

Spridningsvägar för kemiska bekämpningsmedel till ytvatten

Slutrapport 2016

Maria Sandin¹, Kristin Piikki¹, Nicholas Jarvis¹, Bo Stenberg¹, Mats Söderström¹, Kevin Bishop², Jenny Kreuger²

¹ Inst. för Mark och Miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala/Skara, Sverige

² Inst. för Vatten och Miljö, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, Sverige

Bakgrund

Vid den godkännandeprocess av bekämpningsmedel som i Sverige hanteras av Kemikalieinspektionen görs bedömningar av riskerna för den omgivande miljön med hjälp av modeller. Ämnen ska bara godkännas om de inte bedöms nå ytvattenmiljön i halter som har oacceptabel påverkan på vattenlevande organismer. Trots detta hittar vi ofta bekämpningsmedelsrester i vattendrag i jordbruksområden i halter som riskerar att ha biologiska effekter (Lindström m.fl., 2015). För att komma till rätta med detta problem får man antingen låta bli att godkänna dessa substanser eller vidta olika försiktighetsmått eller motåtgärder för att minska riskerna för spridning till omgivande vatten. Frågan är vilka insatser som ger mest effekt? Detta beror i sin tur på hur substanserna hamnar i vattnet. Vilka spridningsvägar är viktiga och vilka förekommer sällan under svenska förhållanden? Det finns olika vägar en substans kan transporteras från det besprutade fältet till omgivande vatten. Det kan ske via vindavdrift vid själva spruttillfället, genom ytavrinning då substansen antingen är löst i vattenfasen eller bunden till partiklar (erosion) eller via utlakning och transport genom marken till dräneringssystem. Läckage till dräneringssystem domineras av snabba transportvägar bestående av markens strukturporer (s.k. makroporer såsom sprickor, maskgångar och rotkanaler; Jarvis, 2007). Ytavrinning sker antingen om grundvattenytan stiger till markytan eller om nederbördsintensitet överstiger markens infiltrationskapacitet.

Det finns fortfarande stora kunskapsluckor i Sverige kring den relativa betydelsen av dessa olika transportvägar och hur det varierar för substanser med kontrasterande egenskaper och vid olika markförhållanden, samt var i landskapet transporten sker. Dessa kunskapsluckor skapar utrymme för kontroverser och konflikter mellan avnämare (t.ex. myndigheterna, växtskyddsmedelsproducenter, lantbruksindustrin). Det kan nämnas till exempel att Kemikalieinspektionen nyligen har infört en 10 m bred gräsbevuxen skyddszon som krav för godkännande av produkter som anses utgöra en risk för ytvattenkontaminering via ytavrinning och erosion. Detta införs trots de potentiellt stora kostnaderna för svenskt lantbruk samt att effektiviteten av skyddszoner inte är bevisad under svenska förhållanden och är starkt ifrågasatt av flera aktörer. Det ska också nämnas att den befarade risken baseras på modellsimuleringar gjorda för ett tyskt modellsenario och att inget motsvarande scenario finns tillgängligt som tar hänsyn till svenska jordarts- och väderförhållanden.

Målet med detta projekt var därför att få en ökad förståelse för vilka flödesvägar som dominerar förluster av bekämpningsmedel till ytvatten under svenska förhållanden. Undersökningen genomfördes i ett av avrinningsområdena som ingår i det nationella miljöövervakningsprogrammet för bekämpningsmedel (E21). Befintlig information om användningen av bekämpningsmedel inom området kompletterades med en detaljerad högupplöst markkartering samt rumslig provtagning och analys av bekämpningsmedelsrester i bäckvatten, ytvatten och dräneringsrör under tre växtsäsonger för att belysa hur jordart påverkar förlusterna och den relativa betydelsen av de olika transportvägarna.

Material och metoder

Högupplöst markkartering

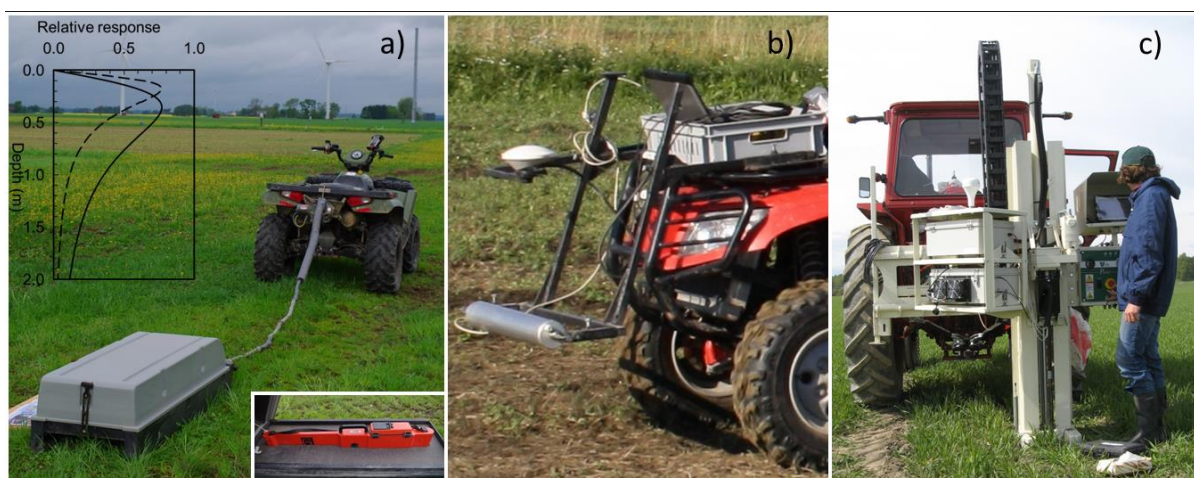
E21 området täcker 16 km² vilket ansågs för stort för att karteras med hjälp av markburna sensorer. Därför valdes två delområden inom E21 ut för en närmare undersökning i denna studie, ett i den norra delen (2,2 km²) och ett i den västra delen (2,4 km²).

