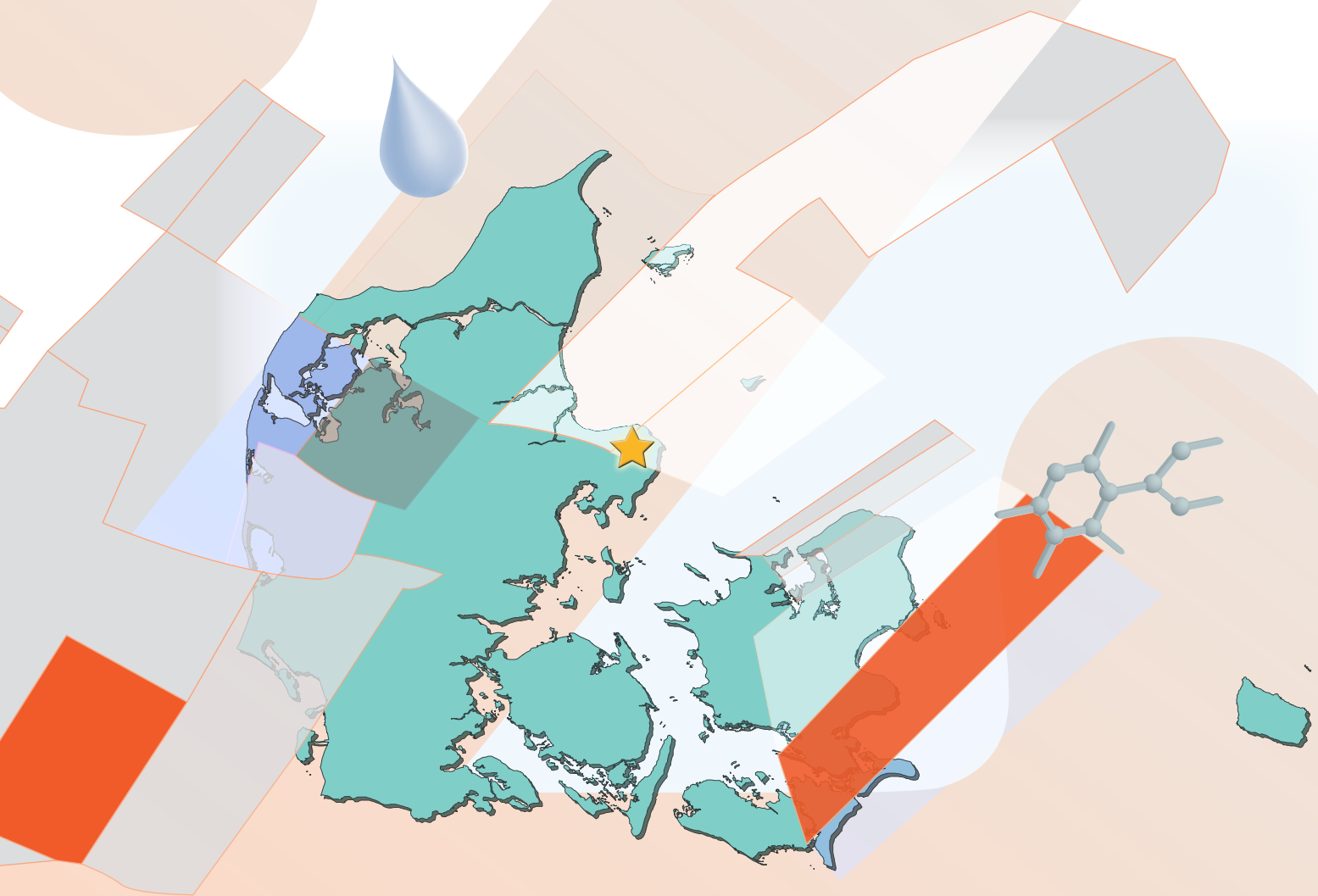


Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA

Afprøvning af zoneringskriterier for sandede jorde, Nordøstlige Djursland, Århus Amt



Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse
Miljøministeriet

Danmarks JordbrugsForskning
Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri



GEUS

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

ISBN 87-7871-175-4

© 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
Internet: www.geus.dk

Afprøvning af KUPA zoneringskriterier for sandede jorde,

Nordøstlige Djursland, Århus Amt

Nygaard, E.¹, Greve, M.H.², Greve, M.B.², Hallermund, F. v.P.¹, Iversen, B.V.², Møller, I.¹, Torp, S.²

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. 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 Arealer) 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 enkeltpesticider. 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.

¹ Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

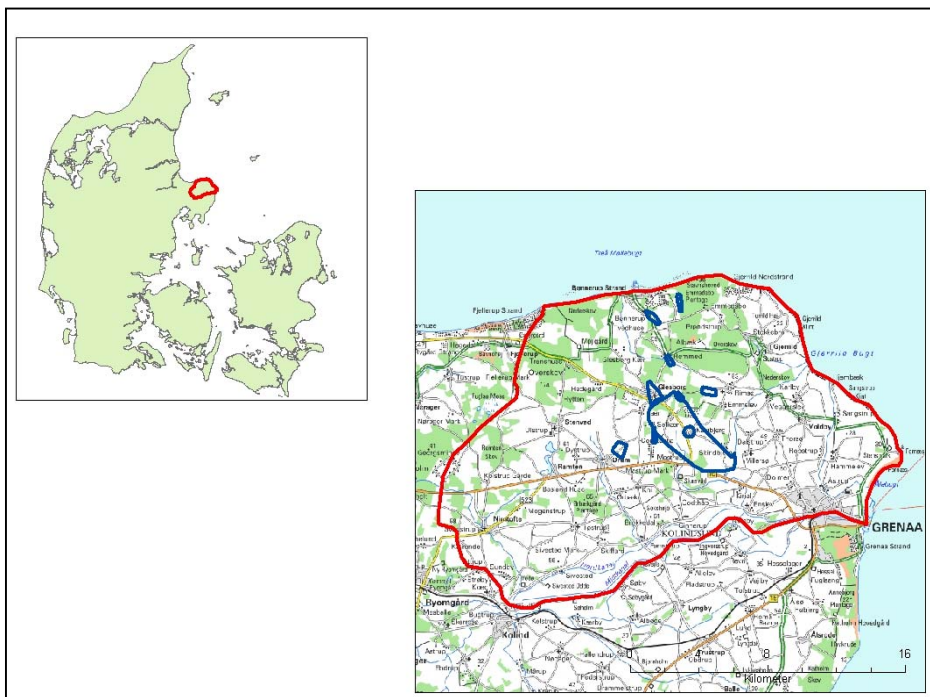
² Danmarks JordbrugsForskning

Indhold	Side
1. Formål	2
2. Faglige udfordringer	4
3. Metoder	9
4. Resultater	13
5. Diskussion	15
6. Konklusion og perspektivering	20
7. Tak	20
8. Litteratur	21
Bilag 1. Beregnede pixelværdier.	22

