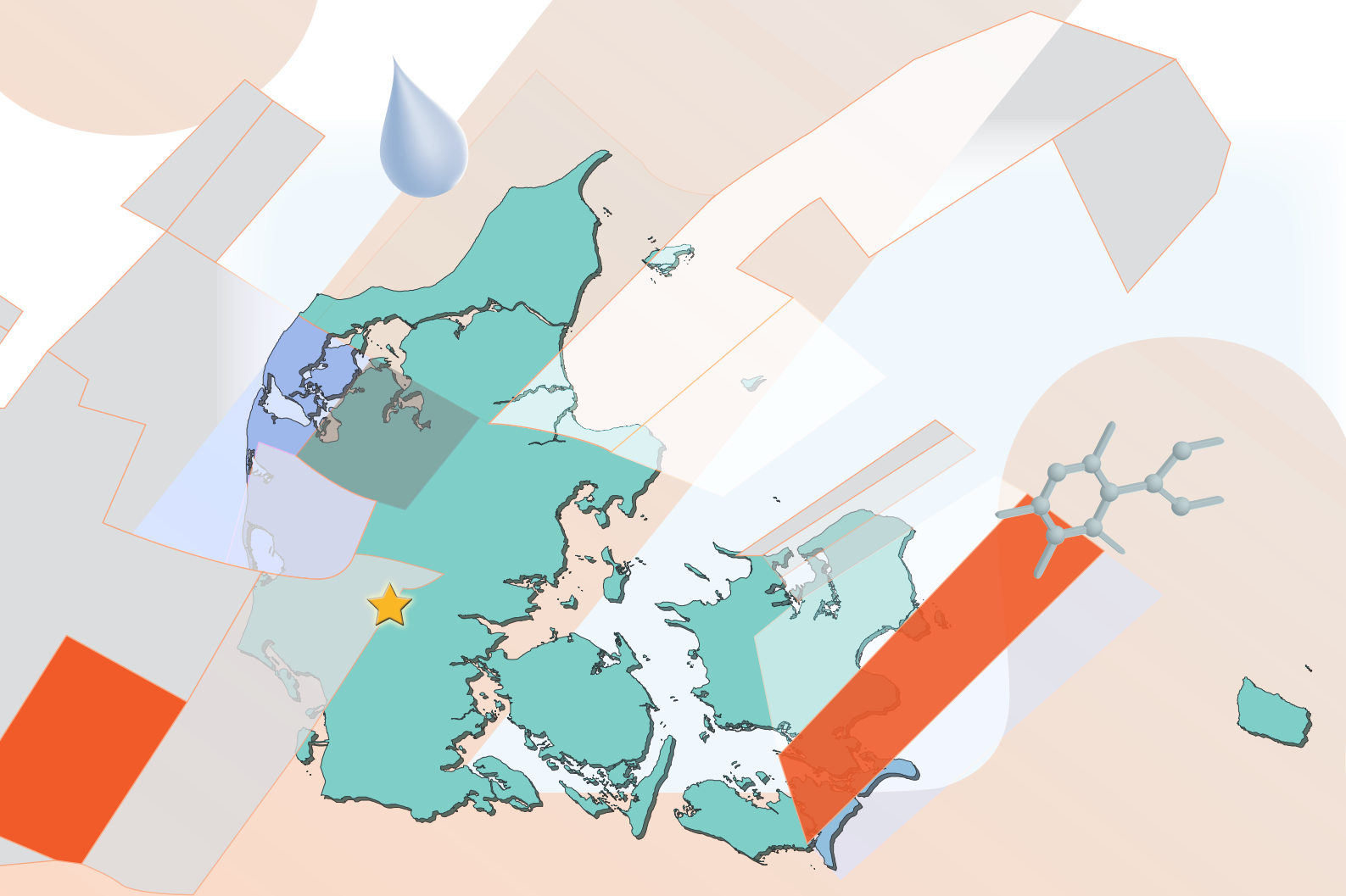


*Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA*

## **Afprøvning af zoneringskriterier for sandede jorde, Grindstedområdet, Ribe Amt**



**Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse**  
Miljøministeriet

**Danmarks JordbrugsForskning**  
Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri



**Redaktion:** Erik Nygaard  
**Omslag:** Kristian Rasmussen  
**Oplag:** 100  
**Udgivelsesår:** 2006

ISBN 87-7871-176-2

© Miljøministeriet  
Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, GEUS  
Øster Voldgade 10,  
DK-1350 København K  
Telefon: 38 14 20 00  
Telefax: 38 14 20 50  
E-post: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)  
Internet: [www.geus.dk](http://www.geus.dk)

## Afprøvning af KUPA zoneringskriterier for sandede jorde,

# Grindstedområdet, Ribe Amt

Nygaard, E.<sup>1</sup>, Greve, M.H.<sup>2</sup>, Greve, M.B.<sup>2</sup>, Iversen, B.V.<sup>2</sup>, Møller, I.<sup>1</sup>, Torp, S.<sup>2</sup>

### Forord

I 1998 fik amterne ved lov L 56 26/6 til opgave at kortlægge de områder, som er særligt følsomme overfor bestemte typer af forurening, Miljøstyrelsen, 2000. Drikkevandsudvalget fandt imidlertid, at der ikke forelå et tilstrækkeligt vidensgrundlag til at gennemføre en kortlægning af følsomheden overfor udvaskning af pesticid fra den umættede zone til grundvandet, og kortlægningen har derfor hidtil været koncentreret om følsomheden for udvaskning af nitrat. Derfor fik Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) og Danmarks JordbrugsForskning (DJF) til opgave at etablere et sådant grundlag. KUPA-projektets (Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Area-ler) resultater vedrørende sandjorde foreligger nu (KUPA-Sand; Nygaard, 2004), mens der arbejdes videre indtil 2008 med den analoge problematik for lerjorde (KUPA-Ler).

Vurderingen af følsomheden overfor udvaskning af pesticid på sandede jorde har taget afsæt i den eksisterende viden om udvaskning af pesticider og i et omfattende nyt datamateriale fra 3 undersøgelsesmarker indenfor hver af otte sandede landskabstyper i Jylland. Hovedresultatet er en identifikation af de jordegenskaber, der har den største generelle betydning for udvaskning af pesticider og adskiller sig således fra godkendelsesordningen, der er rettet mod jordens følsomhed overfor enkelt-pesticider. Resultaterne fra KUPA gør det muligt at karakterisere profilers generelle relative følsomhed. For at kunne anvende resultaterne i zoneringsøjemed må punktværdierne kunne udbredes til at karakterisere arealer under hensyntagen til variabiliteten indenfor datagrundlaget.

<sup>1</sup> Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

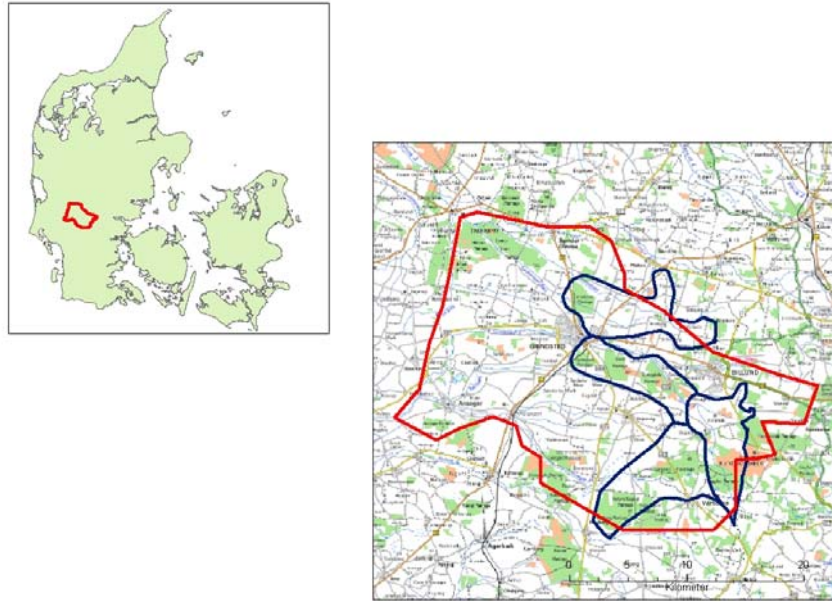
<sup>2</sup> Danmarks JordbrugsForskning

| <b>Indhold</b>                   | <b>Side</b> |
|----------------------------------|-------------|
| 1. Formål                        | 2           |
| 2. Faglige udfordringer          | 4           |
| 3. Metoder                       | 9           |
| 4. Resultater                    | 13          |
| 5. Diskussion                    | 15          |
| 6. Konklusion og perspektivering | 19          |
| 7. Tak                           | 20          |
| 8. Litteratur                    | 20          |
| Bilag 1. Beregnede pixelværdier. | 21          |

