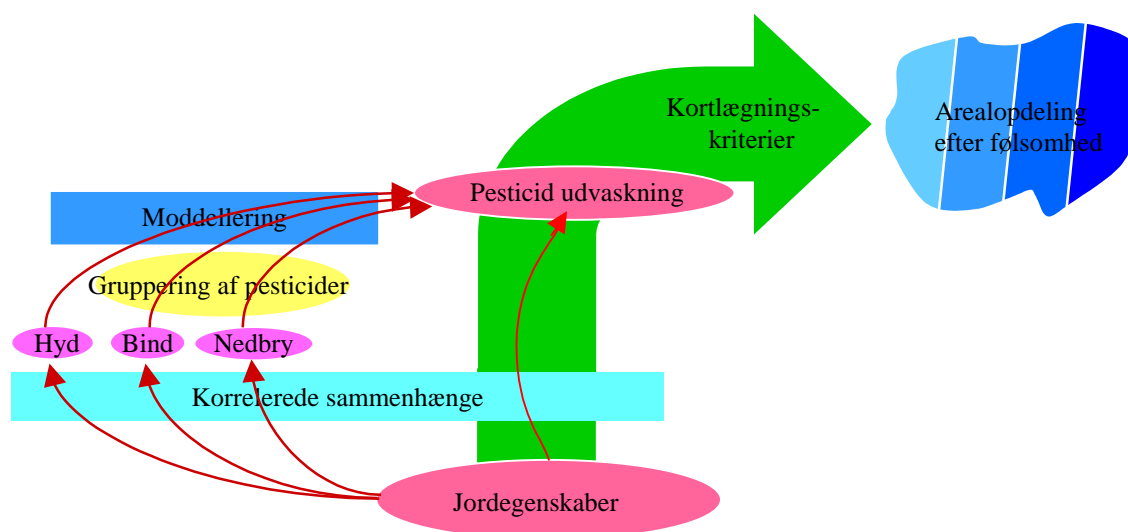


1. Indledning

Sandprojektet er etableret m.h.p. at afklare om det er muligt at udvikle en metode til kortlægning (zoner) af arealer indenfor sandjordsområder som er særligt pesticidfølsomme. I Varslingssystemet for Pesticider vurderes pesticiders udvaskning på 6 typeområder, hvoraf 2 er sandjordsområder. Resultater fra varslingssystemet anvendes til at vurdere udvaskningen af pesticider ved regelret anvendelse. Varslingssystemet tager naturligvis ikke højde for alle geologiske forhold eller utilsigtet anvendelse af pesticider. I dette projekt udarbejdes således en metode til identifikation af arealer som ud fra geologiske kriterier er særligt følsomme overfor udvaskning af pesticider. Begrebet "særligt følsomme arealer" defineres i denne sammenhæng som arealer der er mere følsomme overfor pesticidudvaskning end typiske sandjorde som fastlagt i varslingssystemet, idet de ikke er dækket af resultaterne af Varslingssystemet for Pesticider (VAP). En afgørende problemstilling, for om det vil være muligt at foretage en sådan zoner, er hvorvidt pesticider kan opdeles i grupper, med udvaskeligheder der har tilnærmelsesvis samme afhængighed af jordens iboende egenskaber, eller om hvert enkelt pesticid må behandles individuelt. Sidstnævnte mulighed ville i praksis medføre en særdeles omfattende og kompleks kortlægning og i praksis gøre det umuligt at gennemføre en identifikation af de særligt pesticidfølsomme områder.

I denne rapport undersøges derfor udvaskeligheden og grupperingsmuligheden af forskellige pesticider på basis af de stofspecifikke parametre, som bruges i modelsimuleringer af udvaskning. Videre undersøges det om disse stofspecifikke modelparametre kan knyttes til almindelige jordegenskaber, figur 1.



Figur 1. Undersøgelsens delelementer og overordnede sammenhænge. Hydrauliske (Hyd), bindings- (Bind) og nedbrydningsparametre (Nedbry).

