nemlig en bestemt form for landbrug eller mere generelt “miljøvenlige værdier”. Set fra et videnskabeligt synspunkt har økologi lige så meget at gøre med konventionelt jordbrug som med “økologisk” jordbrug.

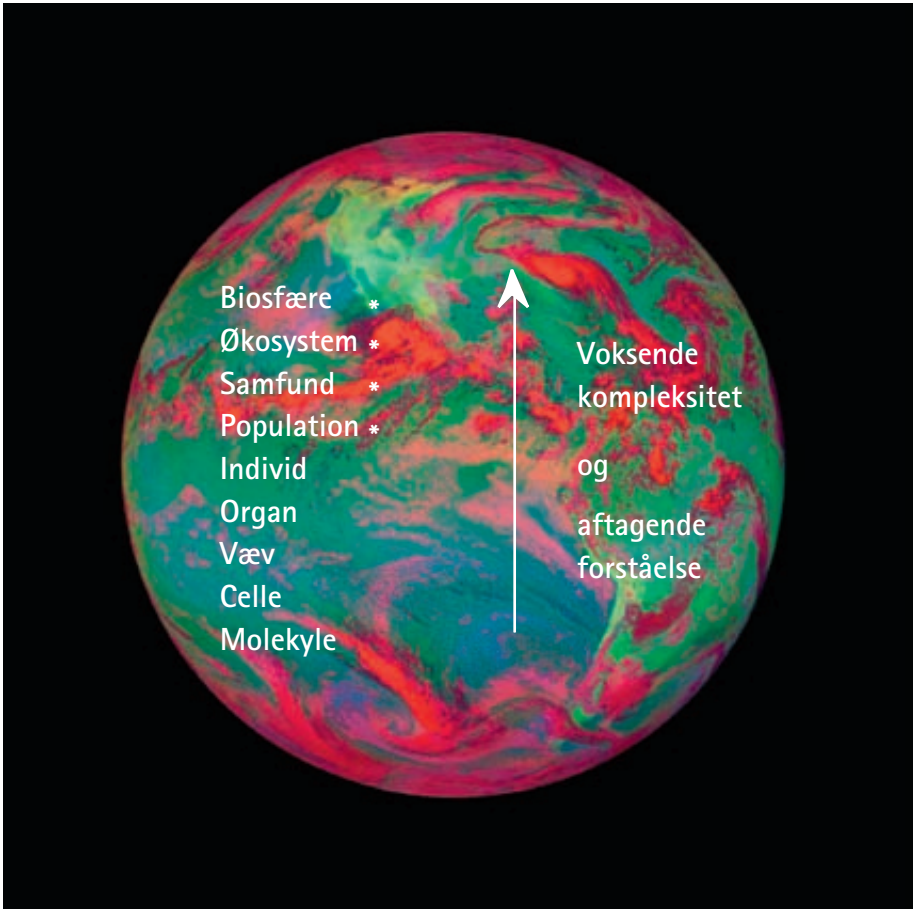
I det følgende bliver der fokuseret på planteproduktion, men argumenterne er lige så anvendelige på husdyrproduktion.

Der findes mange discipliner inden for jordbrugsvidenskaben, fx afgrødevidenskab, levnedsmiddelvidenskab, kemi, veterinærvidenskab, ukrudtslære m.m., der altså hver især er en delmængde af

jordbrugsvidenskaben. Men jeg påstår, at økologi på en måde er vigtigere end disse delmængder for fremtidens jordbrugsvidenskab. Hvordan kan jeg det?

Økologi er vigtigere, fordi økologi er den videnskab, der behandler de fleste jordbrugsproblemer og -spørgsmål på de relevante organisationsniveauer. Det område, jordbrugsvidenskaben beskæftiger sig med, er hierarkisk eller lagdelt; det består af en række organisationsniveauer (figur 17-1). Hvert niveau står i forbindelse med niveauet nedenunder og niveauet ovenover. Forskningsmæssigt betragter vi et lavereliggende niveau, når vi skal finde en forklaring på et fænomen på et givet niveau – det betegnes reduktionisme. På samme måde kan forståelsen af et givet niveau bidrage til forklaring af det overliggende niveau.

Set fra et videnskabeligt synspunkt beskæftiger økologi sig med de højere organisationsniveauer. Det samme gælder jordbruget. Som jeg vil komme ind på senere er en af jordbrugets grundlæggende størrelser – udbyttet – i virkelig-



**Figur 17-1.** Biologiens organisationsniveauer. Økologi behandler de øverste niveauer (stjerner). De fleste problemer i jordbruget opstår også på disse højere niveauer, mens hovedparten af forskning foregår på de lavere niveauer (fx fysiologi, biokemi, genetik). Baggrundsbilledet viser jordkloden med et orkanbælte. Foto NASA.

heden en populationsstørrelse. Landmanden er ikke interesseret i udbyttet af den enkelte plante, men i udbyttet af plantepopulationen i sin mark. Det giver ikke mening at tale om udbyttet pr. hektar for en enkelt plante.

