

Danmarks tidlige landbrug
– Et nyt forskningsprojekt og et over-
raskende fund af laminerede søsedimenter

KUPA PROJEKTET
– Koncept for Udpegning af
Pesticidfølsomme Arealer

Et nyt forskningsprojekt og et overraskende fund af laminerede søsedimenter

Peter Rasmussen
Emily Bradshaw
Niels H. Andersen

En nuanceret belysning af det ældste landbrug i Danmark kræver flere fagdiscipliners medvirken; geologien og arkæologien er centrale fag i denne sammenhæng. GEUS har en lang tradition for forskning i landbrugslandskabets historie, hvor det bedst kendte bidrag er Johannes Iversens banebrydende arbejde fra 1941 om "Landnam i Danmarks Stenalder". Det tidlige stenalderlandbrug tages nu op til fornyet forskning på GEUS i et tværvidenskabeligt projekt hvor samspillet mellem kultur- og landskabsudviklingen står i fokus. Det valgte undersøgelsesområde er den arkæologisk velundersøgte egn omkring Sarup på Sydvestfyn. Sedimentkerner fra Sarup Sø danner grundlag for de geologiske og palæoekologiske undersøgelser af landskabsudviklingen og arealudnyttelsen i den tidlige bondestenalder. Ved borer i søen blev der fundet en geologisk sjældenhed i Danmark: Postglaciale laminerede sedimenter, dvs. tynde horisontalt afsatte lag der efter alt at dømme består af ægte "årsvarv".

Et af de mest afgørende erhvervsmæssige og kulturelle skift i Danmarkshistorien er introduktionen af landbruget for ca. 6000 år siden. De mest håndgribelige vidnesbyrd om landbrugets indførelse består af fund af afgrøder og husdyrknogler. Fundene viser, at de første danske bønder dyrkede primitive sorter af hvede og byg, og at husdyrholdet bestod af kvæg, svin, får og ged. Med landbrugets indførelse fulgte også en ny teknologi, bl.a. slebne flintøkser, som blev benyttet til fældning af skov, og flintsegl som blev anvendt til kornhøstning. Under periodens storstensgrave, dysserne og jættestuerne, er der fundet furer på kryds og tværs som viser at den primitive plov, arden, har været en del af landbrugsteknologien. De arkæologiske fund giver direkte vidnesbyrd om det tidlige landbrug, men de fortæller derimod kun lidt om landbrugets påvirkning af det datidige landskab og miljø. En belysning af denne side af det tidlige landbrug kræver andre undersøgelsesmetoder



Billede af Emmer-Hvede. Denne hvedeart var den vigtigste kornafgrøde i det tidlige danske landbrug. Alleerede før istidens afslutning i Danmark begyndte den første dyrkning og forædling af korn i området fra Israel over Syrien til Vest-Iran, også kaldet "Den frugtbare Halvmåne", hvor de vilde hvede- og bygsorter vokser naturligt. Herfra har kendskabet til korn dyrkning bredt sig til Europa, hvor det omkring 3900 f. Kr. når op til Danmark. Foto: Harald Krog (DGU).

end de arkæologiske, og bidrag hertil kommer især fra naturvidenskabeligt hold, ikke mindst fra geologien og palæoekologien. Et skelsættende arbejde i denne henseende udkom i DGUs skrifter for godt 60 år siden, nemlig Johannes Iversens afhandling fra 1941: "Landnam i Danmarks Stenalder. En pollenanalytisk Undersøgelse over det første Landbrugs Indvirkning paa Vegetationsudviklingen". Afhandlingen vakte stor national og international opmærksomhed; den er i dag kendt verden over og citeres til stadighed. På et pollenanalytisk grundlag pegede Iversen som den første på de ældste stenalderbønderes ændringer af landvegetationen for ca. 6000 år siden. Ændringerne i pollendiagrammernes kurver tolkede Iversen som udtryk for, at agerdyrkende folk ved rydninger i urskoven med økse og ild skabte grundlaget for marker og græsningsarealer. Disse indgreb i vegetationen kaldte Iversen med et gammelt nordisk ord for et "landnam" eller en "landnamfase", hvilket betyder at tage ubeboet land i besiddelse. Iversen opstillede en skematisk udviklingsmodel for landnamfasens forløb: Først indledende skovrydning ved hjælp af økser og afbrænding, herefter korn dyrkning og kvæggræsning og til sidst regeneration af skoven. Da kulstof-14 dateringsmetoden endnu ikke var taget i brug i 1941, kunne Iversen stort set kun gisne om landnamfasens varighed, men han antog, at den måtte have

strakt sig over en relativt kort periode på mellem 50 og 100 år.

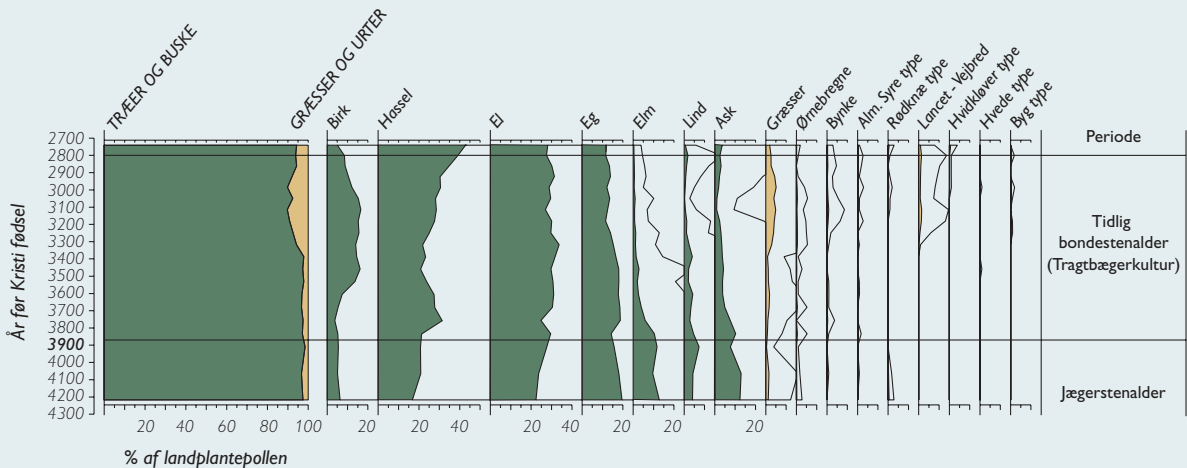
Den årsagsmæssige sammenhæng i Iversens landnamsmode l står i dag stadig til troende, nemlig at de karakteristiske ændringer i pollenkurverne afspejler de tidlige bønderes påvirkning af vegetationen. På et meget væsentligt område har landnamsmode l len imidlertid måttet revideres grundlæggende. I modsætning til Iversens oprindelige antagelse om en forholdsvis kortvarig landnamfase, så har kulstof-14 dateringer af moderne pollendiagrammer fra søer og moser vist at fasen strækker sig over flere hundrede år. Landnammet kan med andre ord ikke repræsentere en enkelt generations indgreb i vegetationen, men må derimod afspejle adskillige generationers skiftende påvirkning og udnyttelse af landskabet (Boks 1).

