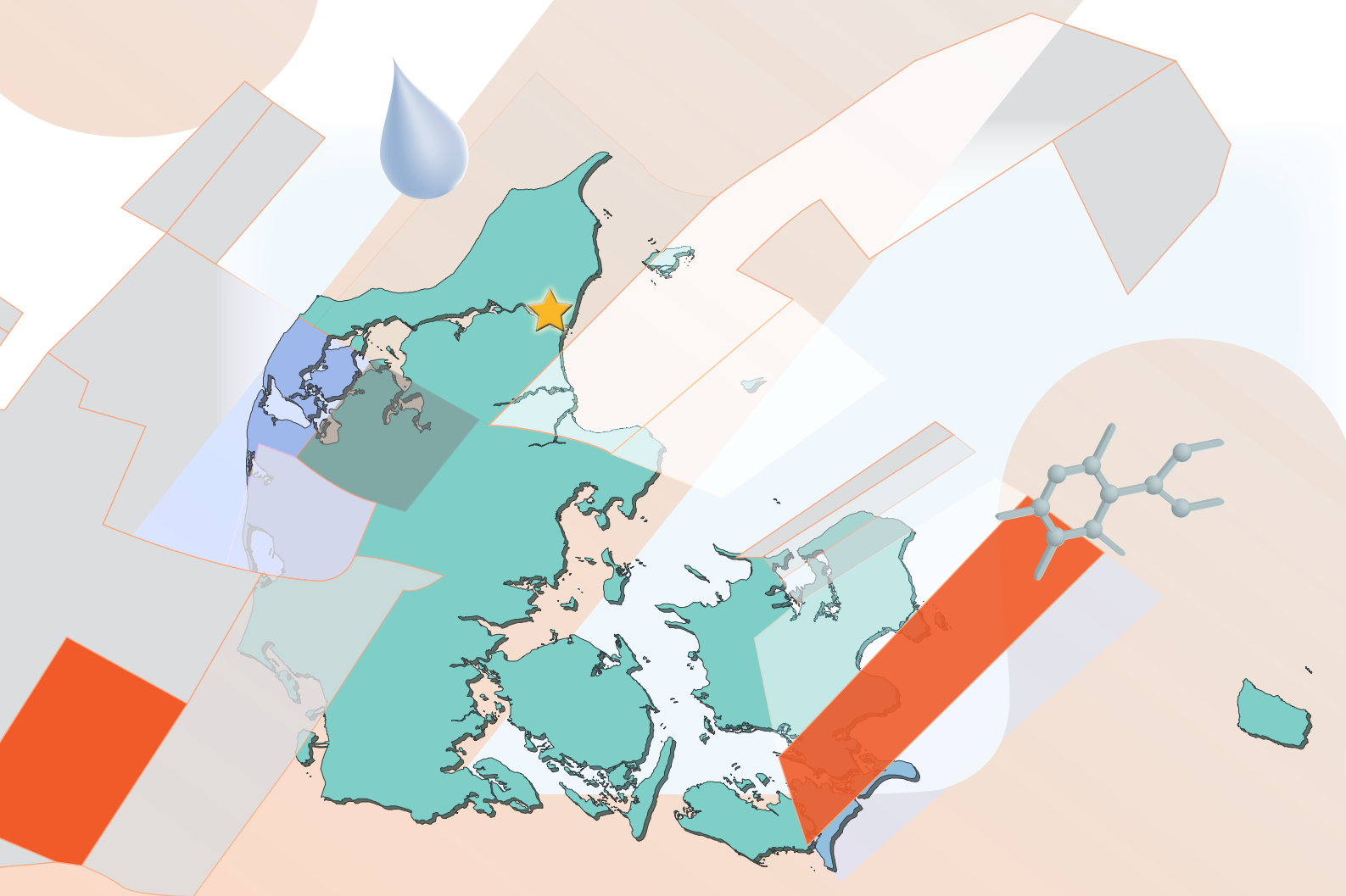


Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA

Afprøvning af zoneringskriterier for sandede jorde, Vester Hassingområdet, Nordjyllands 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 87-7871-174-6

© 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,

Vester Hassingområdet, Nordjyllands Amt

Nygaard, E.¹, Greve, M.H.², Greve, M.B.², 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, 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.

¹ Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse

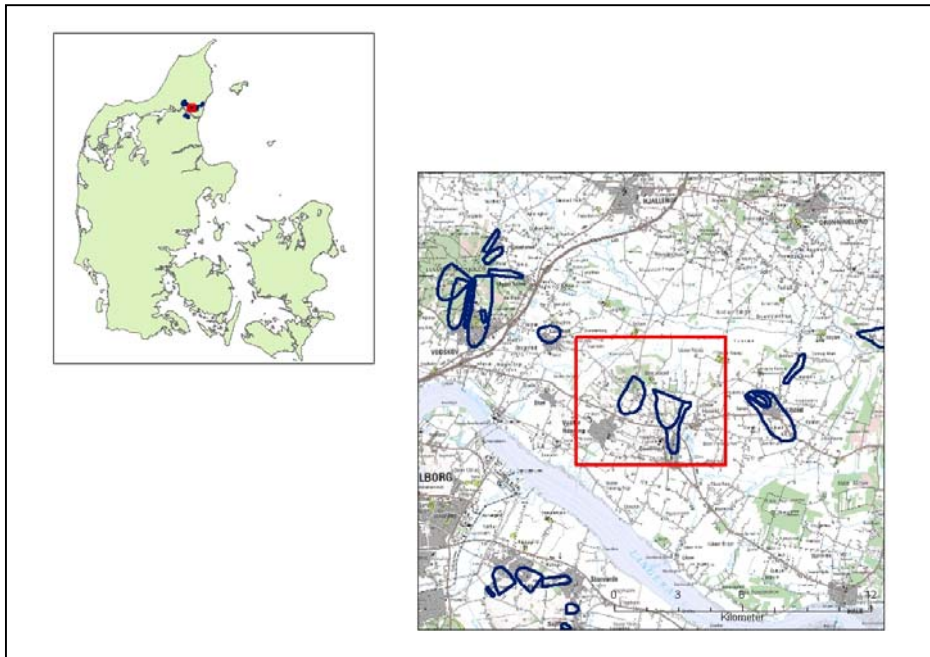
² Danmarks JordbrugsForskning

| Indhold | Side |
|--|-------------|
| 1. Formål | 2 |
| 2. Faglige udfordringer | 4 |
| 3. Metoder | 9 |
| 4. Resultater | 13 |
| 5. Diskussion | 15 |
| 6. Konklusion og perspektivering | 19 |
| 7. Tak | 20 |
| 8. Litteratur | 20 |
| Bilag 1. Beregnede pixelværdier. Bilag 2. Revideret jordartskort over Vester Hassingområdet. | 21 |

