

Til: Det Økonomisk Råds Sekretariat (DØRS)

Fra: Hans Jørgen Henriksen

Kopi til: Johnny Fredericia, Per Rosenberg og Alex Sonnenborg

Fortroligt: **Ja**

Dato: 15. November 2004

GEUS-NOTAT nr.: 06-VA-04-05

J.nr. GEUS: 0714-031

Emne: DØRS pesticidinstrumenter og grundvandspåvirkning

Af Hans Jørgen Henriksen, Jeanne Kjær og Walter Brüsich, GEUS

1. Opgaven	2
2. Metode	3
2.1 Inputdata fra Aage og Esmeralda	3
2.2 Kalibreringsdata (pesticid monitoringsdata fra Varslingssystemet)	3
2.3 Valideringsdata	3
2.4 Øvrige forudsætninger	4
3. Opstillet bayesiansk net for grundvandspåvirkning (BN model)	5
3.1 Beregningsmodel (Bayesiansk net)	5
4. Databearbejdning	8
4.1 Inputdata fra Esmeralda modellen	8
4.2 Inputdata fra Varslingssystemet (VAP)	10
4.2.1 Forudsætninger jf. VAP	10
4.2.2 Databearbejdning	11
4.3 Forekomst af pesticider i højtliggende grundvand	12
4.4 Magasiner med frit og artesisk vandspejl	13
4.5 Pesticidfund og lertykkelse over top indtag	13
4.6 Små private vandforsyninger	14
4.7 Indvinding af grundvand fra forskellige dybder	14
5. Resultater	16
6. Sammenfatning og diskussion	21
6.1 Hovedresultat af vurderingen	21
6.2 Kendte og ukendte kilder til usikkerhed	22
7. Referencer	24
Appendix 1 Eksempel på sandsynlighedstabel for relation mellem behandlingshyppighed og udvaskning af herbicider	25

1. Opgaven

Det økonomiske råds sekretariat (DØRS) har bedt GEUS om en vurdering/beregning af konsekvenser af forskellige instrumenter (scenarier) for indeholdet af landbrugspesticider i grundvandet.

Instrumenterne er følgende:

- Basis 2002 (basis scenarie, nuværende situation -> bruges til 'kalibrering af model')
- Baseline (år 2015 grundkørsel baseret på eksisterende og vedtaget regulering, herunder Vandmiljøplan 3, EU's landbrugsreform 2003 og østudvidelsen af EU)
- Pesticidafgifter (der pålægges en afgift på alle pesticider der resulterer i 25 pct. reduktion / forbrug af aktivt stof. Niveaulet er bestemt ved at den samfundsøkonomiske omkostning holdes fast som omkostningen ved 25 pct. pesticidreduktion. Beløbet er knap 1 mia. kr pr. år.
- Herbicidafgift (der pålægges en afgift på herbicider, hvorimod fungicider, insekticider og vækstfremmere friholdes for yderligere afgift, samme beløbsramme som for pesticidafgifter)
- Differentierede pesticidafgifter (4/5 af reduktionen sker på lerjord, 1/5 på sandjord, samme beløbsramme som for pesticidafgifter)
- Sprøjtefri randzoner omkring markskel og 100 m omkring vandforsyninger og 50 meter omkring små enkeltindvindinger /70.000 (GEUS 2004a); i alt 3 % af landbrugsarealet = 800 km² omkring vandboringer (Miljøstyrelsen, 2003) og 11 % = 2671 km² i markskæl, samme beløbsramme som for pesticidafgifter)
- Økologisk landbrug (omlægning svarende til samme beløbsramme som for pesticidafgifter)

Ovenstående instrumenter blev valgt på baggrund af drøftelser mellem GEUS og DØRS i maj-juni 2004. Man kunne have valgt andre instrumenter, f.eks. med afsæt i en mere geologisk betinget afgrænsning af sårbare arealer, men dels var KUPA rapporten ikke publiceret (GEUS & DJF, 2004), dels forelå dette zoneringskoncept kun for sandjord og endelig er der nogen praktiske problemer i at håndtere en så detaljeret vurdering indenfor rammerne af nærværende projekt (tid, problemer med kobling af forskellige modeller osv.).

Nærværende notat belyser GEUS's vurderinger af effekter af ovenstående instrumenter for pesticidforureningen af grundvand og drikkevand på landsplan og for henholdsvis sandede områder (typiske for Vestdanmark) og lerområder (typiske for Østdanmark).

2. Metode

2.1 Inputdata fra Aage og Esmeralda

Forudsætningerne for GEUS's beregninger er dels resultaterne af den makroøkonomiske model Aage (FØI), forventet realvækst og sektorforskydninger) og dels beregninger af ændringer i arealanvendelse og pesticid behandlingshyppigheder er udført af Fødevarøkonomisk institut (FØI) baseret på Esmeralda modellen. Disse modelberegninger har resulteret i følgende inputdata til GEUS's vurdering, for hver af ovenstående instrumenter:

- Behandlingshyppigheder opdelt på herbicider, fungicider, insekticider og vækstfremmere (fire hovedtyper)
- Variabilitet i økonomi til køb af pesticider opgjort på fire hovedtyper og driftsformer (kombinationer af jordtype og overordnet arealanvendelse)
- Overordnede driftsformer ved ovenstående instrumenter
- Detaljerede arealanvendelser ved ovenstående instrumenter

2.2 Kalibreringsdata (pesticid monitoringsdata fra Varslingssystemet)

Givet de udvalgte variable og links der indgår i det bayesianske net, så skal der bestemmes et sandsynlighedstabeller der gør rede for årsag-virkningssammenhænge i nettene. Disse tabeller er baseret på data fra Varslingssystemet. Varslingssystemet er et avanceret system, der måler udvaskningen af pesticider fra en række marker fordelt over hele landet. Systemet bliver drevet i et samarbejde mellem GEUS, Danmarks JordbrugsForskning, Danmarks Miljøundersøgelser og Miljøstyrelsen. Formålet med systemet er at undersøge hvordan godkendte pesticider eller deres nedbrydningsprodukter opfører sig. Siver de ned til grundvandet i mængder over grænseværdien, når de bruges i de tilladte doser? Kjær m.fl. (2004).

Det har ikke på det nuværende grundlag og inden for tidsrammen for nærværende opgaves løsning været muligt at foretage direkte modelsimuleringer af sammenhænge mellem arealanvendelse, behandlings hyppighed og udvaskning af pesticider til det øvre grundvand. Derfor er der i stedet anvendt monitoringsdata og ekspertvurderinger, til at fastlægge hvordan ændringer i inputdata (behandlingshyppighed), vil påvirke sandsynligheder for fund over grænseværdien i grundvandet og drikkevandet.

Vurdering af sandsynlighed for fund af pesticider i grundvand er baseret på de nuværende godkendte pesticider (ca. 28 pesticider der analyseres for i Varslingssystemet). Der tages ikke hensyn til reguleringer (yderligere forbud mod enkeltstoffer) i vurderingerne af de fremtidige instrumenter.

2.3 Valideringsdata

For at kunne vurdere om det konstruerede

- Data fra Grundvandsovervågningen (GRUMO data, data fra i alt 67 grundvandsovervågningsområder, hver udbygget med ca. 15-20 overvågningsindtag fordelt i forskellige dybder))
- Data fra Små vandværker (en undersøgelse af vandkvaliteten i udvalgte enkeltforsyninger i Viborg, Sønderjylland, Københavns og Storstrøms amter; undersøgelsen udgør et udsnit af i alt 71.000 husstande, hvor drikkevandsforsyningen sker fra forholdsvis terrænnære brønde og boringer)

Der er set bort fra pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvand som ikke anvendes på landbrugsarealer (f.eks. nedbrydningsproduktet BAM). Det vil sige, at vurderingerne alene omfatter landbrugspesticider og den del af forureningen med pesticider i grundvandet der stammer fra denne kilde.