Et nyt forskningsprojekt

Landnamfasens varighed gennem flere hundrede år rejser en række vigtige spørgsmål der ikke tidligere er belyst gennem målrettede undersøgelser. Disse spørgsmål er helt centrale for forståelsen af det tidlige landbrug:

- Hvor lang tid varer landnamfasen præcist?
- Hvordan er relationerne mellem fasens kultur- og landskabsudvikling?
- Hvilke ændringer sker der i arealudnyttelsen i løbet af landnamfasen?

Pollendiagram fra Dallund Sø på Fyn – et eksempel på en flere hundrede år lang landnamnsfase



Pollendiagrammet består yderst til venstre af et oversigtsdiagram, som viser den tidsmæssige udvikling mellem forekomsten i procent af pollen fra grupperne træer/buske og græsser/urter. Forholdet mellem disse to grupper afspejler i grove træk ændringer mellem skovland (træer/buske) og åbent land (græsser/urter). Derefter følger udvalgte pollenkurver for en række plantearter. De farvede kurver viser de enkelte plantearters procentuelle hyppighed. For at lette aflæsningen af kurver med lave procentværdier, er der indtegnet kurver hvor procenten er ganget med 10 (de tynde linier over de farvede kurver).

Pollendiagrammets høje procenter for træer og buske i den sene jægerstenalder (se oversigtsdiagram) afspejler et skovklædt landskab, der ofte benævnes den atlantiske urskov. De lave græs- og urtepollenværdier tyder på, at skoven var relativt lukket med ringe lysforhold på skovbunden.

Ved overgangen til bondestenalderen, ca. 3900 f.Kr., ses en markant nedgang i pollenkurven for elm også kaldet "elmefaldet". Nye danske og udenlandske undersøgelser peger på at elmens tilbagegang er forårsaget af elmesyge. Samtidig med elmefaldet går lind noget tilbage og lidt senere også ask, mens hassel og tildels eg går frem. Forskydningerne i pollenkurverne kan antagelig tilskrives den naturlige tilbagegang af områdets elmepopulationer samt de ældste stenalderbønders begyndende rydninger i skoven af lind og formentlig ask. Disse begivenheder har øjensynlig ikke ført til større åbninger i skoven, idet procentandelen af pollen fra træer og buske

(jævnfør oversigtsdiagrammet) fortsat ligger på samme høje niveau som i jægerstenalderen. Senere i diagrammet ses nye karakteristiske ændringer i pollenkurverne. Den markante fremgang for birk er et af landnamnsfasens mest karakteristiske træk og er samtidig et tungtvejende tegn på at bevoksningerne blev brændt af, idet birk kun på denne måde vil have fået en chance for at præge opvæksten på skovmuld gennem flere hundrede år. Kurveforløbet for ørnebregne, der næsten følger birkens, er et yderligere tegn på afbrænding af vegetationen, idet ørnebregne fremmes i forbindelse hermed. De første sikre spor af korndyrkning (pollen af hvede-type) dukker op samtidig med birkeekspansionen og lidt senere dokumenterer diagrammet også dyrkning af byg. Omkring 3300 f.Kr. breder ledeplanter for overdrev sig, især bliver lancet-vejbred hyppig og mængden af kornpollen (byg-type) stiger. Disse ændringer afspejler en intensiveret landbrugsudnyttelse af området (kvæghold og korndyrkning) og, jævnfør oversigtsdiagrammet, bliver landskabet nu betydeligt mere åbent end tidligere. Mod slutningen af den tidlige bondestenalder stiger procentværdierne for træer og buske igen (især øgede værdier for hassel, lind og ask), hvilket kan tyde på en vis regeneration af skoven.

Sammenfattende viser pollendiagrammet således, at landnammet (bestående af først skovrydning, derefter korndyrkning og husdyrgræsning og til sidst regeneration af skoven) var en meget langvarig proces og ikke en kortvarig begivenhed som oprindeligt antaget af Iversen.



Figur 1. Sarup Sø på Sydvestfyn. GEUS' boreflåde er forankret midt på søen ved hjælp af tove fastgjort på land. Fra søen blev der optaget knap 15 m sediment, som er aflejret på bunden af søen fra sidste istids afslutning og frem til i dag.
Foto: Ole Bennike (GEUS).

Med henblik på at belyse bl.a. disse spørgsmål, er der i et nyligt påbegyndt forskningsprojekt sat fokus på samspillet mellem kultur og landskab i Danmarks tidlige bondestenalder. Projektet udføres i et samarbejde mellem GEUS og Møesgård Museum og støttes af Statens Humanistiske Forskningsråd. Endvidere deltager forskere fra Lunds Universitet og University of Regina, Canada.