Digital markkartering i E21

Kartorna gjordes enligt de principer för digital markkartering som beskrivs av McBratney m.fl. (2003). Tekniken att fusionera data från sensorer med olika djuprespons beskrivs mer detaljerat av Piikki m.fl. (2013; 2015a). En rapport som mer detaljerat beskriver 3-D-karteringen av de två utvalda delavrinningsområdena i E21 finns att läsa i Piikki m.fl. (2015b).

Högupplösta bakgrundsdata

Högupplösta textur- och mullhaltskartor togs fram för tre djup i markprofilen. Vi använde tre olika typer av proximala marksensorer (Figur 1) i kombination med en kvartärgeologisk karta (Sveriges geologiska undersökning) och en laserskannad höjdmodell (Lantmäteriet).



Figur 1. Proximala marksensorer a) sensor som mäter markens elektriska ledningsförmåga över två olika djupintervall (EM38 MK2 Geonics Ltd, Canada), b) gammastrålningsspektrometer som registrerar sönderfall av tre radioaktiva isotoper som naturligt förekommer i marken (The Mole, The Soil Company, The Netherlands) och c) en hydraul-driven prob (P4000 VIS-NIR-EC-Force, Veris Technologies inc. USA) med sensorer som registrerar penetrationsmotstånd, elektrisk ledningsförmåga och reflektansspektra under det att proben förs ner genom markprofilen.

Jordprover

I matjorden togs 84 jordprover och i alven togs 18 prover. Dessa analyserades för textur (sedimentationsmetoden) och mullhalt (glödförlustmetoden) på Institutionen för mark-och miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Karterade markegenskaper

Vi tog fram kartor för tre olika djup: matjorden (0-0,2 m djup), övre delen av alven (0,2-0,45 m djup) och den djupa alven (0,45-0,7 m djup). De markegenskaper som karterades var lerhalt (partikelstorlek < 2 µm, Figur 3), sandhalt (partikelstorlek 0,2 - 2 mm) och mullhalt. Mullhalten delades in i fyra klasser: låg (< 3% mull), mellan (3 - 5% mull), hög (≤ 5% mull) samt torvjordar.

Modellering

Olika modelleringsstrategier testades och den strategi som fungerade bäst för varje markegenskap och djupintervall användes för att ta fram de slutliga kartorna. Mullhalten i matjorden karterades genom indikatorkriging medan texturprediktionerna huvudsakligen gjordes genom "mars splines" modellering (Hastie m.fl., 2009).

Validering

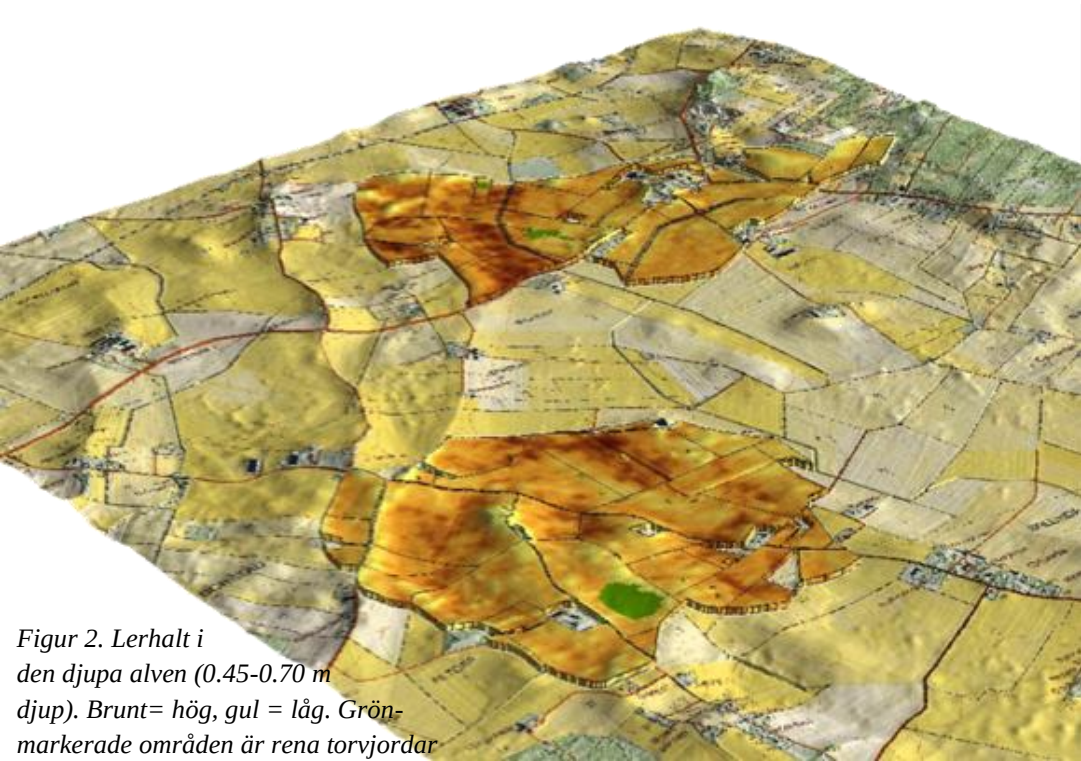
Genom att undanhålla ett jordprov i taget och ta fram nya kartor (s.k. korsvalidering) kunde vi få ett mått på hur bra karteringsmetoden fungerar. Medelfelen listas i Tabell 1.