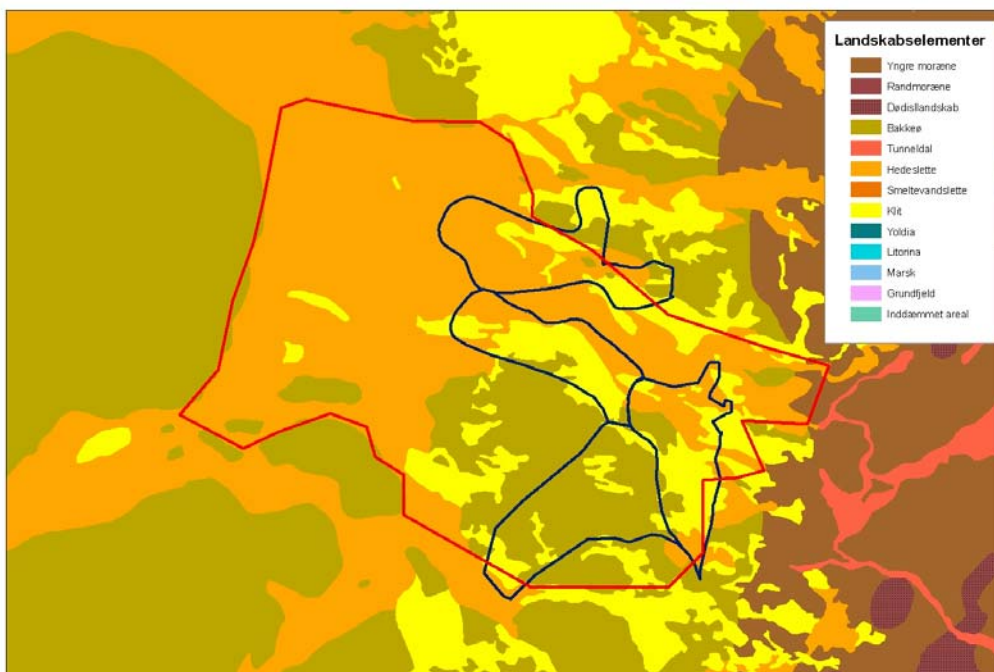
## **Formål**

Nærværende projekt har til formål at foretage en praktisk afprøvning af KUPA-Sand-projektets zoneringsprincipper på basis af eksisterende data. Projektet forløber i samarbejde med Ribe Amt. Det er her igennem hensigten at afklare hvordan, og i hvilken grad en sådan zonerings teknisk kan gennemføres med eksisterende data, samt hvorvidt resultatet stemmer overens med anden viden. Herudover søges det afklaret, om der er yderligere forhold, der generelt vil kunne have indflydelse på resultatet. Tilsvarende afprøvninger bliver foretaget i Nordjyllands og Århus Amter (Nygaard, 2006a og b) således, at anvendeligheden af resultaterne bliver afprøvet bredt under forskellige jordbunds- og geologiske forhold. De sandede aflejringer i disse øvrige afprøvningsområder omfatter Yoldia- og Litorinaaflejringer og morænesand. Samlet dækker afprøvningsarealerne de mest udbredte sandjordsvarianter i landbrugsområder i Danmark.

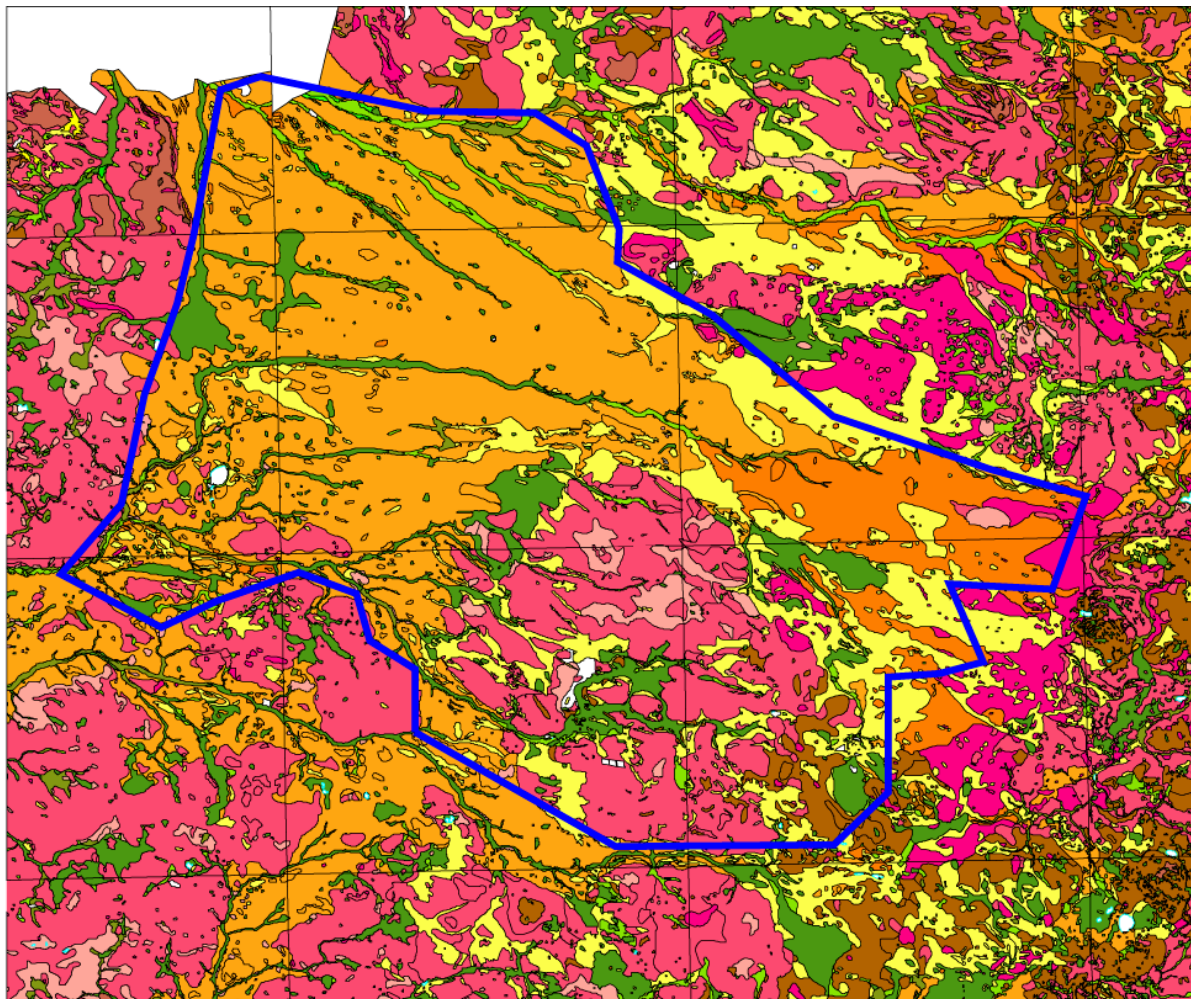
”Grindstedområdet” ligger umiddelbart vest for isens hovedopholdsline under sidste istid, hvor Grindsted hedeslette breder sig mellem bakkeøer (Figur 1 og 2). Området omfatter Hejnsvig bakkeø med sandede smeltevandsaflejringer fra istiden. Hedesletten består overvejende af senglaciale sandede ferskvandslag. I en del af området overlejes de forskellige glaciale og senglaciale lag af postglaciale ferskvandslag og flyvesand. Kun i en lille del af det østlige undersøgelsesområde er der områder med moræner (Figur 2 og 3). Bakkeøen har udgjort en ”ø” omgivet af flettede floder under dannelsen af hedesletten.



Figur 1. Grinsted undersøgelsesområdet i Ribe Amt afgrænset med en rød linie. Områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD-områder) er afgrænset med blå streg.



Figur 2. Landskabselementer i Grinstedområdet, hvor undersøgelsesområdet er afgrænset med en rød streg. Områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD-områder) er afgrænsede med blå streg.



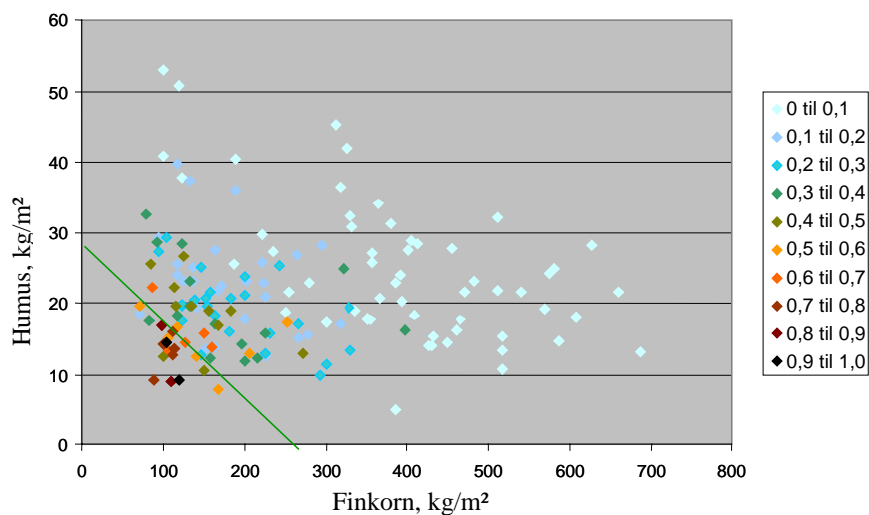
Figur 3. Jordartskort over det undersøgte område ved Grinsted, karakteriseret af Hejnsvig bakkeø som overvejende består af smeltevandsaflejringer fra næstsidste istid. Bakkeøen er omgivet af Grinsted hedeslette, som overvejende består af sandede senglaciale ferskvandslag. Signaturer: Lys/mørk orange = Senglaciale ferskvandssand/-grus, Gul = Postglaciale flyvesand, Grøn = Veksellende Postglaciale ferskvandslag, Rød = Glaciale smeltevandslag af sand og grus.

### Faglige udfordringer

Projektet "KUPA-Sand" resulterede i, at sandjordes generelle følsomhed overfor udvaskning af pesticid kan beskrives ved indholdet af Humus og Ler+Silt. Mere præcist kan følsomheden beskrives ved det volumenvægtede indhold af Humus og Ler+Silt i den øverste meter af jorden, idet lavere indhold af såvel Humus som Ler+Silt øger følsomheden. De mest følsomme profiler kan identificeres på to måder. Enten kan det være profiler med Humus- og Ler+Siltindhold under bestemte valgte afskæringsværdier, eller det kan være profiler, hvor Humus- og Ler+Siltindholdet ligger un-



der en relation mellem Humus og Ler+Silt (Figur 4). Det er her valgt at foretage følsomhedsvurderingen på grundlag af en subjektivt fastlagt relation, som ved sin hældning skiller bedst muligt mellem profiler med henholdsvis højere og lavere følsomhed (Figur 5) end den mest følsomme mark i Varslingssystem for Udvaskning af Pesticider (VAP). Denne løsning vurderes at være den mest robuste med henblik på en generel gyldighed overfor forskellige pesticider (Nygaard 2004). Særligt følsomme arealer beskrives som arealer, der er simuleret eller vurderet til at være mere følsomme end den mest følsomme mark i VAP på grundlag af de udvalgte substituerende jordparametre. Sådanne arealer med relativ høj følsomhed falder uden for forsøgsbetingelserne i VAP og betegnes derfor som særligt følsomme.