De fleste af jordbrugsvidenskabens discipliner opererer på lavere niveauer. Det skyldes ikke mindst, at der er gjort meget store fremskridt i forskningen på de lavere niveauer i løbet af det sidste år-

hundrede. Vi ved en hel del om molekyler, fx DNA, om celledrift, og om hvordan virus og mikroorganismer forårsager sygdom. Men det er ikke muligt at "opskalere" disse processer fra celleniveau til individniveau eller højere niveauer. Det er sjældent muligt at forklare et givet fænomen med processer, der ligger adskillige niveauer under det givne fænomen. Man kan ikke videnskabeligt forklare en hel organismes adfærd ud

fra, hvordan dens celler opfører sig; man er nødt til at forstå hele organismens opbygning, form og fysiologi. Og det samme gælder for de højere niveauer vedkommende.

De fleste problemer i det moderne jordbrug drejer sig om populationer, samfund og økosystemer – og disse organisationsniveauer er først og fremmest økologiens, ikke de andre biologiske discipliners, område. Økologi er en forholdsvis ung videnskab, som endnu ikke kan give svar på ret mange af de spørgsmål, jordbrugsforskere og samfundet stiller. Men det betyder ikke, at svarene bare kan findes andre steder. Man kan heller ikke løse trafikproblemer alene ved at udvikle bilerne. For eksempel er antallet af biler på vejen ikke primært en funktion af den enkelte bils design. Man er nødt til at se på trafikplanlægning, selvom trafikplanlægning ikke er lige så udviklet som bilfremstilling. Bilfremstilling kan spille en rolle i løsning af trafikproblemerne (fx biler med udstyr til "road pricing" indbygget), men kun i relation til det højere organisationsniveau.

Pointen er ganske enkelt den, at ved begyndelsen af det 21. århundrede kan jordbrug bedst forstås videnskabeligt som en økologisk proces. Med dette for øje er afgrøden en population af organismer; skadedyr og sygdomme er også populationer af organismer – nemlig en, som afgrødepopulationen har en interaktion med. Markens økologiske samfund omfatter ikke kun afgrøden og dens skadedyr, men også skadedyrenes naturlige fjender samt mange andre arter, som afgrøden direkte eller indirekte har en interaktion med, fx symbionter som kvælstofbindende bakterier og mycorrhiza (se side 164) og nedbrydningsorganismer i jorden. Marken kan opfattes som et økosystem, der er indlejret i et landskab.

## Individuelt optimum kontra populationsoptimum

Dette perspektiv kan lyde meget godt, men ændrer det virkelig noget? Jeg vil give et eksempel fra mit eget område, plantepopulationsbiologi, på forskellen mellem jordbrugsproduktion på lavt (individ) kontra højt niveau (population).

Man går ofte ud fra, at hvis man har en genotype, som giver maksimalt individuelt udbytte pr. afgrødeplante i et givent miljø, så må den samme genotype også give maksimalt populationsudbytte i det samme miljø. Men det er ikke altid tilfældet. Lad os antage, at vi har en mark med mange forskellige byggenotyper, som vokser sammen, og vi skal udvælge nogle af disse individuelle genotyper til produktion. Som planteforædlere har erfaret, er den genotype, der har det højeste individuelle udbytte i marken, hvor den er omgivet af andre afgrødeplanter, sandsynligvis *ikke* også den genotype, der vil give det højeste udbytte på populationsniveau, dvs. på en mark, hvor alle individer har den pågældende genotype.

Den bedste individ giver altså ikke nødvendigvis den bedste population. Det skyldes, at der altid findes en vis grad af konkurrence blandt de enkelte afgrødeplanter. Hvis der ikke var konkurrence inden for afgrødepopulationen, ville alle ressourcerne ikke blive brugt. Maksimalt udbytte på populationsniveau forekommer, når der er en vis grad af konkurrence mellem planterne. Men optimal individuel strategi er ikke det samme som den optimale strategi på populationsniveau.

Den optimale strategi for individet er meget tæt på det darwinistiske begreb "fitness". Når der er konkurrence mellem planter, vil den optimale strategi være at dirigere en stor del af ressourcerne til



**Figur 17-2.** På markerne er planterne udvalgt af mennesket på baggrund af deres evne til at give udbytte – til avleren. Det giver en vegetation, som kræver store input i form af fx jordbehandling, gødning, herbicider og evt. insekticider eller fungicider. Foto Hanne Lipczak Jakobsen.

den konkurrencemæssige kamp. Dette kunne fx være at danne høje stængler, så planten kan løfte sine blade op over naboplantens blade og på den måde skygge for denne i stedet for selv at stå i skygge. De planter, der ikke dirigerer tilstrækkeligt mange ressourcer til den konkurrencemæssige kamp, vil blive undertrykt i en konkurrencesituation.

