

5. Diskussion

Gennem en systematisk dataindsamling på 24 danske undersøgelsesmarker er der indhentet et omfattende og sammenhængende datasæt, der beskriver en bred vifte af jordegenskaber, bilag 1, samt modelparametre for hydrauliske forhold, binding og nedbrydning.

Gennem korrelationsanalyser og simuleringer af pesticidudvaskning er der blevet etableret viden om hvilke jordegenskaber, der er afgørende for, om et areal/profil er særligt sårbart for udvaskning af pesticider, baseret på hydraulik og binding, altså uden konkret varierende nedbrydning.

De 24 undersøgelsesmarker indenfor 6 genetiske landskabselementer er udvalgt for at dække et bredt udsnit af de mest udbredte, dyrkede og grundvandsrelevante danske sandjordstyper. Derfor er det verificeret at de udvalgte profilers og markers egenskaber er i overensstemmelse med tilsvarende oplysninger fra den meget større teksturdatabase, bilag 2. Repræsentativiteten af de 24 undersøgelsesmarker er yderligere testet ved sammenligning med 170 sandjordsprofiler fra profildatabasen, kapitel 4.1 og bilag 2.

Simulering af pesticidet MTB's udvaskning viser at de 24 fuldprofiler fra undersøgelsesmarkerne er dækkende for det udfaldsrum som også findes for de 175 sandjordsprofiler fra profildatabasen (sammenlign figur 9.3 og 9.5 i bilag 9).

5.1. Grundlag for zonerings

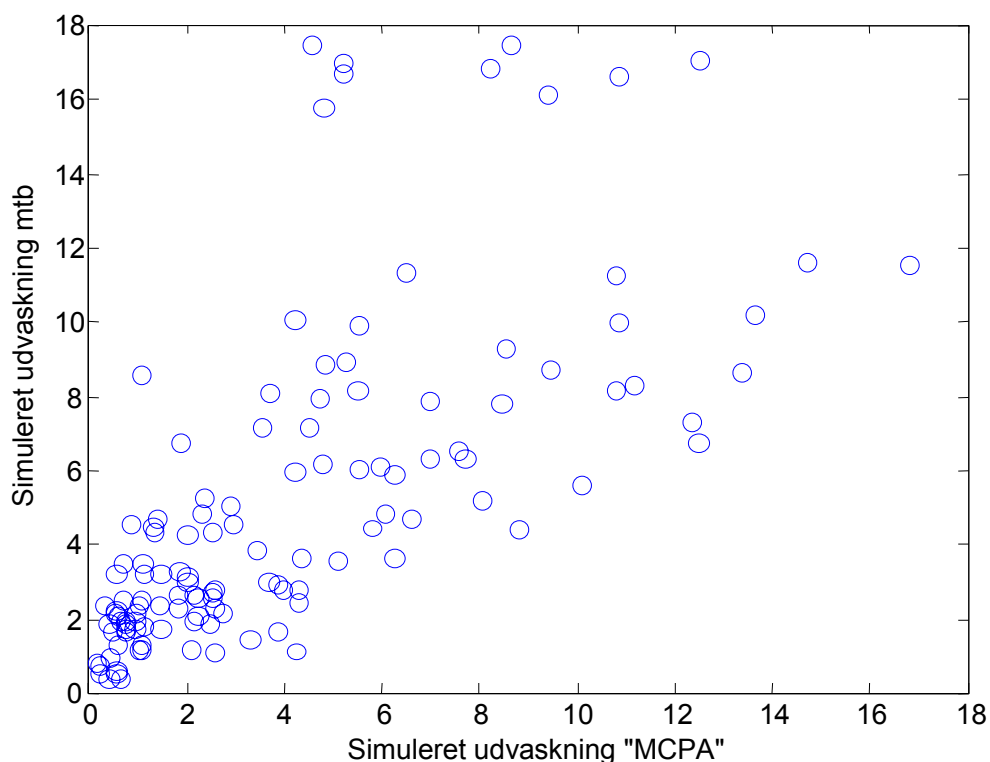
Det er, som forudsætning for at det vil være muligt at identificere særligt pesticidfølsomme sandjordsarealer, vist at der er generel forskel på hvor stor relativ udvaskning der simuleres på forskellige sandjorde, figur 36 samt kapitel 3.3 og bilag 9.

Den foreslåede angrebsvinkel til identifikation af særligt pesticidfølsomme arealer bygger på at det gennem nærværende arbejde har været muligt at pege på forholdsvis simpelt og billigt tilgængelige jordegenskaber, som tilsammen rummer information om jordens iboende følsomhed overfor udvaskning (uden at inkludere varierende nedbrydning). Det er en forudsætning for udpegning af de særligt pesticidfølsomme arealer med udgangspunkt i projektets resultater, at disse jordegenskaber er til rådighed eller kan skaffes med tilstrækkelig geografisk dækning.

Udpegningen af de jordegenskaber, der er mest afgørende for hvor stor pesticidfølsomheden beregnes at være, er sket på baggrund af undersøgelser for fire pesticider (modelstoffer) som forlods kunne formodes at være repræsentative for bredden i pesticiders egenskaber. Undersøgelserne har vist, at den viden der er opbygget om de fire pesticiders udvaskningsforhold svarer til at pesticiderne overordnet kan inddeles i to grupper af stoffer. En statistisk vurdering af 34 yderligere pesticider viser således, under hensyn til de fundne spredninger i resultaterne, at alle disse pesticider kan henføres til en af disse to grupper. Den altdominerende gruppe inkluderer MCPA og MTB. Undersøgelserne viser at et stof (fx. MCPA) hører hjemme flere forskellige steder i den dominerende gruppe, hvilket skyldes variationsbredden i de data der er med til at karakterisere bindingsevnen (K_f/K_d) for MCPA i de forskellige datasæt (hovedprojektet, litteraturstudiet og stofgruppeprojektet), figur 31. En meget lille del af de undersøgte pesticider (3 ud af de 34) falder udenfor denne gruppe, og for disse må der iværksættes en selvstændig vurdering baseret på det enkelte pesticides fysiske og kemiske egenskaber.

Gennem arbejdet er det blevet klart at jordens forholdsvis stabile udvaskningsegenskaber (hydrauliske og bindingsegenskaber) i hovedtrækkene kan karakteriseres på grundlag af

humusindhold og indhold af ler og silt. Yderligere detaljering af de stabile forhold som influerer på hydraulik og binding kræver oplysninger om flere jordegenskaber, tabel 9. Mens hydrauliske- og bindingsforhold afhænger af jordegenskaber, som i hovedtrækkene kan kortlægges med forholdsvis enkle midler, og hvis variabilitet tildels kan fastlægges indirekte, kræves der flere og vanskeligere opnåelige data for at karakterisere nedbrydningsforholdene i jorden. Dette afspejler ikke at nedbrydning er uden betydning. Tvært imod vil aktuel nedbrydning formodentlig kunne nedgradere graden af følsomhed overfor specifikke pesticider for en del arealer.



Figur 35. Graden af overensstemmelse mellem simuleret udvaskning i kvadratnetprofiler på sandjord af MTB og et modelstof, hvis egenskaber tager udgangspunkt i "MCPA's" egenskaber (et beregningsmæssigt stof).