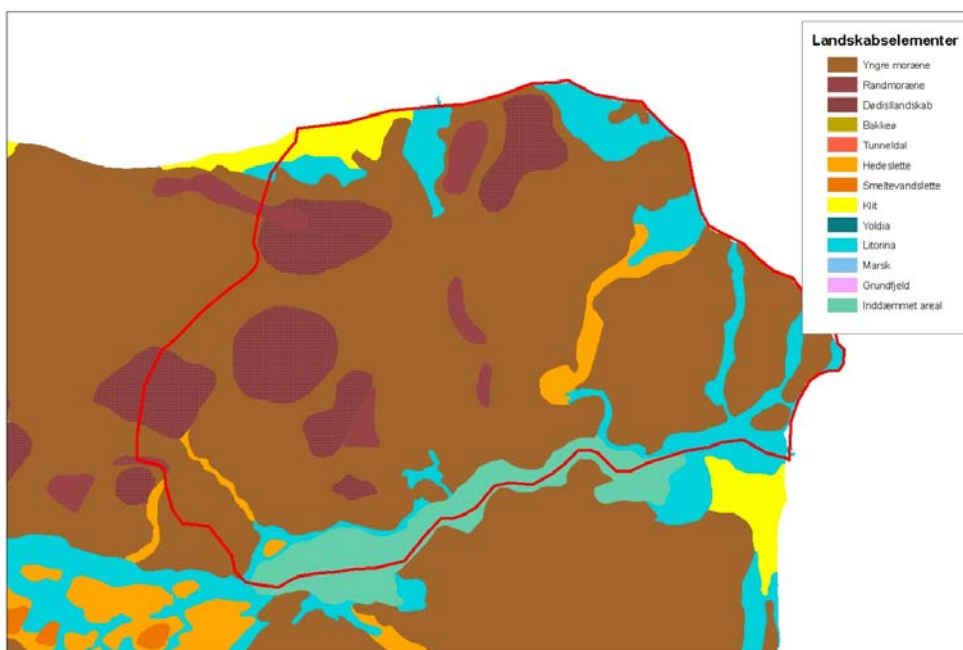
Formål

Nærværende projekt har til formål at foretage en praktisk afprøvning af KUPA-Sand-projektets zoneringsprincipper på basis af eksisterende data. Projektområdet er udvalgt i samarbejde med Århus 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 Ribe 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, hedesletter og flyvesand. Samlet dækker afprøvningsarealerne de mest udbredte sandjordsvarianter i landbrugsområder i Danmark.

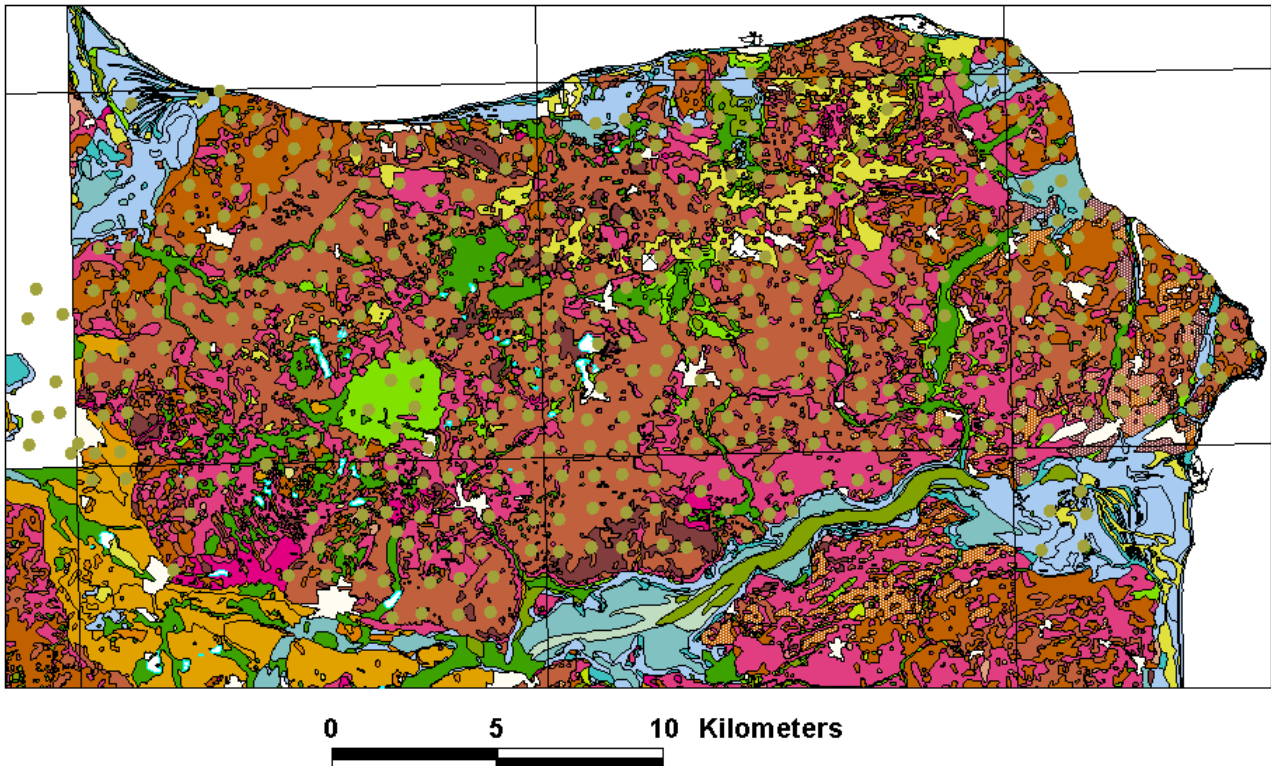
Det undersøgte område på det nordøstlige Djursland ligger nord for den østjyske gletschers stilstandslinie under sidste istid og er adskilt fra israndslinien af Kolindsund (Figur 1 og 2). Undersøgelsesområdet er et morænelandskab, som er domineret af morænesand. Der er iøvrigt en stor lokal jordartsmæssig variation indenfor området med morænegrus, smeltevandssand, ferskvandsaflejringer, marine aflejringer og flyvesand (Figur 2). Jordartsfordelingerne afspejler til dels den glaciære topografi, hvor de lavtliggende områder i perioder har udgjort floder og havbund (Figur 3).



Figur 1. Undersøelsesområdet på det nordøstlige Djursland i Århus Amt, afgrænset med en rød linie. Områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD-områder) er afgrænset med blå streg.



Figur 2. Landskabelementer i undersøelsesområdet på det nordøstlige Djursland, hvor undersøelsesområdet er afgrænset med en rød linie. Områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD-områder) er afgrænset med blå streg.