Den konkurrencedygtige plante betaler imidlertid en pris for denne evne, dvs. hvis konkurrencen ikke er intens, vil en konkurrencedygtig genotype ikke vokse så hurtigt eller producere så mange frø og frugter (høstudbytte) som en anden plante, der ikke bruger ressourcer på at opnå god konkurrenceevne. Hvis der ikke er nogen konkurrence, vil det være en bedre strategi ikke at spilde ressourcer på konkurrenceprægede mekanismer, men i stedet fx producere bla-

de på en kort stængel og senere blomster, frø og frugter.

Hvis vi har en hel population af den meget konkurrencedygtige genotype, dvs. dem, der har det højeste individudbytte i et konkurrencepræget miljø, så vil hele populationen betale konkurrencens omkostninger. Hvis der kun er konkurrence inden for populationen (intraspecifik konkurrence), fordi der er en meget effektiv ukrudtsbekæmpelse, så vil populationens udbytte blive højere, hvis alle individer er dårlige til at konkurrere, end hvis alle individer er gode til det. Hvis alle individer er dårlige til at konkurrere, vil hele populationen bruge færre ressourcer på konkurrence og derfor have flere tilgængelige ressourcer til vækst og reproduktion, dvs. større udbytte.

Meget af den planteforædlings-suc-



**Figur 17-3.** I naturen er planterne udvalgt af den naturlige selektion på baggrund af deres fitness – dvs. deres evne til trods konkurrence, næringsbegrænsning, skadedyr, dårligt vejr og meget andet at overleve og sætte levedygtigt afkom i verden. Det giver fx en vegetation som denne fra Hakkemosen på Sjælland. Foto Hanne Lipczak Jakobsen.



**Figur 17-4.** Udsnit af forsøgsparcer, hvor der eksperimenteres med planters konkurrence og udbytte under forskellige omstændigheder. Foto Hanne Lipczak Jakobsen.

ces, som har bidraget til vore dages store udbytter skyldes, at man har selekteret for kortere planter med mindre ressourcforbrug til stængler – mindre konkurrenceevne. Den australske agronom C.M. Donald har overbevisende argumenteret for, at praktisk talt al udbytteforædling inden for hvede i det 20. århundrede skyldes forbedringer af høstindekset, dvs. den procentdel af biomassen, som høstes, og ikke fysiologiske forbedringer. For en økolog betyder høstindeks, at der er blevet dirigeret ressourcer over til reproduktion. Hvedeforædlere har faktisk prøvet på at selektere for fysiologiske karakteristika efter forslag fra plantefysiologer, der har arbejdet på et for lavt niveau i det biologiske hierarki (figur 17-1). Effekten på høstindekset var for det meste tilfældig.

Et mere grundlæggende eksempel på denne pointe er, at nettoprimærproduk-

tion (biomasseproduktion) er bestemt af økologiske og ikke af fysiologiske faktorer. Den forøgelse, der har fundet sted i landbrugets biomasseproduktion i løbet af det sidste århundrede, skyldes forbedringer i afgrødens omgivelser, fx gødning, pesticider, vanding og så-teknologi. Med de samme betingelser ville naturlige ukrudtssamfund give den samme biomasse mængde.

Planteforædlingen har med andre ord ikke resulteret i forøget primærproduktion i marken, men har derimod givet os sorter, der kan udnytte de unaturligt høje ressourceniveauer, som moderne jordbrug har skabt, og dermed omdannet dem til et udbytte, der kan høstes. De nye sorter gør primært dette ved at bruge mindre biomasse til struktur, så de ikke “spilder” ressourcer på konkurrence eller simpelt hen lægger sig ned, når de bliver udsat for nitrogen-niveauer, som planter

ikke tidligere har været udsat for i evolutionshistorien og derfor ikke er tilpasset.

Pointen her er ganske enkelt, at problemer må behandles på de relevante organisationsniveauer. Fremskridt inden for molekylærbiologi har fået mange til at tro, at næsten alle problemer kan behandles på det molekylære niveau, men det er altså ikke rigtigt. Fremtiden inden for jordbrugsvidenskabelig forskning vil afhænge af, at man bliver bedre til at forstå de højere organisationsniveauer, dvs. de niveauer, økologisk videnskab beskæftiger sig med.

Forskning må, ifølge sin natur, være reduktionistisk, men der er mange for-

skellige grader og former for reduktionisme. Vellykket reduktionisme betyder, at man sædvanligvis går ét niveau ned i organisationshierarkiet, når man skal finde en forklaring, men megen jordbrugsvidenskabelig forskning befinder sig på et for lavt niveau til at give svar på de spørgsmål, der stilles. Den repræsenterer en naiv, "primitiv" reduktionisme, som antager, at vi kan springe flere organisationsniveauer over og forklare udbytte med molekylære processer. Jeg argumenterer ikke for det, der er blevet kaldt for holisme eller "systemteori", men for en mere interaktiv og mindre snæver reduktionismetype.