Figur 35 illustrerer at det i betydelig grad er i de samme profiler der simuleres hhv. høj og lav udvaskning for stoffer, som hører til den store gruppe af pesticider. De 12 meget høje værdier for MTB skyldes at nogle af analyseresultaterne af MTB's binding er under detektionsgrænsen og derfor er sat = 0. Denne svaghed i data vedr. MTB er baggrunden for at videre vurderinger af følsomme arealer er baseret på et MCPA-lignende stof frem for på MTB (se yderligere i bilag 9 og 10).

Vanskeligheden ved at kortlægge jordens følsomhed på grundlag af nedbrydning er at den er stofs specifik og afhængig af aktuel landbrugspraksis. Graden af følsomhed, baseret på nedbrydning, ville således ændre sig geografisk og gennem tiden for de enkelte stoffer og kræve kendskab til fordelingen af specielle jordegenskaber, hvis variabilitet, selv i et øjebliksbillede, er vanskelig at fastlægge.

En generel kortlægning af følsomhed overfor udvaskning af pesticider på grundlag af hydrauliske og bindingsegenskaber etablerer derimod en relativt uforanderlig karakterisering som angiver et niveau, i forhold til hvilket en nedbrydningseffekt i reglen vil

mindske følsomheden (udvaskningsberegningen er gennemført med en fast nedbrydningsværdi svarende til 80% fraktilen, hvorfor anvendelsen af aktuel nedbrydning i nogle tilfælde vil øge udvaskningen.

Profilernes repræsentativitet

For at kunne vurdere, hvorvidt projektets resultater kan tillægges generel betydning for sandjorde, er det undersøgt hvor godt de valgte undersøgelsesmarker repræsenterer deres landskabelige omgivelser, jordartsmæssige penderter, m.v., tabel 12 og bilag 1 - 4. Denne repræsentativitetsundersøgelse karakteriserer de udvalgte lokaliteter og sammenligner dem med eksisterende data fra bl.a. Teksturdatabasen. Det er på denne måde vurderet at de undersøgte lokaliteter er gode repræsentanter på statistisk niveau, figur 36.

Tabel 12. Tabellen viser hvor udbredt og skønsmæssigt vigtig jordtypen er for grundvandsdannelsen og -ressourcen i Danmark. Vurderingsarealet for forskellige jordarter på jordartskortet 1:200.000 omfatter kun landbrugsarealer (højbund). Smeltevandssand og -grus udgør overvejende områder af betydning for grundvandsdannelsen. Opgørelsen af arealet inkluderer ca. 1000 km² smeltevandssand, som ikke fremgår af tabellen, men som forventes overvejende at være særligt følsomt overfor pesticidudvaskning. Sen- og postglaciale ferskvandssand ligger overvejende i områder med ringe grundvandsdannelse. Det anslås at kun en fjerdedel af flyvesandet er dyrket, men til gengæld forventes det overvejende at være særligt følsomt, idet det generelt har lavt humus, ler- og siltindhold. Morænesand vurderes (i modsætning til Yoldiasand) overvejende ikke at være særligt følsomt (se også figur 36). Saltvandssand og -grus udgør overvejende områder med ringe interesse for grundvandsdannelse, fx. på grund af saltproblemer. De undersøgte landskabselementer/marker er domineret af de jordarter, som er angivet med X.

Sandjordsarealer		Grundvands- interesse	Jylland km ²	Hele Danmark km ²	Undersøgelses- marker
Symbol	Navn				
DS	Smeltevandssand	Stor	5334	8277	X
TS	Senglaciale ferskvandssand	Lille	2571	4274	
FS	Postglaciale ferskvands lag	Lille	1694	5059	
ES	Flyvesand	Mellem	585	1917	
MS	Morænesand	Stor	1284	1972	X
HS	Saltvandssand	Lille	194	2710	
HG	Saltvandssgrus	Lille	17	232	
YS	Yoldia sand	Stor	550	771	X
SUM			12235	25218	

I projektets resultater indgår imidlertid sammenligninger med Profildatabasens kvadratnetprofiler. Kvadratnetprofilerne (beliggende med 7 km indbyrdes afstand) er placeret i et net, figur 37. På grund af den systematiske placering af kvadratnetprofilerne er de her antaget at repræsentere de mest udbredte jordarter i korrekt indbyrdes proportion. Den gode sammenhæng som er fundet mellem fordelingen af projektets egne profilers egenskaber og følsomhed overfor udvaskning, og tilsvarende for kvadratnetprofilerne, anses for at underbygge de undersøgte lokaliteters repræsentativitet for danske sandjorde.

Variationen af en lang række jordegenskaber er beskrevet i datarapporterne 3 – 10, hvor variationen indenfor undersøgelsesmarkerne er vist i "boblediagrammer" og med statistiske informationer, se også bilag 4. Imidlertid kan der være forskel på den

variabilitet, som er beskrevet med de aktuelle dataindsamlingspunkter og den "virkelige", iboende variabilitet. Variabiliteten må derfor mest nærliggende vurderes ved en variogramanalyse. Datatætheden og -mængden er imidlertid for de fleste jordegenskaber utilstrækkelig til en variogram analyse. Variabiliteten er derfor vurderet for de jordegenskaber, som benyttes i det foreslåede grundlag for en generel zonerings efter følsomhed overfor udvaskning af pesticid, baseret på hydrauliske egenskaber og binding. Denne fortolkning af variabiliteten, og dens betydning for udvaskningsfølsomheden, tager udgangspunkt i en af spredning på såvel profil- som markskala, bilag 3B. Den foreslåede løsning af problemet med at vurdere følsomheden under hensyntagen til variabiliteten ligger i en karakterisering af særligt følsomme arealer ved en kombineret fortolkning af geoelektriske målinger (EM38, som kan danne grundlag for en statistisk holdbar variogram-undersøgelse), indsamlede punktoplysninger og viden om områdets pædologi og geologi.

Samlet har undersøgelserne af variabilitet vist, at den er karakteristisk forskellig for forskellige landskabsselementtyper, men at den kan karakteriseres på baggrund af geoelektriske variabilitetsstudier (EM38), som viser hvor langt profiloplysninger kan ekstrapoleres (bilag 3B). Denne vurdering er ikke enkel, bl.a. på grund af skalaproblemer med EM38, men med passende skalering "tegner" EM38-kortene fordelingen af ler og silt, sådan at der til den generelle karakteristik af følsomhed fortrinsvis skal kunne skaffes oplysninger om indholdet af humus (og volumenvægt). Humus findes overvejende i A-horizonten (tiltider også i B-horizonten) således at det ofte vil være tilstrækkeligt at indsamle disse oplysninger fra A-horizonten. Ud fra viden om den pågældende jordarts sammensætning og databaseværdier kan volumenvægten, der i øvrigt udviser ringe absolut variation i forhold til de øvrige benyttede variable, anslås.

Variabilitetsundersøgelsen peger på at de mest følsomme arealer også er de, hvor der er størst variation i hhv. humusindhold og indhold af ler og silt, mens de ikke særligt følsomme arealer er relativt homogene og derfor lettere at karakterisere.