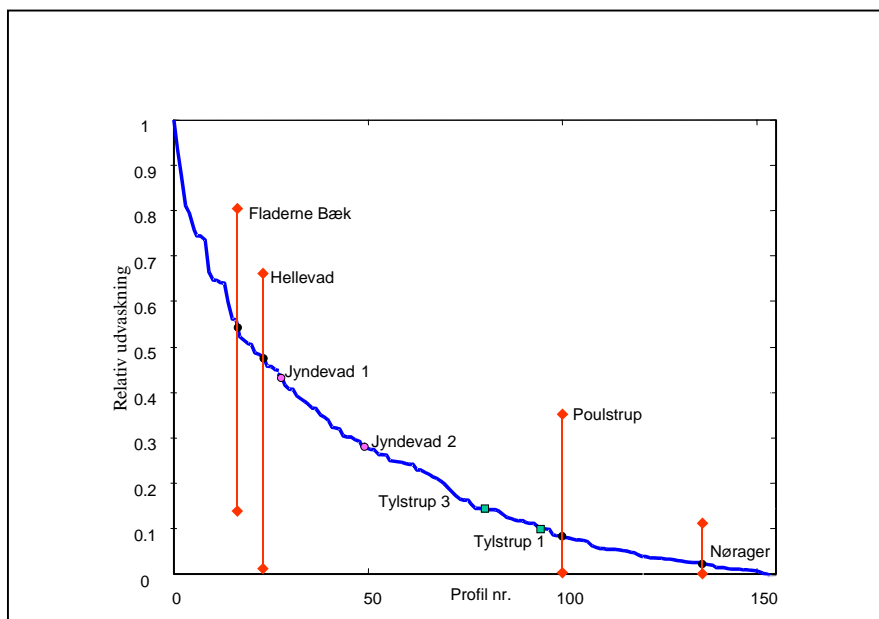


Figur 4. Sortering af den simulerede udvaskning fra et stort antal sandjordsprofiler efter volumen-vægtet Humus- og Ler+Siltindhold (Finkorn) i den øverste meter af jorden. En linie (afskæringsrelation) skiller mellem de få profiler, som er relativt følsomme overfor udvaskning af pesticid (mørke/røde punkter) og de øvrige mindre følsomme profiler. Afskæringsrelationen afspejler Humus-/Ler+Siltindholdet i de mest følsomme profiler herunder det mest følsomme Jyndevad profil, som indgår i Varslingssystemet for pesticider. Hældningen af relationen er lagt så den mest entydigt differentierer mellem de to delpopulationer (KUPA-Sand; Nygaard, 2004).

Fremgangsmåden til karakterisering af sandjords følsomhed er baseret på et datasæt, som dels består af oplysninger, som projektet har fremskaffet, dels af data fra DJFs Profil- og Teksturdata-baser. Mens projektets egne data beskriver 24 enkeltlokaliteter, dækker baserne hele landet. For at skaffe de oplysninger om den øverste meter af jorden, som er nødvendige for at gennemføre en følsomhedsvurdering efter KUPA-Sand-projektets principper, er det nødvendigt at kombinere værdierne fra jordhorisonterne A, B og C og at vægte disse værdier i forhold til lagernes tykkelse:

- For A-horisonen er der totalt ca. 43.000 punktoplysninger i Danmark, især fra Teksturdata-basen (ca. én per kvadratkilometer), men til gengæld er der ikke oplyst volumenvægt og aktuel lagtykkelse i denne base. Også Profildatabasen indeholder oplysninger om A-horisonen primært fra et  $7 \times 7$  km<sup>2</sup> grid (6.500 punkter i hele landet) og den indeholder alle de nødvendige typer af oplysninger (inklusive volumenvægt og lagtykkelse).
- B-horisonen er dækket af data fra ca. 1/10 af Teksturdata-basens punkter (uden oplysninger om volumenvægt og lagtykkelser). B-horisonen er herudover beskrevet med alle aktuelt nødvendige oplysninger for de fleste af Profildatabasens punkter. Samlet er der oplysninger fra ca. 8.500 punkter i Danmark.
- C-horisonen er beskrevet med alle aktuelt nødvendige oplysninger for ca. 2.200 af Profildatabasens punkter (Tabel 1). Jordarterne i C-horisonen er desuden kvalitativt beskrevet i 1 meters dybde og geografisk afgrænsede i forbindelse med GEUS' jordartskortlægning.





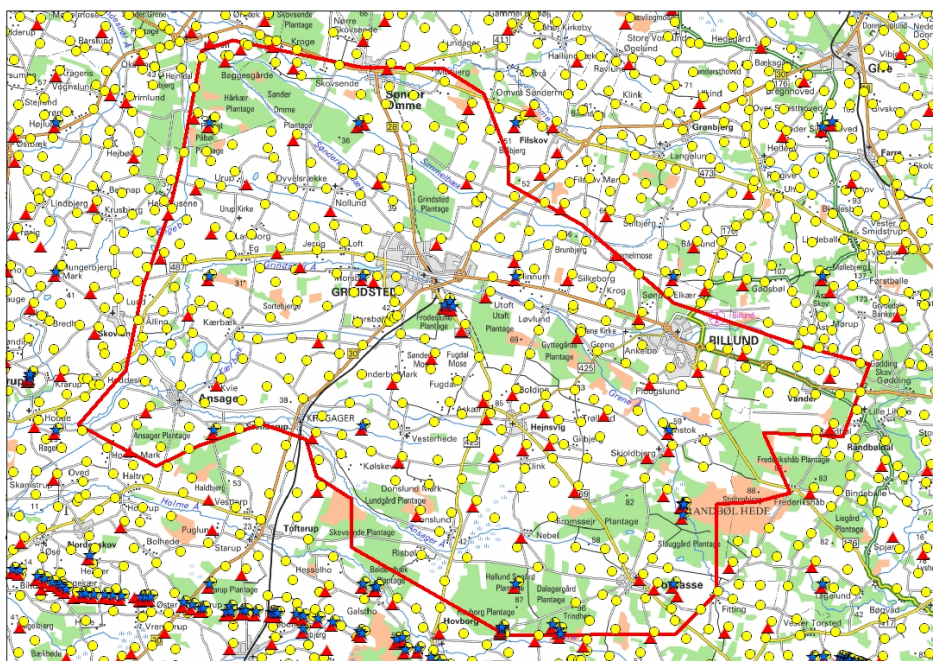
Figur 5. 155 sandjordsprofiler fra Profildatabasen, sorteret efter simuleret udvaskning (blå kurve). Profiler i Varslingssystemet for Pesticider (Jynde vad og Tylstrup) er indplaceret ved multivariat regression. Tilsvarende er projektets verifikationsmarker (Fladerne Bæk, Hellevad, Poulstrup og Nørager) indplaceret, idet medianværdien af profilerne på de enkelte marker er indplaceret på den blå kurve og spredningen mellem de 10 undersøgte jordprofiler angivet ved røde linier. Den dokumenterede spredning i korreleret udvaskning er størst ved relativ høj medianudvaskning.

Tabel 1. Eksisterende grundlag af punktdata for zoner, landsdækkende såvel som i Grindstedområdet. "Data N" er det samlede antal oplysninger for hver horisont.

| Horisont                            | Data N<br>(hele DK) | Data N<br>(Grindsted-området) |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| A                                   | 43.000              | 298                           |
| B                                   | 8.500               | 84                            |
| C                                   | 2.200*              | 24*                           |
| Antal fuldt datadækkede lokaliteter | 2.200               | 24*                           |

\*I en del profiler strækker B-horisonten sig ned til 1 meters dybde.

Der er 2.200 punkter i Danmark (Tabel 1), hvortil der er knyttet de fuldt fornødne data, således at KUPA-Sand-projektets resultater kan implementeres direkte disse steder. En mindre del af disse punkter er lokaliseret ikke repræsentative steder langs installationer såsom Gasledninger, mens de øvrige punkter findes i et  $7 \times 7$  km<sup>2</sup> net. I Grindstedområdet er der 24 sådanne punkter, hvor følsomheden kan vurderes direkte. Punkternes beliggenhed i området ses på Figur 6.



Figur 6. Lokalisering af tilgængelige punktoplysninger er i Grindstedområdet. Gule, røde og blå punkter er henholdsvis A-, B- og C-horisont, idet alle datadækkede horisonter er angivet).

Der er således på landsplan i gennemsnit et punkt for hver ca. 20 km<sup>2</sup>, hvor følsomheden kan vurderes direkte på sammenhørende og tilstrækkelige data (i Grindstedområdet er der en bedre datadækning med et punkt pr. 11 km<sup>2</sup> i gennemsnit, men 9 af punkterne findes i tre tætte grupperinger, så en mere generel datadækning er ét punkt pr 15 km<sup>2</sup>). Hvert punkt repræsenterer således et meget stort område både i forhold til den store variation i jordartstype (Figur 3) og landskabselementer (Figur 2). Punkterne kan dog ved nogle antagelser og generaliseringer i et vist omfang suppleres med data fra Teksturdata-basen, så der opnås en højere tæthed/bedre dækning.

Udfordringen er derfor at udnytte alle de eksisterende punktdata til at karakterisere arealers følsomhed overfor udvaskning af pesticid på et detaljeringniveau, som tilstræber jordartskortenes detalje, frem for at data alene repræsenterer følsomheden i punkterne.