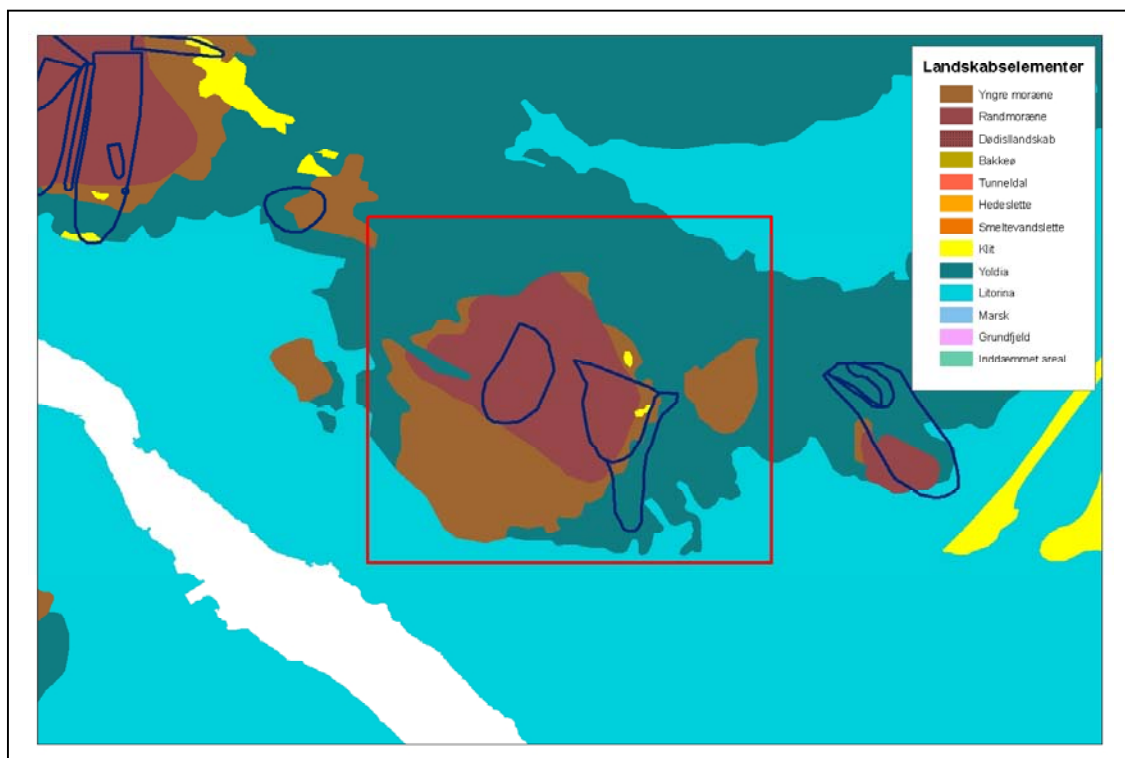
Formål

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 Nordjyllands 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 afprøvningsområder bliver foretaget i Århus 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 består af smeltevandssand, flyvesand og morænesand. Samlet dækker afprøvningsarealerne de mest udbredte sandjordsvarianter i landbrugsområder i Danmark.

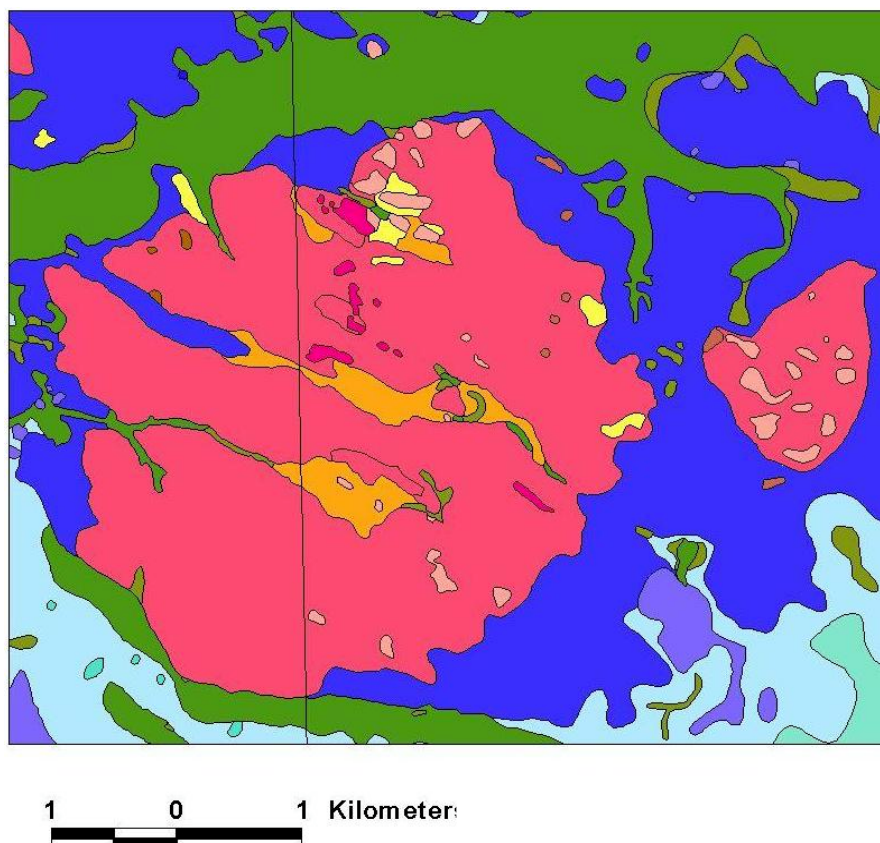
Vester Hassingområdet ligger umiddelbart nord for Limfjorden, hvor en isoleret bakke rejser sig over det lave omgivende land (Figur 1 og 2). Rundt om en bakkekerne af smeltevandsaflejringer findes der udbredte områder med Senglacialt marint Yoldiasand og Postglacialt marint Litorinasand (Figur 2 og 3). Bakken har således været en ø i Stenalderhavet. En nyere detaljeret undersøgelse i den vestlige del af bakkeområdet har dog vist, at den oprindelige tolkning af jordarterne skulle revideres (Heidman, 2001). Den centrale og vestlige del af området, som oprindeligt var kortlagt som ferskvandsand og smeltevandssand, består således hovedsageligt af morænesand (Bilag 2).



Figur 1. Undersøgelsesområdet ved Vester Hassing, Nordjyllands Amt, afgrænset med en rød firkant. Områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD-områder) er afgrænset med blå streg.



Figur 2. Landskabselementer ved Vester Hassing, hvor undersøgelsesområdet er afgrænset med en rød firkant. Områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD-områder) er afgrænsede med blå streg.

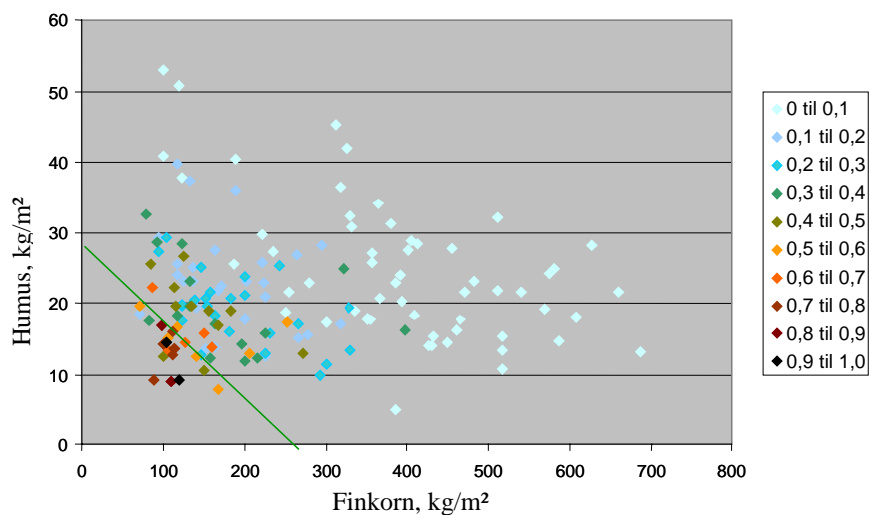


Figur 3. Jordartskort over det undersøgte område ved Vester Hassing, karakteriseret af en isoleret bakkekerne af smeltevandsaflejringer (Se revisionen af den vestlige del af området i Bilag 2). Omkring bakken, som har været en ø i Stenalderhavet, findes der udbredte områder med marint Senglacialt Yoldiasand og marint Postglaciale Litorinasand. Signaturer: Orange = Senglaciale ferskvands-sand og -grus, Gul = Postglaciale flyvesand, Grøn = Veksellende Postglaciale ferskvandslag, Røde farver = Forskellige glacial smeltevandslag, Mørkeblå = Senglaciale marint sand (Yoldia), Lyseblåt = Postglaciale marint sand (Litorina).