Jordegenskaber der beskriver følsomhed i forhold til pesticidudvaskning

Udvaskningen er simuleret med modellen MACRO4.3. Inputparametrene til MACRO modellen beskriver jordens hydrauliske forhold, den stofspecifikke binding og nedbrydningen. Disse modelparametre beskriver de tre processer der er afgørende for om, og i hvilket omfang, der sker udvaskning af pesticid fra sandjord. De hydrauliske egenskaber har betydning for hvor lang tid vandet opholder sig i den umættede zone. Stoffets binding har indflydelse på dets opholdstid i den umættede zone, mens en nedbrydning (forsvinding og mineralisering), som forløber fuldstændigt, i sidste ende fjerner stoffet fra den umættede zone, så der ikke sker en udvaskning til grundvandet.

De jordegenskaber der beskriver jordens hydrauliske egenskaber er kornstørrelsesfordelingen, indholdet af organisk kulstof og volumenvægten, figur 20. Et højt indhold af de fine kornstørrelser er sammen med stigende volumenvægt med til at nedsætte den hydrauliske ledningsevne og dermed forlænge vandets opholdstid i den umættede zone (øge retentionen). Omvendt betyder et stort indhold af de grove kornstørrelsesfraktioner at jorden lettere afdrænes, hvilket også synes at være effekten af et højt indhold af organisk kulstof i jordprofilen, antagelig på grund af strukturdannende egenskaber.

Bindingen af pesticid er detailundersøgt for fire stoffer. De jordegenskaber der samlet kræves for at beskrive hovedtrækkene i den del af bindingen der ikke kan brydes ved en ekstraktion i laboratoriet, er indholdet af organisk stof, pH og kornstørrelsesfordelingen.

Det er dog ikke alle disse jordegenskaber der indgår i beskrivelsen af hvert enkelte stofs binding. Højt indhold af organisk kulstof betyder for MTB og MCPA øget binding, mens afhængigheden for glyphosat er mindre klar. Afhængigheden af pH er mere entydig, idet faldende pH betyder en stigende binding. Med hensyn til kornstørrelsesfordelingen medfører en større andel af de fine kornstørrelser en øget binding af stofferne.

Nedbrydning af pesticid er detailundersøgt for tre stoffer. Nedbrydningen er beskrevet ved forsvindingstiden, hvilket betyder at både omsætning af stoffet og ikke ekstraherbar binding indgår i bestemmelsen. Beskrivelsen af nedbrydningen ud fra jordegenskaber er langt mere kompleks end beskrivelsen for hydrauliske parametre og binding. De jordegenskaber der samlet kræves for at beskrive stoffernes nedbrydning er: indholdet af organisk stof, pH, ombyttelige brintjoner, kornstørrelsesfordelingen, indholdet af jern og aluminium, samt diverse mål for den biologiske aktivitet. Dertil kommer at de forskellige pesticider fordrer forskellige parametre for en vurdering (tabel 9). Det store antal forskellige oplysninger, der skal bruges til en nedbrydningsvurdering, og nedbrydningens dyrkningsafhængighed, gør, at en sådan vurdering må være stoffsærlig og derfor vanskeligt kan udgøre grundlaget for en generel udpegning af særligt pesticidfølsomme arealer. Generelt er der større lighed mellem afhængighederne af jordegenskaber for MCPA og MTB end for MTA. Ved højere indhold af organisk kulstof går nedbrydningen for MTB og MCPA hurtigere, mens det ikke har betydning for nedbrydningen af MTA.

Effekten af variationer i en række andre jordegenskaber, som influerer på forudsigelsen (korrelationen) af de konkrete stoffers simulerede udvaskning, binding og nedbrydning er undersøgt, bilag 10. Disse egenskaber (fx. pH) har betydning for korrelationerne, specielt ved en rangordning af ikke særligt sårbare arealer. Det har imidlertid, i bestræbelsen på at finde en simpel fællesmængde af oplysninger, som har generel udsagnskraft for mange stoffer på en gang, vist sig at de kan undværes i karakteriseringen af de aller mest følsomme profiler/arealer. Disse egenskaber må geninddrages dersom det vælges af detaljere den generelle karakteristik af følsomhed, især i forhold til nedbrydning.

Jorde med ringe følsomhed i forhold til udvaskning af pesticid har lav hydraulisk ledningsevne, høj vandretention, høj binding og stor nedbrydning af stof. De jordegenskaber der samlet beskriver jordens følsomhed er: indholdet af organisk kulstof, kornstørrelsesfordelingen, volumenvægt, pH, indholdet af jern og aluminium og et mål for den biologiske aktivitet (nogle af disse jordegenskaber kan variere i løbet af et år). Heraf er det jordegenskaberne "indhold af organisk kulstof" og "indholdet af de fine kornstørrelser (ler og silt)", som er særligt afgørende. Generelt vil en stigning i indholdet af organisk stof betyde en faldende følsomhed grundet højere binding og nedbrydning af pesticiderne. Stigende indhold af organisk stof i jordprofilen medfører en højere hydraulisk ledningsevne, men denne effekt overskygges af det organiske kulstofs betydning for de stoffsærlige parametre, således at højt indhold af organisk stof samlet set begrundt giver en tilbageholdelse. Hvor volumenvægten er relativt høj og der er et forholdsvis stort indhold af de fine kornstørrelser er følsomheden overfor udvaskning af pesticid alt andet lige generelt mindre, idet højt ler- og siltindhold medfører høj retention og lav hydraulisk ledningsevne, og bidrager til øget binding af pesticid, samtidig med at volumenvægten tenderer til at være lidt højere for jorde med højt indhold af de fine kornstørrelser på grund af muligheden for tættere pakning. Jordenes pH-niveau har primært betydning for bindingen af stofferne, hvor et faldende pH-niveau, afhængig af det konkrete stof, giver en højere binding og dermed en lavere følsomhed overfor pesticidudvaskning (denne effekt af højt pH har ikke afgørende betydning for karakteriseringen af de "særligt følsomme arealer").

Repræsentativitet af modelstofferne

Erfaringsgrundlaget for udpegning af jordegenskaber af betydning for sårbarheden bygger på viden indhentet for fire pesticider (modelstoffer). Yderligere er der gennemført undersøgelser for 34 pesticider med henblik på at generalisere resultaterne for de fire pesticider. Arbejdet omhandler både laboratorieundersøgelser og en indsamling af resultater fra litteraturen (litteraturreport). Generaliserbarheden er vurderet i forhold til begge de pesticidespecifikke forhold, binding og nedbrydning.

Bindingen for de fire detailundersøgte pesticider beskrives af indholdet af organisk kulstof, pH og kornstørrelsesfordelingen, hvor specielt ler og silt spiller ind. Idet risikoen for at MTB og MCPA udvaskes helst skal være lav, er det optimalt med et højt indhold af organisk kulstof og ler (og silt). Resultatet af undersøgelsen viser at langt hovedparten af stofferne har samme type afhængigheder som er blevet fundet for to af de detailundersøgte pesticider: MCPA og MTB. Generelt bindes stofferne hårdere i jorde med højt indhold af organisk kulstof og ler, samt lavt pH.