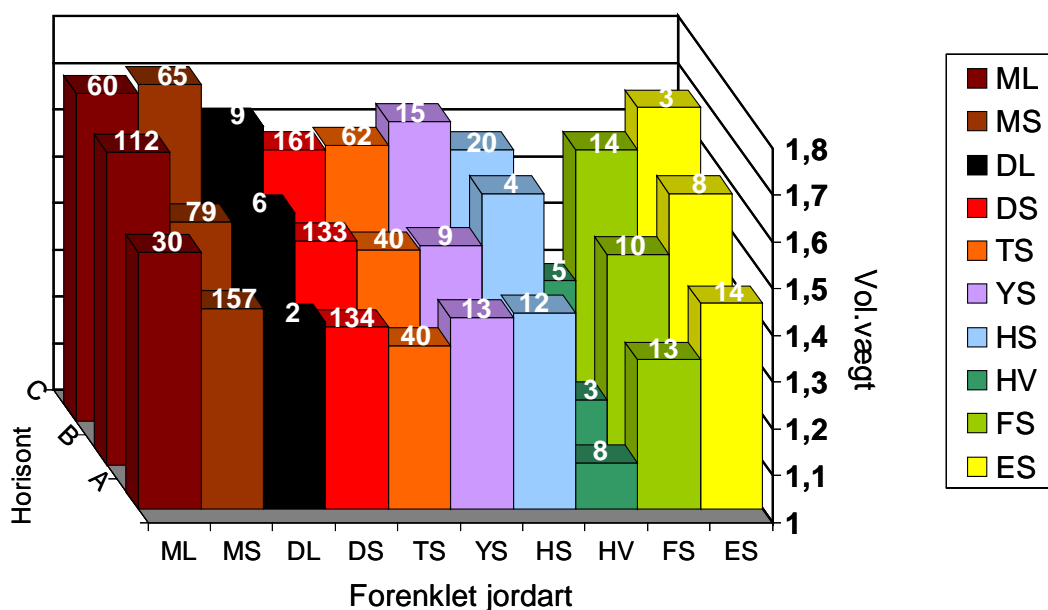
## Metoder

Med den uensartede datadækning både i forhold til areal og værdier (Tabel 1) vil der ved en manuel vurdering af følsomheden skulle foretages en midling og ekstrapolation af punktværdier i et omfang svarende til den statistiske analyse, som er beskrevet herunder, men på et snævrere datagrundlag. Da variabiliteten ikke er kendt er det derfor valgt alene at fokusere på den systematiske statistiske følsomhedsvurdering.

Omsætningen af punktoplysninger til arealværdier i følsomhedsvurderingen er sket i en integreret proces. Denne proces har nogle elementer som optimerer data, hvorved det tilstræbes at komme om ved manglerne i datasættet.

Teksturdatabasens og Profildatabasens oplysninger om Humus og Ler+Silt slås sammen indenfor hver af A-, B- og C-horisonterne, så vi har den tættest mulige datadækning. Dette indebærer, at der ses bort fra horisonternes aktuelle tykkelser indenfor den øverste meter, idet de som standard antages at være hhv. 30, 40 og 30 cm tykke. Herved reduceres variabiliteten i forhold til de virkelige geografiske forskelle mellem punkterne, - et aspekt som muligvis delvist vil kunne kompenseres. Der er oplysninger om volumenvægt for en del profilpunkter, men de mangler for Teksturdatabasens punkter. Der tillægges imidlertid en volumenvægt til alle A-, B- og C-horisonter i Tekstur- og Profildatabasernes punkter i form af medianværdier for de aktuelle jordarter.

Volumenvægten er undersøgt på grundlag af data i Profildatabasen, som er indsamlet i månederne juni-september, med henblik på at reducere jordbearbejdningens indvirkning. Det er uden held blevet forsøgt at finde en korrelation mellem teksturparametre og volumenvægt. Derfor er data i stedet sorteret efter jordartsoplysninger i Profildatabasen, hvorefter der er udregnet median volumenvægte for A-, B- og C-horisonter (Figur 7).



Figur 7. Medianvolumenvægte i  $\text{g/cm}^3$  i A-, B- og C-horisonter, sorteret efter jordartsoplysninger i Profildatabasen. Det ses, at volumenvægten generelt stiger med ca.  $0,1 \text{ g/cm}^3$  fra A- til B-horisonen og tilsvarende fra B- til C-horisonen. Ved hver søjle er det angivet hvor mange datapunkter, der indgår i beregningen. De jordarter, som er dårligst dækket med data, er også de mindst relevante for følsomhedsvurderingen, fordi de enten udgør naturarealer eller lavbunde. Data vedrørende lerjordene er ikke aktuelt relevante. ML=moræneler, MS=morænesand, DL=smeltevandssler, DS=smeltevandssand, TS=senglaciale ferskvandssand, YS=senglaciale saltvandssand, HS=postglaciale saltvandssand, HV=vekslende postglaciale saltvandsslag, FS=postglaciale ferskvandssand og ES=postglaciale flyvesand.

### Identifikation af de særligt følsomme arealer:

Der udarbejdes landsdækkende tekstur kort i 3 dybder, hvor datagrundlaget for A- og B-horisonterne er Teksturdata-basen og Profildatabasen, og for C-horisonnten udelukkende Profildatabasen.

A- og B-horisonterne:

Den grundlæggende metode for udarbejdelsen af kortet er geostatistisk interpolering. Da jordens variabilitet er meget forskellig for forskellige landskabstyper, er materialet underopdelt således, at hver landskabstype er blevet behandlet for sig. Danmark blev delt op i 6 landskabstyper: Weichsel moræne, Saale moræne, postglacial marin, Yoldia, flyvesand og glaciofluvial. Med hensyn til jordens humusindhold er jordens "lavbundshistorik" anvendt til at underopdele landskabet i 3 klasser: Højbund, opdyrket lavbund og uopdyrket lavbund. Disse informationer er udledt af lavbundkortet, fra DJF's databaser samt Plantedirektoratets blokkort.

Inden for hver landskabstype er A-horisonstens teksturfraktioner kriging-interpoleret og disse interpoleringer er efterfølgende samlet til landsdækkende kort over ler, silt og humus i 250 meter pixelstørrelse. I B-horisonnten er samme metode anvendt. Det er dog udnyttet, at der er en korrelation mellem A- og B-horisonnten, hvorfor der er anvendt Co-kriging til interpoleringen. De færdige kort har en pixelstørrelse på 500 meter. Den noget grovere opløsning end for A-horisonnten hænger sammen med det mindre data grundlag, som ligger bag interpoleringen.

C-horisonnten

I C-horisonnten er punkttætheden for lille til at kunne udføre geostatistisk interpolering. Det er derfor beregnet medianværdier for jordarterne. Alle de anvendte profilpunkter har fået en jordart tilknyttet ved overlay mellem punkterne og det geologiske jordartskort. Til hvert punkt er der ligeledes knyttet en georegion. Der er således beregnet medianværdier for ler, silt, og humus for punkter som falder indenfor sammen jordtyper i samme georegion. Det færdige kort for C-horisonnten har en pixelstørrelse på 500 meter.

Der er fremstillet pixelkort med angivelse af relativ følsomhed af sandjordsområderne. Dette er sket ved at lave et rasterkort med det vægtede indhold af Humus, Ler+Silt samt Volumenvægt til én meters dybde, jævnfør relationen i Figur 8. Det resulterende pixelkort over relativ følsomhed identi-

ficerer de arealer som falder i den mest følsomme kategori. Ved yderligere at forskyde følsomhedsrelationen mod højere indhold af Humus og Ler+Silt er sandjordene klassificeret efter en trinvis følsomhedsskala (Figur 8 og 9, Bilag 1). Denne indikation af grader af følsomhed er benyttet med henblik på at kunne introducere variabilitetsafhængigheden jævnfør Figur 5.

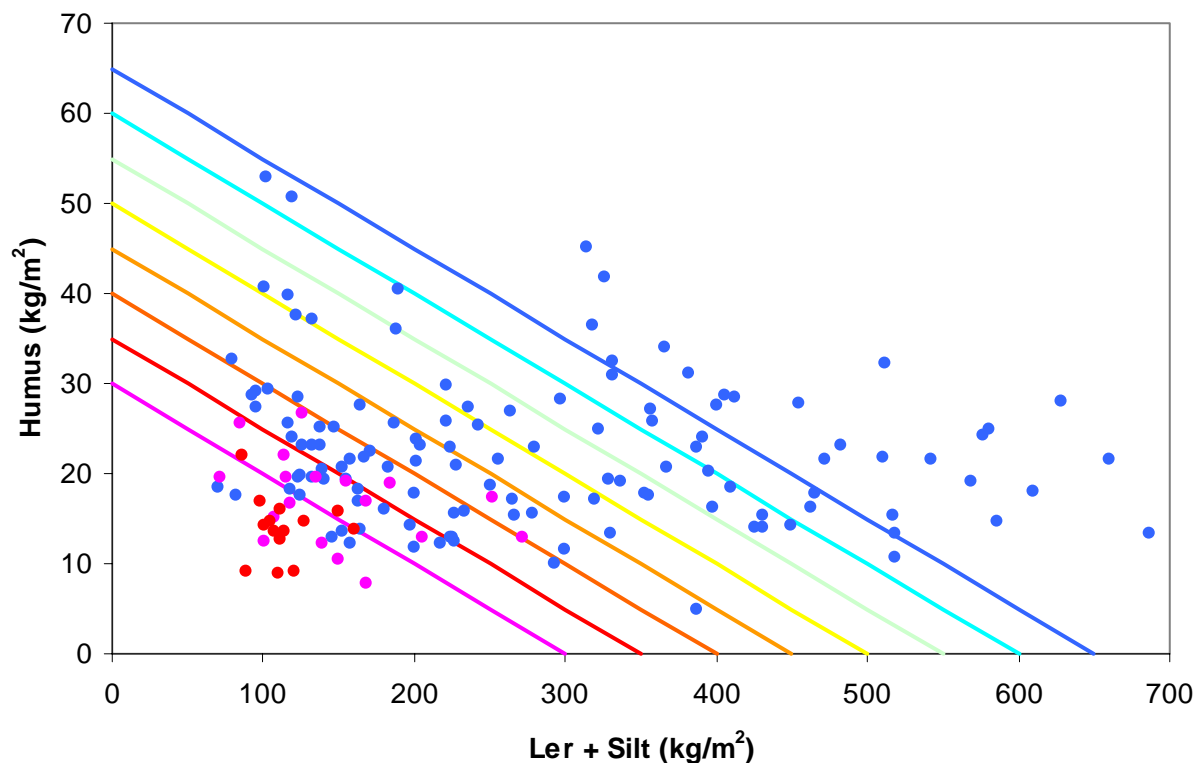
Et eksperiment med programmet "Topographic Position Index" (Extension til ArcView) viser at landskabet kan opdeles efter topografisk position. Der er potentiale i denne procedure på tværs af jordartstyper til at kunne udlede nogle generelle tendenser om fx stigende humusindhold ned ad bakke og dermed forbedring af følsomhedsvurderingerne.