Værdier for hydrauliske forhold, binding og nedbrydning er målt på indsamlede jordprøver for udvalgte modelstoffer. Med disse parametre er der modelleret en simuleret pesticidudvaskning for modelstofferne. Herefter er der etableret en direkte

korrelationssammenhæng mellem jordegenskaber og simuleret udvaskning med henblik på at identificere simple og umiddelbart målbare kriterier, som kan anvendes til at beskrive pesticidudvaskningen. Kritiske størrelser af de jordegenskaber, som i denne korrelation betyder mest for beskrivelsen af relativt stor udvaskning, bruges som kriterier til kortlægning af særligt pesticidfølsomme arealer. For at sikre at de særligt følsomme arealer er relevante for mange pesticider er det for et stort antal pesticider undersøgt at de ligner de udvalgte modelstoffer mht. bindings- og nedbrydningsegenskaber. For at gøre det muligt at skaffe oplysninger om hydrauliske, bindings- og nedbrydningsparametre på en ressourceeffektiv måde er der fundet en korrelationssammenhæng til jordegenskaber, som tildels kan udledes af eksisterende kort og databaser.

Med en påvist sammenhæng af denne type vil der samtidig være peget på, hvilke egenskaber sandjord skal have for at der kan være tale om risiko for særlig stor følsomhed for udvaskning af pesticider. Dermed vil det ved en kortlægning af de områder, hvor sandjorden besidder de pågældende jordegenskaber, være muligt at udpege de arealer, hvor der er risiko for særlig følsomhed overfor udvaskning af en given gruppe af pesticider.

Med henblik på afklaring af disse spørgsmål har arbejdet haft følgende elementer:

- indsamling af den eksisterende viden om pesticiders udvaskelighed, som den fremgår af litteraturen,
- etablering af nye data på baggrund af feltundersøgelser, prøveindsamlinger og laboratorieeksperimenter,
- simulering af udvaskning,
- etablering af sammenhænge mellem jordegenskaber og modelparametre, og
- etablering af sammenhænge mellem jordegenskaber og udvaskning.

1.1. Kategorier af følsomhed

Der er her arbejdet med en opdeling af profiler/arealer i tre kategorier efter følsomhed overfor udvaskning af pesticid:

- ikke er særligt følsomme
- potentielt særligt følsomme. En del af disse vil være "særligt følsomme"
- særligt følsomme.

Første trin i en praktisk zonerings vil tilsvarende kunne bestå i at skille de potentielt følsomme områder fra de områder der ikke er særligt følsomme. Andet trin i en zonerings vil bestå i at finde de områder der er særligt følsomme indenfor de potentielt særligt følsomme områder. Dette tilstræbes at kunne gennemføres på baggrund af almenlydige kriterier og udvalgte jordegenskaber, som i høj grad vil kunne fremskaffes fra eksisterende kort, databaser eller simple undersøgelser.

Det vil altid være muligt at gå mere detaljeret til værks under inddragelse af yderligere data og modelberegninger og dermed raffinere resultaterne.

1.2. Projektafgrænsning

Den forudsætningsmæssige forventning for projektet er at det i fremtiden vil være muligt at reducere den betydeligste risiko for udvaskning af pesticid til grundvandet gennem restriktioner i pesticidanvendelsen indenfor særligt følsomme områder, hvor resultaterne fra VAP-markerne ikke er dækkende. Det er grundlæggende en kombination af forholdene i jorden og pesticidernes egenskaber der afgør hvor og hvor meget der vil kunne udvaskes.