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 under en

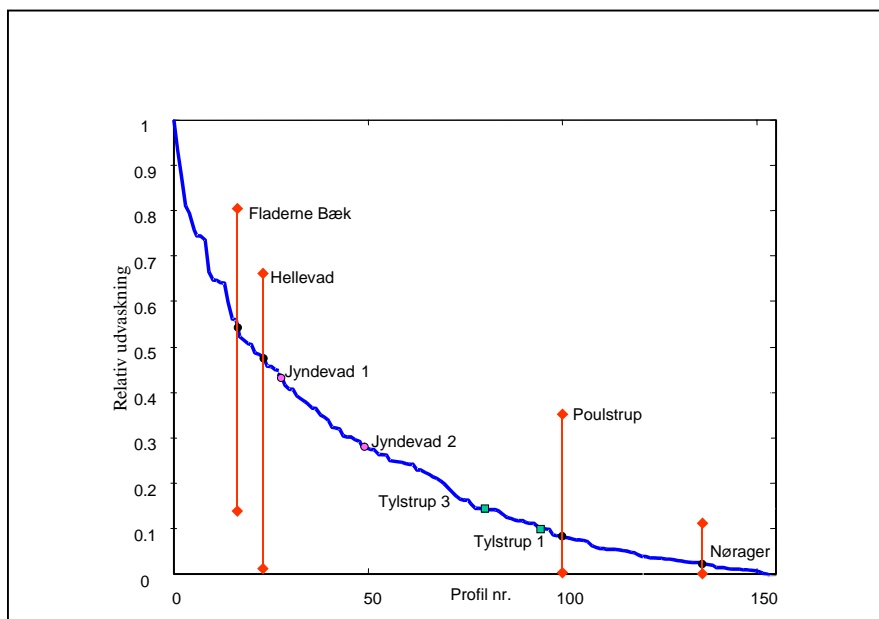
relation mellem Humus og Ler+Silt (Figur 4). Det er her valgt at foretage følsomhedsvurderingen på grundlag af en subjektivt fastlagt relation, som ved sin hældning skiller bedst muligt mellem profiler med henholdsvis højere og lavere følsomhed (Figur 5) end den mest følsomme mark i Varslingssystem for 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 vad 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 7×7 km² 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.



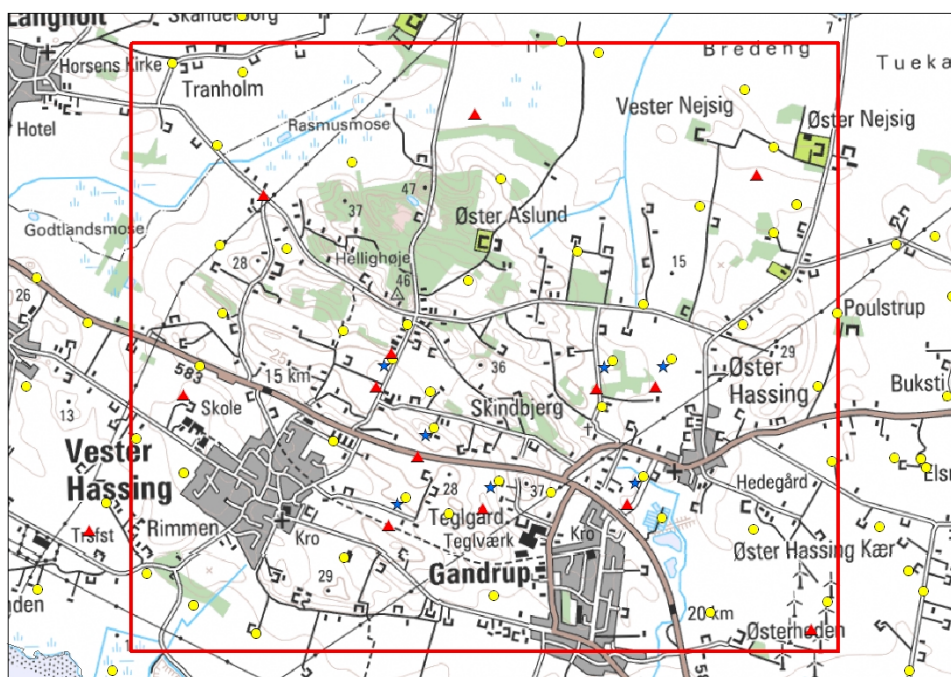
Figur 5. 155 sandjordsprofiler fra profildatabasen, sorteret efter simuleret udvaskning (blå kurve). Profiler i Varslingssystemet for Pesticider (Jyndeved og Tylstrup) er indplaceret ved multivariat regression. Tilsvarende er projektets verifikationsmarker (Fladerne Bæk, Hellevad, Poulstrup og Nørager) indplaceret, idet medianværdien af profilerne på de enkelte marker er indplaceret på den blå kurve og spredningen mellem de 10 undersøgte jordprofiler 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 Vester Hassingområdet. "Data N" er det samlede antal oplysninger for hver horisont.

| Horisont | Data N (hele DK) | Data N (V. Hassing) |
|--------------------------------------|------------------|---------------------|
| A | 43.000 | 53 |
| B | 8.500 | 13 |
| C | 2.200* | 7* |
| Antal fuldt data-dækkede lokaliteter | 2.200 | 7 |

*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 Vester Hassingområdet er der 7 sådanne punkter, hvor følsomheden kan vurderes direkte. Punkternes beliggenhed i området ses på Figur 6.



Figur 6. Lokalisering af tilgængelige punktoplysninger er i Vester Hassing-området. 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 i gennemsnit et punkt for hver ca. 20 km^2 , hvor følsomheden kan vurderes direkte på sammenhørende og tilstrækkelige data (I Vester Hassingområdet er der en bedre datadækning med et punkt pr. 6 km^2). 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.

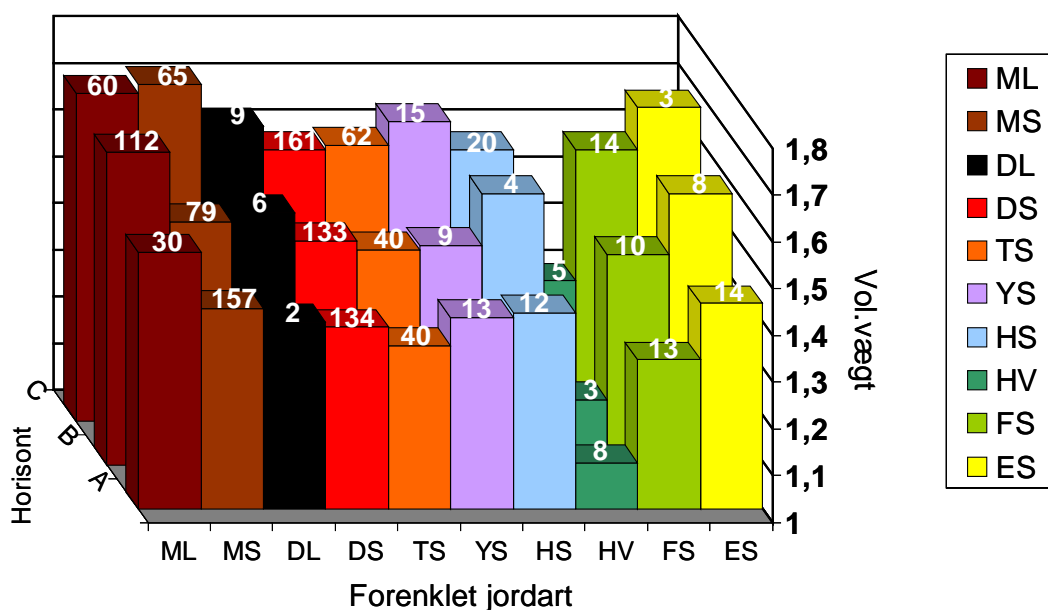
Metoder

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.

