

Umættet zones effekt overfor udvaskning af pesticider

ERIK NYGAARD, VIBEKE ERNSTSEN, CARSTEN S. JACOBSEN, OLE H. JACOBSEN, OLE S. JACOBSEN, RENÉ K. JUHLER, PETER VAN DER KEUR, SVEND E. OLESEN, JIM RASMUSSEN, PER ROSENBERG & HENRIK VOSGERAU

Nygaard, E., Ernstsen, V., Jacobsen, C.S., Jacobsen, O.H., Jacobsen, O.S., Juhler, R.K., Keur, P.v.d., Olesen, S.E., Rasmussen, J., Rosenberg, P. & Vosgerau, H. 2005–11–21: Umættet zones effekt overfor udvaskning af pesticider. DGF Grundvandsmøde 2005. *Geologisk Tidsskrift* 2005 hæfte 2, pp. 15–17, København.

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. Derfor fik Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) og Dansk Jordbrugsforskning (DJF) til opgave at etablere et sådant grundlag. Resultaterne vedrørende sandjorde foreligger nu (Nygaard 2004), mens der arbejdes videre indtil 2008 med den analoge problematik for lerjorde.

Arbejdet har taget afsæt i den eksisterende viden om udvaskning af pesticider (f.eks. Flury 1996; Worral *et al.* 2002) og i et omfattende materiale af tilstræbt konsistente data fra tre undersøgelsesmarker inden for hver af otte sandede landskabstyper i Jylland. Projektet er rettet mod en karakterisering af de jordegenskaber, der har generel betydning for udvaskning af pesticider, og adskiller sig således fra godkendelsesordningen, der er rettet mod enkelt-pesticider.

Data omfatter bl.a. geologiske og pedologiske be-

skrivelser, geofysiske målinger og laboratoriemålinger af jordenes hydrauliske egenskaber, samt bindings- og nedbrydningsegenskaber af pesticider i jordene.

Metode

Udvaskningspotentialet på de i alt 24 enkelte lokaliteter, der er detailundersøgt i projektet, er vurderet på baggrund af simuleringer med modellen MACRO4.3 (Jarvis 2002). Med disse resultater som udgangspunkt er der beregnet udvaskning for ca. 170 kvadratnetprofilen i sandjordsområder (Østergaard 1996). Herefter er der, gennem en statistisk analyse efter Esbensen (2002) fundet frem til de simple jordegenskaber, der har størst betydning for beskrivelsen af lokaliteternes følsomheder overfor udvaskning af pesticider. I denne vurdering er det valgt at se bort fra pesticiders nedbrydning i den umættede zone, idet vurderingen dermed kan betragtes som et 'worst-case' tilfælde. Hertil afhænger indflydelsen af såvel det enkelte pesticides egenskaber som den aktuelle landbrugspraksis. En detaljeret vurdering,