Tabell 1. Absolut medelfel (MAE) / Cohens' kappa (κ) index för de metoder som använts kartering

Djup	MAE lerhalt [% ler]	MAE [% sand]	κ mullhaltsklasser
0-0.20 m	4.2	8.1	0.4
0.20-0.45 m	5.3	8.6	-
0.45-0.70 m	12.8	9.8	-

Beskrivning av området

Karteringen visar att det är stor variation i både textur och mullhalt i de karterade delavrinningsområdena. I jordproven varierade lerhalten mellan 5 % och 52 % i matjorden. I vissa områden, men inte överallt, ökade lerhalten något neråt i markprofilen. Mullhalten varierade från låg till rena torvjordar. I de områden som inte klassificerades som torvjord var mullhalten i alven genomgående låg. Området är lätt kuperat.

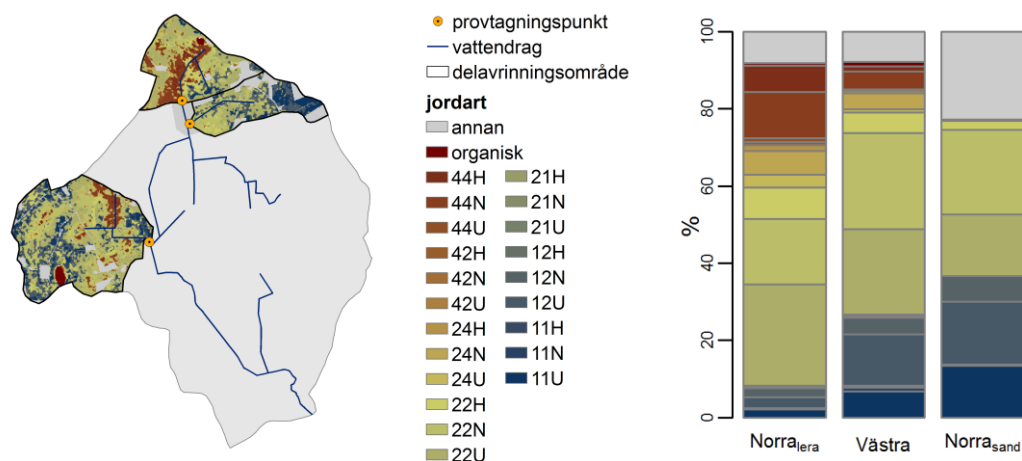


Figur 2. Lerhalt i den djupa alven (0.45-0.70 m djup). Brunt= hög, gul = låg. Grönmarkerade områden är rena torvjordar

Provtagning av bäckvatten, dräneringsflöden och ytavrinning

Val av delavrinningsområden för vattenprovtagning

Det norra av de två markkarterade delavrinningsområdena i avrinningsområde E21 (se Figur 2) delades upp i två mindre delområden, då ett har en relativt hög andel lerjordar (>35% ler) och det andra domineras av grövre, sandiga jordar (>65% sand och <18% ler). Dessa två delavrinningsområden valdes därför ut för separat provtagning. Delavrinningsområdet i västra delen av E21 har en större rumslig variation av olika jordarter, och provtogs som helhet. Fördelningen av jordarter och de tre utvalda delavrinningsområdena visas i Figur 3.



Figur 3. Fördelningen av jordarter inom de karterade områdena samt de tre delavrinningsområdena som valdes ut för vattenprovtagning. Jordart är angiven utifrån texturklass i matjord och alv (1=grov textur, >60% sand och <18% ler, 2= mellantextur, <60% sand och <35% ler, och 4=fin textur, >35% ler) och mullhaltsklass (U=låg, <3%, N=mellan, 3-5%, och H=hög, >5%).

Provtagning av bäckvatten

Provtagning av bäckvatten utfördes under 3-års perioden 2013-2015 i de tre utvalda delavrinningsområdena under vår och sommar. Provtagningen utfördes med en typ av flödesaktiverad passiv provtagare (se Figur 4 t.v.) som installerades i bäcken vid utloppet av varje delavrinningsområde. Vid stigande vattennivå i samband med kraftigare nederbördstillfällen fylls provtagarens flaskor genom tunna rör i korken och ett prov erhålls. Under 2014 och 2015 kompletterades denna provtagning med tidsintegrerad passiv provtagning med POCIS (Polar Organic Chemical Integrative Sampler, se Figur 4 mitten t.v. nedan). POCIS-provtagaren absorberar polära organiska substanser lösta i vattnet, vilka kan analyseras efter extraktion. Dessa placerades på nio platser i bäcken; tre av dessa inom de två undersökta delområdena och sex stycken vid utloppen av andra större delar av avrinningsområdet. De senare placerades ut i syfte att bestämma hur representativa de två studerade områdena är för hela avrinningsområdet, samt att identifiera eventuella punktkällor. Provtagarna byttes med 2 veckors intervall och provtagningen pågick så länge vattendjupet vid provpunkten var tillräckligt.