En nøjere bestemmelse af landnamsfasens varighed skal baseres på tætliggende AMS kulstof-14 dateringer af terrestisk plantemateriale (blade, frø og frugter) fra de sedimenter, hvor de geologiske og palæoekologiske undersøgelser udføres. Erfaringen viser at det kan være vanskeligt at finde tilstrækkeligt med daterbart materiale lige præcist dér hvor man ønsker det, og det kræver derfor en vis portion held at få etableret en god kronologi for landnamsfasen. Det foreløbige arbejde med at finde daterbart materiale tyder dog på at vi har heldet med os.

En bestemmelse af sammenhængen mellem landnamsfasens kulturudvikling på den ene side, og landskabsudvikling på den anden kræver som udgangspunkt en detaljeret kronologi for såvel de kulturhistoriske som de palæoekologiske data, således at der er sikkerhed for at der er samtidighed mellem data der sættes i forhold til hinanden. Dernæst er det nødvendigt med et veludbygget og nuanceret datagrundlag. Med hensyn til de kulturhistoriske data er vi i den fordelagtige situation, at der i de seneste årtier er udført omfattende undersøgelser inden for denne tidsperiode her i landet.

Egnen omkring Sarup på Sydvestfyn er et af de bedst undersøgte områder, og herfra foreligger der et i dansk og europæisk sammenhæng enestående arkæologisk fundmateriale, som belyser kulturudviklingen i den tidlige bondestenalder, også kaldet Tragtbægerkulturen (ca. 3900–2800 f.Kr.). Arbejdet ved Sarup har stået på i de sidste tre årtier, og inden for et 12 km² stort undersøgelsesområde er der gennemført omfattende arkæologiske rekognoceringer og udgravninger, hvorved især fundmaterialet fra den tidlige bondestenalder er øget ganske betydeligt. Eksempelvis var der før rekognoceringerne kendt 4 storstensgrave (dysser og jættestuer) i området; i dag er der registreret 124 storstensgrave. På grundlag af især resultaterne fra Sarup, suppleret med nye forskningsresultater fra andre dele af landet, kan kulturudviklingen i den tidlige bondestenalder i dag beskrives i mange detaljer (Boks 2).

De samfunds- og bebyggelsesmæssige forandringer i løbet af den tidlige bondestenalder som er skitseret i Boks 2 må have givet sig udslag i en vekslende påvirkning og udnyttelse af det omkringliggende landskab. Vores nuværende viden om landskabet og arealudnyttelsen i Danmarks tidlige bondestenalder bygger i vid udstrækning på pollendiagrammer med en forholdsvis lav tidsopløsning (dvs. en stor tidsmæssig afstand mellem de analyserede prøver). Den begrænsede tidsopløsning betyder, at vi kun med forholdsvis store tidspring kan følge ændringerne i landskabet.

Gennem studier med en lille tidsmæssig afstand mellem de analyserede prøver (høj

tidsopløsning) sigter det nye projekt på at give en mere nuanceret beskrivelse af periodens landskabsændringer end tidligere. I projektet inddrages tillige andre analysemetoder end den pollenanalytiske med henblik på at belyse ændringerne ved hjælp af flere forskellige landskabsvariable for derigennem at opnå et mere sikkert tolkningsgrundlag.

Den valgte lokalitet for de nye palæoekologiske studier med høj tidsopløsning er Sarup Sø, der som nævnt ligger i det arkæologisk velbelyste område på Sydvestfyn. I foråret 2001 blev der fra søen optaget en knap 15 m lang sedimentkerne, som skal danne grundlag for de geologiske og palæoekologiske undersøgelser af de tidlige bondesamfunds påvirkning af såvel det terrestiske som det akvatiske miljø (Figur 1). I undersøgelsen fokuseres der på ændringer i tre landskabsvariable:

- den terrestiske arealudnyttelse, som belyses vha. pollen- og kulpartikelanalyser; de sidstnævnte analyser udføres med henblik på at finde ud af vegetationsafbrændingens betydning som et led i arealudnyttelsen
- jorderosion til søen, som belyses vha. sediment- og mineralmagnetiske analyser og
- søens næringsstofforhold, som bestemmes ved hjælp af kiselalge- og pigmentanalyser.

I vor tids landskab er der en tæt sammenhæng mellem disse tre variable, idet ændringer i arealudnyttelsen har veldokumenterede og klare konsekvenser for graden af jorderosion til det akvatiske miljø samt det

Kulturudviklingen i Danmarks tidlige bondestenalder – kort fortalt

Ca. 3900–3500 f.Kr.:

Fra den tidlige del af bondestenalderen kendes to typer af bopladser, dels sæson-baserede fiskeri- og jagtstationer (der er en fortsættelse af jægerstenalderens kyst-bopladser), og dels regulære bondebopladser med en størrelse på 500–700 m², der at dømme ud fra mængden af fundmateriale antageligt har været benyttet i kort tid (under 10 år). Bopladser med organiske levn kendes ikke, men samtidige mosfundne knogler viser, at husdyrholdet bestod af kvæg, svin, får og ged. Dyrkning af korn har fundet sted, men analyser af periodens høstredskaber tyder på, at korndyrkningen kun har været begrænset. Begravelser skete under flad mark ligesom i slutningen af jægerstenalderen, men desuden blev der opført store gravmonumenter i form af lange jordhøje eller lange palisadeindrammede anlæg. Fra arkæologisk side karakteriseres perioden som præget af en til omgivelserne stærkt tilpasset erhvervsstrategi, hvor man ofte skiftede bosættelse.