Ud over den nævnte topografiske effekt pga. mekaniske processer genereres der relativt mere humus i lavtliggende og mere fugtige områder. Denne effekt af topografien er inddraget i den aktuelle vurdering af følsomhed gennem Lavbundstemaet.

## Resultater

Der er foretaget en praktisk afprøvning af zoneringsmetoden for sandjordes generelle følsomhed overfor udvaskning af pesticid baseret på resultater fra KUPA-Sand-projektet. Afprøvningen er foretaget efter et GIS-princip, hvorved den samlede følsomhed overfor udvaskning gennem den øverste meter af jorden er vurderet (Figur 9).

Zoneringskriteriernes geografiske udmøntning (jævnfør Figur 5) er vist som pixelkort i Figur 9, hvor områder med mere end 10% ler (lerjordsområder) er holdt udenfor vurderingen. Inputdata til beregningen for hele Danmark (minus Bornholm) vedrørende Humus- og Ler+Siltindhold i den øverste meter af jorden samt beregnet følsomhed er vist i Bilag 1. Det fremgår af bilaget, at de generelt mest følsomme områder ligger på flyvesand og de grovkornede dele af hedesletterne.

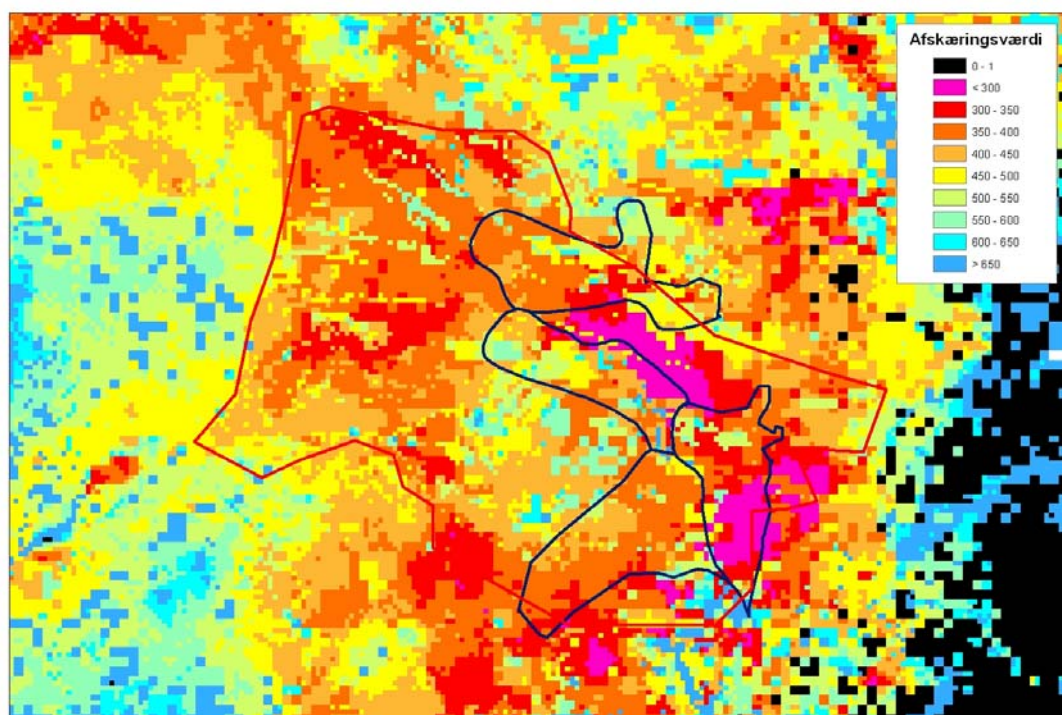


Figur 8. Illustration af sandjordes beregnede følsomhed overfor udvaskning af pesticider i kategorier, som er opstået ved trinvist at forskyde afskæringsrelationen, Figur 4, mod højere indhold af Humus og Ler+Silt. Farveskalaen for linierelationerne benyttes også til pixelværdierne i Figur 9.



Pixelværdierne for følsomhed er en form for middelværdi for den enkelte pixel, hvori der også tages hensyn til værdierne for de omgivende pixels. Lokal variation i følsomhed bliver derfor undertrykt, hvilket indebærer, at der indenfor de enkelte pixels med ”høj følsomhedsværdi” vil kunne forekomme mindre arealer, hvor følsomheden er lavere eller lav. Omvendt vil der indenfor områder, hvor ”pixelværdien er lav”, kunne forekomme mindre arealer, hvor den reelle følsomhed er høj. Pixelkortet viser således det generelle niveau for den enkelte pixel. Beskrivelse af eventuelle afvigelser i aktuel følsomhed i forhold til pixelkortets angivelse, og som derfor beskriver variabiliteten i større detalje end pixelkortet fordrer, at der er eller etableres et mere detaljeret datasæt end det nuværende (landsdækkende).

Grindstedområdets generelle følsomhed overfor udvaskning af pesticid til grundvandet vurderes således som værende intermediær til relativt høj.

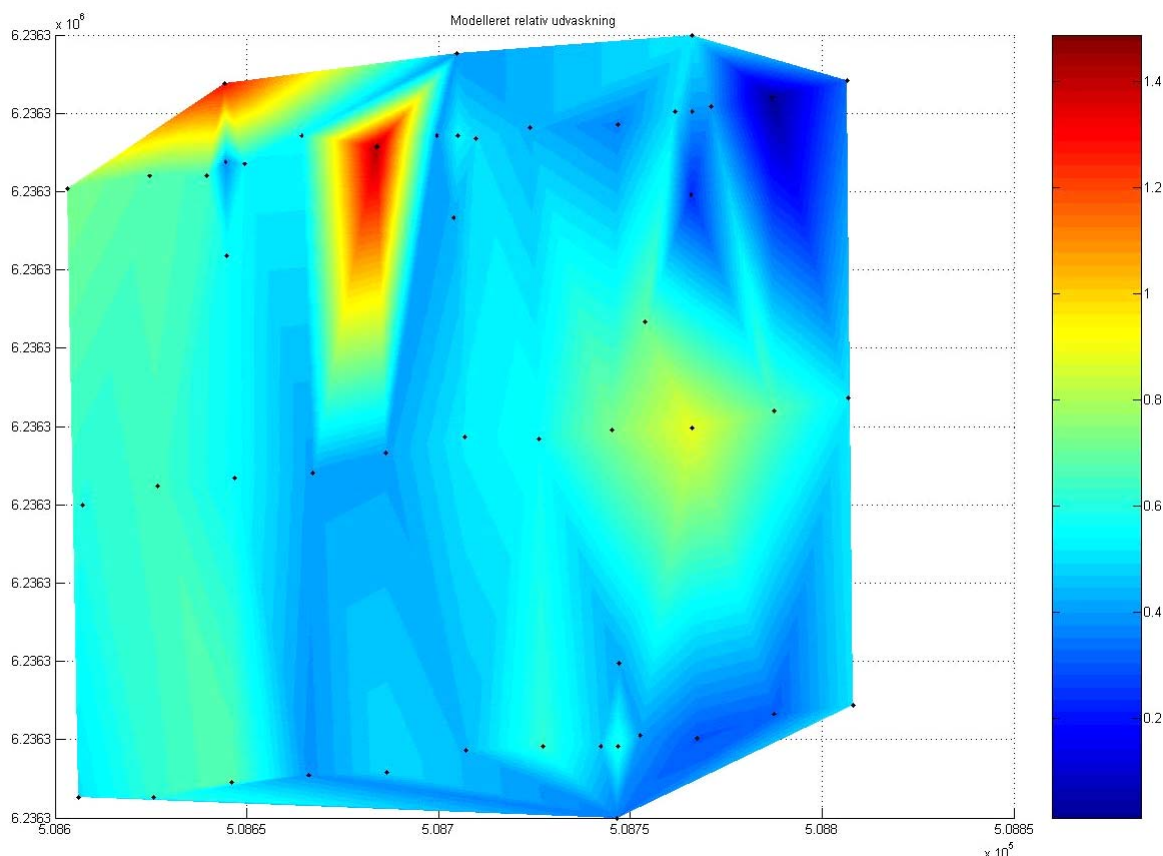


Figur 9. Pixelkort over undersøgelsesområdet ved Grindsted. Farvekoden for grader af følsomhed overfor udvaskning af pesticid er yderligere illustreret i Figur 8. Mindste pixelstørrelse er 250x250 m<sup>2</sup>. Den generelle følsomhed i området er intermediær til relativt høj (se Bilag 1 for datagrundlag og landsoverblik). Den røde linie afgrænser undersøgelsesområdet. Blå linier afgrænser OSD-områder.