Der er nogle geologiske og pedologiske forhold som anses at være afgørende for følsomheden overfor udvaskning. Vigtigst er sondringen mellem områder, hvor strømning og transport primært foregår gennem matrix og områder hvor den hovedsagelig sker gennem sprækker og andre store porer. Første trin i en samlet afklaring af denne sondring er her taget gennem en undersøgelse til karakteristik af udvaskningsforholdene indenfor sandede områder, hvor strømning gennem selve jordarten (matrix) er dominerende. For lerjordsområder med strømning i større porer (makroporer) er gennemført studier af mulige metoder til indsamling af de nødvendige oplysninger. Sandede områder dækker over forskellige sandede jordtyper, hvis egenskaber mht. følsomhed overfor udvaskning af pesticid i udgangspunktet forventes at være forskellige. For at afklare den forventede betydningen af disse forskelle er der foretaget ensartede undersøgelser i sandede områder, der repræsenterer forskellige sandede jordtyper. Der er ikke lavet undersøgelser i udstrømningsområder til f.eks. vandløb, hvor der ikke foregår grundvandsdannelse, og i andre lavtliggende områder uden drikkevandsinteresser (postglaciale aflejringer).

Godkendelsesordningen for pesticider sigter på at forhindre at der benyttes pesticider som i gennemsnit kan udvaskes fra den biologisk aktive rodzone til under en meters dybde i gennemsnitlige årlige koncentrationer over grænseværdien på 0,1 µg/l. De senere års resultater fra Varslingssystemet viser dog, at restriktioner på baggrund af godkendelsesordningen ikke i alle tilfælde er tilstrækkelige til at hindre pesticidudvaskning, selv ved almindelig landbrugsmæssig brug af pesticider. Dette kan evt. bl.a. skyldes at de sandjorde som benyttes i godkendelsesordningen til at teste pesticiders udvaskelighed, om end de er typiske for mange sandjorde, ikke kan afspejle hele den naturlige variation. I dette projekt undersøges og verificeres udvaskningsrisikoen derfor detaljeret for danske forhold på repræsentative jorde i et bredt udsnit af sandede områder med udgangspunkt i regelret anvendelse af pesticider.

Kun et generelt forbud mod brug af pesticider vil kunne give fuld sikkerhed mod udvaskning til grundvandet. En identifikation af de særligt følsomme områder, hvor resultaterne fra VAP-markerne (og godkendelsesordningen i øvrigt) ikke er dækkende, vil, kombineret med restriktioner i pesticidanvendelsen, friholde disse arealer overfor særlig pesticidudvaskning, men er ikke en garanti for, at der ikke vil kunne forekomme udvaskning af pesticid udenfor de særligt følsomme områder. Det vurderes dog at en sådan pesticidudvaskning udenfor restriktionsbelagte særligt følsomme områder er meget begrænset og hovedsagelig vil være forårsaget af ibrugtagning af pesticider med atypiske egenskaber eller af ikke regelret brug.

Pesticider nedbrydes hovedsagelig under iltrige forhold. I sandjordsområder er der normalt iltrige forhold i jordlagene ned til grundvandsspejlet, selv om grundvandsspejlets beliggenhed og dermed iltindholdet varierer gennem tid. Pesticiders skæbne i den umættede zone fra jordoverfladen til grundvandsspejlet er derfor afgørende for om de udvaskes til grundvandet.

Undersøgelserne af om der kan identificeres kriterier til udpejning af særligt pesticidfølsomme områder, er gennemført for hele den umættede zone og med hovedvægt på de øverste 1-2 meter med den største bioaktivitet.

Undersøgelserne af alle undersøgelsesmarker bygger på simuleringer med samme pesticidbelastning, lodret transport gennem jordprofilet og ensartet klima. Herved bliver der skabt et ensartet grundlag til at sammenligne udvaskningen under forskellige geologiske forhold (forskelle i jordprofilernes sammensætning). Sådanne idealiserede ensartede forhold eksisterer i praksis kun som gennemsnit indenfor et område, og vil på grund af bl.a. forskelle i praktisk landbrugsdrift og klima ikke kunne dokumenteres sammenligneligt med målinger af pesticidindholdet i jordvandet. Derfor er der ikke

indsamlet grundvandsprøver, idet deres eventuelle pesticidindhold ikke ville kunne føres specifikt tilbage til det enkelte undersøgte profil. Reel udvaskning er derimod undersøgt på andre marker m.h.p. om muligt at verificere den udviklede metodik for udpegning af særligt pesticidfølsomme områder.