Ca. 3500–3200 f.Kr.:

I den mellemste del af den tidlige bondestenalder kendes såvel jagtstationer som mere permanente bondebopladser. Den sidstnævnte bopladstype, der ofte lå i et tæt mønster i landskabet, var stadigvæk forholdsvis små, 500–1000 m², og har antageligt været benyttet relativt kortvarigt. Periodens mest karakteristiske træk er mange vidnesbyrd om "rituelle aktiviteter" i samfundet. For det danske område er det anslået at der i denne 300-årige periode er opført minimum 25.000 stortstensgrave (dysser og jættestuer); heraf er der i dag kun bevaret og fredet ca. 2400. Store stengrave som de danske er på samme tid opført i store dele af den vestlige del af Europa og i områderne omkring Middelhavet. Foran jættestuerne er der hensat (ofret) og undertiden bevidst ødelagt store mængder af dekorerede lerkar. Eksempelvis var der foran indgangen til en jættestue i Sarupområdet placeret mindst 350 lerkar, der nu er bevaret som 26.000 potteskår! I moser er der udlagt (ofret) lerkar, flintøkser og rav samt dyr og undertiden mennesker. Endelig er der opført kulthuse og store rituelle samlingspladser, de såkaldte Sarupanlæg, der indgik i et overgangsritual hvor egnens afdøde, eller nogle af dem, fik en midlertidig begravelse, før de i forbindelse med en senere handling på Sarupanlægget blev genopgravet og dernæst fik en blivende begravelse. Meget tyder på at de afdøde i forbindelse med genopgravningen blev parteret og dele af kroppene placeret i stortstensgravene ude i landskabet, mens en anden del forblev på Sarupanlægget. Fra arkæologisk side karakteriseres perioden som en erhvervs-mæssig, territorial og social ekspansionsperiode med en ekstensiv erhvervsstrategi præget af mange og betydelige indgreb i det omkringliggende landskab.

Ca. 3200–2800 f.Kr.:

I den sene del af Tragtbægerkulturen ophørte de omfattende "rituelle aktiviteter". Stortstensgrave blev ikke længere opført; de gamle grave blev genbrugt, men man fortsatte med at udføre ofringer foran disse. Sarupanlæg opførtes heller ikke mere, men de eksisterende benyttedes stadig i en vis udstrækning. Periodens bopladser dækkede meget store arealer på mellem 30.000 og 40.000 m², og herfra foregik både landbrugs- og jagtaktiviteter. Analyser af periodens høstredskaber tyder på en stigning i kornavlens fra omkring 3100 f.Kr. med en yderligere intensivering mellem 2900 og 2800 f.Kr. Fra arkæologisk side karakteriseres perioden som en konsolideringsfase med etablering af større befolkningsenheder og mere permanente bopladser samt en mere intensiv erhvervsstrategi, eventuelt med permanente marker og overdrev.



De ældste stenalderbønder ryddede skov ved hjælp af skæftede slebne flintøkser med henblik på at skaffe åbne arealer til korndyrkning og husdyrgræsning. Billedet stammer fra et moderne eksperiment med fældning af skov ved hjælp af flintøkser udført i samarbejde mellem DGU og Nationalmuseet i Draved Skov i Sønderjylland i 1950'erne. Foto: Harald Krog (DGU).



Bondestenalderens imponerende gravanlæg, dysserne og jættestuerne, udgør stadig et markant indslag i landskabet. Dyssen her er beliggende i Strands på sydsiden af Mols og udgør en af de i alt ca. 2400 bevarede dysser og jættestuer i Danmark. Det er anslået at der i perioden 3500–3200 f.Kr. blev opført minimum 25.000 af disse gravanlæg i Danmark. Foto: Niels H. Andersen.



Bondestenalderens kornsegls af flint kan identificeres ud fra forekomsten af en lakagtig glans langs redskabets æg, der dannes når flintæggen skærer i de kiselholdige kornstrå. Disse brugsspor på de forhistoriske redskaber kan eftervises ved høsteksperimentet med moderne flintsegls, som her på Historisk-Arkæologisk Forsøgscenter i Lejre. Foto: Helle Juel Jensen.



Figur 2. Senatlantiske laminerede sedimenter fra Sarup Sø. Et lyst og et mørkt lag (et lagpar) er formentlig afsat i søen i løbet af 1 år. Lagparrenes gennemsnitlige tykkelse er ca. 0,6 mm. Foto: Jakob Laurtrup (GEUS).

akvatiske miljøes næringsstofforhold. En undersøgelse af de tre variable 6000 år tilbage i tid vil hver for sig kunne vise en udvikling - men ikke mindst tilsammen - vil de kunne bidrage til en betydelig mere velfunderet beskrivelse af landnamsfasens landskabsudvikling. Og med Sarupområdets veldokumenterede kulturudvikling er der her efter alt at dømme de bedste betingelser for at vurdere samspillet mellem de kulturelle og landskabsmæssige forandringer gennem de første 1000 år af Danmarks historie som et agerbrugssamfund.

Laminerede sedimenter

Den knap 15 m lange sedimentkerne fra Sarup Sø består af sedimenterne fra søbundens nuværende overflade og ned til sen-glacialt sand, og den dækker dermed hele den postglaciale lagserie svarende til et tidsrum på ca. 11.500 år. Ved hjælp af pollenanalyser er bondestenalderens begyndelse fastlagt til en dybde på knap 12 m under sedimentoverfladen. Denne øvre del af søens lagserie består af lag af ensartet gråbrun kalkgytje. Under kalkgytjen stødte vi ved borerne på en stor og glædelig overraskelse, nemlig laminerede sedimenter. Overraskelsen var stor, idet der ikke tidligere i Danmark er fundet postglaciale laminerede søsedimenter med den tykkelse, der her er tale om. Sedimenterne udviser et ekstremt regelmæssigt skifte mellem lyse og mørke lag (Figur 2). Alt tyder derfor på, at det drejer sig om årslag eller varv, hvor et lyst og et mørkt lag, der tilsammen har en gennemsnitlig tykkelse på ca. 0,6 mm, er afsat i søen i løbet af 1 år. Dannelsen af lagene som ægte varv skal kontrolleres gennem forskellige analyser. Bl.a. skal

der udføres pollenanalyser hvor det kan forventes at pollensammensætningen i de lyse lag er domineret af pollen fra planter der blomstrer i sen maj, juni og juli, mens de mørke lag er domineret af planter der blomstrer i sensommer/tidligt forår. Et foreløbigt simpelt regnestykke viser, at det drejer sig om henvend 5500 årslag, der dækker tidsrummet fra ca. 9500 frem til ca. 4000 f.Kr., dvs. fra præboreal tids begyndelse til slutningen af atlantikum.