## Diskussion

Simulerede eller korrelerede følsomheder overfor udvaskning igennem profiler (geografiske punkter) har vist sig at kunne omsættes til praktisk arealkarakterisering af sandjordsområder og dermed til zoner. Den geografiske detaljeringsgrad i følsomheden, som er præsenteret i denne rapport, er en direkte afspejling af tætheden i inputdata, som aktuelt har ligget på ét punkt pr km<sup>2</sup>. I den konkrete beregning har det været nødvendigt at tillægge jordhorisonterne faste tykkelser og medianværdier for volumenvægt. Dette medfører en udjævning af variationen i følsomhed i forhold til den virkelige variation ved den valgte skala. Mere komplette og tættere data, lokalt såvel som generelt, vil derfor kunne detaljere variationen i følsomheden. Den ønskede detaljeringsgrad overfor udvaskning af pesticid er et valg, som må afspejle formålet med kortlægningen: fx Generel zoner eller vurdering af OSD-område.

Der er flere af de detailundersøgte marker i KUPA-Sand-projektet, som ligger indenfor de samme typer af landskabselementer, som findes i Grindstedområdet. Som eksempel er der på den proksimale hedeslette i Kølvrå undersøgt en mark på ca. 0,4 km<sup>2</sup>. På en del af denne mark er der indenfor ca. tre hektar undersøgt 50 punkter i et grid på 20 m med data for A- og B-horisonterne. Hertil er der indsamlet data for C-horisonten i et enkelt udgravet profil midt på marken. Volumenvægt er alene målt i tilknytning til dette ene profil. Ud fra KUPA-sand-zoneringskriterierne er der etableret et datasæt, hvormed der er beregnet udvaskning i de 50 punkter, hvorefter der er interpoleret lineært mellem punkterne (Figur 10). Resultatet viser, at der med den aktuelle punkttæthed er nogen variation i udvaskningen indenfor marken. Ved en sammenligning med de fem tilsvarende detailundersøgte marker i KUPA-sand-projektet, placeret indenfor forskellige landskabselementområder, fremtræder Kølvrå-marken med en mellemværdi i følsomhed og variabilitet. Ved en sammenligning af de følsomheder, der er beregnet og illustreret på pixelkortet (Figur 9 og Bilag 1), er det tydeligt, at Kølvrå-marken repræsenterer en relativt lavere følsomhed end Grindstedområdet. Dette skyldes dels, at undersøgelserne på Kølvrå-marken er gennemført på et datasæt som ikke afspejler den fulde variabilitet (Kun en oplysning om C-horisonten og kun volumenvægte fra et sted) mens pixelkortet integrerer oplysninger fra et større område. Dels skyldes det at sandjorden i Grindstedområdet er mere grovkornet end i Kølvrå. Det generelle følsomhedsniveau i Kølvrå og variabilitetsmarkens repræsentativitet vurderes at være veldokumenteret (Figur 11).

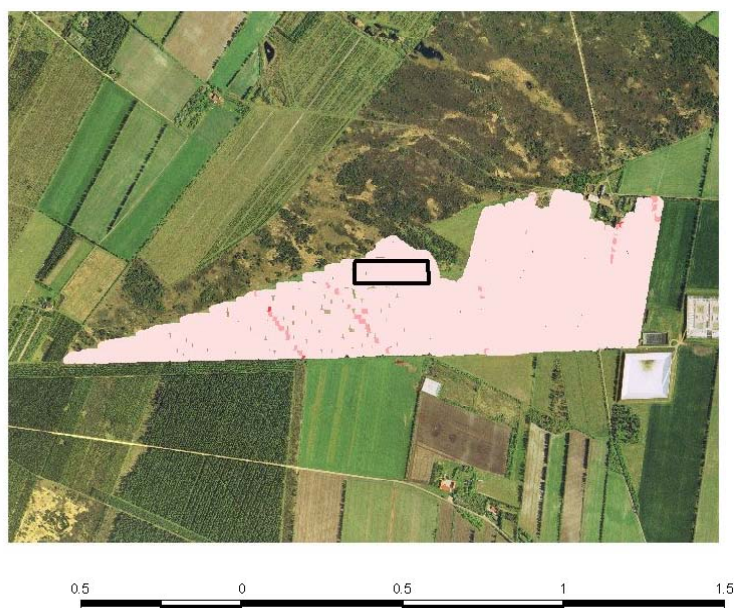


Figur 10. Beregnet følsomhed i 50 punkter indenfor Kølvrå-marken, som er detailundersøgt i KU-PA-projektet. Farveskalaen viser relativ følsomhed på en skala, hvor rød er højest. De sorte prikker på kortet er de undersøgte punkter imellem hvilke, der er interpoleret lineært. Akserne viser koordinater, men har forskellig skala. En sammenligning med Figur 11 viser, at det detailundersøgte areal er repræsentativt for et større område.

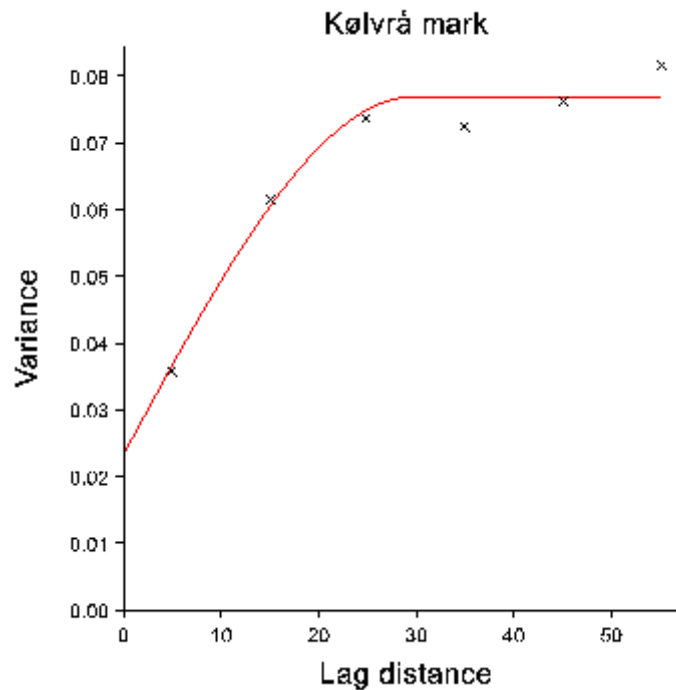
Skalaen for relativ følsomhed, som vises på pixelkortet (Figur 9 og Bilag 1), er ikke direkte sammenlignelig med følsomhedsskalaen i Figur 10, idet de to fremstillinger er baseret på hvert sit datasæt. I undersøgelsen af Kølvråmarken er der gennemgående et undersøgt punkt (profil) for hver ca. 400 m<sup>2</sup>, mens hvert datapunkt i grundlaget for pixelkortet (Figur 9) repræsenterer ca. 900.000 m<sup>2</sup>. Selvom de analyserede profiler på Kølvråmarken kun afspejler forholdene indenfor en lille del af det område, som er nøjere undersøgt, vurderes det at være repræsentativt pga. ensartetheden i ledningsevner (EM38-data) indenfor området (Figur 11). Indenfor denne jordartstype og muligvis også landskabsselement forekommer forholdene at være relativt ensartede og antagelig med begrænset lokal variabilitet. Den niveaumæssige forskel mellem det detailundersøgte områdes simulerede føl-

somhed og pixelkortet tillægges, at jorden i Grindstedområdet er mere grovkornet end ved Kølvrå. Ligeledes kan niveauforskellen tillægges, at vurderingen af C-horisont og volumenvægte for alle horisonter i det detailundersøgte område er baseret på én værdi pr lag, og derfor ikke indbefatter den variabilitet, som indgår i pixelkortet. Hvis datagrundlaget skulle være lige godt for pixelkortet og den undersøgte Kølvrå-variationsmark ville det kræve, at der blev tilvejebragt og benyttet et datagrundlag, der er 2000 gange tættere for alle datatyper end i de nuværende landsdækkende baser, samt at C-horisont og volumenvægte indgik i alle variationsmarkernes undersøgelsespunkter.

Semivariogrammet for ledningsevne målingerne fra Kølvrå-området (Figur 12) viser, at selv med en tæthed ned til en indbyrdes afstand af ca. 30 m mellem datapunkterne, vil hvert punkt indeholde ny uafhængig information.  $250 \times 250 \text{ m}^2$  er den mindste pixelstørrelse som benyttes i pixelkortet, hvilket ikke må forveksles med datatæthed. Der er i praksis og gennemsnit et datapunkt og -sæt for hver 14 pixelenheder. Forskellen mellem resultaterne af variabilitetsundersøgelserne af Kølvrå-marken og pixelkortet for Grindstedområdet afspejler bl.a. at jorden i Grindstedområdet generelt er mere grovkornet end i Kølvrå.



Figur 11. KUPA-Sand-projektets variationsmark i Kølvrå (sort indramning) og ledningsevne målinger i området (EM38). Skalaen for ledningsevne er i millisiemens. Lys rød punktsignatur svarer til 0-5 millisiemens/meter. Mørkere røde punkter (5-10 millisiemens/meter) afspejler nedgravede kabler eller rør. Den lave ledningsevne tyder på lavt lerindhold, lav fugtighed og lavt humusindhold. Variationsmarken er repræsentativt for undersøgelsesområdet.



Figur 12. Variogram af EM38-målingerne fra undersøgelsesområdet i Kølvrå. Punkterne er den eksperimentelle semivarians. Den røde linie er den bedst fittede eksponentielle model med parametrene: Range = 29 m, sill = 0,075 og nugget= 0,025 (Barlebo, 2005).