2.4 Øvrige forudsætninger

- Behandlingshyppigheder, jordtype & driftsform og arealanvendelse er baseret på resultater af FØI's Esmaralda model. Udover disse resultater så har FØI også leveret skøn over omkostninger til køb af pesticider for forskellige jordtyper/driftsformer og en varians baseret på tal fra 2000 ejendomme. Det antages at behandlingshyppighed er proportional med omkostninger til køb af pesticider
- Det er noget usikkert hvordan ændret behandlingshyppighed påvirker pesticidudvaskningen. I denne analyse er relationen mellem behandlingshyppighed og pesticidudvaskning baseret på VAP data og efterfølgende er følsomheden vurderet, dels ved "lineær sammenhæng" og dels to alternative antagelser (S-kurve og afgrødespecifikke lineære sammenhænge opdelt på to kategorier, henholdsvis kartofler-roer-ærter og korn mm.)
- Der er ingen data til belysning af udvaskning af vækstfremmere til grundvandet. Der er således et stor udækket vidensbehov (det 6. mest solgte miljøfremmede stof i landbruget kan ikke måles i grundvandet i dag)
- Herbiciderne er centrale i opgaven fordi det er denne pesticidtype der oftest er påvist i grundvand i overvågningen. Der gøres mest ud af disse da de dominerer problemstillingen. For øvrige pesticidtyper beskrives problemstilling forenklet beskrives udvaskning alene ud fra relation til gennemsnitlig behandlingshyppighed (dvs. uden hensyn til jordtype & driftsform og arealanvendelse)
- Der foretages en grov vurdering af hvad konsekvensen bliver i forhold til vandværker der indvinder fra højtliggende grundvand (fra filtre mellem 0-20 meter under terræn, heriblandt en stor del af de ca. 70.000 små enkeltindvindinger) og vandforsyninger, der indvinder fra dybereliggende grundvand (> 20 meter under terræn).

3. Opstillet bayesiansk net for grundvandspåvirkning (BN model)

3.1 Beregningsmodel (Bayesiansk net)

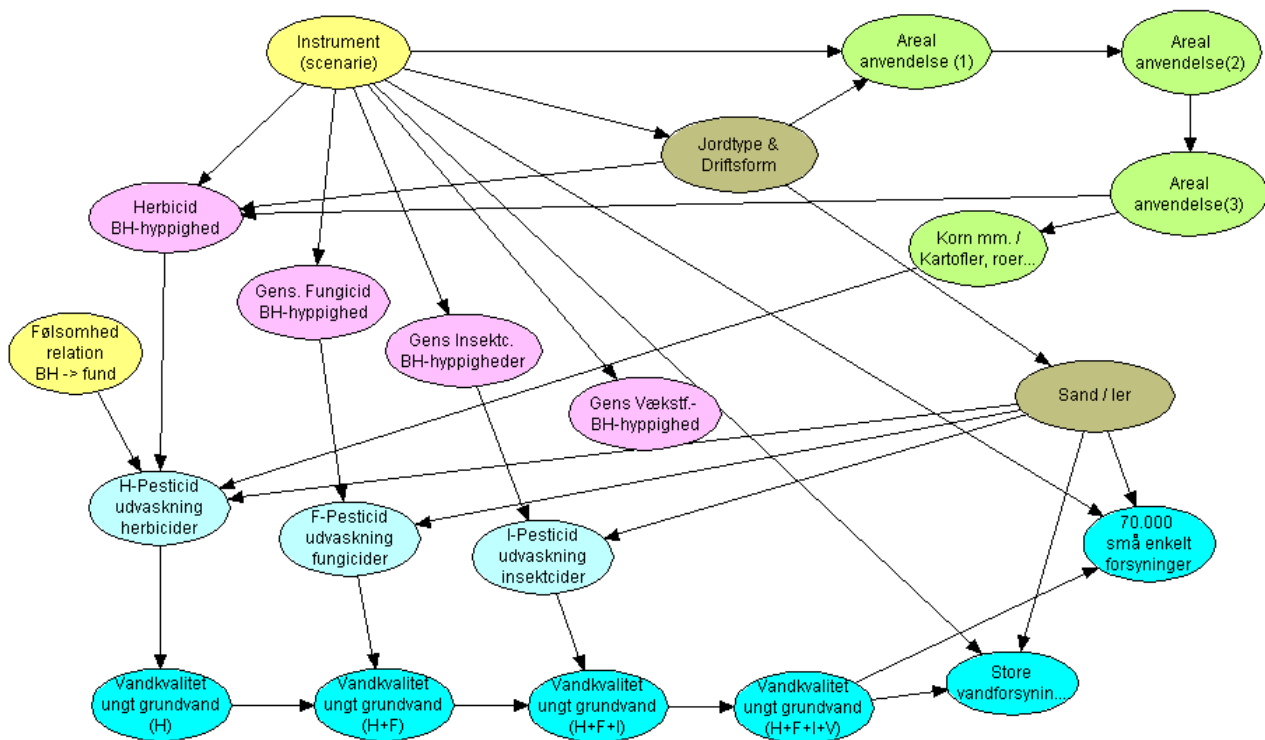
Bayesianske net (BNs) udgør et beslutningsstøtte system, der består af kausale netværker af variable, links og sandsynlighedstabeller, med eksplicit formulering af usikkerheden. BNs er specielt brugbare til at formidle systemforståelse for komplekse systemer, hvor forskellige domæner virker sammen (fysiske forhold, socioøkonomi, biologi osv.). BNs har været anvendt både indenfor medicin og kunstig intelligens. I forbindelse med EU forskningsprojektet MERIT (2001-2004) er metoden blevet afprøvet for problemstillinger inden for integreret vandressourceforvaltning. Resultaterne har vist, at BNs er velegnede til at formidle et samlet overblik og en dialog om usikkerheder (Henriksen et al., 2004a, b).

BNs styrke er, at vurderinger fra såvel modelstudier, overvågning og vurderinger fra forskellige eksperter kan indgå i nettene. I processen udvælges de relevante variable der skal indgå i BN, og der defineres et antal relevante tilstandsformer for hver variabel. Relationer mellem forskellige variable skal vurderes (links), og endelig skal variable, links og tilhørende sandsynlighedstabeller implementeres i et BN-beregningsprogram (her er anvendt Hugin, www.hugin.com).

Det konstruerede BN kan 'fodres' med ændrede forudsætninger (f.eks. ændret arealanvendelse eller behandlingshyppighed jf. de forskellige instrumenter), hvorved der beregnes et nyt sæt sandsynligheder for tilstanden af hver enkelt variabel i nettet. Nøglevariable er bl.a. sandsynligheder for pesticidindhold i grundvand over grænseværdien eller den andel af drikkevandsressourcen som må afskrives som følge af forurening med landbrugspesticider.

I figur 2 er vist et eksempel på sandsynligheder for tilstande for de enkelte variable i nettet. Det valgte instrument har betydning for behandlingshyppigheden for såvel herbicider, fungicider, insektcider og vækstfremmere. For fungicider, insektcider og vækstfremmere er der som en tilnærmelse regnet på baggrund af gennemsnitlige behandlingshyppigheder, hvorimod der for herbicider er regnet mere detaljeret, så både driftsform/ jordtype og arealanvendelse indgår som grundlag for beregnet behandlingshyppighed. Grundlaget er her data fra 2000 ejendomme, hvor økonomi til køb af pesticider er beregnet, både middelværdi og spredning (10 %, og 90 % fraktilværdier) for de forskellige driftsformer / jordtyper og afgrøder.

Variablen 'Følsomhed relation BH -> fund' indeholder tre alternative antagelser om hvordan en given behandlingshyppighed påvirker koncentrationen af herbicider i grundvand. For de øvrige typer af pesticider, er regnet mere forenklet. I eksemplet i figur 2 er udelukkende vist resultater for antagelsen 'bedste estimat'. Variablen 'Sand / ler' angiver en aggregering af jordtyper opgjort i sand og ler. Det antages at udvaskningen af herbicider, fungicider og insektcider er større for lerjord end for sandjord. Vækstfremmere indregnes ikke i koncentrationen i grundvand, da det i dag ikke er muligt rent måleteknisk at bestemme et af de mest anvendte miljøfremmede stoffer i grundvandet. Beregningerne er derfor excl. vækstfremmere. Fire variable 'i serie' akkumulerer risikoen for at de anvendte pesticider udvaskes over grænseværdien.