Søer med postglaciale laminerede sedimenter er en sjældent påvist søtype, som hidtil især er registreret i tre områder af verden: Nordamerika, Nord- og Centraleuropa og Øst- og Centralafrika. I alle søer i det tempererede område er sedimentationen i princippet rytmisk, styret af sæsonvise ændringer i klimaet. Det er imidlertid kun under særlige omstændigheder, at den rytmiske struktur er bevaret, eftersom søernes øverste løse sediment og dets fine strukturer let ødelægges og opblandes af bundfauna og strøm. De vigtigste forudsætninger for dannelsen af laminerede sedimenter udgøres såvidt vides af søens morfologi og beliggenhed: Bassinet skal være lille og dybt og uden tilløb samt ligge beskyttet for vinden. Sarup Sø har netop disse kendetegn, idet søens overfladeareal kun er 3,6 ha, søen har ingen tilløb, bassinet er dybt (yngste lamina ligger ca. 15 m under den nuværende vandoverflade) og endelig er søen omgivet af relativt høje bakker, der giver læ for blæsten (se Figur 1). En absolut nødvendig forudsætning for bevarelsen af laminerede søsedimenter er iltfattige forhold ved bunden, der følgelig begrænser mængden af bunddyr til et minimum og dermed også muligheden for sedimentop-

blanding. Iltfattige forhold opstår i dybe søer i forbindelse med en temperaturlagdeling af vandmassen, og i søer med laminerede sedimenter er lagdelingen af vandet oftest permanent året rundt.

Men hvorfor er disse laminerede sedimenter interessante? Først og fremmest fordi de giver mulighed for at etablere en yderst præcis tidsrækkefølge for resultaterne af de analyser, man måtte vælge at foretage af sedimenterne og deres indhold af fossiler. De laminerede sedimenter i Sarup Sø ligger før landbruget blev indført og vil derfor med stor fordel kunne bruges til studier af klimaændringer og disse ændrings indflydelse på det terrestiske og akvatiske økosystem. Sådanne studier kan i sidste ende være med til at forudsige, hvilke konsekvenser fremtidige klimaændringer vil kunne få for vor tids terrestiske og akvatiske miljøer. Efter landbrugets indførelse er det her i landet vanskeligt at foretage studier af klimaændringer. Dette forhold påpegede Johs. Iversen allerede i et arbejde i 1960 [oversat fra engelsk]: "I bondestenalderen var Danmark formentlig et af de tættest befolkede områder i Europa. Derfor er det i dette land vanskeligt vha. pollendiagrammer at opnå et klart billede af den klimatiske udvikling i denne fase fordi de relevante vidnesbyrd sløres af omfattende kulturindgreb." Hertil kan føjes, at dette ikke kun gælder pollendata, men også de fleste andre palæodata. De laminerede sedimenter fra Sarup Sø er nu lagt i kølerummet, mens arbejdet i første omgang koncentrerer om at belyse det spændende samspil mellem de tidligste bønderes aktiviteter i landskabet og udviklingen i det terrestiske og akvatiske miljø.

Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer

Heidi C. Barlebo

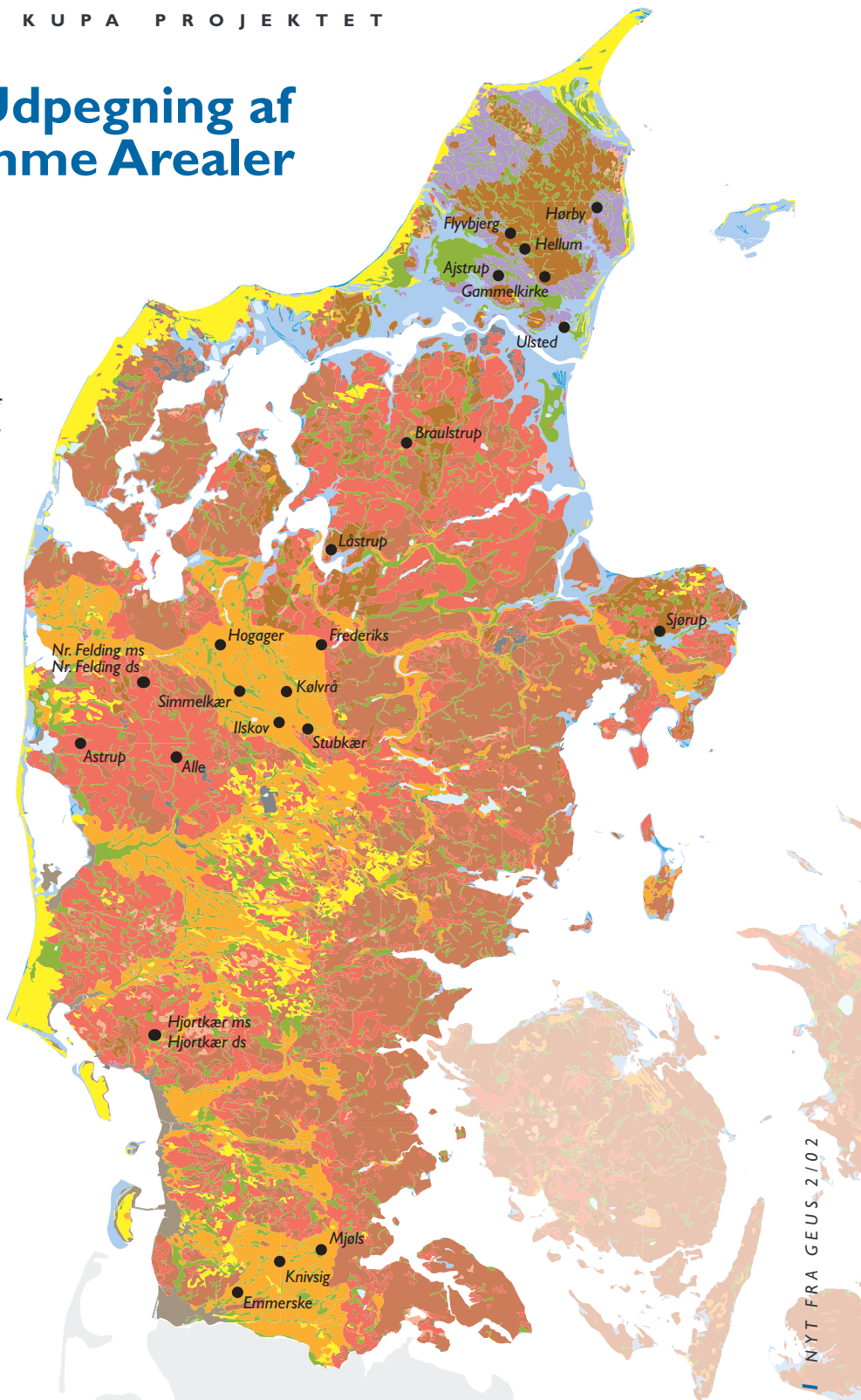
KUPA-projektet går ud på at planlægge hvordan pesticidfølsomme arealer kan indkredses og udpeges.