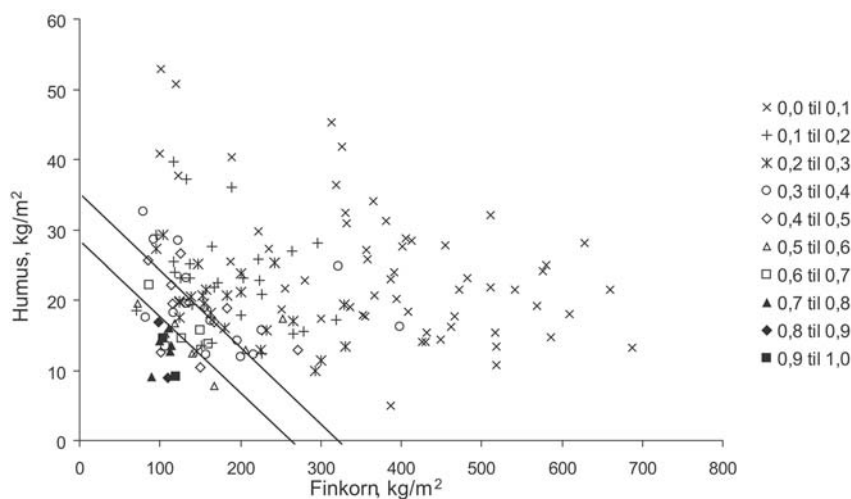


Fig. 1. Identifikation af de mest følsomme lokaliteter ved hjælp af enkle kriterier. De simulerede udvaskningsværdier for ca. 170 lokaliteter på sandjord er vist med punktsignaturer med værdier fra 0 til 1. Figuren viser ved en sortering af lokaliteterne efter indhold af humus og ler+silt (finkorn), at de mest følsomme lokaliteter kan karakteriseres ved lavt indhold af disse komponenter. Sammen med de mest følsomme lokaliteter forekommer dog også enkelte med lavere følsomhed, fordi den anvendte meget simple sorteringsmetode ikke omfatter afhængigheder til samtlige jordegenskaber. To skrå afskæringsrelationer er vist for at understrege at der må ligge en aktiv beslutning bag den grad af sikkerhed der ønskes ved identifikation af de mest følsomme lokaliteter.

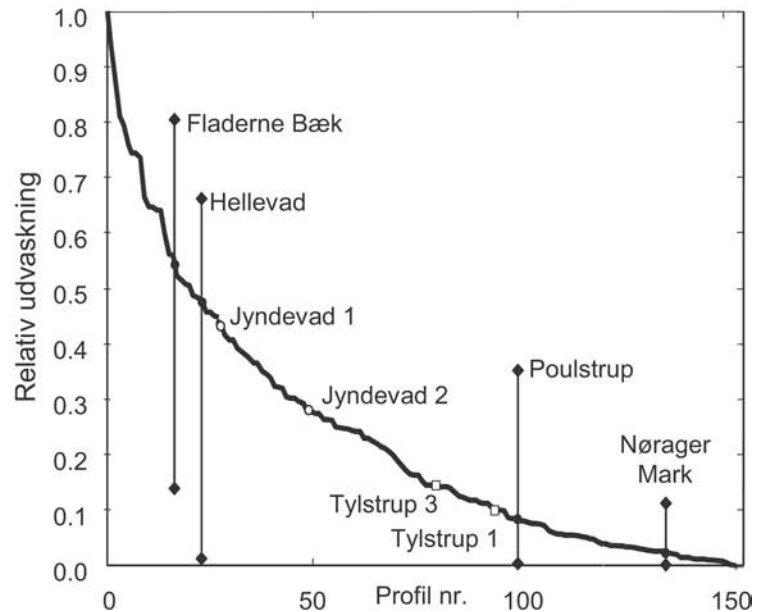
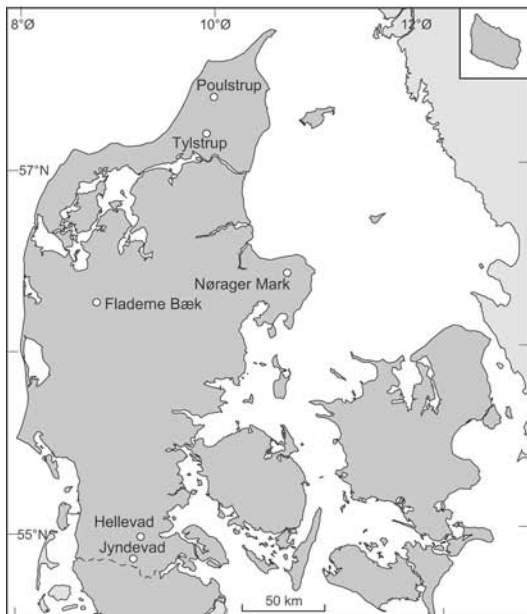