Figur 4. Passiv provtagning av bäckvatten med "flödesaktiverad" provtagare (t.v.) och POCIS (mitten t.v.), manuell provtagning av dränering (mitten t.h.) och passiv provtagning av ytvavrinning med bottenförslutna uppsamlingsrör (t.h.).

Provtagning av dräneringsvatten

Momentan provtagning av dräneringsflöden gjordes manuellt från ett antal dräneringsrör med utlopp i bäcken (Figur 4 mitten t.h.); två rör i vardera det leriga och det sandiga delavrinningsområdet i norr och fem rör i det västra delområdet med mer blandade jordarter. Denna provtagning utfördes regelbundet varannan vecka under 2014 och 2015, samt efter större nederbördstillfällen under samma period.

Provtagning av ytvavrinning

Två fält, ett i det norra leriga och ett i det västra blandjordsområdet, utsågs som lämpliga för provtagning av ytvavrinning. Bottenförslutna rör med små hål i höjd med markytan (se Figur 4 t.h.) placerades ut på de platser i fälten där sannolikheten för ytvavrinning bedömdes vara högst; runt två ytvattenintag i fältet i norr och längs fältkanten i fältets lägsta punkt och i hjulspår vid påfarten till fältet i det västra delavrinningsområdet.

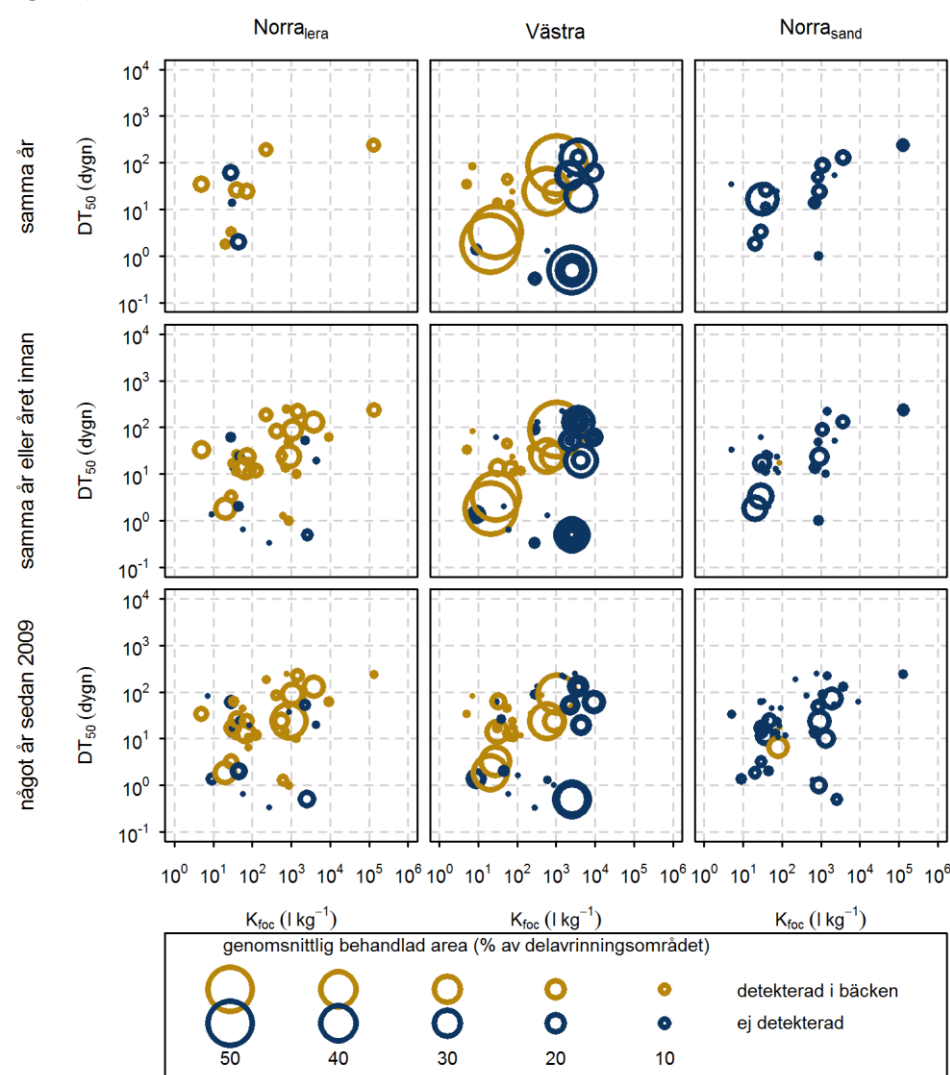
Analys av bekämpningsmedelshalter

Samtliga vattenprover analyserades för 105 olika substanser vid OMK-laboratoriet, Institutionen för vatten och miljö, SLU med de ackrediterade metoderna OMK 57 och OMK 58. Dessa metoder bygger på on-line LC-MS/MS och inkluderar flertalet av de mest använda semipolära och polära växtskyddsmedlen inom svenskt jordbruk. Analysmetodikens beskrivs närmare av Jansson & Kreuger (2010). Detektionsgränsen var i genomsnitt 0,005 µg/l och kvantifieringsgränsen 0,02 µg/l.