Grundvandet i Danmark er hovedkilden til drikkevandsforsyningen i landet. De sidste mange års overvågning af grundvandets kvalitet og mængde har vist at vandet utilsigtet er blevet påvirket bl.a. med sprøjtegifte (pesticider).

Kort over Jylland med angivelse af feltlokaliteter.

Legende

	Flyvesand
	Ferskvandsdannelse
	Marskaflejninger
	Havaflejninger
	Strandvolde
	Morænesand og -grus
	Moræneler
	Smeltevandssand og -grus
	Smeltevandsler
	Extramarginale aflejninger
	Ældre havaflejninger
	Prækvartær
	Søer



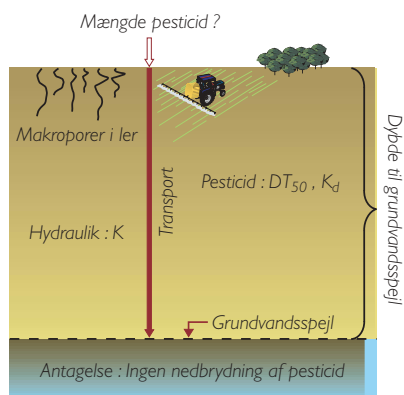
Da pesticider bruges til at dræbe organismer med, har deres forekomst i grundvandet naturligt vakt bekymring hos offentligheden. Folketinget har derfor bestemt at grundvandet skal beskyttes bedre mod forurenende stoffer. For at opnå dette skal landet opdeles i zoner med henholdsvis følsomme og mindre følsomme områder over

for påvirkning af pesticider ("pesticidzone-ring") og andre forurenende stoffer. Der skal derefter iværksættes handlingsplaner til beskyttelse af arealer hvor der findes grundvand som er truet.

Amterne skal udføre opdelingen eller zoneringen, men kan det lade sig gøre? og i givet fald, hvordan gøres det?

Formål

Det overordnede formål med KUPA ("Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer") er at undersøge muligheden for at opdele landet i henholdsvis følsomme og mindre følsomme områder hvor der kan finde udvaskning sted og transport af pesticider til grundvandet. Hvis



Figur 1. Skitse af styrende parametre for pesticid-udvaskning til grundvandet.

en sådan opdeling af landet kan lade sig gøre skal der udvikles en metode til klassificering af de aktuelle arealer.

I de igangsatte undersøgelser, der kan betragtes som fase I, bliver indsatsen rettet mod områder hvor jordbunden hovedsagelig består af sand. Hvis det er muligt skal der opstilles et koncept (plan/udkast) for disse arealer. Desuden påbegyndes undersøgelser af lerområder for at bedømme muligheden for at opstille et lignende koncept for lerarealer, så en eventuel fase II for ler derefter kan iværksættes.

Projektafgrænsninger

"Pesticidzonering" skal hjælpe med til at gøre det muligt at beskytte grundvandet mod udvaskning af pesticider ved fremtidig brug. Det er kun arealernes følsomhed over for forurening i forbindelse med regelret anvendelse af pesticider der undersøges.

Med beskyttelse af grundvandet som mål har man koncentreret sig om områder hvor der foregår en nedsvivning af vand fra regn og sne til grundvandsmagasinerne. Der bliver ikke placeret undersøgelseslokaliteter på udstrømningsområder til fx vandløb.

For at kunne vurdere om beskyttelsen mod pesticidudvaskning virker generelt bliver zonerings af arealerne baseret på jordlagenes primære eller oprindelige egenskaber. De skiftende egenskaber som arealanvendelse eller driftsform, der også anses for at have stor betydning for pesticidudvaskning, er derfor ikke med som en variabel i projektet.

Resultater fra andre undersøgelser har vist, at pesticider hovedsageligt nedbrydes under iltrige (aerobe) forhold. Normalt er

der aerobe forhold dvs. ilt i jordlagene ned til grundvandsspejlet, dog kan grundvandsspejlets beliggenhed variere mange meter henover året især på lerlokaliteter hvorved tykkelsen af den umættede, iltholdige zone også kan variere.

Det er påvist at det kun er ganske få pesticider der nedbrydes i selve grundvandsmagasinerne, hvor forholdene er anaerobe dvs. iltfattige eller iltfri.

Pesticidernes skæbne i den umættede

sprøjtet ud på marken til 50% er nedbrudt.

Det er disse parametre der undersøges i projektet, se figur 1.

For lerjorde gælder det at der yderligere er væsentlige parametre som er knyttet til vand- og stofudvekslingen mellem jorden og sprækker i jorden.

For at kunne bestemme områdets følsomhed over for pesticidudvaskning skal størrelsen af de styrende parametre for



Billede fra Karup Hedeslette. Eksempel på landskabselementtype hvor pesticidfølsomme parametre undersøges på lokaliteter bestående af smeltevandssand i den umættede zone. Foto: Peter Warna-Moors (GEUS).

zone, dvs. i lagene fra jordoverfladen til grundvandsspejlet, er således altafgørende for, om pesticider udvaskes til grundvandet før de bliver nedbrudt; KUPA projektets undersøgelser foregår derfor i disse lag.

Hvad skal der laves?