Fig. 2. Verifikation af resultaterne og variabiliteten i landskabet. Den blå kurve viser den sorterede rækkefølge af simulerede relative udvaskninger på godt 150 sandjordsprofiler for et eksempelstof (MTB). De 4 undersøgte lokaliteter (Tylstrup nr. 1 og 3, og Jynde vad nr. 1 og 2) som indgår i Varslingsystemet for Pesticider (VAP) er lagt ind på kurven på grundlag af jordegenskaberne, Figur 1. Det viser sig at VAP-lokaliteterne indplacerer sig i rækkefølge efter målt udvaskning, i overensstemmelse med projektforsøgelsesne. Tilsvarende er projektets fire monitoringsmarker (Fladerne Bæk, Hellevad, Poulstrup og Nørager) med 10 lokaliteter (jordprofiler) pr mark indplaceret med medianværdien på udvaskningskurven. De lodrette linjer angiver spredningen i indplaceringen af markernes 10 profiler. Også monitoringsmarkerne viser sig at være indplaceret i rækkefølge efter dokumenteret følsomhed, idet der her er regnet med den gennemsnitlige målte udvaskning af alle påviste stoffer. De lodrette spredningslinjer antyder at de mest følsomme arealer også vil have den største variation i simuleret udvaskning. Arealer med større medianfølsomhed end det mest følsomme VAP-profil (Jynde vad 1) kan betragtes som særligt følsomme. Det indsatte kort viser beliggenheden af markerne Poulstrup, Nørager Mark, Fladerne Bæk og Hellevad, hvor projektets resultater er blevet verificerede. Herudover vises også Varslingsystemet for Pesticiders lokaliteter i Tylstrup og Jynde vad.

som inddrager nedbrydningsaspektet, ville desuden kræve supplerende specialanalyser. Kriterierne for udpegning af særligt pesticidfølsomme arealer bliver herved baseret på stoffernes binding i jordmediet og de hydrauliske egenskaber; altså på forhold i jorden som normalt ændres forholdsvis langsomt.

Begrebet 'særligt pesticidfølsomme arealer' indebærer at der er øget risiko for at mange eller alle pesticider vil kunne udvaskes i særlig grad inden for disse områder. Derfor er det på grundlag af laboratorieanalyser og litteraturdata undersøgt, i hvilken grad pesticider udvaskes under forskellige jordbundsforhold, idet det er søgt at eliminere effekterne af forskelle i klima og landbrugspraksis. Endelig er resultaterne testet mod uafhængige monitoringsdata.

Resultater

For den store gruppe af pesticider, hvis bindingsforhold ligner hinanden, simuleres der generelt hhv. høj og lav udvaskning for de samme grupper af lokali-

teter. I en opstilling efter simuleret udvaskning vil de undersøgte lokaliteter således optræde i forskellig rækkefølge for de enkelte stoffer, men sådan at de samme relativt følsomme lokaliteter optræder i samme ende af skalaen. Det har vist sig at denne indplacering efter følsomhed i hovedtrækkene kan foretages ved at sortere lokaliteterne efter indholdet af humus og ler+silt i den øverste meter af jorden (Fig. 1), idet også volumenvægt indgår i beregningen.

Disse resultater er baseret på lokaliteter, hvor der er simuleret endimensional transport. For at kunne benytte resultaterne i praksis må de kunne omsættes til arealinformation, som tager hensyn til den geografiske variation. Betingelserne for denne omsætning kan ses af den verifikation, det har været muligt at gennemføre (Fig. 2). Projektet har fire verifikationsmarker, hvor der hvert sted gennem flere år er analyseret i 2-3 nedstrøms borer for et bredt spektrum af pesticider i det øverste grundvand. Efterfølgende er markerne indplaceret i kvadratnetprofilernes rækkefølge efter beregnet udvaskning på grundlag af jordegenskaberne i 10 borer på hver

mark. Indplaceringerne viser at arealer med den største simulerede mediane udvaskning også har den største variation i denne udvaskning. Der synes således at forekomme steder inden for de mest følsomme arealer, som har beregnede udvaskningsværdier fra de helt lave til de allerhøjeste, og at variationen i beregnet udvaskning stiger med stigende median udvaskningsværdi.

Ved en analog indplacering af de fire lokaliteter, som indgår i Varslingssystemet for Pesticider (VAP), fremgår det, at der forekommer lokaliteter og arealer, som er mere følsomme end den mest følsomme VAP-lokalitet, og hvor forholdene derfor ikke er dækket af varslingssystemets resultater. Arealer med median følsomhed i dette følsomhedsområde kan derfor anses for særligt følsomme.