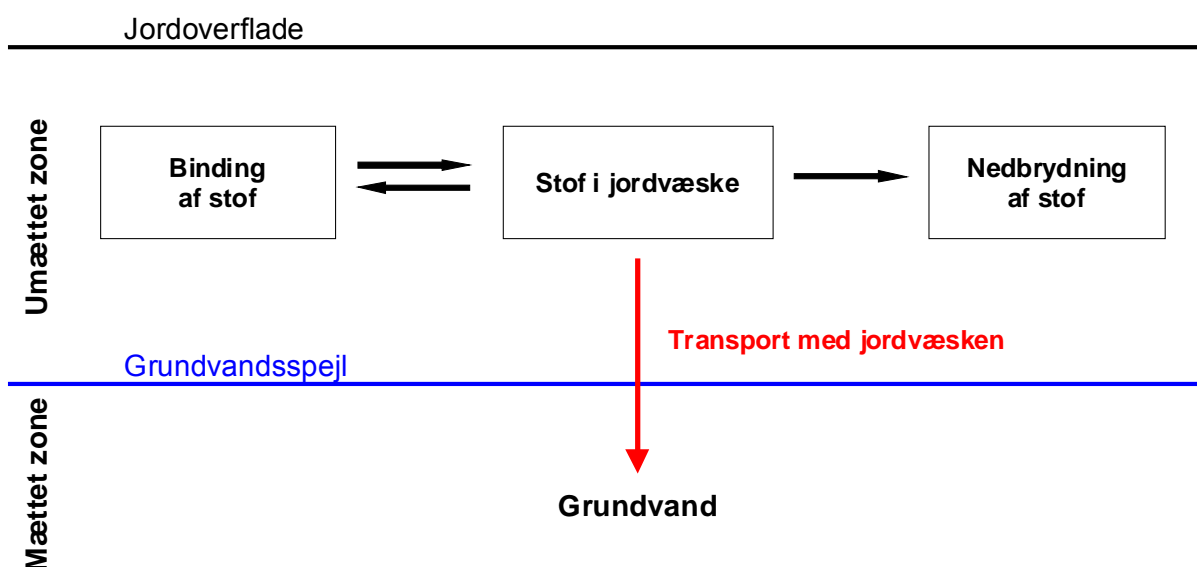
For at beskrivelsen af følsomheden overfor simuleret pesticidudvaskning skal være så generelt gyldig og sammenlignelig fra område til område som muligt, er der taget udgangspunkt i de egenskaber ved jordlagene som er uforanderlige eller kun ændrer sig meget langsomt (iboende egenskaber). De forhold som varierer gennem tiden, såsom arealanvendelse, driftsform, vanding og nedbør, som også har stor betydning for pesticidudvaskning, er derfor i udgangspunktet holdt konstant eller ens for alle undersøgte marker. Udvasningsafhængigheden af ændringer i de ikke konstante parametre er dog også undersøgt.

Eventuelle yderligere forudsætninger er nævnt i forbindelse med beskrivelserne af de analyser hvor de er anvendt.

1.3. Processer i jorden med betydning for udvaskning

I landbrugsområder er den mulige kilde til pesticidforurening af grundvand de sprøjtemidler, der benyttes til plantebeskyttelse. Ved udsprøjtning vil noget af pesticidet ramme planter og andet vil ende på jorden. En del af det pesticid, der rammer planterne, kan ende på jorden, hvis det for eksempel bliver skyllet af planten.

De vigtigste processer som kan påvirke pesticider i jorden omfatter: fordampning til atmosfæren, transport med jordvæsken, binding til jordens faste bestanddele og nedbrydning ved mikroorganismers, - herunder fuldstændig nedbrydning (mineralisering) samt indbygning i jordens humusfraktion, figur 2.