Figur 1. Opstillet Bayesiansk net (BN-model)

To variable '70.000 små enkeltforsyninger' (vandværksindvindinger fra det øvre grundvand < 20 meter under terræn og enkeltindvindere) og 'Store vandforsyninger' (vandværker der indvinder fra dybereliggende grundvand > 20 meter under terræn) vurderer hvor stor en del af ressourcen til henholdsvis de mange små indvindinger på landet, og det volumenmæssige dominerede bidrag fra større vandværker. Instrumentet randzoner (50 meter omkring små indvindinger og 100 meter om større vandindvindinger) giver en forøget forbedring i vandkvaliteten, i forhold til øvrige instrumenter (derfor pile fra 'Instrumenter') til disse to konklusive variable. Det antages desuden af der er forskel på sand og ler, når effekten af randzonen skal vurderes og når det skal vurderes hvilken ændring der sker i sandsynlighed for fund fra det øverste grundvand til det dybere grundvand hvorfra de større vandforsyninger indvinder vandet. Det antages, at vandkvaliteten for variabelen '70.000 små enkeltforsyninger' svarer til udvaskningen fra rodzonen.

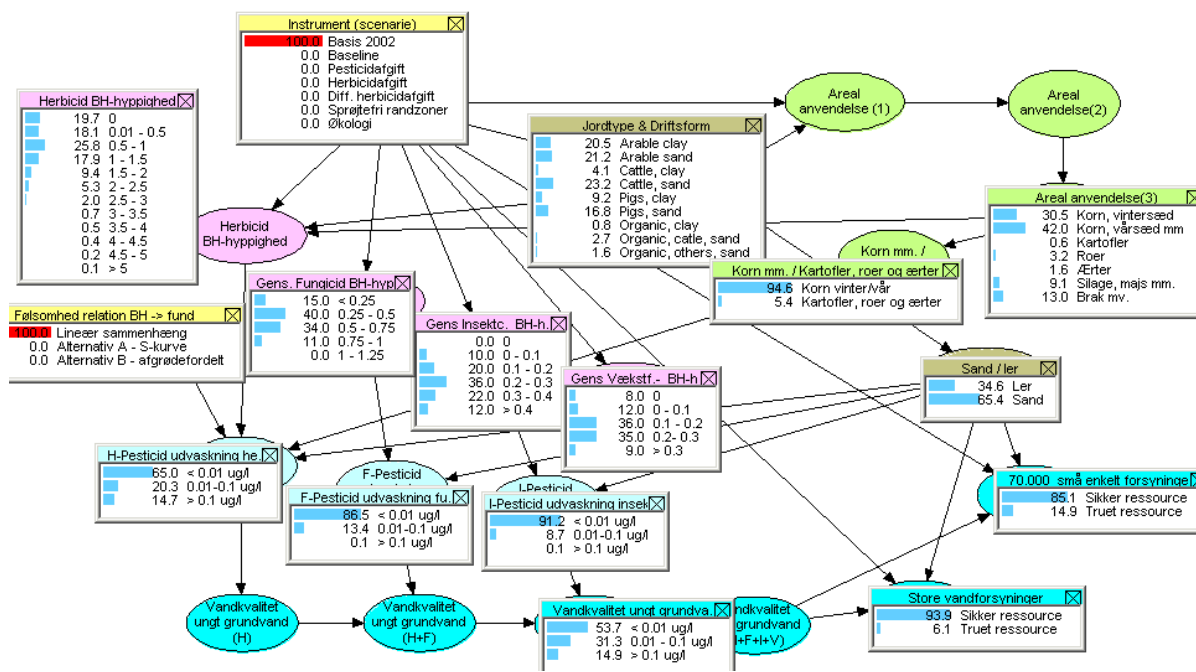
Nedenstående udtræk viser et eksempel på beregninger med det bayesianske net. I eksemplet antages det at to ud af de 21 variable er kendte, i dette tilfælde 'instrument = Basis 2002' og 'følsomhed i relation til BH -> fund = lineær sammenhæng' (tilstanden af disse variable er vist med rød graf). Tilstanden af de øvrige variable er derimod usikre. Sandsynligheden for at de usikre variable antager en 'bestemt tilstand' er illustreret med grønne bjælker. Kigger man på variabelen 'vandkvalitet for det unge grundvand' (for samtlige pesticidtyper), har denne variabel tre mulige tilstande: < 0,01 µg/l, 0,01 – 0,1 µg/l og > 0,1 µg/l, men vi kender ikke tilstanden med sikkerhed. Ifølge BN-modellen og de indbyggede forudsætninger i form af kausale sammenhænge og sandsynlighedstabeller, så er der 14,9 % sandsynlighed for at koncentration af pesticider er > 0,1 µg/l, 31,3 % sand

synlighed for at den er 0,01 – 0,1 µg/l og ca. 53,7 % sandsynlighed for at der slet ikke kan påvises pesticider i det unge grundvand.

Styrken ved en BN-model er at det er let og hurtigt at opdatere de samlede sandsynligheder for samtlige variable, efterhånden som kendskabet til en eller flere variable forbedres. Eksempelvis kan man vælge at analysere f.eks. grundvandskvalitet under forskellige antagelser om jordtype, driftsform eller arealanvendelse, og derved vurdere betydningen af forskellige forudsætninger. Samtidig giver BN-modellen et godt og letforståeligt overblik, og kan derved anvendes som et 'dialogværktøj' mellem ekspert <-> ekspert og ekspert <-> interessentgrupper. Endelig er det muligt at indlægge forskellige former for 'evidens', f.eks. alternative antagelser om arealanvendelse, behandlingshyppighed osv. og på den måde vurdere betydningen heraf for grundvandspåvirkningen. I princippet, kan evidens således tildeles BN-modellen for samtlige variable.

En BN-model kan opmuntre til at anskue problemstillinger ud fra forskellige synsvinkler og på den måde være med til at identificere forhold og problemstillinger, som man måske ikke umiddelbart er opmærksomme på. En BN-model tillader en helhedsorienteret evaluering af problemerne og giver mulighed for at koble resultater fra forskellige domæner og kilder sammen til et beslutningsstøttesystem (Henriksen et al., 2003a).

Som eksempler herpå, kan nævnes at BN-modellen vist i figur 1 tydeligt illustrerer, at der er et problem omkring vurderingen af konsekvenser af vækstfremmere for grundvand, hvor der mangler viden. BN-modellen er også god til at koble resultater fra Esmaralda modellen (behandlingshyppighed) med yderligere data for variation (økonomi til køb af pesticider) med ekspertvurderinger fra grundvandsovervågning og Varslingssystemet til en samlet 'model'.



Figur 2 Eksempler på simuleringer med BN model (forskellige instrumenter / lineær sammenhæng)

I Appendix 1 er vist et eksempel på sandsynlighedstabel for sammenhæng mellem behandlingshyppighed og udvaskning af herbicider.

4. Databearbejdning

4.1 Inputdata fra Esmeralda modellen

GEUS har modtaget data vedr. ændret arealanvendelse og behandlingshyppighed fra FØI. Disse er lagt til grund for GEUS's vurderinger af konsekvenser for ændret sandsynlighed for pesticider i grundvandet. Inputdata fra Esmeralda er vist i tabel 1 (gennemsnitstal for behandlingshyppighed).