## Jordbrug som anvendt økologi

Jordbrug vil i fremtiden blive betragtet som anvendt økologi, eller om man vil, som en form for økologisk/teknisk virksomhed: manipulation af populationer, samfund og økosystemer til menneskelige formål. Denne forandring vil afspejle en forandring i videnskabelig sammenhæng, hvor jordbrug som begreb er blevet ændret fra "jordbrug som produktionsproces" (jordbruget som en fabrik) til "jordbrug som økosystemmanipulation" (jordbruget som et styret økosystem, man høster).

Det skal understreges, at en sådan ændring af tænkemåde i princippet ikke har noget at gøre med forskellen mellem "økologisk" og "konventionelt" jordbrug. Perspektivet i videnskabelig økologi favoriserer ikke, ifølge sagens natur, økologisk jordbrug frem for konventionelt jordbrug, og jeg vil gå så vidt som til at forudsige, at den økologiske videnskab vil blive lige så vigtig for konventio-

nelt jordbrug, som den vil blive for "økologisk" jordbrug.

Nogle af forskellene mellem det traditionelle syn på jordbrugsproduktion ("jordbrug som fabrik") og det nye syn ("jordbrug som styret, høstet økosystem") er vist i tabel 17-1. En af de centrale forskelle er, at fabriksmodellen er selv-afgrænsende, og derfor bliver mange faktorer, der påvirker produktionen, betragtet som udefrakommende. Man ved, hvor fabrikken ender og omgivelserne begynder. Ressourcer kommer udefra, og fabrikschefen interesserer sig kun for deres pris. Ud over produkter kommer der affald fra fabrikken, og man vurderer alene affaldet ud fra den pris, der skal betales for at fjerne det, og ud fra lovgivningens krav. Set fra økosystemets synspunkt er der færre udefrakommende faktorer, fordi de fleste af de faktorer, der påvirker produktionen og miljøet, nu bliver anset for at ligge inden for agroøkosystemet.

	Jordbrug som fabrik	Jordbrug som styret økosystem
Værdier og formål (fx at tjene penge, at bevare miljøet)	Indbygget, ofte skjult, sjældent diskuteret	Ikke indbygget, åben for diskussion
"Valutaer" (fx udbytte i kg, profit i kroner, energi i KJ)	Én eller få, klart defineret	Mange forskellige mulige valutaer
Systemafgrænsning (hvor ender jordbrugssystemet og begynder omgivelserne?)	Selv-afgrænsende	Ikke selv-afgrænsende
Ydre faktorer (fx vejret, forurening, skadedyrudbrud, sygdom)	Mange	Færre
Skala/niveauer (fx individ, mark, bondegård, område)	Små rumlige og tidsmæssige niveauer fremhævet	Lige anvendelig på alle niveauer
Udbyttebegreb	"Produktion" via inputs + interne jordbrugsprocesser	"Høst" fra adskillige processer både inden for og uden for jordbruget

Tabel 17-1. Sammenligning af to opfattelser af jordbrugsproduktion.

Både "fabriks"- og "økosystem"-modellerne har fordele og ulemper, og fabriksmodellen har været velegnet til jordbrugets behov igennem tiderne<sup>1</sup>. Men den er ikke særlig velegnet til at tackle det 21. århundredes problemer.

Fabriksmodellen er nemmere at anvende i produktion og forskning, fordi det er relativt nemt at definere variable, der kan maksimeres, fx maksimalt udbytte, maksimal økonomisk profit eller maksimal profit pr. kapitalenhed. Ulemperne ved fabriksmodellen er, at disse nemt definerbare variable ikke nødvendigvis er de vigtigste parametre for jordbruget i dag. For eksempel er samfundets krav om at reducere kvælstofudslippet vanskeligt at integrere i fabriksmodellen. Landmænd kan kun behandle det som en ydre, af regeringen fastsat

specifik grænse for, hvor meget kvælstof, der må udledes. Fabrikssynspunktet er ganske vist dynamisk med hensyn til inputs og outputs, fx kan man optimere input for at få maksimalt output pr. enhed input, men det er statisk over for andre forhold som fx. kvælstofudslip, så modellen er ikke særlig velegnet til at behandle den slags.

Økosystemsynspunktet anerkender lige fra begyndelsen, at der er adskillige, nogle gange modstridende formål og "valutaer". Dette er problematisk, men giver dog samtidig mulighed for at behandle de problemer, som fabriksmodellen ikke er i stand til. Problemer som kvælstofudslip befinder sig inden for modellen, ikke uden for. Ulempen ved det økologiske perspektiv er, at det bliver vanskeligere at definere simple enkeltva-

1. Man kunne faktisk godt argumentere for, at der tidligere har været et andet syn på jordbrug som del af en kulturel/social proces, der senere blev erstattet af fabriksopfattelsen.



riable, som man ønsker at maksimere eller optimere, fordi nogle valutaer ikke kan udveksles.