Teksturbasens og Profilbasens 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 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 profilbasen, 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 profilbasen, 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 profilbasen. Det ses at volumenvægten generelt stiger med ca. $0,1 \text{ g/cm}^3$ fra A- til B-horisonten og tilsvarende fra B- til C-horisonten. 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, for C-horizonten udelukkende Profildatabasen.

A- og B-horisonterne:

Den grundlæggende metode for udarbejdelsen af kortet er geostatistisk interpolering. Da jordens variabilitet er meget forskellig for forskellige landskabstype 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-horisontens teksturfraktioner kriging-interpoleret og disse interpoleringer er efterfølgende samlet til landsdækkende kort over ler, silt og humus i 250 meter pixelstørrelse. I B-horizonten er samme metode anvendt. Det er dog udnyttet, at der er en korrelation mellem A- og B-horizonten, hvorfor der er anvendt Co-kriging til interpoleringen. De færdige kort har en pixelstørrelse på 500 meter. Den noget grovere opløsning hænger sammen med det mindre datagrundlag, som ligger bag interpoleringen.

C-horizonten

I C-horizonten er punkttætheden for lille til at kunne udføre geostatistisk interpolering. Der 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-horizonten 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 akkumulerede indhold af Humus, Ler+Silt samt Volumenvægt til én meters dybde. Det resulterende pixelkort over relativ følsomhed identificerer 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.

Med henblik på at afklare om der er en væsentlig sammenhæng mellem topografisk placering og følsomhed overfor udvaskning, er eksisterende data fra et testområde på Djursland blevet analyseret. Den sammenhæng, som søges afklaret, knytter sig til, at der løbende fjernes materiale fra A-horisonter på "bakkeskuldre", og at dette materiale afsættes i lavereliggende områder. De eksisterende data er ikke indsamlet med henblik på at afklare denne problemstilling, men der er dog data i alle de 6 topografiske kategorier, som landskabet kan inddeles i.

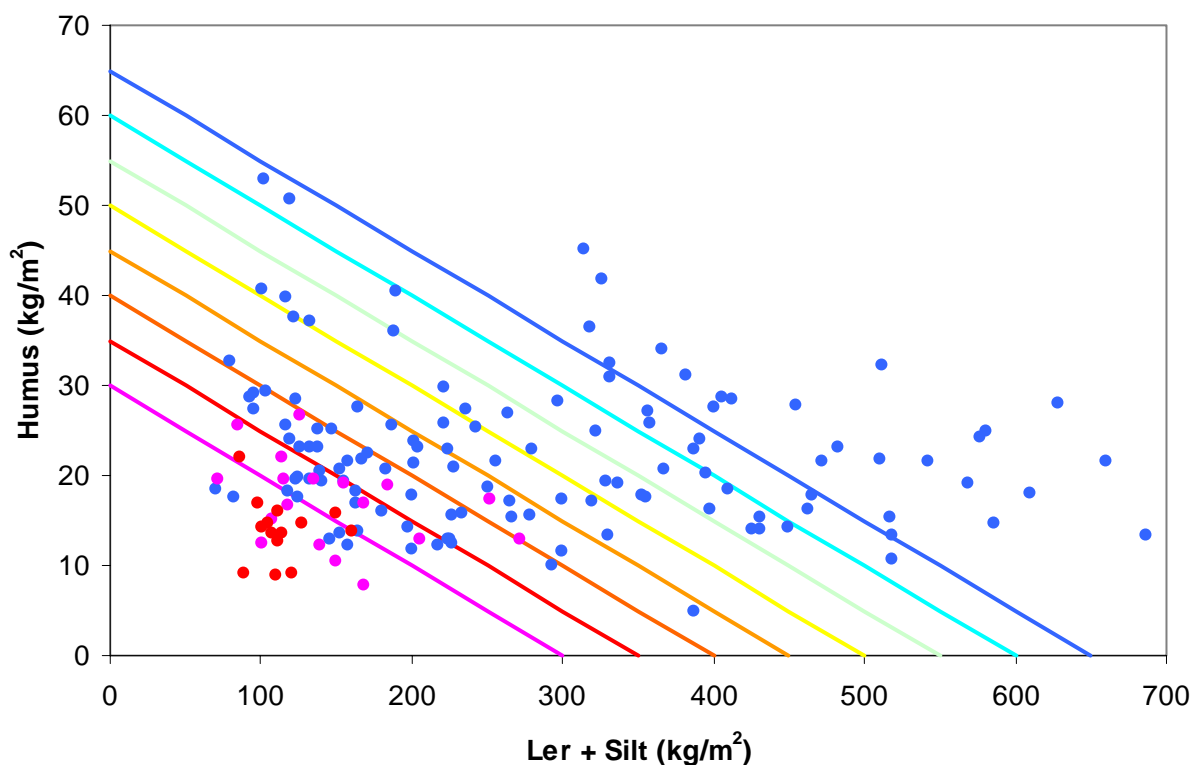
Et eksperiment med programmet "Topographic Position Index" (Extension til ArcView) viser at landskabet kan opdeles efter topografisk position (Figur 13). Der er potentiale i denne procedure på tværs af jordartstyper til at kunne udlede nogle generelle tendenser om fx stigende humusindhold ned ad bakke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

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).