Vurderingen af de fire detailundersøgte pesticides nedbrydning ud fra jordegenskaber bygger på en kvalitativ sammenligning af de faktiske værdier for forsvinding. Blandt de fire modelstoffer har MPCA en høj generel nedbrydning og glyphosat en høj nedbrydning i overjord og lav i underjord, mens MTA og MTB har en generel lav nedbrydning. Undersøgelsen af et stort antal stoffer (34) viser at de fire detailundersøgte pesticider udspænder udfaldsrummet for nedbrydning godt. Det vurderes derfor at de tendenser der findes for de fire pesticider kan forventes at være gældende for en langt større gruppe stoffer, men at årsagen til variationerne for det enkelte pesticid på forskellige jordtyper, skyldes helt forskellige egenskaber.

Den viden der er opbygget for de fire pesticider omkring hvilke jordegenskaber der skal anvendes til at udpege særligt følsomme arealer vurderes, specielt med hensyn til stoffernes binding og de hydrauliske egenskaber, at ville kunne nyttiggøres så den gælder for hovedparten af de 34 undersøgte stoffer. Det er ikke konkret vurderet hvorvidt dette resultat også er dækkende for de øvrige nuværende/fremtidige pesticider, men med den store udspænding i de undersøgte pesticides egenskaber og det store udfaldsrum for resultaterne er en sådan gyldighed sandsynlig og nærliggende. Dette vil forholdsvis enkelt kunne verificeres, idet en række målinger af binding og nedbrydning på kendte jordtyper kan klassificeres i forhold til de 34 undersøgte pesticider.

Hvorvidt en zonerings baseret på egenskaber for hovedparten af pesticiderne vil være tilstrækkelig til også at sikre beskyttelsen i forhold til de pesticider, hvis egenskaber falder udenfor denne gruppe, er vanskelig at vurdere konkret. Imidlertid vil der ikke, indenfor de arealer der er udpeget som særligt følsomme, være risiko for udvaskning, dersom der her indføres et generelt forbud mod at anvende pesticider. For de arealer der ikke er generelt særligt følsomme, kan der teoretisk være mulighed for at visse arealer i denne gruppe udviser særlig følsomhed overfor netop et eller flere af disse pesticider. Varslingssystemet for Pesticider udspænder væsentlige egenskaber for disse stoffer, og det vil derfor være muligt at sådanne arealer er beskyttet via restriktioner i medfør af godkendelsesordningen, herunder Varslingssystemet for Pesticider. For pesticider der ikke falder indenfor hovedgruppens egenskaber, skal der foretages en konkret vurdering baseret på det enkelte pesticides aktuelle egenskaber.

5.2. Strategi for zonerings

Den omstændighed at der findes simple jordegenskaber der indeholder nødvendig og tilstrækkelig korreleret information om den generelle følsomhed af et areal i forhold til pesticidudvaskning, til at følsomheden kan forudsiges, viser at der foreligger et grundlag for en mulig praktisk zonerings. Dersom en detailkortlægning af alle de mest betydningsfulde jordegenskaber ikke er realistisk for hele det danske sandareal kan følgende mere pragmatiske løsning overvejes.

En praktisk strategi for en eventuel zonerings kunne være baseret på en udpegning af de områder, hvor der er størst risiko for udvaskning af de mest mobile og sværest nedbrydelige blandt de godkendte pesticider. Det må således forventes at kun en lille del af de godkendte pesticider vil have en problematisk udvaskningsrisiko indenfor de udpegede særligt følsomme områder. Karakteriseringen af sandarealers følsomhed overfor udvaskning af pesticider kan ske på baggrund af eksisterende eller let tilgængelige data. Vurderingen indebærer en karakterisering som ikke særlig følsomt, potentielt følsomt eller særligt følsomt. Indenfor den mellemste "potentielt følsomme" kategori kan nogle delarealer om nødvendigt, ved nærmere og mere omfattende karakteristik og detailkortlægning af de jordegenskaber som er nødvendige til beskrivelse af hydraulik, binding og (i princippet også) nedbrydning, omklassificeres til en af de andre kategorier..

Denne vurdering foreslås at ske på baggrund af forholdene i jordens øverste meter, dels fordi processerne i denne zone kvantitativt er langt de vigtigste i forhold til binding og nedbrydning af pesticid, dels og sekundært fordi kortlægning af dette øverste jordlag er ulig nemmest. Et pesticid der forlader rodzonen betragtes altså i denne sammenhæng som udvasket til grundvandet, vel vidende at der i den dybere del af den umættede zone vil kunne forekomme jordlag med egenskaber, der mindsker risikoen for at stoffet når grundvandet. Tilstedeværelse af sådanne jordlag vil yderligere mindske den beregnede følsomhed overfor forurening af grundvandet (i forhold til den foreslåede enkle karakteristik). Derfor er det et konservativt valg at tage udgangspunkt i forholdene i rodzonen, hvilket også er praksis ved godkendelse af pesticider. Med kendskab til forholdene i de dybe jordlag kan karakteristikken af særligt følsomme områder således detaljeres yderligere. De konkrete simuleringer har dog vist at denne effekt i den dybereliggende umættede zone er beskeden for modelstofferne, bilag 9.

Jordegenskaber og afskæringsværdier ved karakterisering af jordens følsomhed

Karakteriseringen af sandområdets følsomhed overfor udvaskning af pesticid, som i eksemplet, hvor tre kategorier af følsomhed udskilles, må ske på baggrund af de jordegenskaber som har mest betydning for beskrivelsen af et areals følsomhed overfor udvaskning fra rodzonen. Korrelationsanalyserne til de simulerede udvaskninger viser at indholdet af organisk kulstof, lerindhold og volumenvægt er de tre vigtigste jordegenskaber, figur 20. Indholdet af organisk kulstof påvirker især binding og nedbrydning af stof, mens lerindholdet og indholdet af organisk stof (normaliseret ved omregning med volumenvægt) særligt har betydning for de hydrauliske egenskaber. Karakteriseringen vil derfor kunne baseres på en vurdering af det samlede indhold af organisk kulstof, og ler og silt i jordens øverste meter.

Det samlede indhold af organisk kulstof i den øverste meter kan anslås som en funktion af indholdet af organisk stof (koncentrationen) og tykkelse af A-horisonten. Denne beregning tager hverken højde for et evt. aftagende indhold af organisk kulstof fra bunden af pløjelaget til bunden af A-horisonten eller til organisk kulstof i en evt. underliggende Bh-horisont. Der er lavet en følsomhedsanalyse for A-horisontens tykkelse som viser at jorde,

hvor stoffets opholdstid er stærkt afhængig af binding, er mere følsomme overfor A-horisontens tykkelse end jorde hvor lav hydraulisk ledningsevne også spiller en rolle i tilbageholdelsen af stof. Da bindingen for hovedparten af de undersøgte stoffer hænger sammen med indholdet af organisk stof og da hydraulikken blandt andet afhænger af lerindholdet, kan en fremgangsmåde til en identifikation af særligt pesticidfølsomme områder indebære fastlæggelse af afskæringsværdier for organisk kulstofindhold under hensyntagen til ler- og siltindholdet og vægtet efter volumenvægt. De afskæringsværdier der vil kunne benyttes fremgår af tabel 13. Den arealstørrelse, hvor kortlægning af sandjordes følsomhed er relevant efter de opstillede forudsætninger er anslået i tabel 12. Landskabelementernes betydning for vurderingen af særlig følsomhed hænger sammen med at der er forskel på variabiliteten indenfor de forskellige elementer.