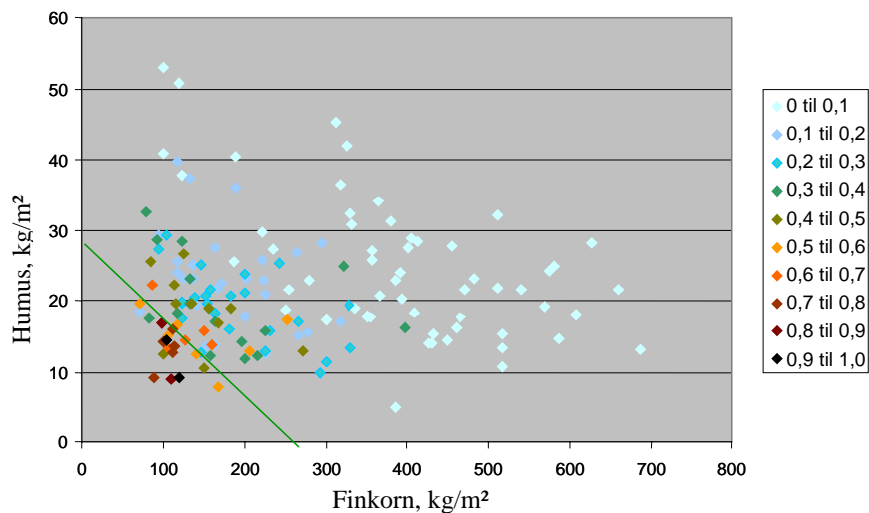


Figur 3. Jordartskort over det undersøgte område på det nordøstlige Djursland (se den præcise afgrænsning i Figur 1 og 2). Kølindsund forløber langs sydgrænsen af figuren. Undersøgelsesområdet er et morænelandskab fra Weichsel-istiden, som er domineret af morænesand. Jordartsfordelingene afspejler til dels den glaciære topografi, hvor de lavtliggende områder i perioder har udgjort floder og havbund. Signaturer: Orange = Senglaciært ferskvandssand og -grus, Gul = Postglaciært flyvesand, Grøn = Postglaciære ferskvandslag, Rød = Glaciære smeltevandslag af sand og grus, Brun = moræneaflejringer. Punktsignaturerne angiver datapunkter i Teksturdatabasen.

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 lave 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 under 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.

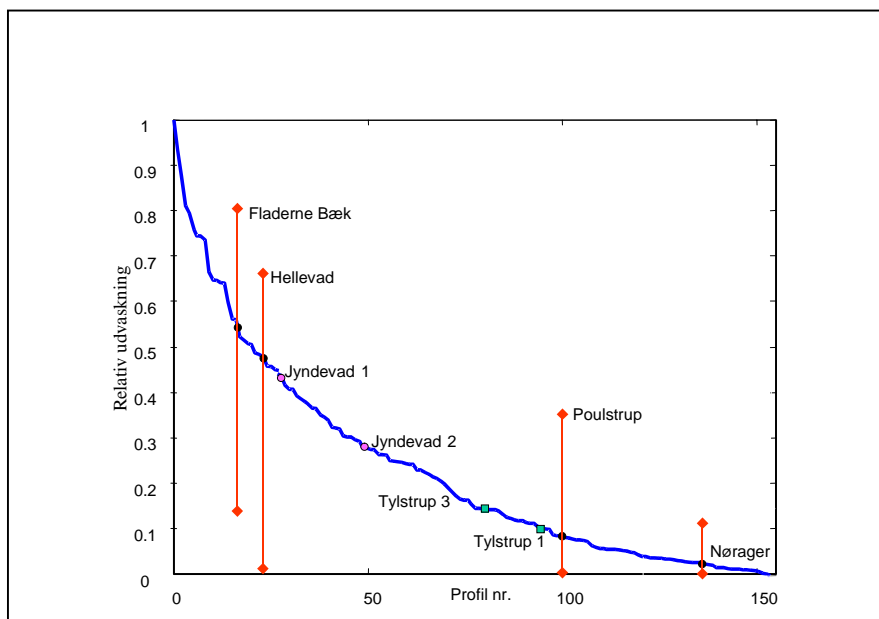


Figur 4. Sortering af den simulerede udvaskning fra et stort antal sandjordsprofiler efter volumen-vægtet Humus- og Ler+Siltindhold (Finkorn) i den øverste meter af jorden. En linie (afskæringsrelation) skiller mellem de få profiler, som er relativt følsomme overfor udvaskning af pesticid (mørke/røde punkter) og de øvrige mindre følsomme profiler. Afskæringsrelationen afspejler Humus-/Ler+Siltindholdet i de mest følsomme profiler, herunder det mest følsomme Jynde vadprofil, 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 følsom-

hedsvurdering 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 lagenes tykkelse:

- For A-horisonten 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-horisonten primært fra et 7×7 km² grid (6.500 punkter i hele landet) og den indeholder alle de nødvendige typer af oplysninger (inklusive volumenvægt og lagtykkelse).
- B-horisonten er dækket af data fra ca. 1/10 af Teksturdata-basens punkter (uden oplysninger om volumenvægt og lagtykkelser). B-horisonten 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-horisonten er beskrevet med alle aktuelt nødvendige oplysninger for ca. 2.200 af Profildatabasens punkter (Tabel 1). Jordarterne i C-horisonten 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 (Jyndeved 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 er angivet ved røde linier. Den dokumenterede spredning i korreleret udvaskning er størst ved relativ høj medianudvaskning.

Tabel 1. Eksisterende grundlag af punktdata for zonerings, landsdækkende såvel som i undersøgelsesområdet på det nordøstlige Djursland. ”Data N” er det samlede antal oplysninger for hver horisont.

Horisont	Data N (hele DK)	Data N (Grindsted-området)
A	43.000	334
B	8.500	61
C	2.200*	15*
Antal fuldt datadækkede lokaliteter	2.200	15*

*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 $7 \times 7 \text{ km}^2$ net. I undersøgelsesområdet på det nordøstlige Djursland er der 15 sådanne punkter, hvor følsomheden kan vurderes direkte. Punkternes beliggenhed i området ses på Figur 6.



Figur 6. Lokalisering af tilgængelige punktoplysninger er i undersøgelsesområdet på det nordøstlige Djursland. Gule, røde og blå punkter er henholdsvis A-, B- og C-horisont, idet det er den dybeste datadækkede horisont der er angivet).

Der er således på landsplan og i undersøgelsesområdet på det nordøstlige Djursland i gennemsnit et punkt for hver ca. 20 km^2 , hvor følsomheden kan vurderes direkte på sammenhørende og tilstrækkelige data. Hvert punkt repræsenterer således et meget stort område både i forhold til den store variation i landskabslementer (Figur 2) og i særdeleshed i jordartstype (Figur 3). 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.