Udvaskning af pesticider menes primært at være styret af, hvor længe pesticidet opholder sig under aerobe forhold, således at der kan ske en nedbrydning. De styrende parametre dvs. variable størrelser for opholdstiden er:

- dybde til grundvandsspejl (GVS);
- hydraulisk ledningsevne (K) dvs. gennemstrømningsevne
- pesticidernes sorptionsegenskaber (K_d) dvs. evne til at sætte sig på jordpartiklerne
- herudover er en vigtig parameter pesticidernes nedbrydning, som kan udtrykkes som stoffets halveringstid (DT_{50}) dvs. den tid der medgår fra et stof er

udvaskningen kendes. Ikke mindst skal vi vide besked om variationen på parameter-værdierne både inden for og mellem arealer for at gøre det muligt at bestemme, om arealerne er forskellige med hensyn til udvaskning, eller om en inddeling i zoner med forskellig risiko overhovedet kan lade sig gøre.

Samtidig skal sammenhængen mellem de forskellige parametre kendes, således at vi ved om parametrene påvirker udvaskningen i samme retning eller i modsat retning, og om bestemmelse af alle parametre er nødvendig i samtlige tilfælde, eller om fx måling af en lille dybde til grundvandsspejlet er nok til at klassificere et areal som værende følsomt.

Det ville være ideelt hvis de betydende parametre for pesticidudvaskning kendes overalt for alle pesticider; det ville betyde at det var muligt at beregne udvaskningen. Denne viden er det selvsagt ikke muligt at opnå, bl.a. fordi der anvendes mellem 50 og

Billede fra Skovbjerg Bakke. Eksempel på landskabelementtype hvor pesticidfølsomme parametre undersøges på lokaliteter bestående af morænessand eller smeltevandssand i den umættede zone. Foto: Peter Warna-Moors (GEUS).



100 pesticider inden for planteavl. Indenfor KUPA-projektet har det derfor været nødvendigt at udvælge bestemte parametre der måles ensartet på de forskellige undersøgelsesmarker, og hvor resultaterne derfor kan danne grundlag for en generalisering for større områder.

Vi anser det ikke for at være praktisk muligt at gennemføre en ensartet kortlægning over for følsomhed af pesticider så detaljeret som på ejendoms- eller matrikel-

niveau. Det er mere realistisk at klassificere større og mere sammenhængende områder. Den overordnede forestilling er, at geologien og pedologien (jordbundsforholdene umiddelbart under terrænoverfladen) afspejler sig i mange af parameterværdierne, således at geologisk og pedologisk information kan benyttes til at zonere efter. Samtidig lægges der op til, at det er muligt at gruppere forskellige pesticider efter deres sorptions- og nedbrydningsforhold.

I projektet gælder det altså om at:

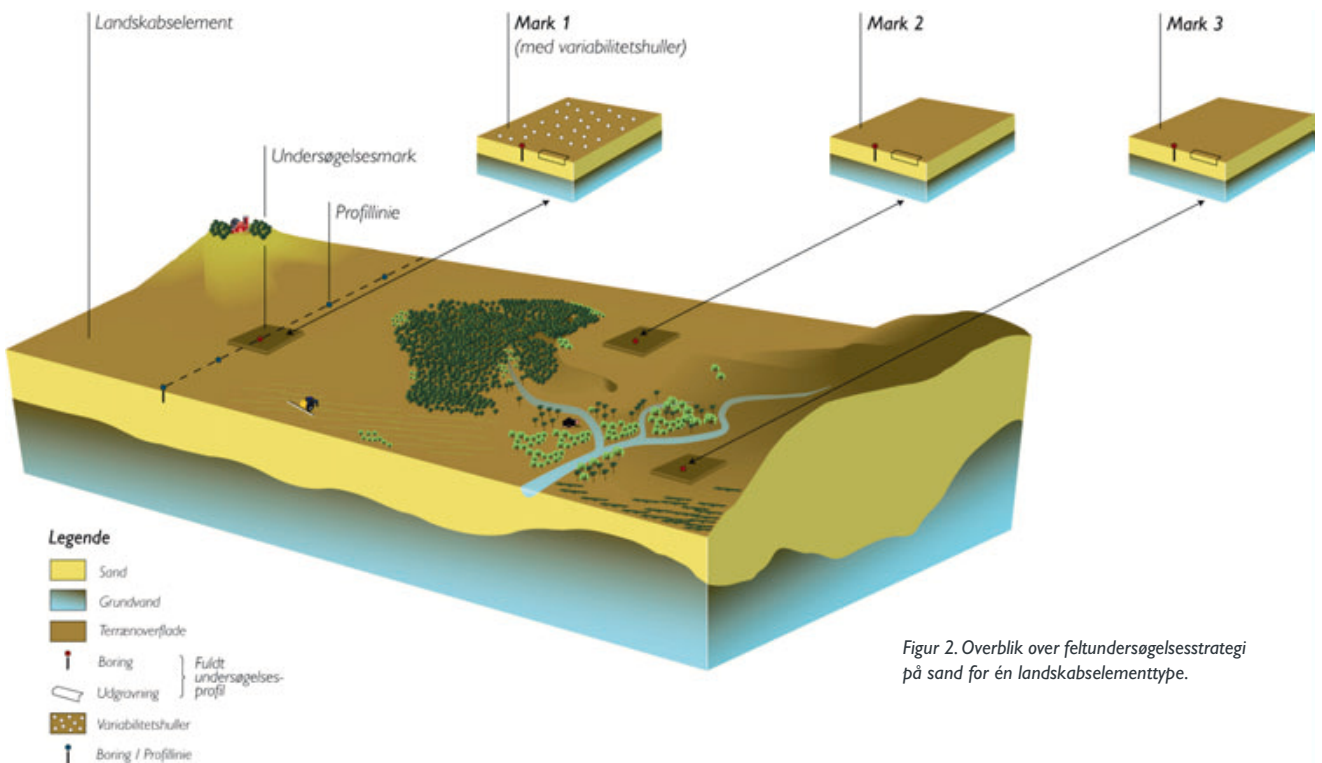
- identificere og
- sætte tal på (kvantificere) styrende parametre og bestemme deres
- sammenhæng (korrelation) og
- variation

Det hele skal sættes i forhold til de geologiske og pedologiske forhold. Endelig skal pesticiderne grupperes efter deres sorptions- og nedbryningsegenskaber og til slut beregnes den heraf forventede pesticidudvaskning og variationen i udvaskningen.