Tabel 13. Afskæringsværdier for indhold af organisk kulstof (humus), ler og silt i den øverste meter af jorden, svarende til eksemplet i kapitel 4.9. Når de samhörrende værdier for et område er lavere end de højeste angivne værdier eller relation er er området i den mest følsomme af de to kategorier som kriteriet adskiller.

	1. afgrænsning		2. afgrænsning	
Eksemplet	Humus, kg/m ²	Ler+silt, kg/m ²	Ler+silt, kg/m ²	Humus, kg/m ²
3	17	130	Ler+silt<-10*humus+350	

Til videregående identifikation af særligt pesticidfølsomme områder (indenfor den følsomhedsmæssige mellemkategori af pesticidfølsomme områder) er der behov for en vægtet vurdering af udvaskningsrisikoen på basis af alle de jordegenskaber, som har vist sig at have betydning for korrelation af simuleret udvaskning, binding, nedbrydning og hydrauliske egenskaber. Denne vurdering må baseres på en kombination af eksisterende og nyindsamlede data som testes i den fortolkningssammenhæng som er etableret, dvs. i en simulering, ved korrelation, ved en sammenligningssamling eller evt. i en regnearksformel.

Udmøntning i landskabet

Undersøgelserne er gennemført for jordprofiler, hvilket i landskabet svarer til punktoplysninger. Den praktiske udnyttelse af resultaterne forudsætter at punktoplysningerne kan omsættes til en karakterisering af arealer. De i alt ca. 200 profiler, som er blevet undersøgt i projektet, ligger i områder, som er domineret af smeltevandssand, ferskvandssand, Yoldiasand og morænesand, figur 3. Profilerne er spredt ud over sandjordsområder i Jylland, hvor disse jordarter er mest udbredt. Det vurderes derfor at det forholdsmæssige antal af profiler, som illustrerer særlig følsomhed for pesticidudvaskning, tilsvarende afspejler forholdet mellem arealernes følsomheder for de undersøgte sandjordstyper og landskabelementer.

De øvrige sandjordstyper er :

- Postglacialt ferskvandssand (~5000 km² i hele landet), som i betydeligt omfang ligger i lavninger uden grundvandsdannelse.
- Sen- og postglaciale havaflejringer (~3000 km² i hele landet), som er udeladt da de er af begrænset interesse i drikkevandssammenhæng.
- Flyvesand (~1900 km² i hele landet), som formodes at være særligt følsomt, men hvoraf det antages at kun en fjerdedel (~450 km² udgør landbrugsområde).

En praktisk udnyttelse af resultaterne i eksemplerne forudsætter, at de benyttede oplysninger om jordegenskaber kan kortlægges med udgangspunkt i eksisterende data og/eller nyindsamlede data, og at det er muligt at tolke landskabet i forhold til disse data. Der eksisterer databaser med oplysninger om kornstørrelsesfordelinger og humusindhold, omend oplysningerne ikke nødvendigvis dækker den fulde variation i landskabet (fx. topografi). Volumenvægt er den dårligst dækkede oplysning, men kan tildels anslås på baggrund af erfaringsværdier for de forskellige jordtyper, idet værdierne er relativt konstante og har lille variation i forhold til variationen i prædiktionen og simuleringen af udvaskning. I profildatabasen er der 2200 oplysninger om sandjordes volumenvægt. Nogle af de data, som er nødvendige for at gennemføre supplerende beregninger, svarende til en detaljering af karakteriseringen af følsomhed, kan hentes fra eksisterende databaser.

Kortlægning af denne type, hvor eksisterende punktoplysninger suppleret med nyindsamlede data udbredes til at karakterisere arealer, anvendes i mange sammenhænge. Anvendelsen bygger på en stor erfaring og rutine som også anses for brugbar i forbindelse med identifikation af særligt pesticidfølsomme arealer, når blot variabiliteten tages i betragtning, 3A og 3B. Det etablerede grundlag for identifikation af særligt pesticidfølsomme sandjorde forventes således tilsvarende at kunne omsættes i konkret kortlægning og afgrænsning af særligt pesticidfølsomme sandjordsarealer: at det er muligt at skalere fra punkt til areal.

Eksempel på zonerig

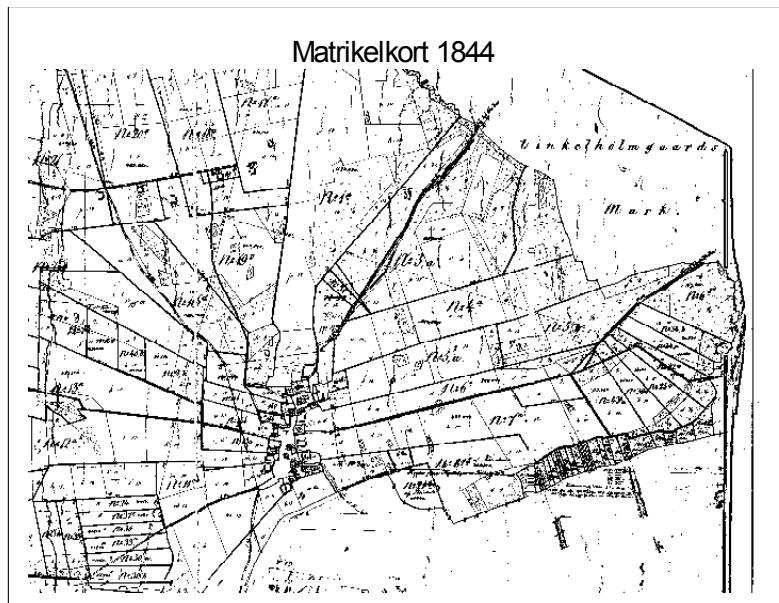
En praktisk udnyttelse af resultaterne (som skitseret i eksemplet) forudsætter anvendelse af eksisterende data og/eller nyindsamlede data afhængig af på hvilken skala zoneringen skal udføres. Zoneringsseksemplet bygger udelukkende på anvendelse af eksisterende data i samme skala som det geologiske jordartskort, 1:25.000.

Informationer om overjorden (eksisterende data). Der findes en række kilder til informationer om overjordens egenskaber. Den vigtigste kilde til denne information er *Den Danske Jordklassificering*. Til denne klassificering blev der indsamlet et helt nyt landsdækkende datasæt, som består af tekstur analyser fra pløjelag og underjord. Der blev udtaget prøver fra omkring 36.000 lokaliteter, ca.1 prøve pr km². Der blev ikke udtaget prøver fra by- og skovområder. Prøverne blev udtaget af lokale planteavlskonsulenter i samarbejde med de ansatte på Landbrugsministeriets Arealdatakontor, SDK. På laboratoriet blev prøverne analyseret for tekstur, organisk materiale og kalk indhold og resultaterne blev lagret i databaser på ADK. Landbrugsarealet blev klassificeret i 12 jordklasser afhængig af texturen i 0 – 20 cm dybde, tabel 14. Disse 12 jordklasser blev slået sammen til de 8 farvekoder som ses på det endelige kortværk. Jordtype grænserne på dette kortværk blev trukket i et samarbejde mellem SJF og lokale planteavlskonsulenter. Rest områderne blev opdelt i byområder og skovområder. På denne måde udnyttede man konsulenternes store lokalkendskab. I 1980 var de 400 kort fra den danske jordklassificering færdig kompileret og trykt i 1:50.000.