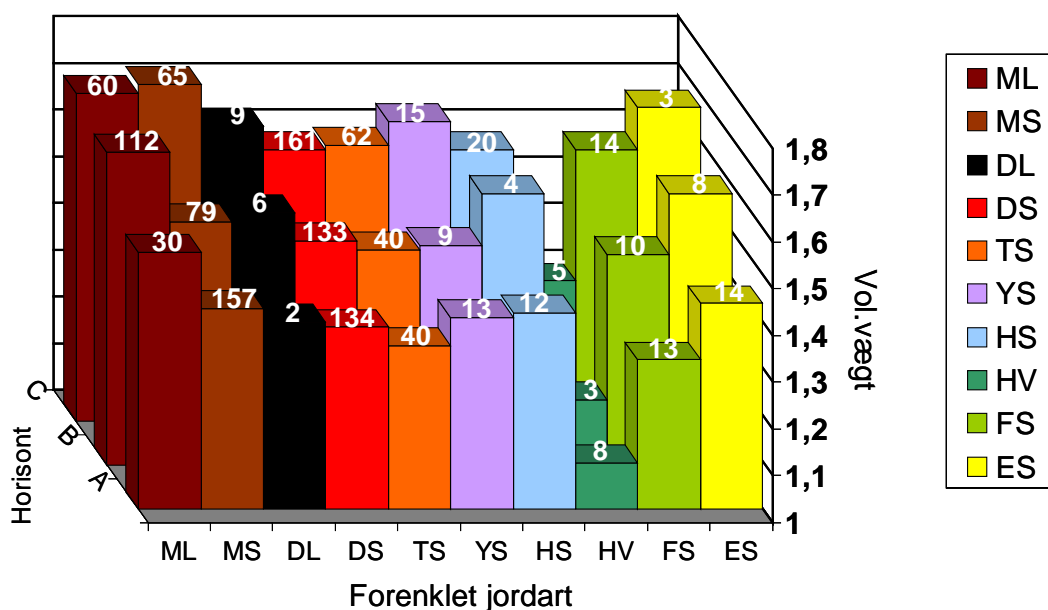
Metoder

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 reducere effekten af 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 teksturpunkterne. Der tillægges imidlertid en volumenvægt til alle A-, B- og C-horisonter i tekstur- og profilpunkter 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 g/cm^3 i A-, B- og C-horisonter, sorteret efter jordartsoplysninger i Profildatabasen. Det ses, at volumenvægten generelt stiger med ca. $0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$ 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 teksturkort i 3 dybder, hvor datagrundlaget for A- og B-horisonterne er Teksturdatabasen og Profildatabasen, og for C-horisonten 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-horisonten er samme metode anvendt. Det er dog udnyttet, at der er en korrelation mellem A- og B-horisonten, hvorfor der er anvendt Co-kriging til interpoleringen. De færdige kort har en pixelstørrelse på 500 meter. Den noget grovere opløsning end for A-horisonten hænger sammen med det mindre datagrundlag, som ligger bag interpoleringen.

C-horisonten

I C-horisonten 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-horisonten 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 identificerer de arealer, som falder i den mest følsomme kategori. Ved yderligere at forskyde følsomheds-

relationen 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).

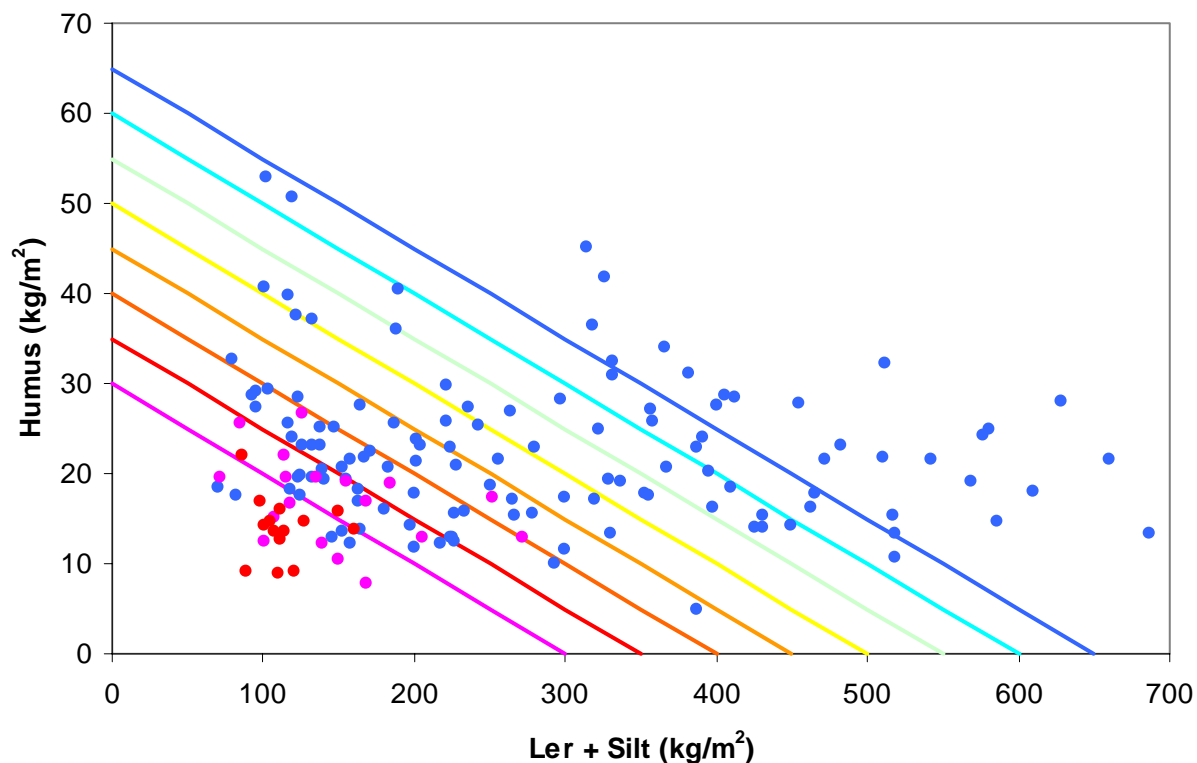
Et eksperiment med programmet "Topographic Position Index" (Extension til ArcView) viser at landskabet kan opdeles efter topografisk position (Figur 13). Der er potentiale i denne procedure på tværs af jordartstyper til at kunne udlede nogle generelle tendenser om fx stigende humusindhold ned ad bakke og dermed forbedring af følsomhedsvurderingerne.

Udover 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).