Der er i denne praktiske anvendelse af KUPA-projektets zoneringskoncept vedr. karakterisering af sandjordes følsomhed overfor udvaskning af pesticid taget udgangspunkt i eksisterende data som umiddelbart er til rådighed, og som er blevet optimeret til formålet. Generelt vil et tættere net af observationer i udvalgte følsomme områder styrke og differentiere zoneringsmuligheden. Denne differentieringsmulighed afspejler variabilitetens skalaafhængighed. Der forventes ikke at være en nedre grænse for variabilitetens afhængighed af datatætheden, hvorfor den nødvendige detaljegråd i forbindelse med generel zoneringskoncept må besluttes efter kriterier for zonernes praktiske anvendelighed.

Et af de aspekter, som der er taget højde for, er det større indhold af Humus og Ler+Silt i lavbunds-områder. Analogt hermed vil topografiens effekt på følsomheden antagelig kunne indarbejdes, hvilket ville detaljere analysen i forhold til, hvor der pløjes jord væk fra bakketoppe og –skuldre, hvor nedbør og frost/tø variationer fjerner materiale fra opragende områder, og forskelle i naturlig humusdannelse.

Følsomhedskortet er beregnet for landbrugsområder. I det omfang, der er befæstede områder, infrastruktur, skove og OSD-områder indenfor det studerede areal, bør der tages stilling til relevansen af analysen. Undersøgelsen er fokuseret på pesticider, men kan forventes også at være relevant for andre kemiske forbindelser med transport-, bindings- og nedbrydningsegenskaber svarende til hovedgruppen af pesticider (se Nygaard, 2004).

I dette eksempel er det vist, hvordan jorden kan karakteriseres efter følsomhed overfor udvaskning af pesticid. Dette indebærer, at hver følsomhedskategori kan opfattes som en zone, bestående af de pixels der har den pågældende værdi. I praktisk brug vil det antagelig være hensigtsmæssigt at samle pixelværdierne i tre klasser: de som anses for at være særligt følsomme, de som anses for ikke at være særligt følsomme, og evt. de som potentielt kan være særligt følsomme, og hvor en eventuel afklaring af dette spørgsmål kræver yderligere indsats.

## **Konklusion og perspektivering**

Med denne rapport, og de to rapporter fra de øvrige afprøvningssteder anses det for vist, at der i praksis kan laves en regional zonerings for sandjorde vha. eksisterende data. For det undersøgte område i nærværende rapport (Grindstedområdet) vurderes den generelle følsomhed overfor udvaskning af pesticid til grundvandet til at være intermediær til høj.

Der eksisterer oplagte muligheder for yderligere at optimere zoneringsen med eksisterende data. Dels ved at afklare topografiens sammenhæng med indholdet af Humus, Ler+Silt og Volumenvægt, dels ved at afklare A- og B-horisonernes tykkelsesvariation i forhold til topografien. Ved at etablere generelle sammenhænge om disse forhold vil der kunne skabes et værktøj, som kan bruges til at nuancere de eksisterende data og dermed til at detaljere og optimere zoneringsen. Derudover vil et tættere net af observationer i udvalgte følsomme områder styrke zoneringsen.



Ved en eventuel sammentegning af de pixellerede følsomheder til geografiske zoner må der tages hensyn til usikkerheden i beregningerne. Dette kan gøres ved hjælp af et GIS-værktøj og/eller en fremgangsmåde, som er etableret i anden sammenhæng (fx for nitratzonering), idet kontureringsmetoderne er uafhængige af datatyperne.

## **Tak**

Ribe amt, Dansk JordbrugsForskning og Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse takkes for bidrag og medvirken til den praktiske afprøvning af zoneringsprincippet.

## **Litteratur**

Barlebo, H.C. (Red.), 2002. Undersøgelser- og analysemetoder anvendt i forbindelse med undersøgelser af sandlokaliteter: Hvilke metoder er anvendt, og hvilke overvejelser er gjort?, Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, Rapport nr. 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Danmarks JordbrugsForskning, 62 pp.

Barlebo, H.C. (red.), 2005. Undersøgelse af senglacial marint sand indenfor Yoldiafladen: Basisdata fra undersøgelser i Vendsyssel. Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, Rapport nr. 3, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Danmarks JordbrugsForskning, 139 pp.

Miljøstyrelsen, 2000: Zonering. Vejledning Nr. 3 2000, 156 pp.

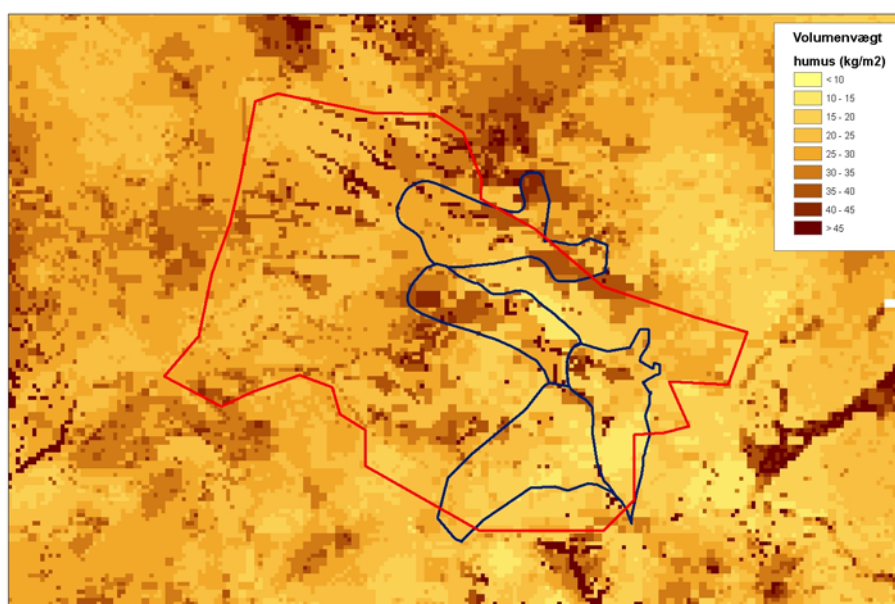
Nygaard, E. (Red.) 2004: Særligt persticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zonering. Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Danmarks JordbrugsForskning, 319 pp.

Nygaard, E., Greve, M.H., Greve, M.B., Iversen, B.V., Møller, I. og Torp, S., 2006a: Afprøvning af KUPA zoneringskriterier for sandede jorde; Vester Hassingområdet, Nordjyllands Amt. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Danmarks JordbrugsForskning, 24 pp.

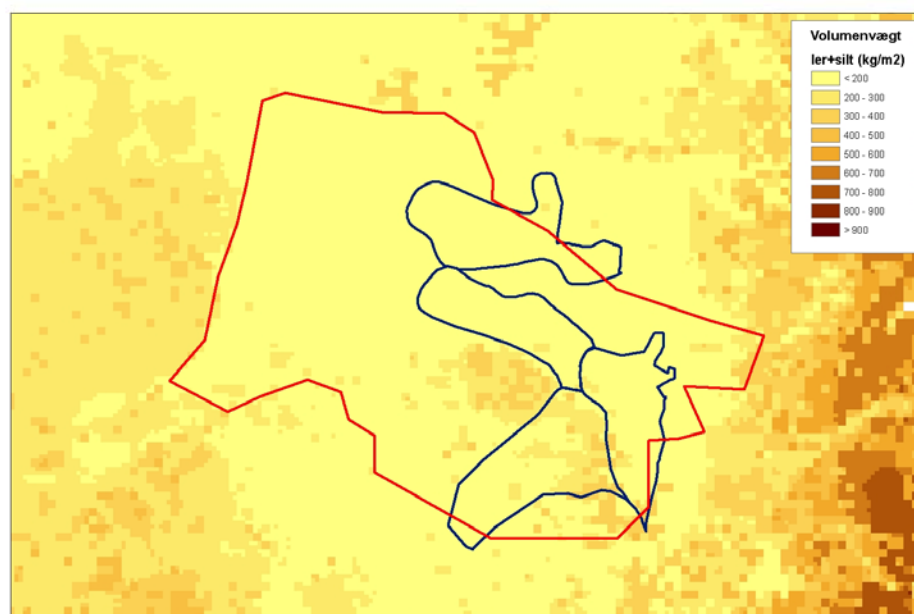
Nygaard, E., Greve, M.H., Greve, M.B., Hallermund, F.v.P., Iversen, B.V., Møller, I. og Torp, S., 2006b: Afprøvning af KUPA zoneringskriterier for sandede jorde; Nordøstlige Djursland, Århus Amt. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Danmarks JordbrugsForskning, 24 pp.



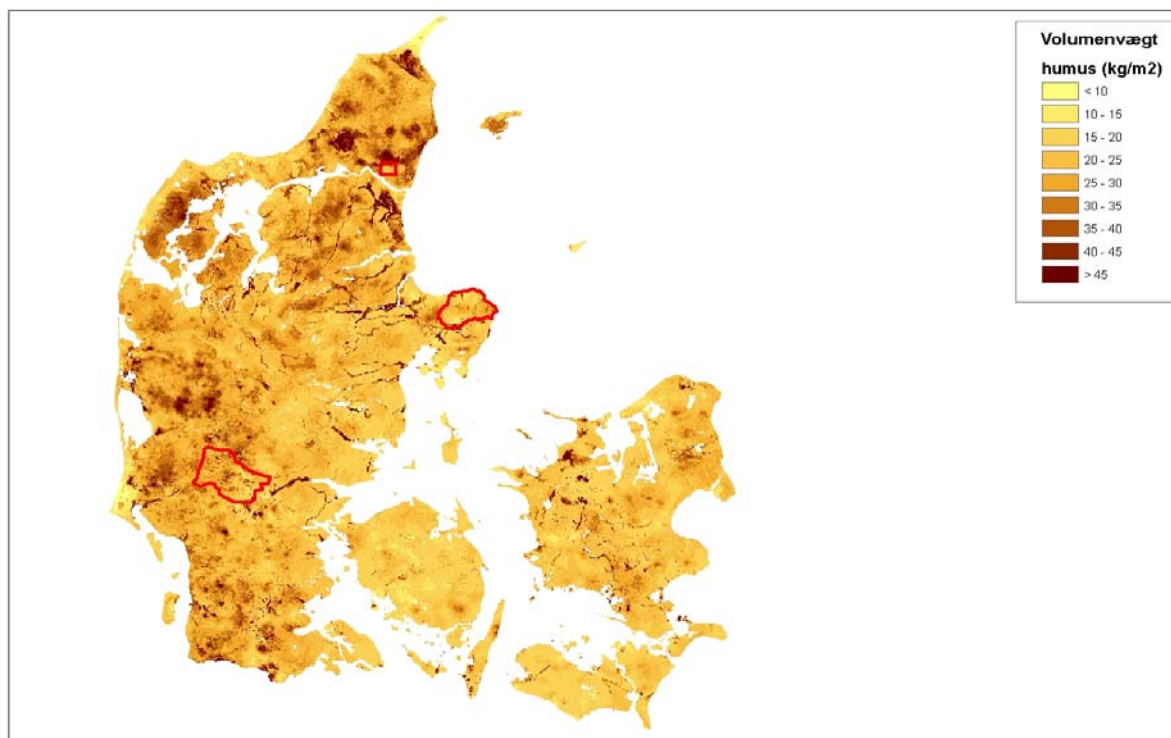
## Bilag 1.