Tabel 14. Definitioner af jordklasser og jordtyper

Farve koder	Jord type	JB-nr.	Percentage by weight					Org. Mat. 58.7 % C	Kalk CaC O ₃
			Ler < 2 µm	Silt 2-20 µm	Finsand 20-200 µm	Total Sand 20-2000 µm			
1	Grovsandet jord.	1	0-5	0-20	0-50	75-100	≤ 10	≤ 10	
2	Finsandet jord	2			50-100				
3	Lerblandet sandjord	3	5-10	0-25	0-40	65-95			
		4			40-95				
4	Sandblandet lerjord.	5	10-15	0-30	0-40	55-90			
		6			40-90				
5	Ler jord.	7	15-25	0-35		40-85			
6	Svær lerjord of siltjord.	8	25-45	0-45		10-75			
		9	45-100	0-50		0-55			
		10	0-50	20-100		0-80			
7	Organisk jord.	11					> 10	0-90	
8	Kalk jord	12					≤ 10	> 10	

1844 matriklen. 1844 matrikelboniteringen indeholdt en landsdækkende kortlægning af matriklerne samt udtegningen af et nyt matrikel kort (1:4000). Derudover blev jorderne boniterede efter deres produktions potentiale, figur 36. Jorderne blev vurderet i henhold til en 24 trins skala og den bedste jord fik takst 24, referencelokaliteten for takst 24 er beliggende i Karlslunde mellem Roskilde og Køge. Markernes bonitet samt deres størrelse var grundlaget for bestemmelse af de forskellige gårdes hartkorn, som var beskatningsgrundlaget. 1844 matrikelboniteringen blev brugt som skattegrundlag i ca. 60 år. I 1903 blev en ny skattelovgivning vedtaget hvor hartkorn forsvandt som beskatnings grundlag. Ikke desto mindre er 1844 matriklen fortsat meget anvendt.

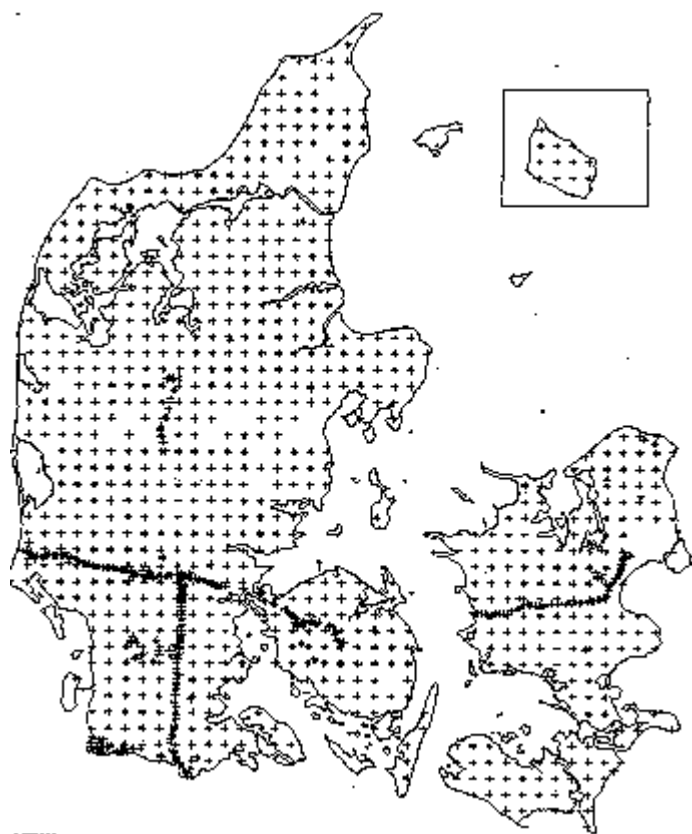


Figur 36. Scannet matrikelkort fra 1844

Jordprofilundersøgelsen (underjorden). I løbet af firserne blev der gennemført to store landsdækkende kampagner. I disse blev der udført detaljerede jordprofilundersøgelser og et omfattende analysearbejde (Madsen og Jensen 1985). Den første kampagne blev gennemført i forbindelse med etableringen af hovedgasledningen fra Nordsøen på tværs af Danmark til København. Denne kampagne, hvor der blev beskrevet ca. 800 profiler, blev gennemført fra 1981-84.

I den anden kampagne etablerede Landbrugets Rådgivningscenter i 1986 et 7 km kvadratnet som indeholdt ca. 850 punkter. I alle punkter blev der udført jordprofilundersøgelser. Undersøgelsen blev gennemført i perioden fra 1987-1990 i et samarbejde mellem Landbrugsministeriets Arealdatakontor (ADK) og Geografisk Institut på Københavns Universitet.

Disse to kampagner dannede grundlaget for etableringen af Den Danske Jordprofil Database, som administreres af Danmarks JordbrugsForskning (se figur 37).



Figur 37.: Placering af Jordprofilerne fra Den Danske JordprofilDatabase

Alle jordprofiler blev beskrevet efter retningslinier (Madsen & Jensen, 1988). Der blev taget prøver til analyse fra alle profilerne, prøverne blev udtaget fra pedologiske horisonter, tekstur, organisk C, pH og kalk indhold blev bestemt på alle horisonter. På udvalgte horisonter blev der endvidere bestemt DC og Pyrofosfat ekstraherbar Fe og Al, CEC, udbytbar base, total N og P, lermineralogi og vandindhold. Disse oplysninger lagres i Den Danske Jordprofil Database.

Det Geologiske Jordartskort. I 1888 påbegyndtes en landsomfattende kortlægning af den geologiske jordart i 1 meters dybde. Kortet viser den geo-genetiske jordart, så som Moræne, Flyvesand eller Ferskvandstørv. Derudover viser kortene en grov tekstur klasse; Grus, Sand, Silt, Ler. Grænsen mellem Ler og Sand er ca. 15% ler.

90% af Danmark er på nuværende tidspunkt kortlagt og er tilgængeligt i digital format i skala 1:25.000. GEUS har herudover lavet en landsdækkende version i 1:200.000.

Kortlægningen af jordarterne bliver i praksis udført med et 1 meter langt jordbor hvormed geologen udtager en lille prøve fra 1 meters dybde, både jordart og tekstur klassen er vurderet på denne prøve. Normalt er der kun angivet en jordart pr. boring men i nogle tilfælde hvor jorden er lagdelt kan der angives to jordarter pr boring.

Geologen går igennem landskabet i transekter med 100-200 meters afstand og borer ligeledes med 100-200 meters afstand. Den nøjagtige lokalisering samt jordarten er indtegnet på et målebordsblad (1:20 000). Grænserne mellem jordarterne er ligeledes færdigtegnet i felten.