Resultat

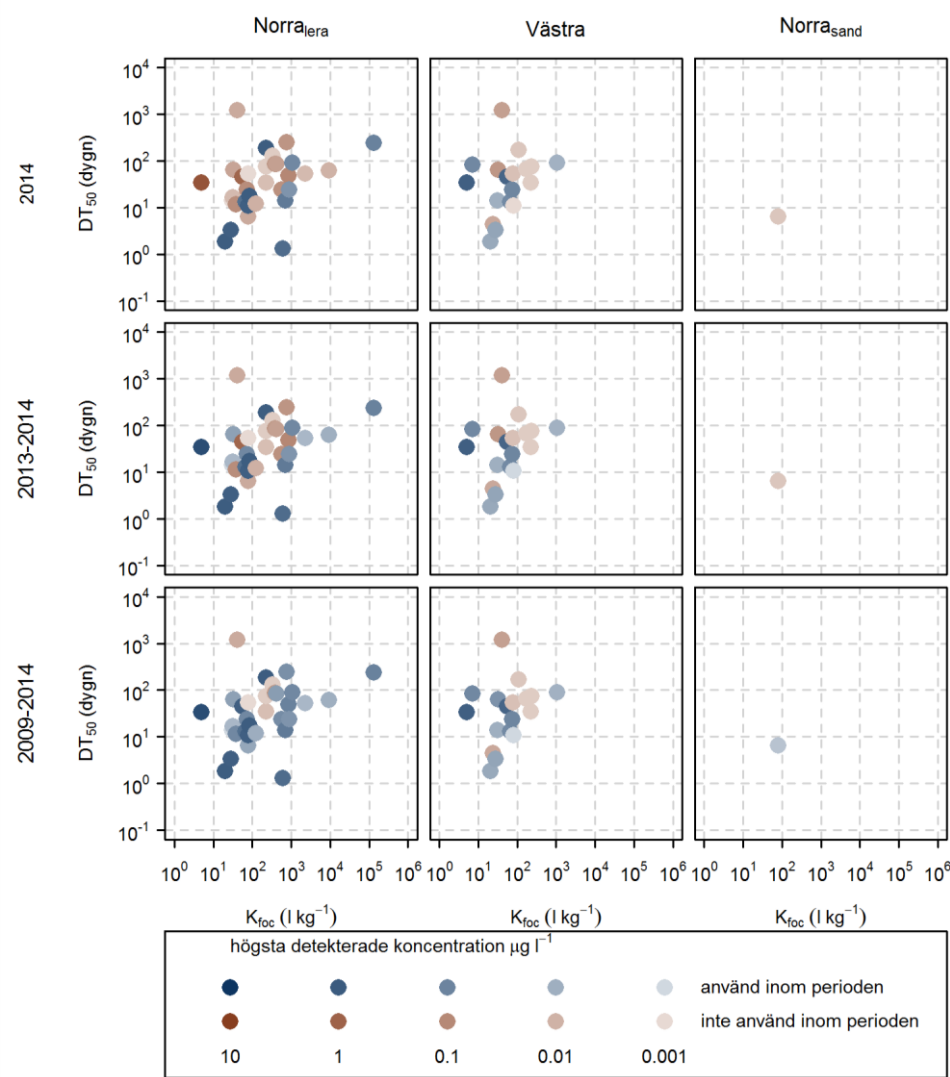
Bekämpningsmedel i bäckvatten

Vi fann tydliga skillnader i förlusterna av bekämpningsmedel från de tre delavrinningsområdena. Figur 5 nedan visar hur många substanser som återfanns i bäcken av de som användes antingen i) samma år som provtagning skedde, ii) samma år som provtagningen eller föregående år, eller iii) någon gång mellan 2009 och provtagningen. Andelen använda substanser som återfanns i bäcken var konsekvent högre i det leriga delavrinningsområdet i norr än i det västra blandjordsområdet, medan förlusterna från det sandiga delavrinningsområdet i norr var mycket små med fynd av som mest två substanser. Substanser med alla kombinationer av K_{foc} -värden och halveringstid återfanns i prov tagna i det området i norr som domineras av lerjordar, även de med mycket höga K_{foc} -värden (>1000). Sådana substanser hittades däremot endast i ett fall i bäcken i det västra blandjordsområdet (se Figur 5).



Figur 5. Substanser som använts inom respektive delavrinningsområde antingen samma år som provet togs (överst), samma år som provet togs eller året innan (mitten) eller någon gång mellan 2009 och det datum provet togs (nederst). Varje substans visas i förhållande till sin halveringstid i jord (DT_{50} , antal dygn) och sin bindningsförmåga till markens partiklar (K_{foc} , $kg\ l^{-1}$). Egenskaper för varje substans är hämtade från Pesticide Properties Database. Uppgifter om bekämpningsmedelsanvändningen insamlade av Miljöövervakningsprogrammet för växtskyddsmedel.