Diskussion

De processer som influerer på det infiltrerende vands indhold af pesticider i sandområder, forløber altovervejende i den øverste meter af jorden. Dette ses bl.a. ved at den simulerede udvaskning i 1 og 2 meters dybde er af samme størrelse. Kortlægning af særligt følsomme sandområder kan derfor baseres på indholdet af humus og ler+silt i den øverste meter af jorden. Herved beskrives hovedparten (80–90%) af variationen i følsomhed over for udvaskning af pesticider, idet usikkerheden på 10–20% indebærer at en lille del af lokaliteterne klassificeres som særligt følsomme uden at være det (falsk positive - altså en positiv sikkerhedsfaktor). En mere præcis beskrivelse som dækker en større del af variationen vil kunne opnås ved at inddrage yderligere data i en statistisk vurdering (f.eks. samtlige kornstørrelser og pH).

De få pesticider og nedbrydningsprodukter af pesticider, som i denne undersøgelse har vist sig at falde uden for den beskrevne sammenhæng (f.eks. glyphosat), binder sig hårdere til jordmediet end de øvrige stoffer. Det formodes derfor, at de ikke udgør et større problem i sandjorde.

På grund af den store variabilitet i simuleret udvaskning inden for de enkelte marker vil der, også uden for de afgrænsede særligt følsomme områder, kunne forekomme lokaliteter (punkter eller profiler) som udvaskningsmæssigt falder i den særligt følsomme kategori. Variabiliteten er et naturgivent vilkår

ved enhver generaliseret karakteristik af jordmediet. At skelne mellem særligt følsomme arealer og mindre følsomme arealer er således en sondring mellem arealer, hvor de særligt følsomme lokaliteter (eller profiler) bidrager kvantitativt afgørende til den samlede udvaskning og arealer hvor den kvantitative betydning er beskedent.

Resultaterne afprøves nu i praktisk kortlægning på grundlag af eksisterende data, hvor omsætningen fra punktdata til areal, under hensyntagen til variabiliteten, er en væsentlig udfordring.

Den umættede zone består af de jordlag hvorigenem vandet siver mod grundvand og recipienter, og som er den 'reaktor', hvori den altdominerende del af de tilførte vandopløselige stoffer optages, bindes og nedbrydes. I processerne i den umættede zone ligger således en betydelig del af den mulige sikring af grundvand og vandmiljø, som efterspørges i EU's Vandrammedirektiv og det kommende Grundvandsdirektiv. Projektet har vist at sandjorde kan karakteriseres efter følsomhed over for udvaskning af pesticider til grundvandet. En udbredelse af anvendelsesområdet for fremgangsmåden kan være at benytte denne på andre stofgrupper og jordtyper. Denne sidste perspektivering er igangsat med et projekt der fokuserer på lerjordens følsomhed over for udvaskning af pesticid.

Referencer

- Esbensen, K. H. 2002: Multivariate data analysis in practise, 598 pp. Oslo: CAMO Process A/S.
- Flury, M. 1996: Experimental evidence of transport of pesticides through field soils: a review. *Journal of Environmental Quality* 25, 558–564.
- Østergaard, H. S (Red.) 1996: Kvadratnet for nitratundersøgelser i Danmark 1990–1993. Landbrugets Rådgivningscenter, 164 pp. Skejby: Landskontoret for Planteavl.
- Jarvis, N. J. 2002: The MACRO model (Version 4.3). Technical description. (<http://www.mv.slu.se/bgf/>).
- Miljøstyrelsen 2000: Zonering. Vejledning 3, 156 pp. København: Miljøstyrelsen.
- Nygaard, E. (Red.) 2004: Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zonering. Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA, 319 pp. København: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Dansk JordbrugsForskning,
- Worrall, F., Besien, T. & Koplín, D. W. 2002: groundwater vulnerability: interactions of chemicals and site properties. *The Science of the Total Environment* 299, 131–143.

Erik Nygaard, Vibeke Ernsten, Carsten S. Jacobsen, Ole S. Jacobsen, René K. Juhler, Peter van der Keur, Per Rosenberg, GEUS, Øster Voldgade 10, 1350 København K, e-post: eny@geus.dk

Ole H. Jacobsen, Svend E. Olesen, Dansk JordbrugsForskning, Forskningscenter Flakkebjerg, Forsøgsvej 1, 4200 Slagelse.

Jim Rasmussen, Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole, Bülowvej 17, 1870 Frederiksberg C.

Henrik Vosgerau, Københavns Amt, Stationsparken 27, 2600 Glostrup.