Statistisk bearbejdning. For at kunne få jordbundsparametre knyttet til de arealdækkende kort skal der etableres en rumlig link mellem punkt data og kort data. Ved at anvende denne metode får man eksempelvis alle jordbundsprofiler som ligger indenfor DS på det geologiske jordartskort samlet i én gruppe. Dette link etableres både mellem teksturpunkter og farvekode kort og imellem jordprofiler og jordartskort mhp. Analyse af landskabet.

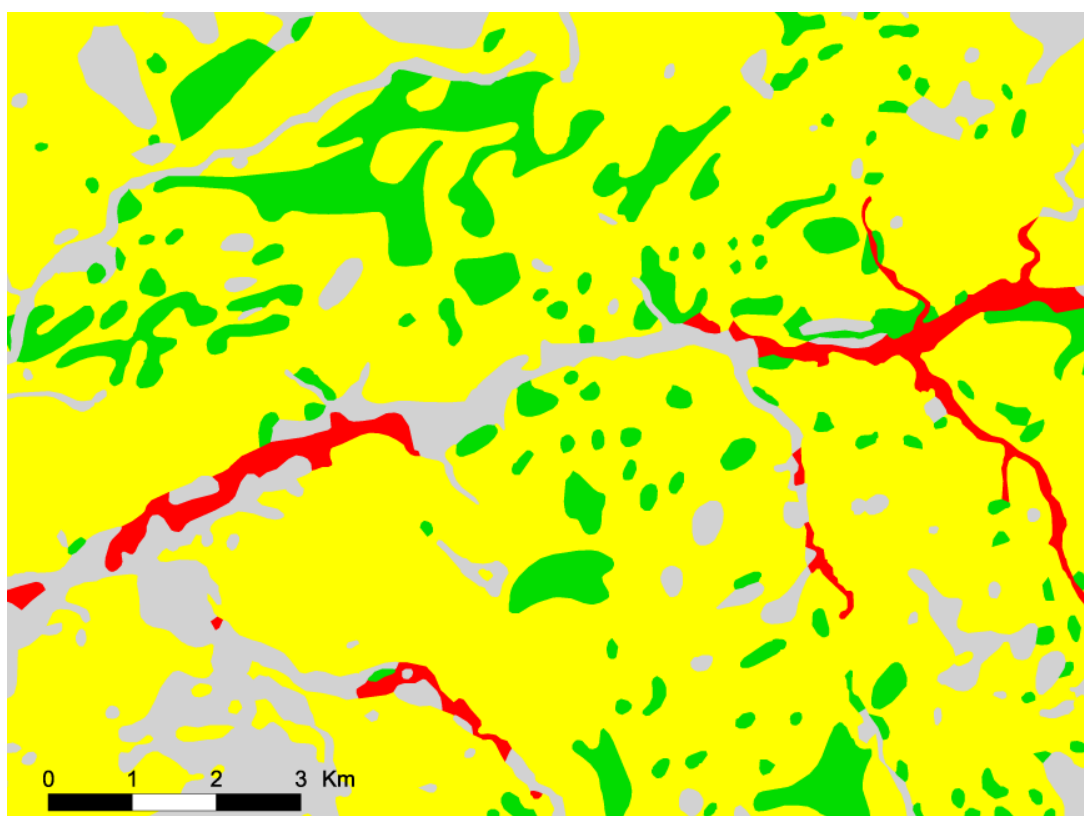
For alle arealklasser på de to arealdækkende kort kan der således, ud fra databasens punkter inden for de respektive arealklasser, beregnes median værdier for ler, silt og humus, tabel 15.

Tabel 15. Medianværdier af ler-, silt- og humusindhold (samt følsomhedskategorier) beregnet ud fra landsdækkende jordbundsdata for et større areal omkring det område der er vist i figur 38. Afskæringsværdierne fremgår af tabel 13.

Jordart	Ler kg/m ²	Silt kg/m ²	Ler+silt kg/m ²	Humus kg/m ²	Følsomhed (gns.)
DG	134	92	225	17,3	Ikke særlig
DS	69	89	158	14,9	Potentiel
ES	39	39	78	17,8	Potentiel
FS	53	74	126	15,4	Særlig
MG	68	75	143	20,8	Ikke særlig
MS	68	105	173	17,3	Potentiel
TG	62	77	138	25,7	Ikke særlig
TS	56	68	123	20,3	Potentiel

Udmøntning i landskabet. På baggrund af informationerne i jorddatabasen er der beregnet medianværdier for indholdet af ler, silt og humus i de forskellige jordarter i et større område øst for Nissum Bredning. Disse værdier er anvendt til at karakterisere udvaskningen i kategorier efter følsomhed, tabel 15. På grund af anvendelsen i eksemplet af medianværdier indenfor et større område for humus, og ler og silt, er den "potentielt følsomme" mellemkategori (gul i figur 38) mere udbredt end den forventeligt, og i forhold til figur 32, ville være med de eksakte og lokale data. Dette kan blandt meget andet (ud over medianværdierne) skyldes at det ikke er verificeret om teksturbasens data er vægtet i forhold til en eventuel effekt af topografi, hvor der kan være mere humus i lavninger. En medvirkende årsag kan desuden være at der er regnet med konstant volumenevægt. Figuren illustrerer imidlertid at der er realistisk potentiale i en sådan regional karakterisering af følsomhed.

De kriterier der ligger til grund for eksemplet og projektets resultater iøvrigt er forsøgsvis lagt ind i et beslutningsstøttesystem, bilag 15, som kan håndtere variabiliteten i data med henblik på konkrete vurderinger af følsomhed.



Figur 38. Forsøgsvis zonerings af et område øst for Nissum Bredning. Grå arealer er lavbunde, som ikke er udvaskningsmæssigt karakteriserede. Røde områder er særligt følsomme. Gule områder er potentielt særligt følsomme og grønne områder er ikke særligt følsomme. Sammenlign tabel 15 og figurerne 33 og 34.

5.3. Usikkerhed

Usikkerheden på forudsigelserne af modelparametre og simulerede udvaskninger på basis af almindelige jordegenskaber er ikke konkret vurderet, men beskrevet ved at forudsigelserne gennemgående beskriver over 80% af den samlede variation ved den multivariate korrelation. Denne korrelationsusikkerhed fremstår som en uforklaret residual som bl.a. indeholder den ustrukturerbare del af simuleringsresultaterne, dvs. simuleringsusikkerheden. Den samlede usikkerhed (som inkluderer alt lige fra prøvetagning, opbevaring, prøveforberedelse og analyser til simulering og statistisk behandling) kan således antages at være indbygget i de sidste knapt 20% af variationen (pers. kom., Kim Esbensen). Resultaterne vurderes således at være gyldige for en majoritet af aktuelle kombinationer af almindelige jordegenskaber på et niveau som vil være realistisk i praksis i forhold til den geografiske variabilitet. Resultaterne vil derfor netop kunne anvendes til at sondre mellem arealer der er, eller ikke er, "særligt" følsomme overfor udvaskning af pesticid.

Beregningsresultaterne tilføjes yderligere usikkerhed når de føres ud i praksis i landskabet, idet der her adderes usikkerhed fra variabiliteten. Denne usikkerhed kommer til udtryk i spredningen i beregnede udvaskningsværdier i kombination med den kortlægningsmæssige usikkerhed. Den samlede usikkerhed der føres ud i landskabet vil afhænge af hvilke data, der er til rådighed, og hvilken erfaring der er opbygget for det pågældende areal.