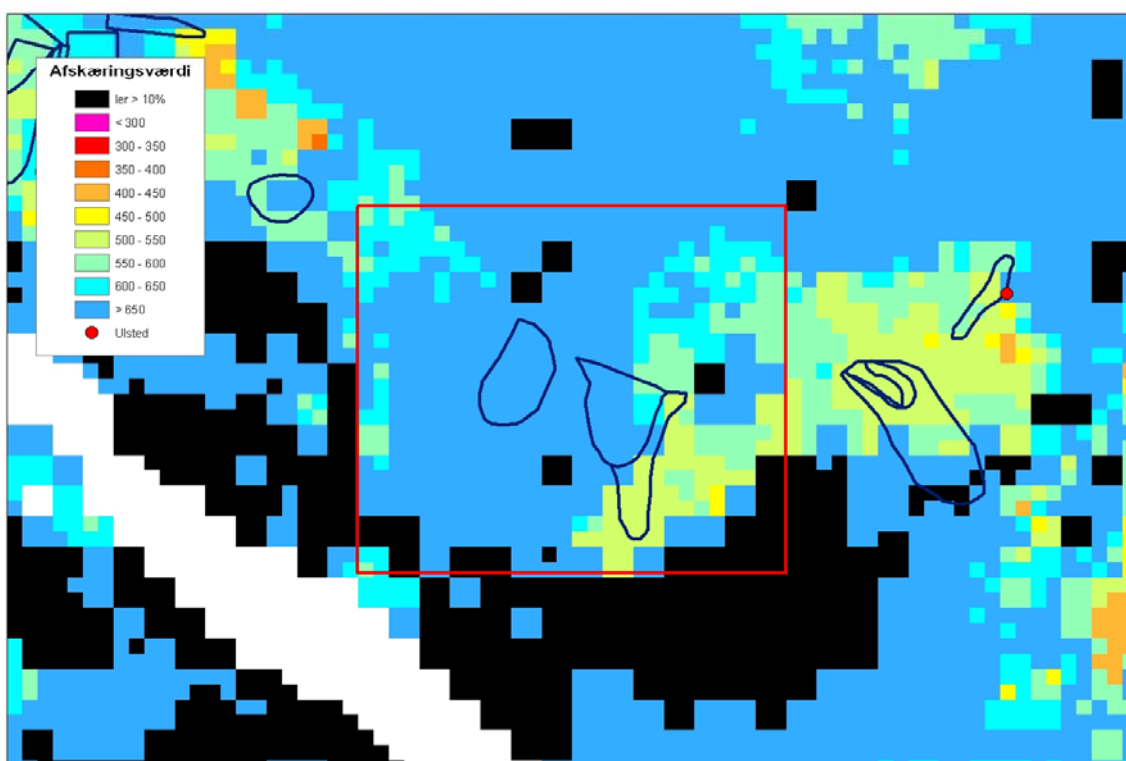
Zoneringskriteriernes geografiske udmøntning (jævnfør Figur 5) er vist som pixelkort i Figur 9, hvor områder med mere end 10% ler (lerjordsområder) er holdt udenfor vurderingen. Inputdata til beregningen for hele Danmark (minus Bornholm) vedrørende Humus- og Ler+Siltindhold i den øverste meter af jorden samt beregnet følsomhed er vist i Bilag 1. Det fremgår af bilaget, at de generelt mest følsomme områder i Danmark 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 linierealtionerne 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. Afvigelser, der er væsentligt forskellige i 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 datasæt, og vil efter resultaterne kun kunne udgøre en beskedent del af arealet.

Vester Hassingområdets generelle følsomhed overfor udvaskning af pesticid til grundvandet vurderes således som lav til intermediær.

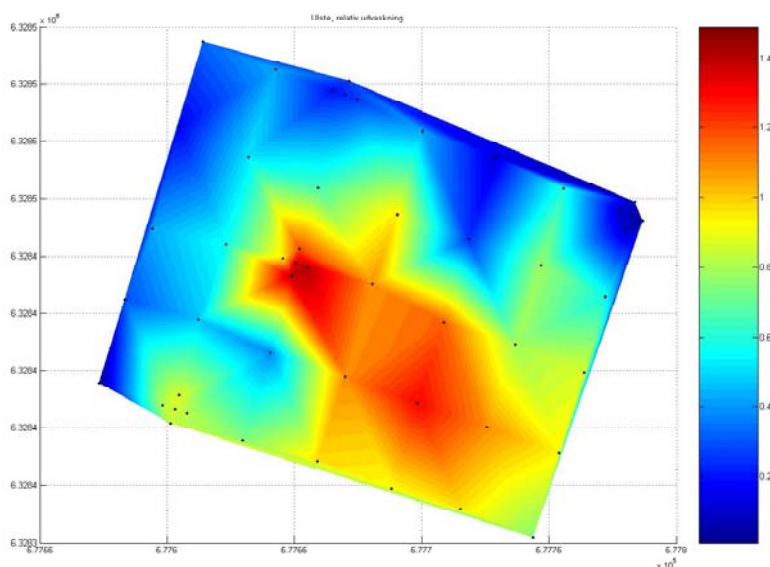


Figur 9. Pixelkort over undersøgelsesområdet ved Vester Hassing. Farvekoden for grader af følsomhed overfor udvaskning af pesticid er yderligere illustreret i Figur 8. Pixelstørrelsen er 250x250 m². Den generelle følsomhed i området er lav til intermediær (se Bilag 1 for datagrundlag og landsoverblik). Lerjordsområder er sorte. Beliggenheden af Ulstedmarken er angivet med rød prik.

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 variation 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 aktuelle 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. Tættere og mere komplette 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.

I nærheden af Vester Hassingområdet ligger der en af de marker, som er detailundersøgt i KUPA-Sand-projektet. På denne mark (Ulsted) 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 samlet data for C-horisonten i et enkelt udgravet profil midt på marken. Volumenvægt er alene målt i tilknytning til profilet. 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 en stor variation i udvaskningen indenfor marken. Ved en sammenligning med de fem tilsvarende detailundersøgte marker i KUPA-sand-projektet, placeret indenfor forskellige landskabselementområder, fremtræder Ulstedmarken i figuren som den mest følsomme og variable. Ved en sammenligning af de følsomheder, der er beregnet og illustreret på pixelkortet (Figur 9 og Bilag 1), er det omvendt evident, at Ulstedmarken (som ligger tæt udenfor eksperimentområdet) repræsenterer en relativt lav følsomhed. Dette skal ses i lyset af, at de to zoneringsseksempler opererer på hvert deres detaljeringsniveau. Det viser sig yderligere, at den relativt høje gennemsnitsfølsomhed som de undersøgte punkter i Ulstedmarken har i KUPA-Sandundersøgelserne bl.a. skyldes, at undersøgelserne er gennemført på et delareal, som ikke afspejler den fulde variation indenfor området (Figur 11). KUPA-projektets følsomhedsvurdering ville sandsynligvis have været anderledes (lavere) dersom undersøgelserne havde omfattet et mere repræsentativt område af marken.