Hvordan opnås viden om sandarealer?

Landskabet kan inddeles i en række landskabelementer; disse elementer er valgt som den overordnede ramme inden for hvilke de målelige parametre og geologiske processer virker.

Landskabet ud for en gletcher (proglacialt landskab) udgør en overordnet enhed; her indgår forskellige landskabelementer fx smeltevandssletter og alluvialkegler.



Figur 2. Overblik over feltundersøgelingsstrategi på sand for én landskabelementtype.



Billeder af boreaktiviteter og geologiske undersøgelser i udgravninger.
Foto: Peter Warna-Moors og Vibeke Ernstsen (GEUS).



Der er valgt 8 forskellige landskabsselementer eller -typer, som repræsenterer forskellige sandede aflejringer i Danmark.

Feltundersøgelser

Inden for hver landskabsselementtype er der valgt 3 marker hvor der udføres detailundersøgelser. Et overblik over undersøgelsesstrategien er vist på figur 2. På alle 3 marker er der placeret et undersøgelsesprofil, som er sammensat af en udgravning og en boring ned til grundvandsspejlet, således at hele den umættede zone er dækket ind.

Fra undersøgelsesprofilerne udtages generelt prøver i fem dybder, der relaterer sig til forskellige jordhorisonter indenfor den umættede zone. Endvidere beskrives pedologien, geologien og geokemien igennem den umættede zone. Prøverne anvendes til analyse af tekstur, hydrauliske, mikrobiologiske, stofspecifikke og geokemiske parametre.

På én af de tre marker indenfor hver af de valgte landskabsselementtyper er der endvidere foretaget markvariabilitetsundersøgelser, hvilket indebærer, at der er lavet ca. 50 små udgravninger henover marken, hvori der i topjorden er foretaget målinger og udtaget prøver til bestemmelse af markvariabilitet i pedologi, tekstur, hydraulik, stofspecifikke parametre og mikrobiologi.

I tilknytning til marken med markvariabilitetsundersøgelser er der udført en profilinie. Denne består af fire borer, der i

forlængelse af undersøgelsesprofilen på variabilitetsmarken danner en linie gennem en del af det landskabsselement, hvorpå marken er beliggende. I hver af de fire borer, der indgår i profilinien, er tekstur, hydrauliske, stofspecifikke og mikrobiologiske parametre blevet bestemt i fem dybder, og der er udført geokemiske og geologiske profilbeskrivelser.

Undersøgelserne og profilbeskrivelserne, der knytter sig til borerne i profilinien er mindre detaljeret end i undersøgelsesprofilen på de enkelte marker idet ikke så mange parametre bestemmes.

I projektet er der valgt fire pesticider som repræsenterer hhv. gruppen:

- let nedbrydelig
- svær nedbrydelig
- svagt sorberende
- stærkt sorberende

Detailundersøgelserne består i at måle sammenhørende parameterværdier for:

1. transport,
2. nedbrydning og
3. sorption af pesticider og deres variation i op til fem dybder i den umættede del af hvert jordbundsprofil på de enkelte marker og karakterisere profilerne både geologisk og pedologisk.

De indsamlede felldata bliver analyseret for at se, om der er sammenhæng mellem parameterværdierne og de geologiske og pedologiske forhold.

Variationen på parameterværdierne inden for ét profil, én landskabsselementtype og én mark bestemmes.

Identifikation af styrende mekanismer

Bestemmelse af de parametre der er med til at styre pesticidudvaskning udføres ved at opstille matematiske modeller for de undersøgte profiler og undersøge de målte parametres betydning for udvaskning. Parameterværdierne og deres variation benyttes i modellerne til at beregne den forventede pesticidudvaskning og variation i udvaskning. For at sikre kvaliteten af modelleringen afprøves modelleringsmetoden også på lokaliteter, hvor der er målt vandstrømning og stoftransport fx markerne, der benyttes i projektet "Varslingssystem for udvaskning af pesticider til grundvandet".

GEUS er flyttet og har fået ny postadresse

Som følge af oprettelsen af "Geocenter København" i bygningskomplekset på Øster Voldgade 10, hvor der etableres et bofællesskab mellem GEUS, Geologisk og Geografisk Institut ved Københavns Universitet er GEUS i løbet af april, maj og juni flyttet fra Thoravej 8, 2400 København NV til den fremtidige fælles adresse for Geocentret:

**Øster Voldgade 10
1350 København K**

Telefon uændret: **38 14 20 00**
 Telefax uændret: **38 14 20 50**
 E-post uændret: **geus@geus.dk**
 Internetsted uændret: **www.geus.dk**
 Geocentrets Internetsted: **www.geocenter.dk**



Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljøministeriet. Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på naturressourcer- og miljøområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark og Grønland.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår. Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer.

GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

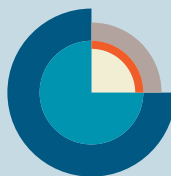
Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS

Er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

Skriv, ring eller mail:

GEUS
 Danmarks og Grønlands
 Geologiske Undersøgelse
 Øster Voldgade 10, 1350 København K.
 Tlf.: 38 14 20 00
 Fax.: 38 14 20 50
 E-post: geus@geus.dk
 Internetside: www.geus.dk



GEUS

GEUS publikationer:

Hos Geografforlaget kan alle GEUS' udgivelser købes. Henvendelse kan ske enten på tlf.: 63 44 16 83 eller telefax: 63 44 16 97 E-post: go@geografforlaget.dk Hjemmeside: www.geografforlaget.dk



Adressen er:
 GEOGRAFFORLAGET, 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion: Annabeth Andersen.

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Peter Warna-Moors.

Illustrationer: Henrik Klinge Pedersen og Annabeth Andersen.