Gennemsnitlige behandlingshyppigheder							
	Basis 2002	Baseline	Pesticid afgifter	Herbicid afgifter	Diff. Herbicid Afgifter	Buffer zoner	Økologi
Herbicides	0,96	0,93	0,64	0,54	0,76	0,75	0,93
Fungicides	0,45	0,59	0,47	0,54	0,56	0,48	0,63
Insekticides	0,26	0,24	0,16	0,25	0,24	0,21	0,25
Vækst regulators	0,20	0,18	0,16	0,16	0,17	0,14	0,17
Total	1,87	1,93	1,42	1,48	1,73	1,57	1,98

Tabel 1 Beregnede behandlingshyppigheder (kilde: Esmeralda / FØI)

Den gennemsnitlige behandlingshyppighed falder således i forhold til reference instrumentet (Baseline) fra 0,93 for herbicider til 0,54 for herbicid afgiften (altså næsten en halvering). Målt alene i forhold til behandlingshyppighed for samtlige pesticidtyper er faldet mindre, fra i alt 1,93 (Baseline) til 1,42 (Pesticid afgift). Øvrige instrumenter giver behandlingshyppigheder på baggrund af Esmeralda modellen mellem disse yderpunkter. For herbicider er benyttet tal for enkelte afgrøder, se tabel 2:

Herbicides	Basis 2002	Baseline frem-skrivning	Pesticid-afgift	Herbicid-afgift	Differentieret herbicidafgift	Sprøjtefrie randzoner	Økologi
Spring barley	0,75	0,75	0,53	0,43	0,62	0,63	0,72
Winter barley	1,20	1,27	0,74	0,60	0,95	1,06	1,22
Wheat	1,20	1,24	0,78	0,70	0,97	1,01	1,18
Pulses	2,82	2,41	1,80	1,62	2,13	1,94	2,25
Rapeseed	1,19	1,05	0,71	0,72	1,00	0,88	0,97
Potatoes	2,10	2,10	1,24	1,21	1,67	1,85	1,98
Sugar beets	2,14	2,04	1,61	1,49	1,65	1,70	1,97
Fodder beets	2,14	2,00	1,63	1,58	1,97	1,69	1,94
Grass in rotation	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
Permanent grass	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Silage cereals	0,75	0,71	0,62	0,52	0,66	0,59	0,68
Fallow	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 2 Gennemsnitlige behandlingshyppigheder. Beregnet med udgangspunkt i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistik og Esmeralda (Kilde FØI)

Det bemærkes at ærter, kartofler og roer har de højeste behandlingshyppigheder (2,10 – 2,82), hvorimod vårbyg, vinterbyg, hvede, raps og silage (tritikale) har noget mindre behandlingshyppigheder (0,75 – 1,20). Ovenstående gennemsnitsværdier har indgået i fastlæggelse af sandsynlighedstabeller for det bayesianske net, med hensyn til sandsynlighedsfordelinger for behandlingshyppigheder, idet tabellen angiver en middelværdi for fordelingsfunktionen.

I tabel 3 er vist et eksempel på variationer i økonomi til køb af pesticider for forskellige driftsformer / jordtyper (Kilde FØI).

Tabel 4 og 5 viser tilsvarende økonomital for 10 % fraktiler og 90 % fraktiler.

	<i>Basis 2002</i>	<i>Baseline fremskrivning</i>	<i>Pesticid- afgift</i>	<i>Herbicid- afgift</i>	<i>Differenti- eret herbi- cidafgift</i>	<i>Sprøjtefrie randzoner</i>	<i>Økologi</i>
Planter, lerjord	1,34	1,13	1,38	1,42	1,31	1,11	1,12
Planter, sandjord	1,02	1,05	1,18	1,03	0,96	1,03	1,04
Kvæg, lerjord	0,89	0,81	0,96	1,27	1,15	0,83	0,83
Kvæg, sandjord	0,62	0,56	0,71	0,71	0,60	0,58	0,58
Svin, lerjord	1,27	1,57	1,19	1,26	1,46	1,54	1,62
Svin, sandjord	1,00	1,17	0,64	0,67	0,99	1,21	1,15
Alle	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabel 3 Variationer over driftstypologier i relativ herbicid-omkostning pr. sprøjtet hektar (Kilde FØI). Eksempelvis betyder faktoren 1,34 for planter, lerjord i basis 2002 kolonnen, at indkøbet af pesticider for denne driftsform/jordtype, er 34 % over gennemsnittet af samtlige 6 typer (Kilde: FØI)

Det ses af tabel 3, at den gennemsnitlige herbicidomkostning pr. sprøjtet hektar er størst for planteavl på lerjord (1,34 altså 34 % større end gennemsnittet for de seks jordtyper/driftsformer), stor for svinebedrifter på lerjord (1,27) og relativt mindre for de to kvægavls driftsformer på henholdsvis lerjord (0,89) og sandjord (0,62). Det antages at behandlingshyppigheder er proportionale med omkostninger pr. sprøjtet hektar.

For at fastlægge en sandsynlig fordeling er der desuden brug for kendskab til et par fraktilværdier. I det følgende er benyttet 10 %, og 90 % fraktilværdier til at konstruere fordelinger til nettet. Fordelingen har nemlig betydning for hvordan de tre alternative antagelser om hvordan behandlingshyppigheder vil forplante sig til sandsynligheder for fund af pesticider i grundvandet (f.eks. over grænseværdien på 0,1 µg/l). I tabel 4 er vist Ti-pct. Fraktilværdier (pct. af middelværdi).

10 pct fraktiler	Basis 2002	Baseline frem-skrivning	Pesticid-afgift	Herbicid-afgift	Differentieret herbi-cidafgift	Sprøjtefrie randzoner	Økologi
Planter, lerjord	47%	18%	15%	0%	0%	11%	13%
Planter, sandjord	20%	22%	14%	0%	19%	25%	23%
Kvæg, lerjord	17%	19%	22%	16%	19%	19%	19%
Kvæg, sandjord	31%	29%	31%	0%	29%	29%	26%
Svin, lerjord	54%	43%	24%	20%	37%	42%	42%
Svin, sandjord	49%	45%	24%	0%	44%	42%	43%

Tabel 4 Ti-pct fraktiler for bedriftstypologier i herbicid-omkostning pr. sprøjtet hektar (Kilde FØI)

90 pct fraktiler	Basis 2002	Baseline frem-skrivning	Pesticid-afgift	Herbicid-afgift	Differentieret herbi-cidafgift	Sprøjtefrie randzoner	Økologi
Planter, lerjord	152%	171%	187%	190%	186%	178%	175%
Planter, sandjord	159%	186%	210%	269%	207%	187%	195%
Kvæg, lerjord	168%	180%	204%	197%	194%	178%	185%
Kvæg, sandjord	163%	182%	186%	200%	188%	182%	185%
Svin, lerjord	155%	150%	163%	173%	162%	152%	152%
Svin, sandjord	159%	153%	170%	282%	164%	157%	153%

Tabel 5 90-pct fraktiler for bedriftstypologier i herbicid-omkostning pr. sprøjtet hektar (Kilde FØI)

4.2 Inputdata fra Varslingssystemet (VAP)

4.2.1 Forudsætninger jf. VAP

Der er en række forudsætninger vedr. de sandsynligheder for fund af pesticider i grundvandet som VAP data repræsenterer, bl.a.:

- Der er analyseret for 28 pesticider i VAP på hhv. 2 lerlokaliteter og 4 sandlokaliteter (Kjær m.fl., 2004)
- Data er kun repræsentative for de midler der anvendes i dag, ikke nødvendigvis for de stoffer som fortsat er godkendte i år 2015. Effekt af yderligere regulering og forbud mod de stoffer som på VAP markerne udvaskes til grundvandet, og derfor jf. godkendelsespraksis forbydes, indgår ikke i vurderingen
- Der er ikke taget hensyn til geologisk variabilitet, og de mest sårbare arealer indgår ikke i vurderingen. På de sandede arealer forventes ca. 10-15 % af landbrugsarealet at være mere sårbart end anvendte forsøgsmarker. For ler kendes denne andel ikke på nuværende tidspunkt (GEUS & DJF, 2004)
- VAP data repræsenterer ”kontrollerede marker med kendt dosering mv.” og repræsenterer således ikke effekt, der skyldes uheld under sprøjtning eller tab af pesticider fra sprøjtearealer ved rengøring af traktor og udstyr eller anden ikke regelret brug af pesticider i landbruget, herunder bidrag fra punktkilder

Disse antagelser betyder at man skal være varsom med at anvende resultaterne fra GEUS's vurderinger af ændringer i fund i grundvand ukritisk. De udgør det bedste bud på en rangordning af alternative instrumenter, men vurderingen af sandsynlighed for fund over grænseværdien i absolutte tal (f.eks. udtrykt i fund i procent over grænseværdien) er meget usikker, og den faktiske fund procent kan derfor i princippet være både større og mindre end de vurderede fundprocenter.