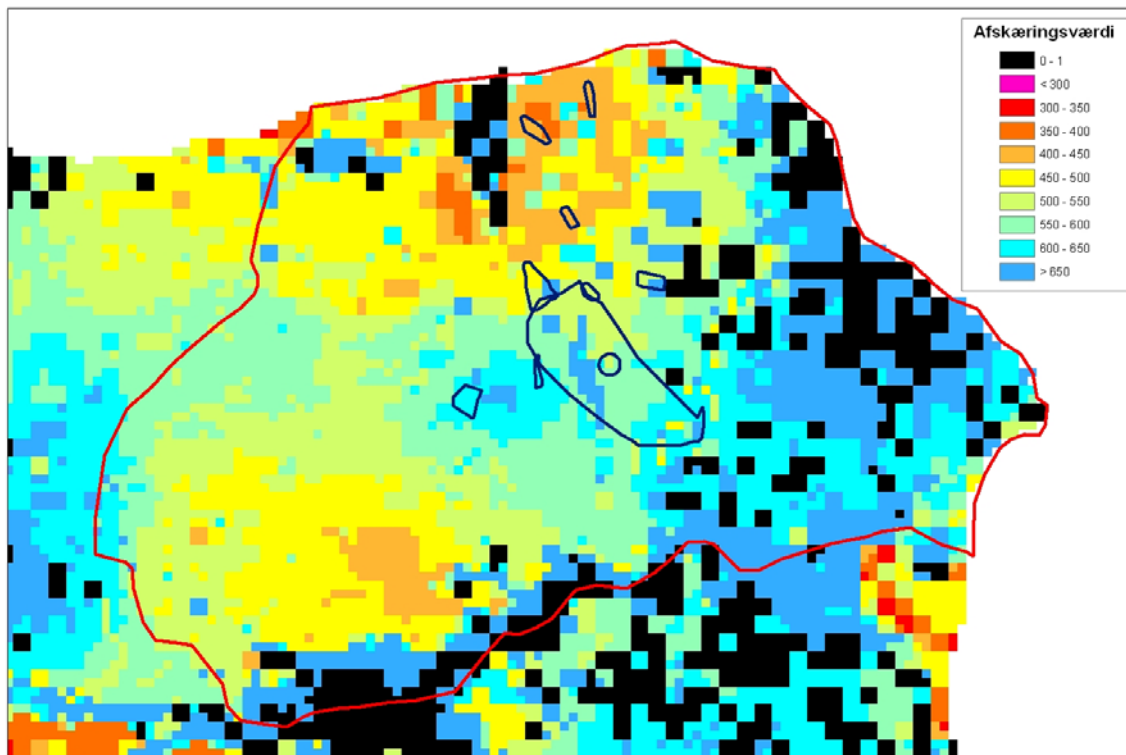
Zoneringskriteriernes geografiske udmøntning (jævnfør Figur 5) er vist som pixelkort i Figur 9, hvor områder med mere end 10% ler (lerjordsområder) er holdt udenfor vurderingen. Inputdata til beregningen for hele Danmark (minus Bornholm) vedrørende Humus- og Ler+Siltindhold i den øverste meter af jorden 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 kommer derfor ikke til udtryk, hvilket indebærer, at der fx indenfor de enkelte pixels med ”høj følsomhedsværdi” vil kunne forekomme mindre arealer, hvor følsomheden er lavere. 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. Pixelkortets zoneringsresultater skal ses i relation til den anvendte skala/detaljeringsgrad. Hvis variationen i følsomhed skal beskrives i større detalje end pixelkortet, fordrer at der etableres et mere detaljeret datasæt end det nuværende (landsdækkende).

Den generelle følsomhed overfor udvaskning af pesticid til grundvandet indenfor undersøgelsesområdet på det nordøstlige Djursland vurderes således som intermedier.

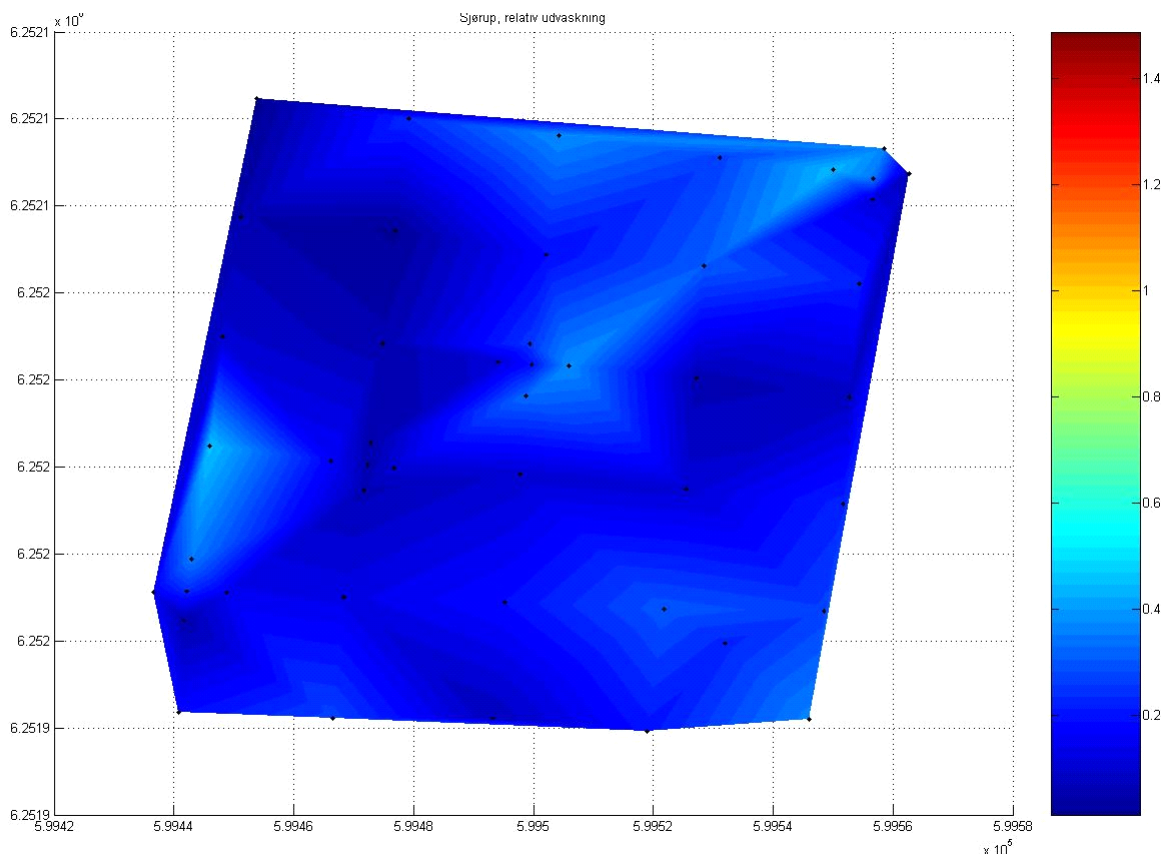


Figur 9. Pixelkort over undersøgelsesområdet på det nordøstlige Djursland. Farvekoden for grader af følsomhed overfor udvaskning af pesticid er yderligere illustreret i Figur 8. Mindste pixelstørrelse er $250 \times 250 \text{ m}^2$. Den generelle følsomhed i området vurderes som værende lav til intermedier (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 km². 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.

Sjørup-marken, som er detailundersøgt i KUPA-Sand-projektet, ligger indenfor undersøgelsesområdet på det nordlige Djursland. I morænesandsområdet ved Sjørup er der undersøgt en mark på ca. 0,25 km². 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 Sjørup-marken med en relativt lav værdi i følsomhed og variabilitet (Figur 9 og Bilag 1). Undersøgelserne på Sjørup-marken er gennemført på et datasæt, som ikke afspejler den fulde variabilitet (Kun én oplysning om C-horisonten og kun volumenvægte fra et sted), mens pixelkortet integrerer oplysninger fra et større område. Variabilitetsmarkens repræsentativitet for nærområdet vurderes med disse forbehold at være god (Figur 11).



Figur 10. Beregnet følsomhed i 50 punkter indenfor Sjørup-marken, som er detailundersøgt i KUPA-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.