Dersom usikkerheden ønskes minimeret kan der indsamles data til prædiktion af binding og hydraulik, hvorefter der gennemføres en modelmæssig simulering. Dette vil kunne være relevant i områder der karakteriseres som "potentielt særligt følsomme".

Problemkredsen vedr. forvaltningsmæssige, juridiske og økonomiske aspekter af udlægning af beskyttelseszoner for særligt pesticidfølsomme områder indgår ikke i dette projekt.

5.4. Verifikation

Det er væsentligt at fremgangsmåden til udpegning af særligt følsomme arealer i praksis viser sig at pege på arealer, hvor der reelt er en relativt høj risiko for udvaskning af pesticid. Derfor er pesticidudvaskningen fra fire marker med forskellige typer sandjorde, klima og landbrugsdrift, blevet monitoreret gennem de seneste tre år, mhp. at verificere den foreslåede strategi, bilag 14. Der er indsamlet prøver af det aller øverste grundvand og analyseret for indhold af de anvendte pesticider. Også resultaterne fra de to VAP marker på sandjord inddrages i verifikationen.

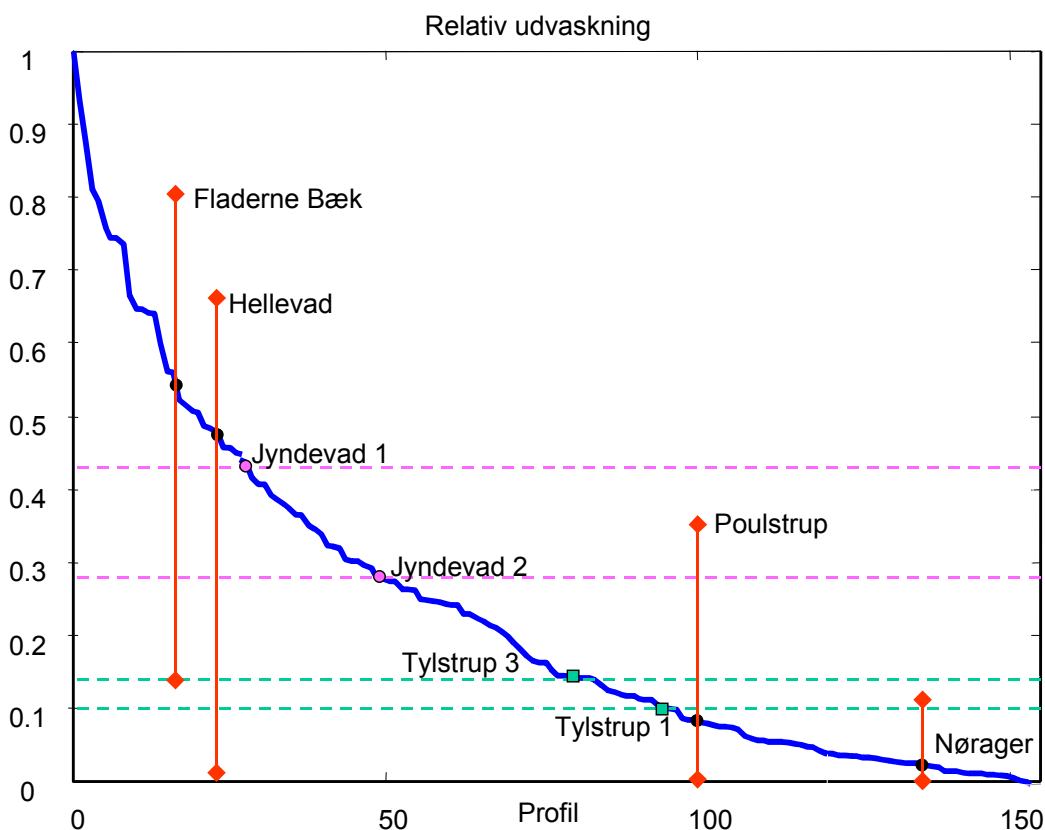
Verifikationen sker ved at sammenligne reelt målte udvaskninger fra de seks marker (Verifikationsmarker og VAP-marker) med de forventninger til arealernes sårbarhed der kan opstilles på baggrund af de simple jordegenskaber, der indgår i karakteriseringen efter følsomhed, bilag 14. Dette foregår ved en sammenligning mellem de gennemsnitlige udvaskninger fra verifikationsmarkerne og markernes placering på den relative udvaskningsskala for sandjordes følsomhed overfor udvaskning, som projektet har etableret, tabel 18 og figur 39

Indplaceringen af VAP- og verifikationsmarkerne i den relative simulerede udvaskningsrækkefølge viser, at der er overensstemmelse mellem de enkelte markers indbyrdes placeringer i forhold til målte gennemsnitlige udvaskninger. Denne effekt vurderes at være robust til trods for store klimatiske forskelle på markerne, bilag 14. Også VAP-markernes relative indplacering er i overensstemmelse med resultaterne fra denne kilde, Kjær et al., 2002.

Det er således sandsynliggjort at projektets resultater vedr. identifikation og rangordning af profiler/arealer efter relativ følsomhed er i overensstemmelse med en virkelig fordeling af følsomhed i landskabet.

Tabel 18. Sammendrag af pesticidfunde på de fire verifikationsmarker.

Mark	Fladerne bæk		Hellevad		Nørager mark		Poulstrup	
Påvisninger, µg/l	Antal	Max konc	Antal	Max konc	Antal	Max konc	Antal	Max konc
Fund i alt	77	23	37	6,2	50	0,45	28	1,2
Middel koncentration		0,487		0,145		0,031		0,034



Figur 39. Angivelser af variationsbredde (lodrette streger) og medianværdi (skæringspunkt med blå kurve) for korrelerede relative udvaskninger for verifikationsmarkerne, samt de specifikt korrelerede udvaskninger for de to profiler i hver af Varslingssystemet for Pesticider sandjordsmarker (Jynde vad og Tylstrup). Disse værdier er sat i forhold til den simulerede udvaskning af modelstoffet MCPA i kvadratnetprofilene (blå kurve). Den relative udvaskningsværdi for "Jynde vad 1" er identisk med den laveste af de benyttede afskæringsværdier, 0,43, i relativ simuleret udvaskning.

Den store variabilitet indenfor særligt følsomme arealer, figur 39, medfører at der her lokalt vil forekomme flere grader af følsomhed (fra overordentlig høj til lav). Dette vil imidlertid ikke have nogen praktisk betydning dersom der, via påbud, ikke anvendes pesticider på disse "særligt følsomme arealer". Derimod vil de "ikke særligt følsomme arealer", hvor variabiliteten er mindre og den beregnede udvaskning lav, være omfattet af resultaterne fra Varslingssystemet for Pesticider og ikke kræve yderligere beskyttelsestiltag i denne sammenhæng. I mellemkategorien ("de potentielt særligt følsomme arealer") vil følsomheden for de relativt mest følsomme arealer være mindre end for de "særligt følsomme arealer", mens de relativt mindst følsomme arealer i denne kategori vil være omfattet af resultaterne fra Varslingssystemet for Pesticider.