4.2.2 Databearbejdning

Fra Varslingssystemet for udvaskning af Pesticider (VAP) foreligger der data vedrørende pesticidudvaskning. Der foreligger data fra i alt 6 forsøgsmarker (fire på lerjord og to på sand) behandlet med godkendte pesticider (regelret brug). Igennem de sidste fire år er pesticidkoncentrationen i både jordvand og grundvand (incl. dræn) løbende blevet undersøgt for forskellige rotationer.

Tabel 6 viser resultaterne fra samtlige marker, opgjort som sandsynligheder for at et eller flere af de udbragte herbicider, fungicider eller insekticider udvaskes fra rodzonen (1 meters dybde). Det fremgår at datagrundlaget er spinkelt men giver dog et fingerpeg om forventelige fund. Det er antaget at doseringen af pesticider på VAP marker er nogenlunde svarende til basis 2002 scenariet, og at tabel 6 derfor kan give et bud på relationen mellem behandlingshyppighed og udvaskning til det øvre grundvand og dræn (som pr. definition også er grundvand). Da data er meget begrænset er sandsynligheder, som er anvendt i det bayesianske net, vurderet på baggrund af data fra tabel 6. Det antages, at VAP data repræsenterer en behandlingshyppighed for pesticider svarende til intervallet 1.5 – 2.

Tabel 6. Antal af afgrøderotationer med pesticiddosering hvor der er konstateret udvaskning af et eller flere af de udbragte fungicider, insekticider eller herbicider eller deres nedbrydningsprodukter. Tallet i parentes er angivet som procent af de samtlige rotationer (Kilde GEUS).

	Ler			Sand		
	Fungicid	Herbicid	Insektcid	Fungicid	Herbicid	Insektcid
Antal rotationer totalt	7	16	11	5	9	2
Antal rotationer med						
- ingen udvaskning ¹	4 (57%)	3 (19%)	6 (55%)	4 (80%)	5 (56%)	2 (100%)
- udvaskning under grænseværdien ²	3 (43%)	9 (56%)	5 (45%)	1(20%)	2 (22%)	0 (0%)
- udvaskning over grænseværdien ³	0 (0%)	4 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (22%)	0 (0%)

¹ Stofferne er ikke fundet eller kun er fundet i få prøver i koncentrationer under 0,1 µg/l;

² Stofferne er fundet i flere udtagne prøver, gennemsnitskoncentrationen (1 m.u.t.) er under 0,1 µg/l;

³ Stofferne er fundet udvasket (1 m.u.t.) i gennemsnit i koncentrationer der overskrider 0,1 µg/l

I tabel 7 er det ud fra Varslingssystemet vurderet hvordan sammenhængen er for aggregerede afgrødetyper (opdelt på a) roer, ærter og kartofler og b) øvrige afgrøder).

Tallene i tabel 7 er udelukkende anvendt til følsomhedsvurdering (alternativ B), idet det antages at relationen mellem behandlingshyppighed og udvaskning er afhængig af om afgrøden er a) roer, kartofler eller ærter eller b) korn og øvrige afgrøder. Endelig er det valgt at kategorisere pesticidet 'glyphosat' og nedbrydningsproduktet 'AMPA' under 'korn og øvrige afgrøder' (stoffet anvendes på forskellige afgrøder).

Tabel 7 Antal af rotationer hvor der er konstateret udvaskning af et eller flere af de udbragte fungicider, insekticider eller herbicider eller deres nedbrydningsprodukter. Tallet i parentes er angivet som procent af samtlige rotationer (Kilde GEUS). Data er opgjort for to kategorier henholdsvis "Roer, ærter og Kartoffler" samt "korn og øvrige afgrøder".

	Ler			Sand		
	Fungicid	Herbicid	Insektcid	Fungicid	Herbicid	Insektcid
Roer, ærter og kartofler						
Antal rotationer totalt	0	3	2	1	2	0
Antal rotationer med						
- ingen udvaskning ¹		0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	
- udvaskning under grænseværdien ²		3 (100 %)	2 (100 %)	1 (100 %)	0 (0 %)	
- udvaskning over grænseværdien ³		0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	2 (100 %)	
Korn og øvrige afgrøder						
Antal rotationer totalt	7	13	9	4	7	2
Antal rotationer med						
- ingen udvaskning ¹	4 (57 %)	3 (23 %)	6 (67 %)	4 (100 %)	5 (71 %)	2 (100%)
- udvaskning under grænseværdien ²	3 (43 %)	6 (46 %)	3 (33 %)	0 (0 %)	2 (29 %)	0 (0 %)
- udvaskning over grænseværdien ³	0 (0 %)	4 (31 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)

¹ Stofferne er ikke fundet eller kun er fundet i få prøver under 0,1 µg/l;

² Stofferne er fundet i flere udtagne prøver, gennemsnitskoncentrationen (1 m.u.t.) er under 0,1 µg/l;

³ Stofferne er fundet udvasket (1 m.u.t.) i gennemsnit der overskrider 0,1 µg/l

4.3 Forekomst af pesticider i højtliggende grundvand.

BAM er ikke medtaget i beregningen af forekomsten i grundvand, hverken fra Varslingssystemet eller i nærværende afsnit, fra grundvandsovervågningen, da BAM's moderstof, dichlobenil typisk er blevet anvendt på befæstede arealer i byområder, på gårdspladser, vejanlæg og stianlæg mm.

Der er kun anvendt data fra Grundvandsovervågningen og ikke fra vandværkernes boringskontrol. Der er kun medtaget indtag, hvor "top indtag" er placeret fra 0 til 30 meter under terræn. I opgørelsen af lertykkelse over indtag er kun medtaget indtag, hvor disse oplysninger foreligger, mens der for opgørelsen af magasiner med henholdsvis frit og artesisk vandspejl ikke er medtaget filtre med betegnelsen semi-artesisk og semi-frit vandspejl.

Da grundvandet udtaget fra indtagene i Grundvandsovervågningen ikke kan relateres til specielle arealændelser, og da grundvandet har meget varierende alder (op til >50 år gammelt) er alle stoffer, undtagen BAM, medtaget, og analysen i nærværende afsnit, kan derfor (i modsætning til data fra Varslingssystemet ovenfor), kun anvendes til en vurdering af forskellige magasiners sårbarhed overfor nedvaskning af pesticider og nedbrydningsprodukter (metabolitter). En vandprøve fra et indtag kan oprindeligt være infiltreret i et område langt fra den boring indtaget er placeret i.

Der er næsten udelukkende fundet metabolitter og pesticider som tilhører gruppen herbicider og der skelnes derfor ikke mellem de tre pesticid grupper herbicider, insekticider og fungicider. Der foreligger heller ikke data for vækstfremmere fra Grundvandsovervågningen.