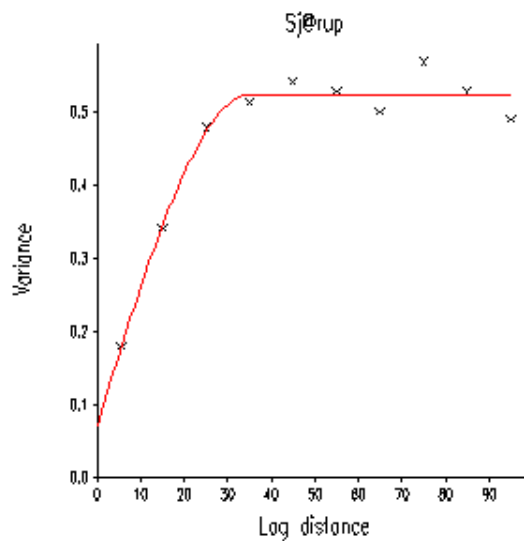
Skalaen for relativ følsomhed, som vises på pixelkortet (Figur 9 og Bilag 1), er ikke direkte sammenlignelig med følsomhedsskalaen i Figur 10, idet de to fremstillinger er baseret på hvert sit datasæt. I undersøgelsen af Sjørup-marken er der gennemgående ét undersøgt punkt (profil) for hver ca. 400 m², mens hvert datapunkt i grundlaget for pixelkortet (Figur 9) repræsenterer ca. 900.000 m². Selv om de analyserede profiler på Sjørup-marken kun afspejler forholdene indenfor en lille del af det område, som er nøjere undersøgt, vurderes marken at være repræsentativ for et større område pga. ensartetheden i ledningsevner indenfor området (Figur 11). Indenfor denne jordartstype og muligvis også landskabselement forekommer forholdene at være relativt ensartede og antagelig med begrænset lokal variabilitet. Den niveaumæssige forskel mellem det detailundersøgte områdes simulerede følsomhed og pixelkortet tillægges, at vurderingen af følsomhed på undersøgelsesmarken

er baseret på én volumenvægtværdi pr. lag og én værdi for alle oplysninger om C-horisonten og derfor ikke indbefatter hele den variabilitet, som indgår i pixelkortet. Hvis datagrundlaget skulle være lige godt for pixelkortet og den undersøgte Sjørup 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 Sjørup-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 16 pixelenheder.



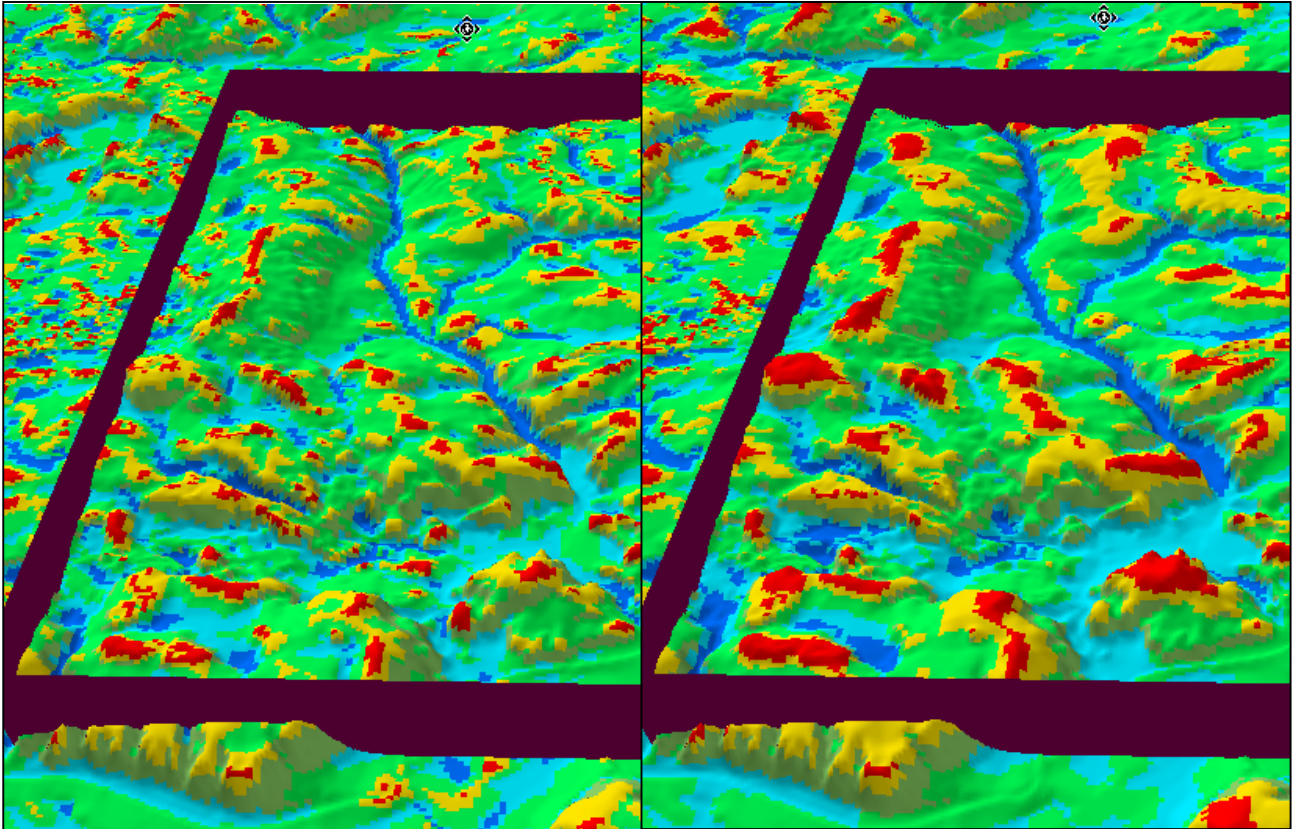
Figur 11. KUPA-Sand-projektets variationsmark i Sjørup (sort indramning) og ledningsevne målinger i området (EM38). Skalaen for ledningsevne er i millisiemens. De lyse punktsignaturer svarer til 0-5 millisiemens/meter. Mørkere røde punkter (5-10 millisiemens/meter) afspejler til dels nedgravede kabler eller rør. Den lave ledningsevne kan tolkes som tør jord, lavt lerindhold og lavt humusindhold. Variationsmarken er repræsentativ for det detailundersøgte område.



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 = 30 m, sill = 0,52 og nugget= 0,08 (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 zonerings 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 lavbundsområder. 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 (Figur 13). Topografianalysen er en potentiel mulighed for at tilføje yderligere detalje til følsomhedens geografiske variabilitet, idet topografien er en uafhængig variabel, som kendes i stor detalje.



Figur 13. Topografisk positions index (TPI) beregnet for den centrale del af undersøgelsesområdet på det nordøstlige Djursland. Samme område er vist i to detaljeringsgrader (vurderingsafstande på hhv. 250 i venstre side og 500 meter i højre side). Rød = bakketop, Gul = bakkeskulder, Lys grøn = bakkeside, Gustengrøn = plan bakkeside, Lyseblå = bakkefod, Mørkeblå = bund af lavning.

Det pixelerede følsomhedskort 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 (det nordøstlige Djursland) vurderes den generelle følsomhed overfor udvaskning af pesticid til grundvandet til at være lav til intermedier.

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 nitratzonerings), idet kontureringsmetoderne er uafhængige af datatyperne.

Tak

Århus 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 sen-glacial marint sand indenfor Yoldiafladen: Basisdata fra undersøgelser i Vendsyssel. Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, Rapport nr. 3, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Danmarks JordbrugsForskning, 139 pp.