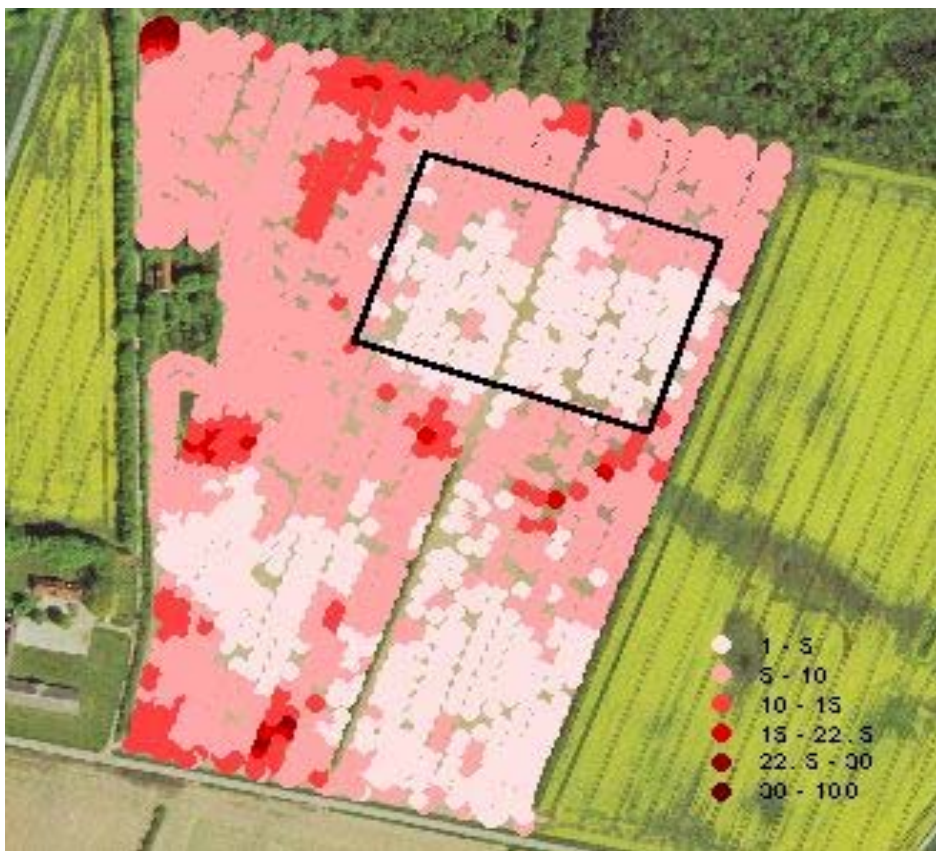


Figur 10. Beregnet følsomhed i 50 punkter indenfor Ulsted-marken, som er detailundersøgt i KUPA-projektet. Farveskalaen viser relativ følsomhed på en skala, hvor rød er højest. De sorte prikker på kortet er de undersøgte punkter, imellem hvilke der er interpoleret lineært. Akserne viser koordinater, men har forskellig skala. Sammenlign fordelingen af følsomme/ikke følsomme arealer med Figur 11.

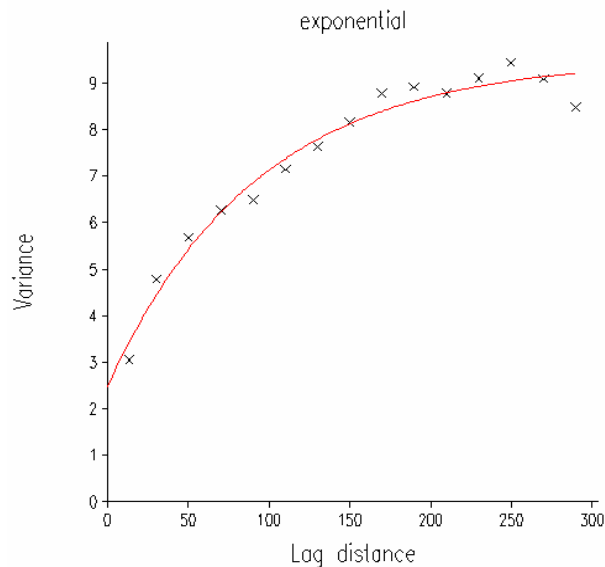
Skalaen for relativ følsomhed, som vises på pixelkortet (Figur 9 og Bilag 1), er ikke direkte sammenlignelig med følsomhedsskalaen i Figur 10, idet de to fremstillinger er baseret på hvert sit datasæt. I undersøgelsen af Ulstedmarken er der gennemgående et undersøgt punkt (profil) for hver ca. 400 m², mens hvert datapunkt i grundlaget for pixelkortet (Figur 9) repræsenterer ca. 900.000 m². En forsigtig sammenligning af figur 10 og 11 tyder på, at der kan være nogle få % af Ulstedmarken, som er særligt følsomme og en lidt større del, som potentielt kan være særligt følsomme. De mest problematiske områder på Ulstedmarken afspejler imidlertid kun forholdene indenfor den lille del af området, som er nøjere undersøgt. Sammenholdes dette kan det forventes at der indenfor pixelkortets lave generelle følsomhedsangivelser i området omkring Ulstedmarken gemmer sig en spredning og variabilitet som tillader en lokal variation i følsomhed, hvor en meget lille del af dette areal ville være særligt følsomt, hvis der blev tilvejebragt og benyttet et datagrundlag, der er 2000 gange tættere end de nuværende landsdækkende baser.

Den øjensynlige forskel mellem KUPA-sand-projektet følsomhedsvurdering og nærværende praktiske zoneringsforsøg er således ikke i modstrid med hinanden, men afspejler skalabetinget variabili-

tet, som er betinget af forskellene i datatæthed. Dette fremgår også af semivariogrammet for ledningsevne målingerne fra Ulsted-området (Figur 12) at selv med en tæthed ned til en indbyrdes afstand af 200-250 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. På tværs af de meget store skalaforskelle verificerer resultaterne fra Ulsted-marken og pixelkortet således hinanden.



Figur 11. KUPA-Sand-projektets undersøgelsesområde i Ulsted (sort indramning) og ledningsevne målinger i området (EM38). Skalaen for ledningsevne er i millisiemens. Højere ledningsevne tyder på større lerindhold, større fugtighed og større humusindhold. Undersøgelsesområdet beskriver primært variationen indenfor forhold, som kun findes indenfor ca. 20% af området.



Figur 12. Variogram af EM38-målingerne fra Ulstedlokaliteten. Punkterne er den eksperimentelle semivarians. Den røde linie er den bedst fittede eksponentielle model med parametrene: Range = 260 m, sill = 9,3 og nugget= 2,3 (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 zonerens 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.

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 differentieres 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 det kræver yderligere indsats at afklare dette spørgsmål.

Konklusion og pespektivering

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 (Vester Hassing) vurderes den generelle følsomhed overfor udvaskning af pesticid til grundvandet til at være lav til intermediær.

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. Der ud over, 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 nitrat zonerings), idet kontureringsmetoderne er uafhængige af datatyperne.

Tak

Nordjyllands 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. Undersøgelles- 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 seneglacial 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.

Heidmann, T. (Red.), 2001. Jordbundskortlægning og kvælstofmodellering i områder med særlige drikkevandsinteresser. Rapport over et pilotprojekt i et område med særlige drikkevandsinteresser nr. 17 ved Vester Hassing, Hals kommune, Nordjyllands Amt. Danmarks JordbrugsForskning. 91 pp.

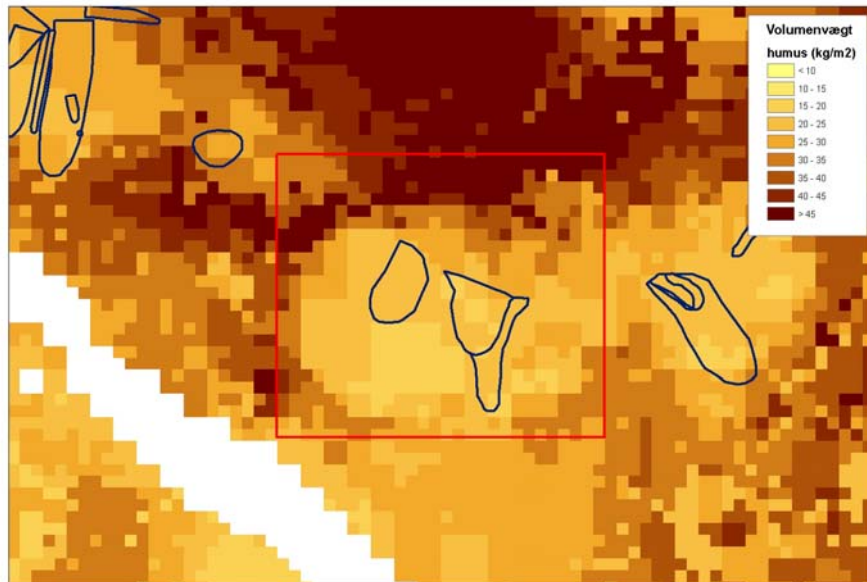
Miljøstyrelsen, 2000: Zonering. Vejledning Nr. 3 2000, 156 pp.

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.