4.4 Magasiner med frit og artesisk vandspejl.

frit vandspejl	antal indtag			i %			
	analyserede	med fund	≥0,1 µg/l	med fund	≥0,1 µg/l	Uden fund	0,01 til 0,1
0 til 10	115	61	25	53,0	21,7	47,0	31,3
10 til 20	176	88	26	50,0	14,8	50,0	35,2
20 til 30	114	62	15	54,4	13,2	45,6	41,2
alle	405	211	66	52,1	16,3	47,9	35,8
artesisk vandspejl	analyserede			alle fund			
	med fund	≥0,1 µg/l	alle fund	≥0,1 µg/l	Uden fund	0,01 til 0,1	
0 til 10	52	23	11	44,2	21,2	55,8	23,1
10 til 20	176	70	18	39,8	10,2	60,2	29,5
20 til 30	125	37	6	29,6	4,8	70,4	24,8
alle	353	130	35	36,8	9,9	63,2	26,9

Tabel 8 Magasiner med frit vandspejl og artesiske magasiner (med lerdække) og forekomst af pesticider i tre dybdeintervaller. Generelt kan man antage at frit vandspejl repræsenterer sandede områder, mens artesisk grundvand oftere vil kunne repræsentere de lerede områder. Der vil dog sagtens kunne forekomme sandlag over de lerdæklag som overlejrer de artesiske magasiner eller i de områder hvor grundvandet oprindeligt blev infiltreret.

I de frie grundvandsmagasiner forekommer pesticiderne omtrent lige hyppigt i de tre dybdeintervaller, mens antallet af overskridelser af grænseværdien falder fra ca. 20% i intervallet 0 til 10 meter under terræn til ca. 13% i intervallet 20 til 30 meter (meter under terræn), Tabel 8.

I magasiner med lerdæklag (artesiske magasiner) falder antallet af indtag med overskridelser fra ca. 20% i intervallet 0 til 10 meter til ca. 5% i intervallet 20 til 30 meter. Dette større fald afspejler formodentligt at grundvandets alder i magasiner under tykke lerdæklag er større.

4.5 Pesticidfund og lertykkelse over top indtag.

Tykkelse af lerlag	Antal indtag			i %	
	Analyserede	Med fund	fund ≥0,1 µg/l	med fund	≥0,1 µg/l
op til 5 meter	382	184	62	48,2	16,2
over 5 meter	311	129	31	41,5	10,0

Tabel 9 Hyppighed af pesticidfund i indtag under lerdæklag op til 5 meter og under lerdæklag over 5 meter.

Sammenstilles oplysninger om fund af pesticider med lerdæklagenes tykkelse, ses at der i ca. 15% af indtagene med under 5 meters lerdæklag er fundet overskridelser af grænseværdien, tabel 9. Tilsvarende er der i indtag med mere end 5 meter lerdække fundet overskridelser i 10% af indtagene. Tabel 10 viser hyppigheden af pesticider og metabolitter under stigende tykkelse af lerdæklaget, hvor "0" repræsenterer indtag hvor der ikke forekommer lerdæklag. Da grundvandet næsten altid vil stamme fra nedbør infiltreret i områder langt fra indtagene, vil der selv i gruppen "0" meters lerdæklag, kunne forekomme grundvand der oprindeligt er infiltreret i lerede dele af boringens opland.

Lertykkelse i meter	Alle indtag	Antal indtag med fund	Antal indtag $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	% med fund	% $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$
0	236	109	34	46,2	14,4
2	60	32	12	53,3	20,0
4	70	40	16	57,1	22,9
6	55	18	5	32,7	9,1
8	58	23	5	39,7	8,6
10	54	30	10	55,6	18,5
12	50	18	4	36,0	8,0
14	33	13	4	39,4	12,1
16	17	8	1	47,1	5,9
18	22	10	0	45,5	0,0
20	11	2	0	18,2	0,0
22	9	2	1	22,2	11,1
24	5	3	0	60,0	0,0
26	4	2	0	50,0	0,0
28	5	1	0	20,0	0,0
30	2	1	1	50,0	50,0
32	0	0	0		
34	0	0	0		
36	2	1	0	50,0	0,0
38	0	0	0		
40	0	0	0		
alle indtag	693	313	93	45,2	13,4

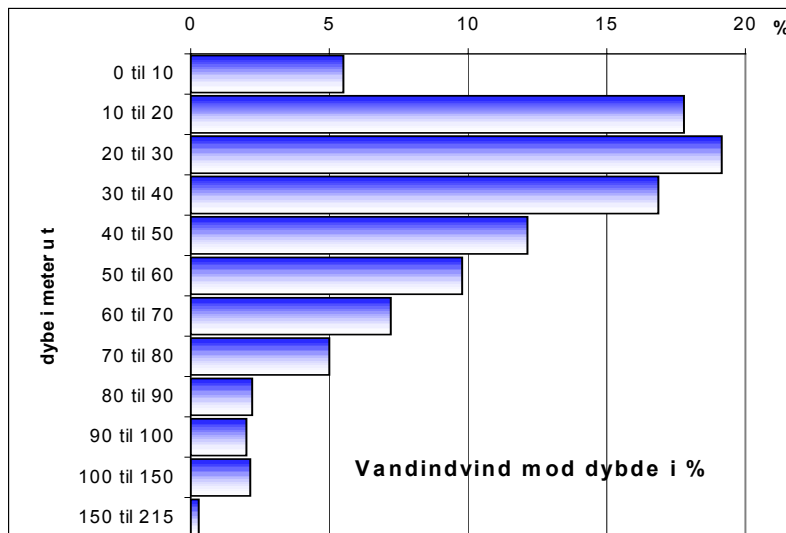
Tabel 10 Lertykkelse i 2 meters intervaller og forekomst af pesticider.

4.6 Små private vandforsyninger

GEUS har sammen med 4 amter gennemført en undersøgelse af pesticidindhold i drikkevand fra 628 små private vandforsyningsanlæg der forsyner private husstande (GEUS, 2004b). Disse husstande indvinder generelt højtliggende yngre grundvand. Medtages kun de stoffer der var godkendt i 2003 er der fundet overskridelser af grænseværdien for drikkevand på $0,1 \mu\text{g/l}$ for et eller flere stoffer i 84 anlæg svarende til 13,4%. Da analyseprogrammet i undersøgelsen var reduceret, er der kun medtaget en lille del af de pesticider som blev anvendt og var godkendt i 2003. Ved en gennemførelse af et større analyseprogram vil det derfor kunne forventes, at antallet af anlæg med overskridelser af grænseværdien for drikkevand for godkendte pesticider, er noget større.

4.7 Indvinding af grundvand fra forskellige dybder.

I forbindelse med grundvandsovervågningen og vandværkernes råvands- og drikkevandskontrol indsamles der oplysninger om de indvundne vandmængder pr anlæg. De eksakte indvundne vandmængder pr indvindingsboring kendes ikke, men hvis man fordeler de indvundne mængder på antal boringer pr. anlæg ligeligt, opnås et skøn over hvordan vandindvindingen er fordelt i forhold til dybde, figur 3. Af fordelingen ses at der i intervallet 0 til 10 meter indvindes ca. 6% af den samlede indvinding til drikkevandsformål, mens der i intervallet 0 til 20 meter under terræn indvindes ca. 23%.



Figur 3 Vandindvinding i forhold til dybde i % af den samlede indvinding (432.645.797m³, 2003) til drikkevandsformål. Der er kun medtaget anlæg hvor der er oplysninger om vandindvinding i en 5 år periode før 2003, og hvor der er oplysninger om indtagenes placering. Afstand fra terræn er til top indtag.

Ovenstående kendskab til indvinding fra forskellige dybder bør indgå i vurderingen af resultaterne fra BN-modellen. Variablen 'små vandværker' i BN-modellen vil således repræsentere alle indvindinger fra det øverste grundvand i mindre end 20 meters dybde, dvs. dels de '70.000 små enkelt forsyninger' (ca. 2 % af vandindvindingen) samt de større vandværker som indvinder fra denne dybde (i alt ca. 23 % af vandindvindingen). Samlet kan det derfor groft antages, at ca. en fjerdedel af drikkevandet, vil påvirkes af DØRS instrumenter jf. variabelen '70.000 små enkeltforsyninger' (i BN modellen, se figur 1). Den resterende ¾ del af drikkevandet, vil påvirkes jf. variabelen 'Store vandforsyninger' (i BN modellen), som altså repræsenterer alle vandværker der indvinder fra mere end 20 meters dybde.