Hvor mange penge ville fx kunne kompensere for forurening af grundvandet eller for eutrofiering med nitrat? Hvor meget er en sjælden art værd? Men denne ulempe kan også ses som en fordel, fordi modellen tvinger os til fra begyndelsen at tage disse emner op. Formålene er til åben diskussion, snarere end "skjult" i modellen. De skal diskuteres, og man skal blive enige om dem, inden man anvender modellerne i forskning eller i praksis.

### Præcisering af formål

Fra et økologisk perspektiv kan man forestille sig tre mulige mål for håndtering af fx afgrødeudbyttet (tabel 17-2). Det økologiske synspunkt tvinger os som nævnt ovenfor til at spørge om vores formål, fordi formålet ikke allerede er indbygget.

Inden for såvel moderne jordbrug som den dertil knyttede forskning har målet sædvanligvis været at maksimere det kortsigtede udbytte (mål 1), hvilket kræver stort input, store næringsstoffilstrømninger, store kapiteltilførsler og store miljømæssige omkostninger. Landmandens og samfundets interesser ville måske være bedre tjent med det meget anderledes mål (2) vedr. maksimal lang-

sigtet profit, færre næringsstof- og kapitalstrømme og bæredygtigt udbytte. Formål 3 kan være det bedst egnede mål i u-landenes jordbrugssystemer, hvor mange mennesker lever tæt på sultegrænsen.

Fabriksmodellen henviser til mål 1. Den kan også henvise til mål 2, selv om den sjældent gør det. Men så vidt jeg ved har fabriksmodellen aldrig været anvendt på formål 3. Det er fordi, fabriksmodellen, ligesom selve den industrielle produktion, har tendens til at have et kortsigtet perspektiv. De fleste virksomheder planlægger deres strategi på en måde, så de kan opnå maksimal profit på kortere eller længere tid. Få virksomheder prøver på at minimere sansynligheden for en konkurs eller for at blive opkøbt af en anden virksomhed over en relativt lang tidsskala (jeg antyder ikke hermed, at en sådan strategi ville være god for en virksomhed). På en lignende måde findes der kun få landbrugsbedrifter, som prøver at optimere deres langsigtede udbytte eller maksimere udbyttestabilitet på langt sigt. Men alligevel kunne det vel være, at disse mere langsigtede mål ville være gode at styre efter inden for visse jordbrug.

Økosystemmodellen kan nemt anvendes over større tidsskalaer, såvel som på højere organisationsniveauer. Jeg forudsiger derfor, at den jordbrugsvidenska-

Mål nummer	Biologisk mål	Økonomisk mål
1	Maksimalt udbytte	Maksimal kortsigtet profit
2	Maksimalt vedvarende udbytte	Maksimal langsigtet profit
3	Maksimal udbyttestabilitet	Maksimal økonomisk overlevelse

Tabel 17-2. Tre mulige mål for håndtering af udbytte i biologiske og økonomiske termer.

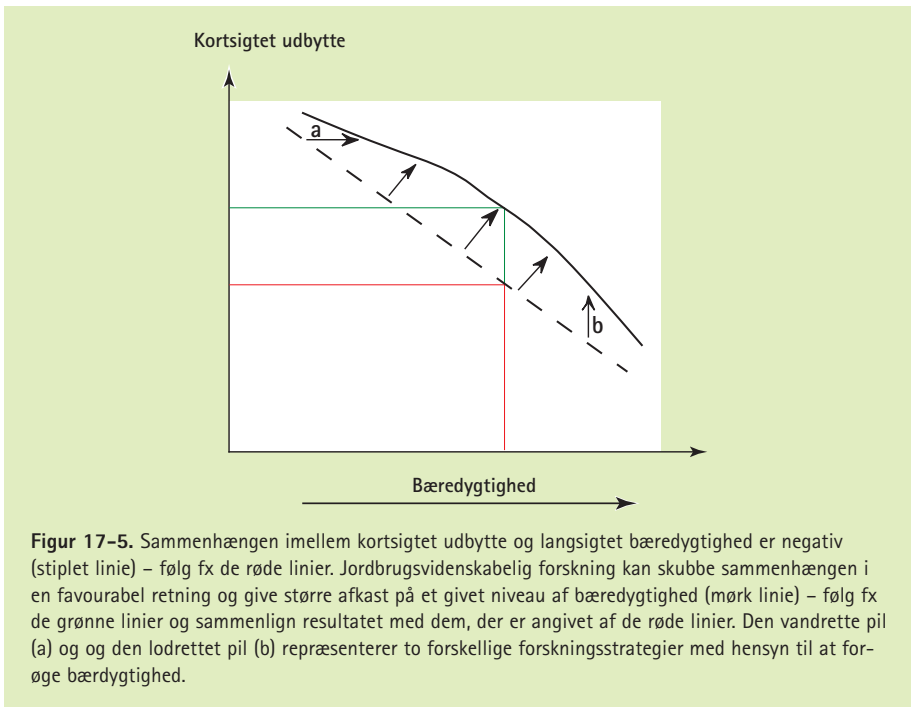
belig forskning og undervisning vil flytte fokus fra de fysiologiske/molekylære niveauer op til de højere, økologiske organisationsniveauer: populationer, samfund og økosystemer. Selv genteknologi vil man komme til at se på i form af dens økologiske effekt, specielt på populations- og samfundsniveauer, fx indførte geners interaktion med skadedyr- og patogenpopulationer. Mange af de naive forventninger til genteknologi, fx forøget tørkeresistens i kornafgrøder, er baseret på den type "primitiv reduktionisme", som jeg kritiserer her.