Figur 2. De vigtigste processer for pesticider i jorden. Pesticid i jordvæsken kan bindes til jordens faste bestanddele, nedbrydes af mikroorganismer eller transporteres til dybere jordlag i forbindelse med en nedadgående strømning af vand. Den største binding og nedbrydning foregår for hovedparten af de undersøgte stoffer "generelt" i de øverste 1-2 meter under jordoverfladen og i mindre grad i den dybere del af den umættede zone.

Vandstrømningen i jorden (de hydrauliske egenskaber) afhænger, ud over af nedbørsmængden, af jordens struktur, evne til at binde vandet og plantevæksten: Jordens struktur og evne til at binde vandet afhænger af porøsitetfordelingen, som især er bestemt af indholdet af organisk kulstof, ler, silt og sand, samt af hvor kompakt jorden er (volumenvægten). Plantevæksten påvirker jordens struktur gennem dannelse af rodkanaler og tilførsel af dødt plantemateriale. Der foregår opadgående vandstrømning i perioder, hvor fordampningen og planternes optag af vand er større end tilførslen gennem nedbør eller vanding, mens en nedadgående vandstømning forekommer i perioder med overskydende nedbør eller vanding. Vandstrømningen i jord er dog meget kompliceret, (f.eks. Grathwohl et al, 2004). I sommerperioden, hvor der typisk er underskud af vand, kan kraftig nedbør for eksempel medføre, at der i lokale lavninger er overskudsnedbør og dermed en nedadgående vandstrømning selv om der som helhed er underskud af vand på markerne.

Det er indholdet af pesticid i den jordvæske, der strømmer til de dybere jordlag, der afgør hvor meget pesticid der kan transporteres til grundvandet. Jordvæskens indhold af pesticid afhænger, ud over af nettonedbøren og hvor meget pesticid der er bragt ud, især af stoffets nedbrydning og bindingen til jordens faste bestanddele. Nedbrydningen og bindingen kan være meget forskellig for forskellige pesticider og for forskellige jorde. Nogle pesticider nedbrydes fuldstændigt (d.v.s. mineraliseres til kuldioxid, vand og uorganiske næringssalte) af mikrosvampe og især bakterier. Andre pesticider nedbrydes kun delvist til metabolitter (nedbrydningsprodukter), som evt. kan have andre egenskaber i forhold til binding og nedbrydning end det oprindelige pesticid. Nedbrydningen af pesticid sker hovedsagelig i A-horisonten og evt. Bh-horisonten (muldlaget og den evt. humusholdige del af underjorden) hvor den biologiske aktivitet er størst, fordi der er et forholdsvis højt indhold af organisk materiale, som mikroorganismene kan leve af. Binding af pesticid til jorden sker særligt til det organiske stof (humus) og lerminerale. Bindningen påvirkes bl.a. af jordens surhedsgrad (pH), som både har betydning for jordens bindingspotentiale og for hvor reaktionsvilligt pesticidet er. Pesticid der bindes til jorden kan i et vist omfang frigives igen, i modsætning til pesticid der nedbrydes og dermed forsvinder permanent.

For de fleste pesticider gælder at jo længere tid pesticidet opholder sig i A-horisonten og den evt. Bh-horisont, jo bedre er muligheden for at det kan blive nedbrudt eller sammenbygget med humus (eller lerminerale). Omvendt kan områder hvor der foregår ringe nedbrydning, og hvor opholdstiden er kort, anses for de mest følsomme overfor udvaskning.

Begrebet "pesticidets opholdstid" er derfor benyttet i denne rapport som et samlende beskrivende udtryk for at pesticidet befinder sig i de øverste jordlag i en periode inden det udvaskes. Hvis bindingen er stor kan denne periode være meget lang. Lang opholdstid fremmer muligheden for at der kan ske nedbrydning således at opholdstiden ved fuld nedbrydning kan siges at være uendelig lang, idet der ikke udvaskes pesticid. Opholdstiden afhænger af nedbørsmængden, jordens hydrauliske egenskaber, graden af binding (og evt. senere genfrigivelse) og nedbrydningen af pesticidet, og er derfor et modstykke til "udvaskningen".