5. Resultater

Resultatet af de tre følsomhedsvurderinger af antagelser vedr. relationen mellem behandlingshyppighed og udvaskning til grundvandet er vist i tabel 11.

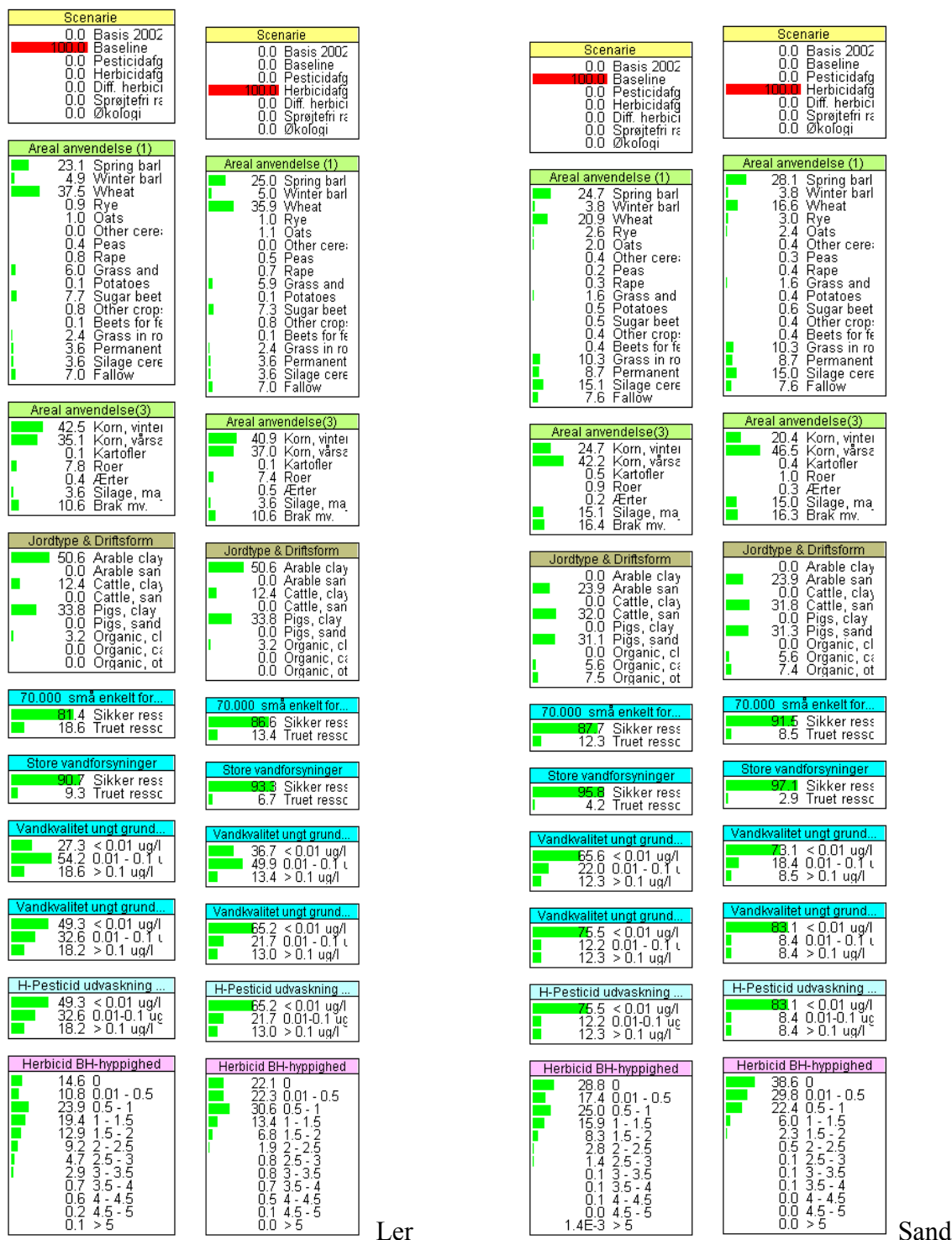
Instrument	Sandsynlighed for Herbicider i øvre grundvand > 0,1 µg/l	Sandsynlighed for Herbicider + fungicider + insekticider i øvre grundvand > 0,1 µg/l	Indvinding i dybereliggende grundvandsmagasiner > 0,1 µg/l	Indvinding i højtbeliggende grundvandsmagasiner > 0,1 µg/l
Volumenandel:			75 % af indvinding	25 % af indvinding
”Lineær sammenhæng”				
Baseline	<u>14,4 %</u>	<u>14,5 %</u>	<u>5,9 %</u>	<u>14,5 %</u>
Pesticidafgift	11,5 %	11,5 %	4,8 %	11,5 %
Herbicidafgift	10,2 %	10,2 %	4,2 %	10,2%
Diff. Herbicidafgift	12,7 %	12,7 %	5,2 %	12,7 %
Sprøjtefri randzon.	13,2 %	13,2 %	5,0 %	0,9 %
Økologi	13,9 %	14,0 %	5,8 %	14,0 %
Alternativ A ”S-kurve”				
Baseline	<u>12,0 %</u>	<u>12,2 %</u>	<u>5,1 %</u>	<u>12,2 %</u>
Pesticidafgift	8,1 %	8,3 %	3,5 %	8,3 %
Herbicidafgift	7,2 %	7,3 %	3,1 %	7,3 %
Diff. Herbicidafgift	9,7 %	9,8 %	4,1 %	9,8 %
Sprøjtefri randzon.	10,4 %	10,5 %	4,0 %	0,8 %
Økologi	11,7 %	11,7 %	4,9 %	11,7 %
Alternativ B ”Afgrodespecifik relation”				
Baseline	<u>9,0 %</u>	<u>9,1 %</u>	<u>4,3 %</u>	<u>9,1 %</u>
Pesticidafgift	7,3 %	7,5 %	3,5 %	7,5 %
Herbicidafgift	6,1 %	6,2 %	2,9 %	6,2 %
Diff. Herbicidafgift	7,7 %	7,8 %	3,7 %	7,8 %
Sprøjtefri randzon.	8,0 %	8,1 %	3,6 %	0,7 %
Økologi	9,0 %	9,1 %	4,3 %	9,1 %

Tabel 11 Resultater af 3 alternative antagelse om behandlingshyppighed og udvaskning. Lineær sammenhæng, alternativ A (S-kurve: flad ved små og store behandlingshyppigheder, stejl ved mellem behandlingshyppighed) og alternativ B (afgrodespecifik lineær sammenhæng opdelt på henholdsvis kartofler-roer-ærter og korn mm.). Med ’fed’ er fremhævet mest optimale instrument.