### Betydningen af "tradeoffs"

Et økologisk perspektiv på jordbrug afslører også, at der er en negativ sammenhæng mellem et kortsigtet maksimalt udbytte og bæredygtighed (figur 17-5) – jo højere udbytte, jo mindre bæredygtig-

hed og omvendt. Forskningen kan ikke ændre denne generelle sammenhæng fuldstændigt, men den kan ændre sammenhængens "styrke". Det er naivt at tro, at bæredygtighed kan opnås uden nogen form for omkostning i udbyttet. Der vil oftest forekomme "tradeoffs": en gevinst opnås på bekostning af en anden.

Uundgåeligheden af tradeoffs tvinger forskere til at prioritere deres mål. Skal vi fx prøve på at opretholde et udbytte, der er tæt på de nuværende niveauer, og undersøge, hvordan vi kan forbedre bæredygtigheden (pil a i figur 17-5)? Det er, hvad hovedparten af den jordbrugsforskning, der beskæftiger sig med bæredygtighed, prøver at gøre. Et alternativ kunne være at fastsætte den grad af bæredygtighed, vi ønsker, og prøve at se, hvordan vi kan forøge udbyttet inden for denne ramme (pil b i figur 17-5).



## Behov for mere ambitiøs jordbrugsforskning

Det økologiske perspektiv indebærer også et ønske om, at jordbrugsforskningen bliver meget mere aggressiv og ambitiøs.

Man ved, at udbytte eller endog økonomisk udbytte vil variere som en funktion af mange faktorer. Jeg vil bruge billedet af det multidimensionale “tilpasningslandskab”, som første gang blev beskrevet af den kendte evolutionsbiolog Sewall Wright, til at illustrere situationen (figur 17-6).

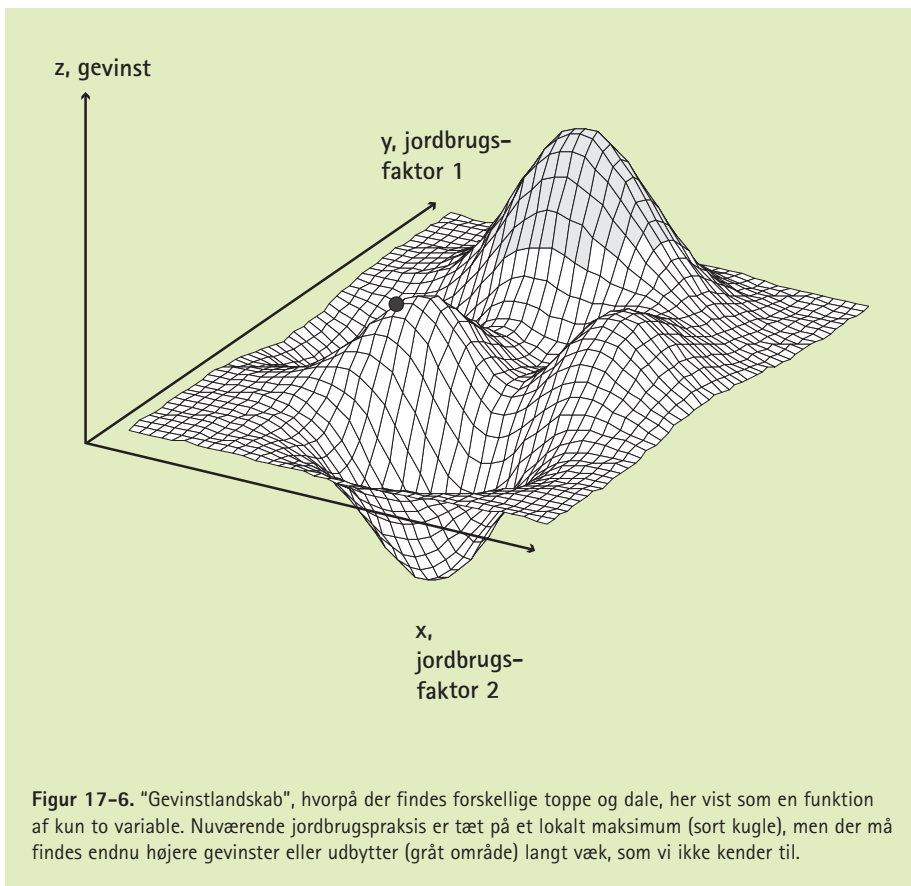
På figuren repræsenterer x- og y-akserne to af de mange mulige faktorer i en jordbrugsbedrift, eller i et forskningsprojekt. Der kunne være mange mulige faktorer, som landmanden eller forskeren kan styre, fx afgrødens genotype, såtæthed, gødningsniveauet, jordbearbejdningens intensitet, antallet af afgrøder i marken osv. z-aksen er den gevinst (det udbytte), som den enkelte landmand eller samfundet kan opnå på kort eller langt sigt.