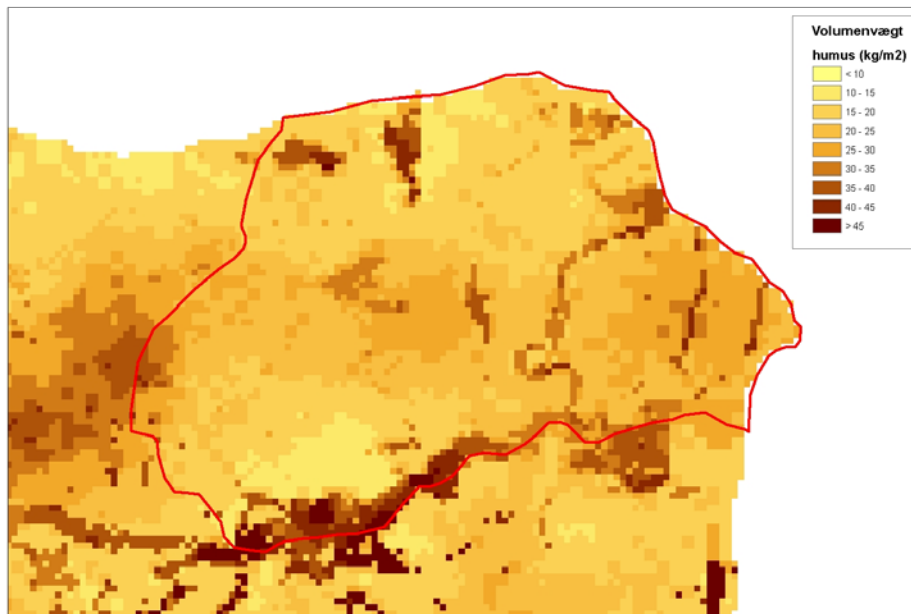
Miljøstyrelsen, 2000: Zonering. Vejledning Nr. 3 2000, 156 pp.

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

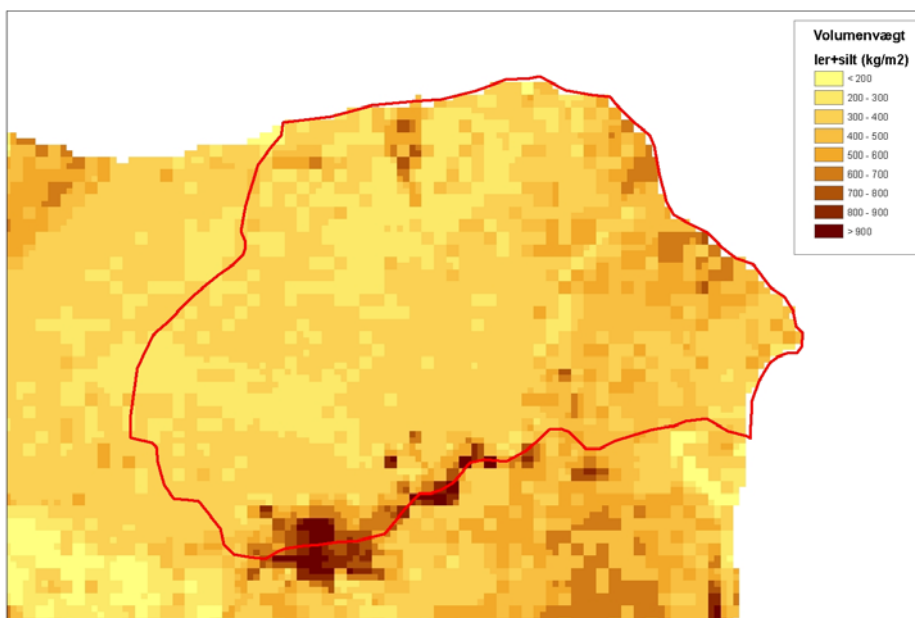
Nygaard, E., Greve, M.H., Greve, M.B., Iversen, B.V., Møller, I. og Torp, S., 2006a: Afprøvning af KUPA zoneringskriterier for sandede jorde; Vester Hassingområdet, Nordjyllands Amt. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Danmarks JordbrugsForskning, 24 pp.

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

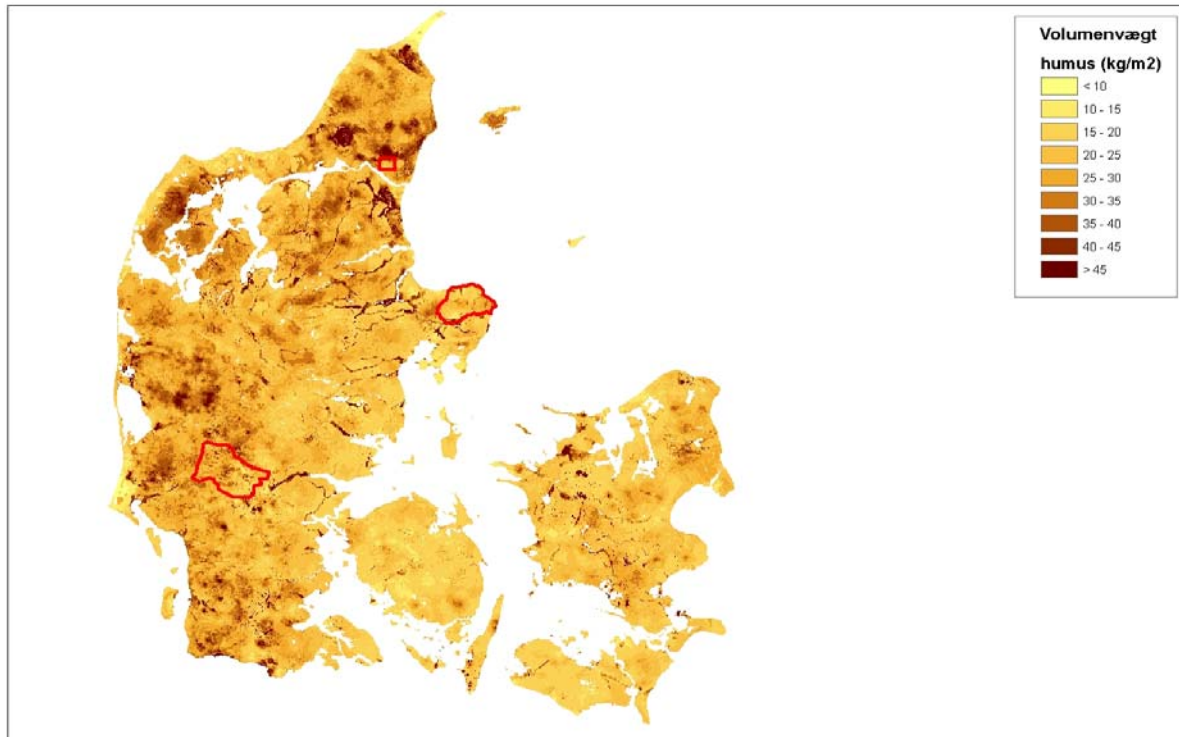
Bilag 1.