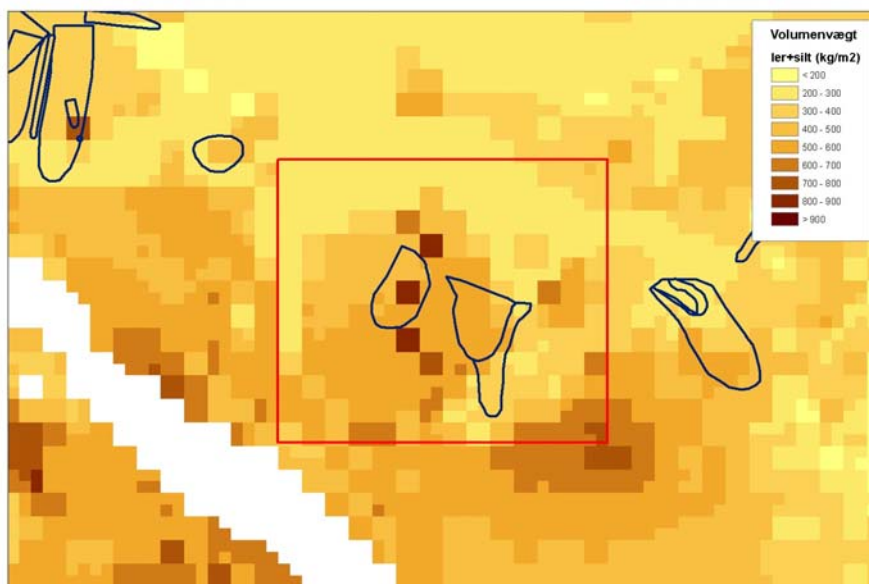
Nygaard, E., Greve, M.H., Greve, M.B., Hallermund, F.v.P, Iversen, B.V., Møller, I. og Torp, S., 2006a: Afprøvning af KUPA zoneringskriterier for sandede jorde; Nordøstlige Djursland, Århus Amt. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Danmarks JordbrugsForskning, 24 pp.

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.

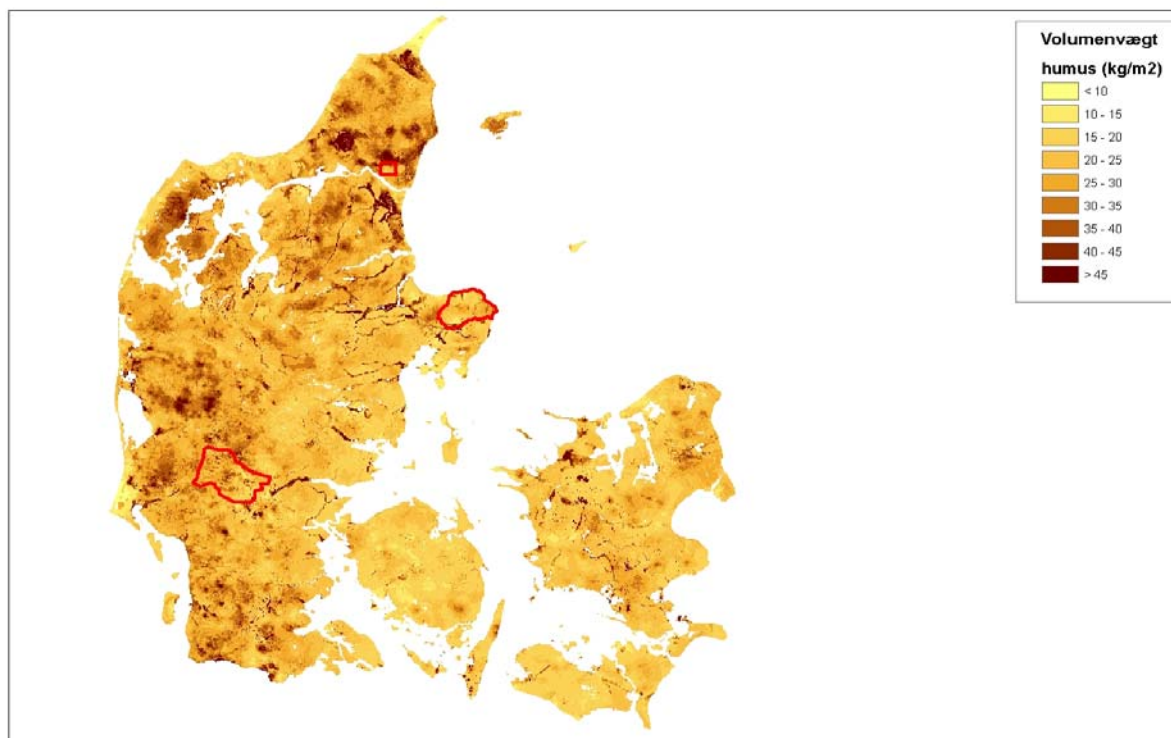
Bilag 1.



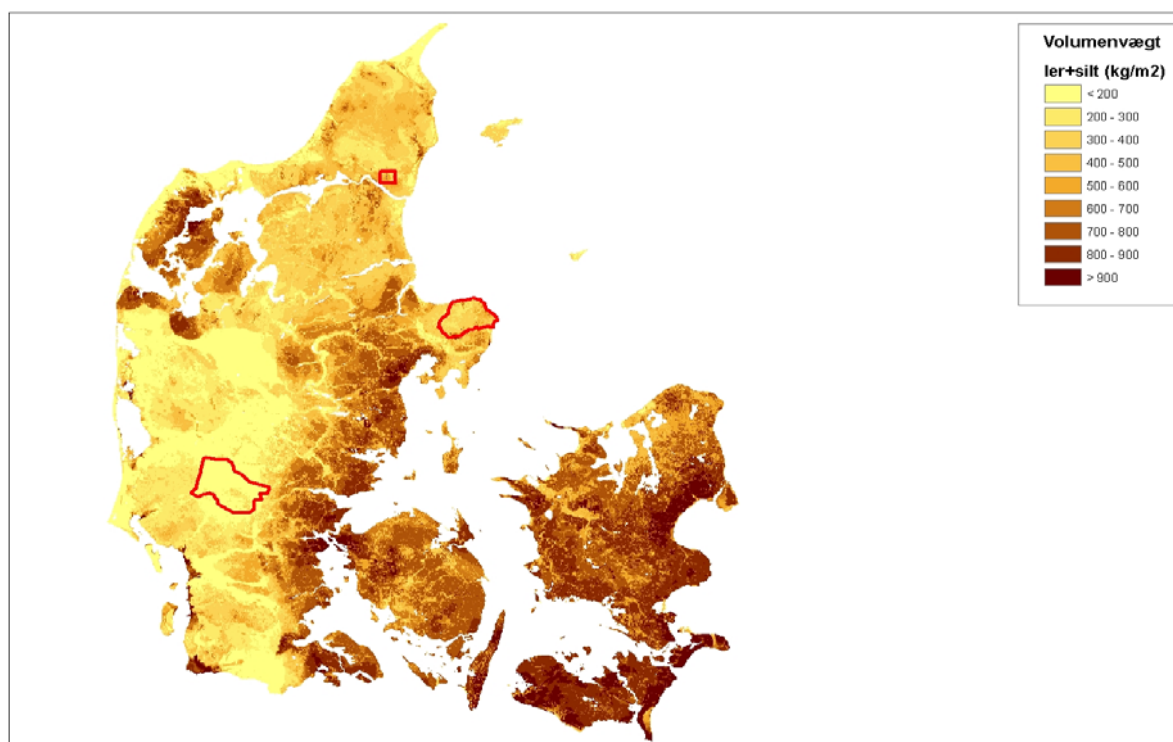
Bilagsfigur 1. Pixelværdier for volumenvægtet humusindhold i den øverste meter af jorden i Vester Hassingområdet. Grunddatas oprindelse er beskrevet i rapporten.