På grund af ovenstående har undersøgelsen af følsomhed overfor pesticidudvaskning derfor 4 elementer:

- hydrauliske egenskaber
- stoffets opholdstid i de biologisk aktive lag
- stoffets nedbrydning (forsvinding og mineralisering)
- samspil mellem de enkelte elementer (gennem modellering og korrelationsanalyse).

1.4. Sprogbrug

- Model, Parameter og Modelstof. I rapporten er en del af den faglige sprogbrug standardiseret for at mindske behovet for indføjede forklaringer. Dette gælder betegnelserne for delundersøgelserne og især ift. brugen af ordene "model" og "parameter": De fire pesticider som illustrerer spændet i nedbrydnings- og bindingsegenskaber for anvendte pesticider kaldes "modelstoffer"
- "Opholdstid" er benyttet som et samlende beskrivende udtryk for at pesticidet befinder sig i de øverste jordlag i en periode inden det udvaskes. Hvis bindingen er stor kan denne periode være meget lang. Lang opholdstid fremmer muligheden for at der kan ske nedbrydning. Hvis der foregår fuld nedbrydning kan opholdstiden således siges at være uendelig lang, idet der ikke udvaskes pesticid. Opholdstiden afhænger af nedbørsmængden, jordens hydrauliske egenskaber, graden af binding (og evt. senere genfrigivelse) og nedbrydningen af pesticidet, og er derfor et modstykke til "udvaskningen".
- Stofgrupper. Undersøgelserne af om 25 pesticider har fællestræk i udvaskelighed kaldes "stofgruppe undersøgelser" og stofferne for "stofgruppe stoffer".
- Parametre. Kørslerne og resultaterne af kørslerne med MACRO modellen kaldes "simuleringer" og "simuleringsresultater", mens de data som benyttes i denne sammenhæng kaldes "model parametre" eller blot "parametre".
- Jordegenskaber. Andre data som karakteriserer jordmediet kaldes "jordegenskaber".
- Korrelationer. De mange korrelationsmodeller (fx. PLS-modeller) kaldes "korrelationer".
- Hydrauliske egenskaber. I modelkørslerne benyttes der et antal afledte hydrauliske parametre. Den mættede hydrauliske ledningsevne betegnes K_s .
- Binding. Udtrykket "binding" er anvendt frem for "sorption". Bindingsmålingerne betegnes K_d og bindingsraten K_f .
- Forsvinding. En betydelig del af det pesticid som kommer ned i jorden forsvinder af en eller anden grund (mineralisering, binding, nedbrydning til metabolitter, fordampning...). Denne effekt er målt som værdien DT50 (den tid det tager før kun halvdelen af stoffet kan findes målt efter en standardiseret ekstraktions- og analysemetode) og betegnes "forsvinding". Den rate hvormed forsvindingen foregår betegnes "k".
- Mineralisering. Den process hvorved pesticidet nedbrydes til sine grundbestanddele (kuldioxid, vand ...) betegnes fx. M64 (den del af stoffet som er tilbage efter 64 dage i jorden) og betegnes "mineralisering".
- "Nedbrydning" er benyttet som en deskriptiv samlebetegnelse for forsvinding og mineralisering.
- Fuldprofil, FP. En del af undersøgelserne er foretaget i udgravninger kombineret med boringer sådan at der fremkommer data for et fuldt jordprofil i den umættede zone. Disse profiler kaldes "fuldprofiler".
- A-horisont. Muldlag (inkluderer pløjelaget).
- Ap-horisont. Pløjelaget.
- B-horisont. Udfældningslag under A-horisonten.
- C-horisont. Lag med høj grad af oprindelige/naturlige egenskaber under B-horisonten.