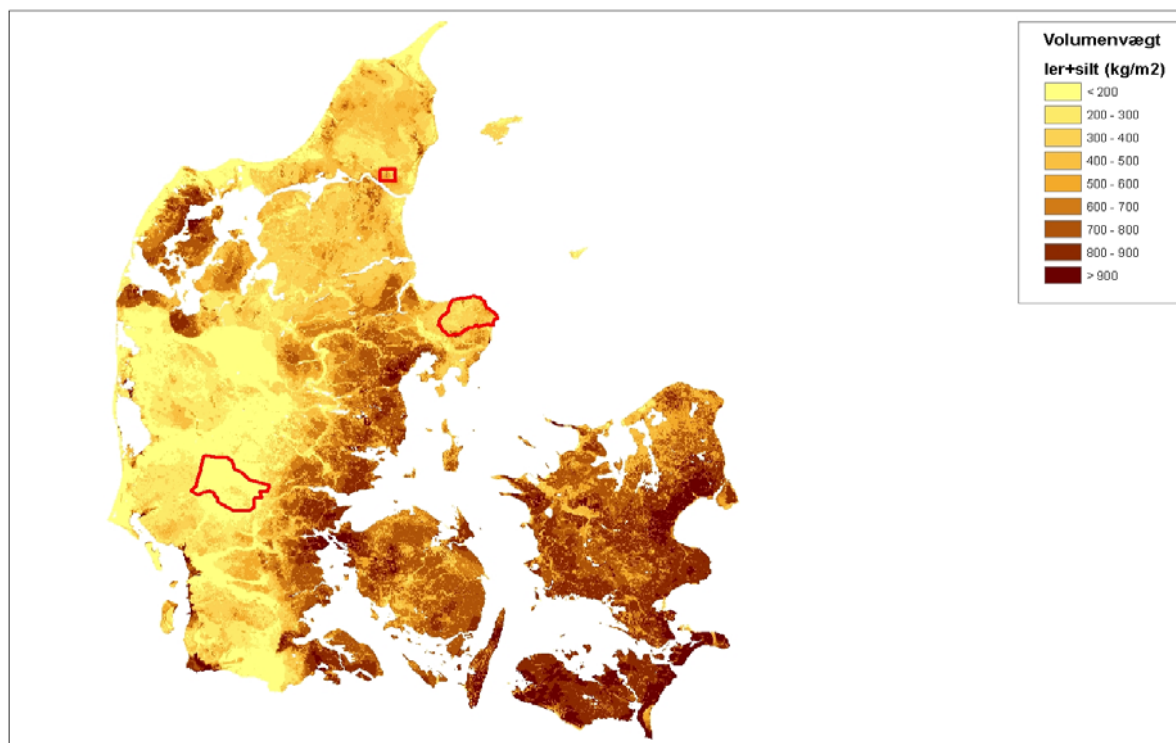
Bilagsfigur 1. Pixelværdier for volumenvægtet Humusindhold i den øverste meter af jorden i undersøgelsesområdet ved Grindsted (rød afgrænsning). Blå linier afgrænser OSD-områder. Grunddatas oprindelse er beskrevet i rapporten.



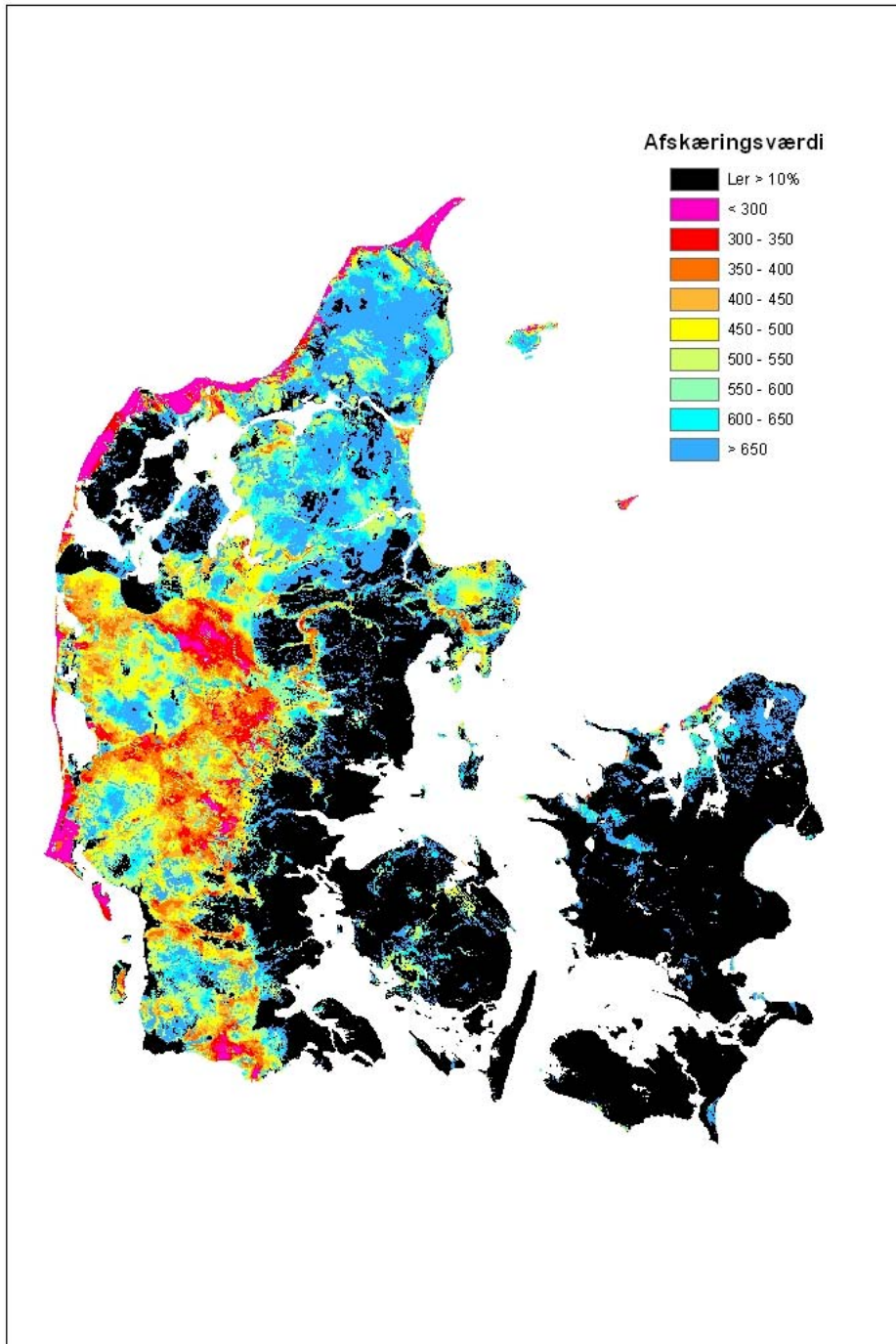
Bilagsfigur 2. Pixelværdier for volumenvægtet Ler+Finsiltindhold i den øverste meter af jorden i undersøgelsesområdet ved Grindsted (rød afgrænsning). Blå linier afgrænser OSD-områder. Grunddatas oprindelse er beskrevet i rapporten.



Bilagsfigur 3. Pixelkort over Humusindhold i den øverste meter af jorden. Beregning på grundlag af data og forudsætninger som angivet i rapporten. Kortet er en del af grundlaget for Bilagsfigur 5. Røde indramninger viser afprøvningsområder for zoneringsmetoden. Bornholm er ikke inkluderet i undersøgelsen.



Bilagsfigur 4. Pixelkort over Ler+Finsiltindhold i den øverste meter af jorden. Beregning på grundlag af data og forudsætninger som angivet i rapporten. Kortet er en del af grundlaget for bilagsfigur 5. Røde indramninger viser afprøvningsområder for zoneringsmetoden. Bornholm er ikke inkluderet i undersøgelsen.



Bilagsfigur 5. Pixelværdier for relativ følsomhed overfor udvaskning af pesticid fra sandjorde. Farveklasserne refererer til Figur 8 i rapporten. Lerjordsområder er sorte. Bornholm er ikke inkluderet i undersøgelsen.



Projektet **Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA**, påviste at de sandede jorde, som er generelt mest følsomme overfor udvaskning af pesticider, kan identificeres ved lave indhold af humus, ler og silt. I denne rapport afprøves resultaternes anvendelighed i praktisk zonerings i Grindstedområdet. Resultatet er at den generelle følsomhed i området er varierende, og relativ høj.