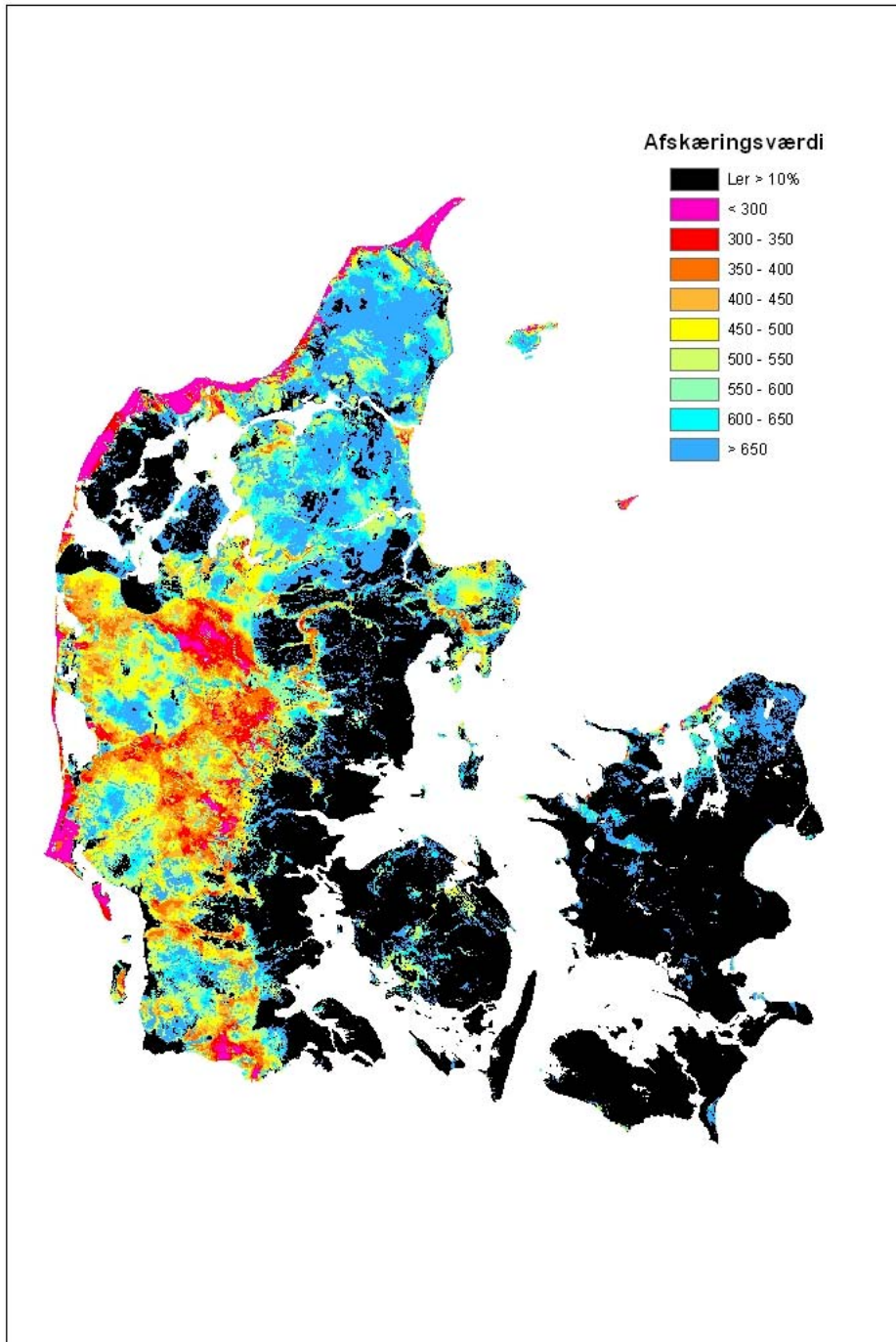
Bilagsfigur 2. Pixelværdier for volumenvægtet Ler+Siltindhold i den øverste meter af jorden i Vester Hassingområdet. Grunddatas oprindelse er beskrevet i rapporten.



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.

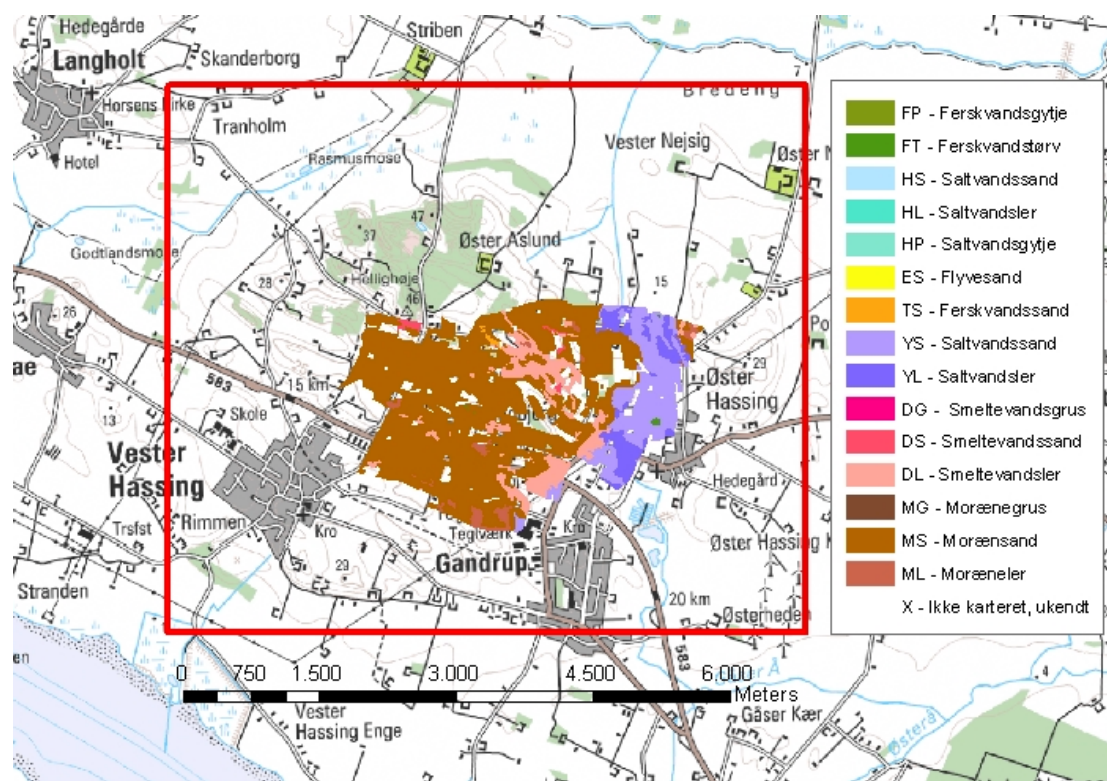


Bilagsfigur 4. Pixelkort over Ler+Siltindhold i den øverste meter af jorden. Beregning på grundlag af data og forudsætninger som angivet i rapporten. Kortet er en del af grundlaget for bilagsfigur 5. Røde indramninger viser afprøvningsområder for zoneringsmetoden. Bornholm er ikke inkluderet i undersøgelsen.



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.

Bilag 2



Bilagsfigur 6. Revideret jordartskort for Vester Hassingområdet, efter Heidmann 2001.

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 Vester Hasingområdet. Resultatet er at den generelle følsomhed i området er varierende, men relativ lav.