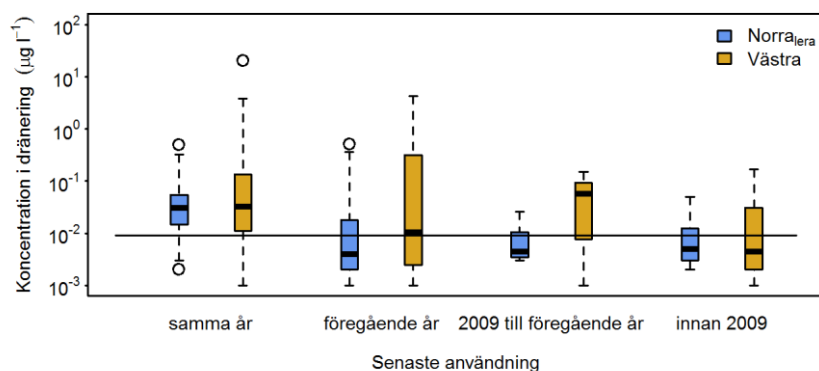
Samma inbördes ordning mellan förlusterna från de tre delavrinningsområdena (det leriga området i norr, det västra området, det sandiga området i norr) avspeglades även i antalet substanser som återfanns i bäckvattenprov vid något individuellt provtagningstillfälle (30-37 st; 9-24 st; 1-2 st), den högsta funna halten av en individuell substans ($55 \mu\text{g l}^{-1}$; $0,88 \mu\text{g l}^{-1}$; $0,003 \mu\text{g l}^{-1}$) och summahalten av alla detekterade substanser vid något individuellt provtagningstillfälle ($1,2\text{-}65,2 \mu\text{g l}^{-1}$; $0,1\text{-}1,3 \mu\text{g l}^{-1}$; $0,001\text{-}0,005 \mu\text{g l}^{-1}$). Figur 6 visar ett exempel på hur antalet fynd och koncentrationerna av detekterade substanser i bäcken varierade mellan de olika delavrinningsområdena vid ett provtagningstillfälle.



Figur 6. Samtliga substanser som detekterades i bäcken vid provtagningstillfälle 14 maj 2014. Varje substans visas i förhållande till sin halveringstid i jord (DT_{50} , antal dygn) och sin bindningsförmåga till markens partiklar (K_{foc} , kg l^{-1}). Egenskaper för varje substans är hämtade från Pesticide Properties Database. Uppgifter om bekämpningsmedelsanvändningen insamlade av Miljöövervakningsprogrammet för växtskyddsmedel.

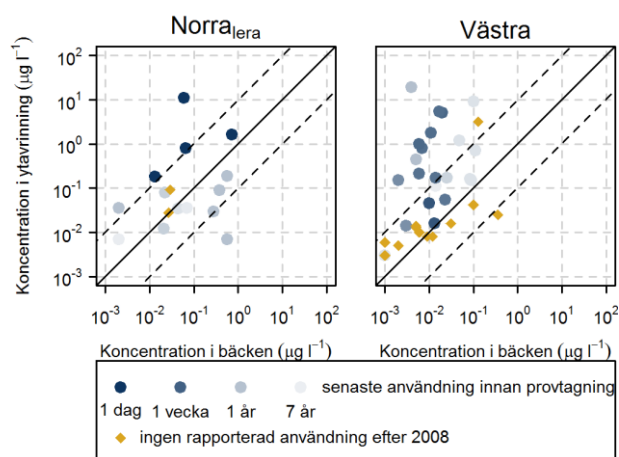
Bekämpningsmedel i dräneringsvatten och ytavrinning

Antalet substanser som återfanns i dräneringsvatten varierade mellan 7 och 18 st per provtagningstillfälle i det norra lerjordsområdet och mellan 3 och 14 st i det västra blandjordsområdet. Endast en substans återfanns i dräneringen i det norra sandjordsområdet. Koncentrationerna i dräneringen från det leriga området och blandjordsområdet var liknande, men den högsta koncentrationen av en enskild substans var betydligt högre i blandjordsområdet än i lerjordsområdet; $20 \mu\text{g l}^{-1}$ jämfört med $0,51 \mu\text{g l}^{-1}$ (se Figur 7). De högsta koncentrationerna i båda områdena uppmättes för substanser som använts under samma eller föregående år.



Figur 7. Fördelningen av uppmätta koncentrationer i prover från dräneringsrör i det norra lerjordsområdet och det västra blandjords-området uppdelat efter senaste rapporterade an-vändning av substansen i respektive delavrinningsom-råde. Den heldragna linjen visar mediankoncentrationen ($0,009 \mu\text{g l}^{-1}$) för samtliga fynd i dränering.

Ytavrinning förekom vid ett flertal tillfällen i båda fälten under den undersökta perioden och ett flertal substanser detekterades i proverna (8-13 st i fältet i lerjordsområdet och 8-22 st i fältet i blandjordsområdet). Koncentrationerna var för flertalet substanser relativt höga, särskilt då dessa nyligen applicerats på fältet. Den högsta koncentrationen av en enskild substans var $11 \mu\text{g l}^{-1}$ i fältet i det leriga området i norr och $19 \mu\text{g l}^{-1}$ i fältet i det västra delavrinningsområdet. Medianvärdet av koncentrationerna av funna substanser var $0,057 \mu\text{g l}^{-1}$ för fältet i det leriga området i norr och $0,046 \mu\text{g l}^{-1}$ för fältet i det västra delavrinningsområdet. I de fall en substans återfanns i både ytavrinningsprov och prov från bäcken vid samma provtagningstillfälle var koncentrationen i bäcken i många fall betydligt lägre (100 till 1000 gånger lägre), särskilt då koncentrationen i ytavrinning var hög (Figur 8). Det finns alltså ingen tydlig spegling av bekämpningsmedelsförekomsten i ytavrinning och i den i bäcken.



Figur 8. Koncentrationen av substanser funna i ytavrinning i förhållande till koncentrationen av samma substans då denna även återfanns i bäcken i det leriga delavrinningsområdet i norr (t.v.) och i det västra blandjordsområdet (t.h.). De streckade linjerna markerar en faktor 10 avvikelse från ett 1:1-förhållande (heldragen linje) mellan koncentrationerna.