Essensen af dette billede er, at der er mange “toppe” og “dale” i gevinstlandskabet svarende til mange maksimums- og minimumsudbytter afhængigt af de medtagne faktorer. Den nuværende jordbrugsproduktion er tæt på et lokalt maksimum (sort kugle). Størstedelen af den nuværende jordbrugsvidenskabelige forskning går i retning af at nærme sig (“klatre opad”) den top, der ligger lige over kuglen. Der er imidlertid chance for andre, endnu højere toppe, men den almindelige jordbrugsvidenskabelige forskning vil aldrig opdage dem, fordi den ikke udforsker områder i “landskabet”, der ligger langt væk fra den nuværende praksis. Hvis den jordbrugsvidenskabelige forskning skal have en chance

for at opdage disse andre mulige toppe, må den springe de mellemliggende “dale” over.

Det er naturligvis umuligt at udforske noget, der nærmer sig hele landskabet, dvs. medtager alle mulige kombinationer af alle mulige faktorer. Den eneste måde at finde andre potentielle maksima på, er at søge meget bredt. Man er således nødt til at variere faktorerne og deres kombinationer i langt højere grad, end man er vant til i den jordbrugsvidenskabelige forskning i dag. Vi har brug for mere aggressiv højrisiko/højgevinst-forskning i jordbruget, hvor mere radikale idéer afprøves. Dette er dog i direkte modstrid med den traditionelle konservatisme i den jordbrugsvidenskabelige forskning, som oftest er rettet mod aktuelle, presserende problemer. Forskere inden for jordbruget bliver ofte bedt om at løse et bestemt problem (fx skadedyrsangreb eller kvælstofudslip) uden at ændre systemet ret meget. I virkeligheden kunne den bedste løsning være at ændre meget.

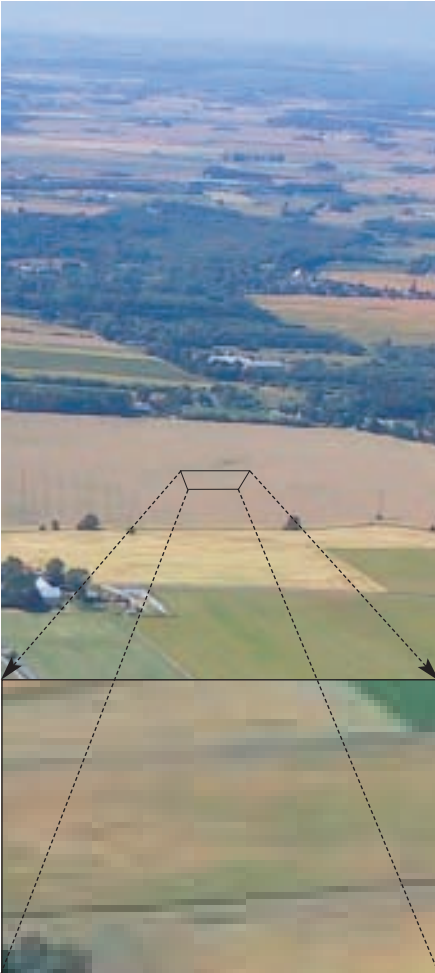
Strategisk jordbrugsvidenskabelig forskning har brug for at blive dristigere, hvis vi skal have en chance for at få information om en større del af gevinstlandskabet. Anvendelse af begrebet “gevinstlandskab” kræver ikke nødvendigvis, at man eksperimenterer med en faktorkombination (x og y), som ligger tæt på en anden “top”. Det kræver kun, at forsøgene når et område uden for de “dale”, som omgiver den nuværende “top”. Hvis vi kan nå bunden ved en anden “top”, kan en mindre aggressiv, trinvis voksende forskning bruges til at “klatre” op ad denne anden “top” og finde ud af, hvor høj den er.