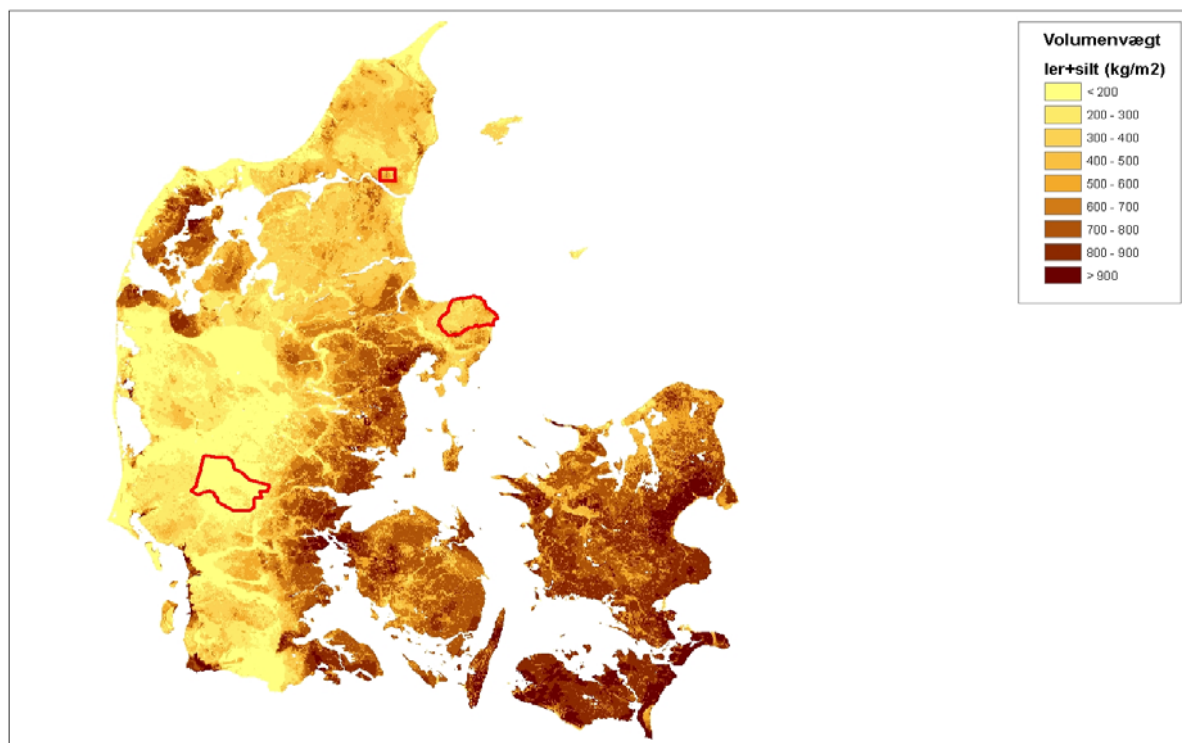
Bilagsfigur 1. Pixelværdier for volumenvægtet Humusindhold i den øverste meter af jorden i undersøgelsesområdet på det nordøstlige Djursland (rød afgrænsning). Grunddatas oprindelse er beskrevet i rapporten.



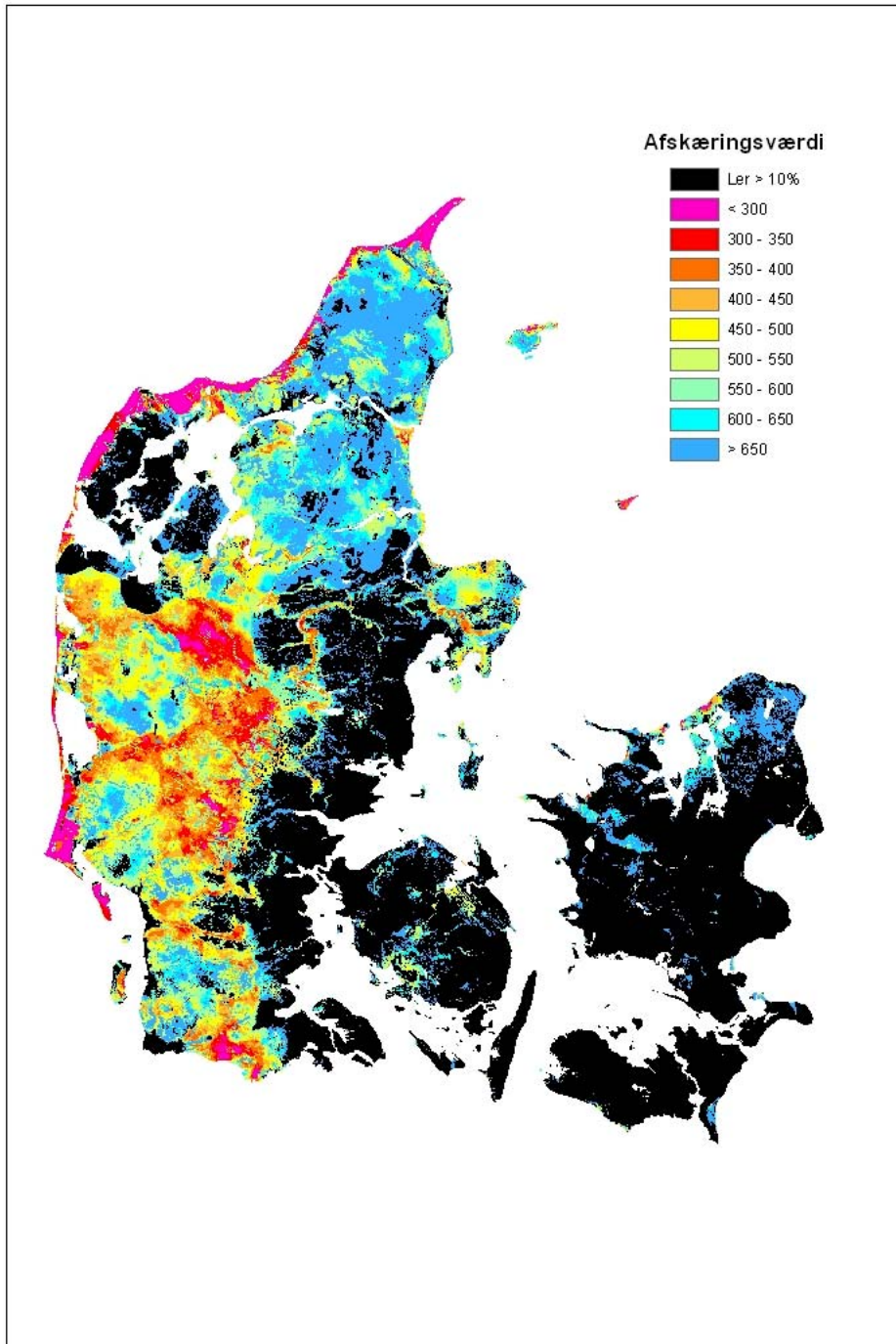
Bilagsfigur 2. Pixelværdier for volumenvægtet Ler+Finsiltindhold i den øverste meter af jorden i undersøgelsesområdet på det nordøstlige Djursland (rød afgrænsning). Grunddatas oprindelse er beskrevet i rapporten.



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 indenfor det nordøstlige Djursland. Resultatet er at den generelle følsomhed i området er varierende, men ikke i det særligt følsomme interval.