Diskussion

Den omfattande transporten till bäcken i området med hög andel lerjordar och de minimala förlusterna som observerades från det sandiga delavrinningsområdet tyder på att snabba flödesvägar utgör den huvudsakliga förlustvägen för bekämpningsmedel. Lerjordar karaktäriseras av mycket långsamma flöden genom de små texturporerna som utgör större delen av markens totala porsystem, samt betydligt snabbare flöden genom den mycket mindre volymsandel som utgörs av makroporer (Jarvis, 2007). Långsammare flöden genom en större andel av markprofilen leder generellt till små förluster av bekämpningsmedel till dränering och ytligt grundvatten tack vare betydande bindning till markens partiklar och nedbrytning. Sådana processer får däremot liten möjlighet att verka vid snabba flöden genom makroporer (Jarvis, 2007) eller vid ytavrinning. Det går inte att med säkerhet säga vilken av dessa snabba flödesvägar som varit mest bidragande i transporten till bäcken. Koncentrationerna i dräneringen var generellt lägre än de i ytavrinning men den högsta koncentrationen av någon funnen substans var i samma storleksordning. Eftersom provtagning av dränering inte skedde vid samma tillfälle som provtagning av ytavrinning och bäckvatten går de olika provtyperna inte riktigt att jämföra. Ytavrinning skulle potentiellt kunna innebära stora transporter till vattendraget då koncentrationerna i många fall var relativt höga. För att denna potential ska förverkligas krävs dock att en betydande andel av nederbörden bildar ytvatten samt att det finns en kontinuerlig flödesväg över markytan som förbinder fälten där ytavrinning uppstår med bäcken. Villa m.fl. (2015) kom fram

till att andelen fält med hög risk för ytavrinning och erosion är låg i avrinningsområde E21 eftersom endast en liten andel av avrinningsområdet har förbindelse med bäcken över markytan. Dessutom tyder varken egenskaperna hos funna substanser (Figur 5) eller förhållandet mellan koncentrationerna av substanser funna i ytavrinning och koncentrationen av samma substanser i bäcken (Figur 8) på att sådan transport skulle ha skett i någon större omfattning. Att bekämpningsmedelsförlusterna var större från lerjordsområdet och minimala från det norra området som domineras av mo- och sandjordar tyder i sig på att ytavrinningen inte var den viktigaste transportvägen eftersom risken för ytavrinningen är störst för jordarter med sämre strukturstabilitet där skorpbildningen försämrar markens infiltrationskapacitet (Barthès och Roos, 2002). Lerjordar har starkare aggregat än mo- och mjäla jordar med låg mullhalt och är därmed mycket mindre känsliga för skorpbildning (Le Bissonais, 1996; Grønsten och Børresen, 2009). Mätningar från ett fältförsök på en lerjord i Sverige visade att markens infiltrationskapacitet var så hög så att ytvatten endast bildades vid fem tillfällen under en 25-dagarsperiod under en av tre undersökta växtsäsonger (Larsbo m.fl., 2016). Detta skedde endast från hjulspår och vattenvolymer som rann av fältet var mycket små. Riise m.fl. (2004) studerade ytavrinning av bentazon och propikonazol från tre fält i Norge. Volymen ytavrinning och förlusterna av bekämpningsmedel var lägst från fältet med högst organisk kolhalt och stabilast struktur.

Trots att mycket talar för att snabba flödesvägar står för den största delen av transporten återfanns ett stort antal substanser i bäcken relativt lång tid efter det att de senast uppges ha använts. I det leriga området i norr och det västra blandjordsområdet utgjorde substanser som senast hade använts föregående år 61-89% respektive 50-77% av antalet fynd. En möjlig förklaring till dessa till synes paradoxala förhållanden är att transporten sker stegvis genom markens makroporer. Lewan m.fl. (2009) visade genom modellsimuleringar med MACRO att trots att makroporflöde direkt till dränering eller ytligt grundvatten förutspåddes ske mycket sällan så ledde kortare episoder av flöde genom makroporsystemet sammantaget till ökade förluster på längre sikt. Bekämpningsmedel som relativt snart efter att de applicerats snabbt transporterats förbi matjorden och ner i den biologiskt mindre aktiva alven (Blume m.fl., 2004; Rodríguez-Cruz m.fl., 2006) skulle kunna utgöra en pool som sedan kan mobiliseras och eventuellt nå vattendraget via dräneringen vid senare nederbörds- och avrinningstillfällen.

Även substanser som senast skulle ha använts två eller tre år innan ett provtagningstillfälle utgjorde en ansevärd andel av fynden. I många av dessa fall fanns det dock skäl att misstänka att substanserna hade använts men att detta inte tagits upp i rapporteringen, antingen för att lantbrukaren lämnat ofullständiga uppgifter eller inte lämnat några uppgifter alls. Vissa av de substanser som hittas trots att de inte har använts har varit avregistrerade sedan länge och härrör därmed troligast från gamla appliceringar (atrazin och atrazin-desetyl, BAM, 2,4-D, terbutylazin och terbutylazin-desetyl). Med undantag för 2,4-D har dessa substanser tidigare använts i stor skala runt gårdsplaner varifrån de långsamt läcker till vattendraget där de frekvent påträffas, så även i denna studie. Dessa fynd vittnar om ett visst bidrag från långsammare flöden till bekämpningsmedelsförekomsten i bäcken.