Med andre ord kunne det, hvis vi har forskningsressourcer til at undersøge 10 punkter i det totale gevinstlandskab, være en god idé at have nogle af disse punkter meget langt væk fra nuværende praksis, i stedet for kun at udforske intensivt i nærheden af vores lokale top. Et eksempel kunne være at undersøge systemer med meget lave input/udbytter og tilsvarende stor bæredygtighed. Ved Land Institut i Kansas har Wes Jackson fx undersøgt muligheden for at udvikle flereårige korn- og bælglplanteafgrøder, som man høster i mange år uden at bearbejder jorden. Flereårige afgrøder kræver færre in-

puts, taber meget færre stoffer til miljøet og har lavere udbytte. Hvis omkostningerne kan reduceres mere end udbyttet, så vil der være en mulighed for at få profitable, men meget anderledes former for jordbrugsproduktion, der vil være langt mere bæredygtige.

Hvis jeg må bruge materialevidenskab som en analog, vil jeg foreslå, at vi ikke kun fortsætter med at forbedre de materialer, der på nuværende tidspunkt er de bedste til et bestemt formål (fx stål til bilmotorer og karosserier), men også prøver at undersøge andre mulige materialer (fx keramiske, plast, glasfibre). Det vil



**Figur 17-7.** Når man som jordbrugsvidenskaben fordyber sig i fx en mark, vil man opdage mange spændende detaljer. Men når man "løfter blikket" og undersøger sagerne i et større perspektiv, vil man opdage helt nye sammenhænge. Foto Bent Bennedsen, Agroteknologi, KVL.

naturligvis mislykkes de fleste gange, men når vi opdager noget nyt, vil det blive virkelig spændende og åbne nye muligheder. De fleste materialeforskere er enige om, at fremtidens industrimaterialer sandsynligvis ikke kun vil være begrænset til jern og stål, men også omfatte helt nye materialer som fx nye plast- og keramikmaterialer. Tilsvarende findes fremtidens jordbrug måske i helt andre produktionsformer, som endnu ikke er blevet undersøgt. Hvis forskningen i materialevidenskab var lige så videnskabeligt konservativ som den jordbrugsvidenskabelige forskning er, ville de nye materialer aldrig være blevet opdaget.

## Økologisk videnskab i 2025

Som forsker inden for økologi er det vigtigt for mig at erkende, at den form for økologi, der vil være fremtidens jordbrugsvidenskab, ikke er den samme videnskabelige form for økologi, som vi har i dag. Videnskabelig økologi startede som studiet af naturen, dvs. systemer, som mennesker ikke har haft megen

indflydelse på. Historisk set har planteøkologien indtil for nylig lagt vægt på beskrivelse af vegetation, hvorimod andre grene af økologien er blevet mere abstrakte og matematiske og mere inspireret af matematik og fysik end af biologi.

Økologi er først ved at modnes som en videnskabelig disciplin, hvor viden

bygges på erfaringsmæssig baggrund, og vi er først lige begyndt at undersøge mekanismerne. Økologi for jordbruget i 2025 vil blive mere anvendelsesorienteret, baseret på observerede mønstre i marken, og mindre abstrakt/teoretisk. Jeg har fuld forståelse for, at studerende, der i dag læser økologi på jordbrugsuniversiteter, kan komme til den konklusion, at mange af de abstrakte matematiske modeller, som vores økologibøger og tidsskrifter er fyldt med, ikke er relevante for de reele jordbrugsvidenskabelige problemer, som de ønsker at behandle. Økologien har brug for forandring for at kunne møde fremtidens udfordringer, og mange af de bedste økologer er klar over dette.

En af de eneste andre discipliner, som behandler højere organisationsniveauer, er økonomi, den samfundsvidenskabelige jordbrugsforskning. Økonomi og økologi ligner hinanden i den forstand,

at de begge sætter jordbrug i forbindelse med højere organisationsniveauer. Men disse højere niveauer er forskellige. En diskussion om ligheder og forskelle mellem økonomiske og økologiske perspektiver i jordbruget ville kræve endnu et kapitel i bogen, men jeg mener, at økologien i fremtiden vil optage en position inden for jordbrugstankegangen, der ligner den, økonomi indtager i dag: allestedsnærværende.

Ligesom det i dag ikke er muligt at holde en forelæsning om en ny teknik eller idé inden for jordbrugsvidenskabelig forskning på et jordbrugsuniversitet eller forskningsinstitut uden at blive spurgt om omkostningen, så vil det i 2025 være umuligt at undgå spørgsmål om den økologiske effekt af den nye idé, både inden for og uden for gårdens økosystem. Økologi er videnskaben om jordbrug – og det vil være en selvfølge i 2025.