Slutsatser

- Det var stora skillnader i förlusterna av bekämpningsmedel mellan de tre undersökta delavrinningsområden; transporten var störst i delområdet med en hög andel lerjordar och minimal i det delområde som domineras av sandiga jordar.
- Transporten skedde huvudsakligen via snabba flödesvägar. Både ytavrinning och makroporflöde till dräneringen kan ha bidragit till transporten av bekämpningsmedel till bäcken, men det finns starka skäl att tro att transporten över markytan varit begränsad och att dräneringen var den dominerande förlustvägen.

Referenser

- Barthès, B., Roose, E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena* 47: 133-149.
- Blume, E., Bischoff, M., Moorman, T.B., Turco, R.F. 2004. Degradation and binding of atrazine in surface and subsurface soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 7382-7388.
- Grønsten, H.A., Børresen, T. 2009. Comparison of two methods for assessment of aggregate stability of agricultural soils in southeast Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 59: 567-575.
- Hastie, T., Tibsharini, R., Friedman, J. 2009. The elements of statistical learning. Data Mining, Inference, and prediction. Springer Science + Business Media.

- Jansson, C., Kreuger, J. 2010. Multiresidue Analysis of 95 Pesticides at Low Nanogram/Liter Levels in Surface Waters Using Online Preconcentration and High Performance Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry. *Journal of AOAC International* 93: 1732-1747.
- Jarvis, N.J. 2007. Review of non-equilibrium water flow and solute transport in soil macropores: principles, controlling factors and consequences for water quality. *European Journal of Soil Science* 58: 523-546.
- Larsbo, M., Sandin, M., Jarvis, N., Etana, A., Kreuger, J. 2016. Surface Runoff of Pesticides from a Clay Loam Field in Sweden. *Journal of Environmental Quality* 45: 1367-1374.
- Le Bissonais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47:425-437.
- Lewan, L., Kreuger, J., Jarvis, N. 2009. Implications of precipitation patterns and antecedent soil water content for leaching of pesticides from arable land. *Agricultural Water Management* 96: 1633-1640.
- Lindström, B., Larsson, M., Boye, K., Gönczi, M., Kreuger, J. 2015. Resultat från miljöövervakningen av bekämpningsmedel (växtskyddsmedel). Långtidsöversikt och trender 2002-2012 för ytvatten och sediment. Rapport 2015:5, Inst. för vatten och miljö, SLU. Tillgänglig på: <http://pub.epsilon.slu.se/12303/>
- McBratney, A.B., Santos, M.L.M., Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3-52.
- Piikki, K., Wetterlind, J., Söderström M., Stenberg, B. 2013. Jordartskartering av matjord och alv direkt i fält. POS Teknisk rapport 30. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Precisionsodling och pedometri. Tillgänglig på: <http://pub.epsilon.slu.se/10929/>
- Piikki, K., Wetterlind, J., Söderström, M., Stenberg, B. 2015a. Three-dimensional digital soil mapping of agricultural fields by integration of multiple proximal sensor data obtained from different sensing methods. *Precision Agriculture*, 16: 29-45.
- Piikki, K., Söderström, M., Wetterlind, J., Stenberg, B., Jarvis, N. 2015b. Digital soil mapping for modelling of transport pathways for pesticides to surface water. POS Teknisk rapport 35. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Precisionsodling och pedometri. Tillgänglig på: <http://pub.epsilon.slu.se/12508/>
- Riise, G., Lundekvam, H., Wu, Q.L., Haugen, L.E., Mulder, J. 2004. Loss of pesticides from agricultural fields in SE Norway: Runoff through surface and drainage water. *Environmental Geochemistry and Health* 26: 269-276.
- Rodríguez-Cruz, M.S., Jones, J.E., Bending, G.D. 2006. Field-scale study of the variability in pesticide biodegradation with soil depth and its relationship with soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 2910-2918.
- Villa, A., Djodjic, F., Bergström, L., Kyllmar, K. 2015. Screening risk area for sediment and phosphorus losses to improve placement of mitigation measures. *Ambio* 44: 612-617.

Publikationer

Piikki, K., Söderström, M., Wetterlind, J., Stenberg, B., Jarvis, N. 2015b. Digital soil mapping for modelling of transport pathways for pesticides to surface water. POS Teknisk rapport 35. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för mark och miljö, Precisionsodling och pedometri. Tillgänglig på: <http://pub.epsilon.slu.se/12508/>

Planerade publikationer

Sammanställning och tolkning av data från provtagningskampanjerna i E21 är under fullbordande och vi planerar att publicera dessa i form av en vetenskaplig artikel med den preliminära titeln ”*Spatial and temporal patterns of pesticide transport to surface waters in a small agricultural catchment*”. Författare är Maria Sandin, Kristin Piikki, Nicholas Jarvis, Kevin Bishop och Jenny Kreuger.

Data från provtagningen med passiva POCIS-provtagare är färdigställda, men databearbetningen har ännu inte påbörjats. Denna planeras ligga till grund för ytterligare en vetenskaplig artikel.

Resultatförmedling till näringen

Resultaten från studien av bekämpningsmedelsförekomster i de tre utvalda delavrinningsorådena har presenterats vid workshopen Pesticide fate and transport in the Northern zone, Uppsala 7-8 september 2016. De kommer också att redovisas för referensgruppen inom CKB (KompetensCentrum för Kemiska Bekämpningsmedel vid SLU) på höstmötet i november 2016, där representanter för näringen är närvarande (LRF) tillsammans med andra intresseorganisationer (KEMI, Jordbruksverket, Hav, Svenskt Växtskydd m.fl.).