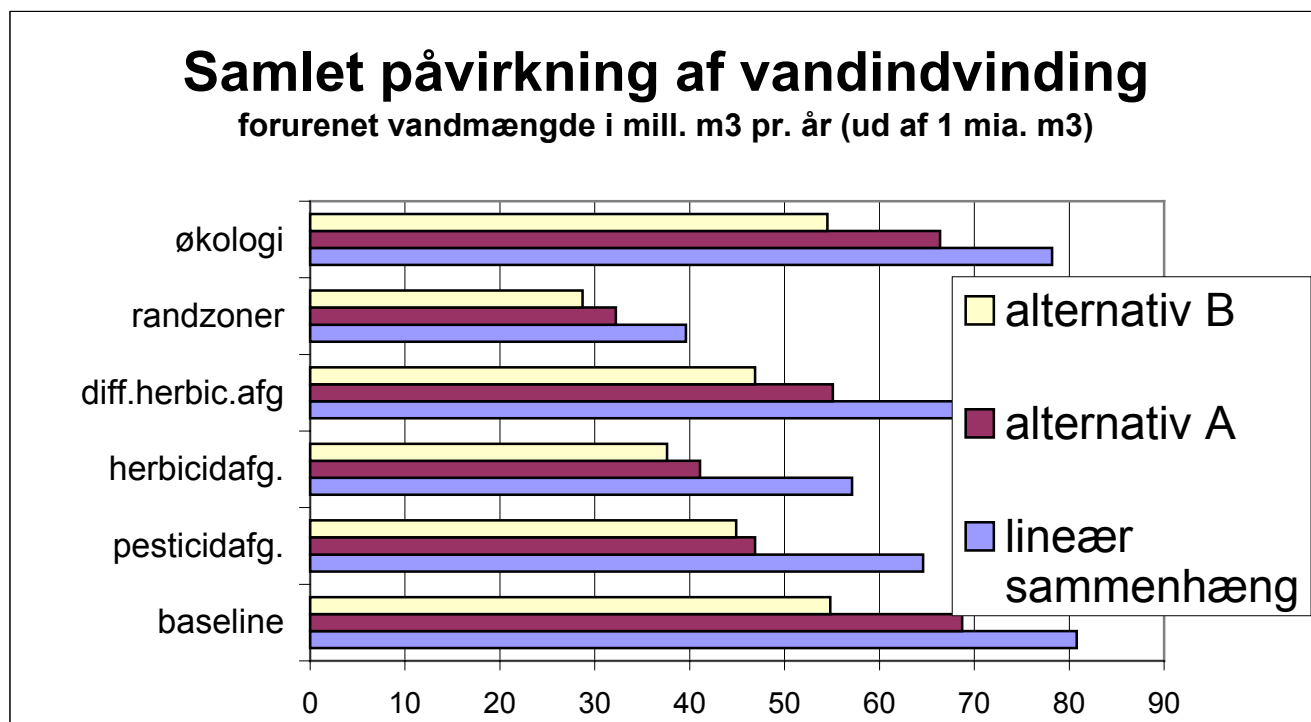
I figur 4 er resultater for lerjordsområde og sandjordsområde vist for udvalgte instrumenter (baseline og herbicidafgift) og for udvalgte variable. Samtlige resultater er under antagelse af lineær sammenhæng mellem behandlingshyppighed (BH) og udvaskning.

Figur 5 og 6 viser en sammenfatning af pesticidpåvirkning ved de forskellige instrumenter opgjort dels for den samlede udnyttelige indvindingsmængde (ca. 1 mia. m³/år) og dels i forhold til den

samlede grundvandsdannelse under landbrugsarealer (ca. 9 mia. m³/år), der udgør input til den samlede ferskvandsressource til både grundvand og overfladevand.



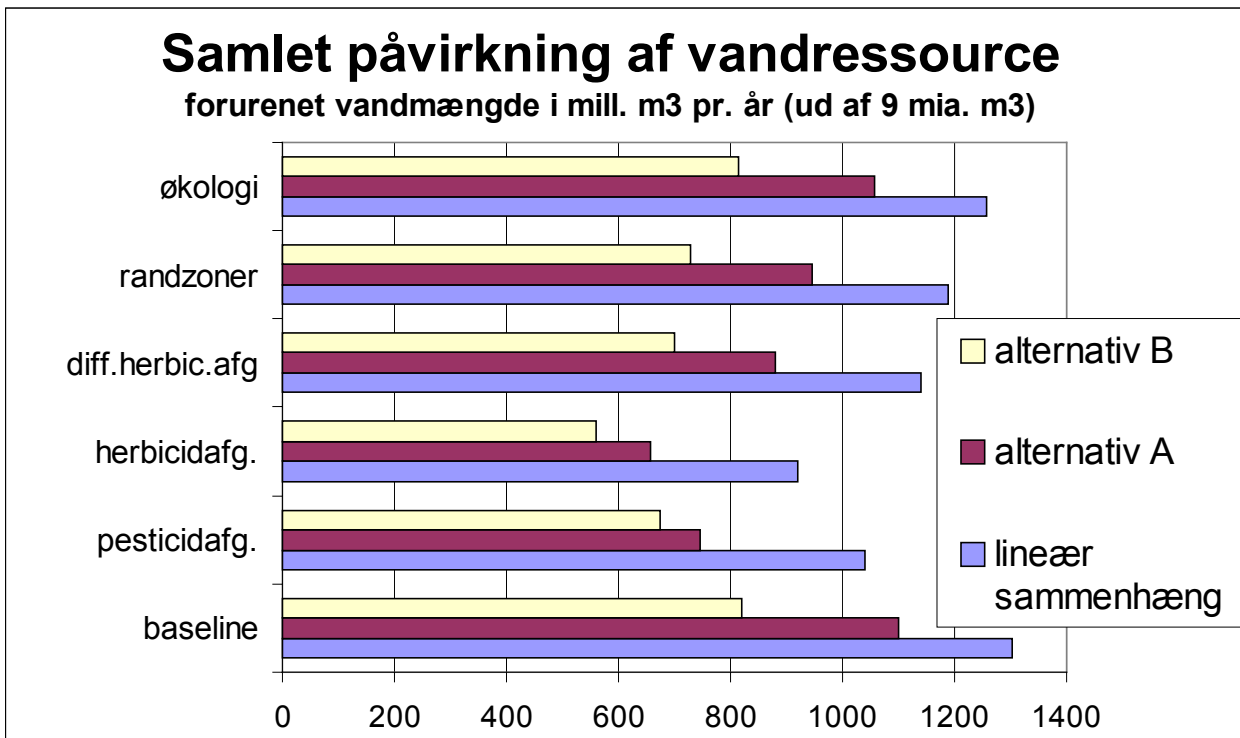
Figur 4 Resultater for baseline- og herbicidafgifts instrumenterne for henholdsvis et sandjordsområde og et lerjordsområde. Lineær sammenhæng vedr. relation mellem behandlingshyppighed og udvaskning.



Figur 5 Pesticidforurenede vandmængde i mill. m³ pr. år (> 0,1 µg/l) i forhold til en samlet bæredygtig indvindingsmængde på 1000 mill. m³/år. Resultater for forskellige instrumenter og tre alternative følsomhedsvurderinger for relation mellem behandlingshyppighed og udvaskning

Forurenede drikkevandsressource i mill. m ³ /år	Lineær sammenhæng	Alternativ A	Alternativ B
Baseline	81	69	55
Pesticidafgift	65	47	45
Herbicidafgift	57	41	38
Diff. herbicidafgift	71	55	47
Randzoner	40	32	29
Økologi	78	66	55

Det mest optimale instrument vurderet i forhold til grundvandspåvirkning af vandindvindinger er jf. figur 5 instrumentet med *etablering af randzoner* (i alt antaget til 800 km² omkring borer). Dette instrument halvere sandsynligheden for forurening over grænseværdien, og halverer således den vandmængde til vandindvinding, som vurderes forurenede med pesticider i baseline instrumentet (fra ca. 80 mill. m³ pr. år til ca. 40 mill. m³ pr. år). Dette under antagelse af lineær sammenhæng mellem behandlingshyppighed og udvaskning af pesticider. De alternative antagelser A og B giver mindre relative reduktion men det samme optimale instrument. I ovenstående vurdering er påvirkningen belyst for en samlet udnyttelig ressource til vandindvinding på i alt 1 mia. m³/år (Henriksen og Sonnenborg, 2003). Reelt indvindes der til drikkevand i dag ca. det halve. En forøgelse af drikkevandsindvindingen op til den samlede udnyttelige mængde på 1 mia. m³ vil således forudsætte et større areal end de forudsatte 800 km².



Figur 6 Pesticidforurenede vandmængde i mill. m³ pr. år (> 0,1 µg/l) i forhold til en samlet nydannet ferskvandsressource på 9000 mill. m³/år. Resultater for forskellige DØRS instrumenter og tre alternative følsomhedsvurderinger for relation mellem behandlingshyppighed og udvaskning.

Forurenede ferskvandsressource i mill. m ³ /år	Lineær sammenhæng	Alternativ A	Alternativ B
Baseline	1300	1100	820
Pesticidafgift	1040	750	670
Herbicidafgift	920	660	560
Diff. herbicidafgift	1140	880	700
Randzoner	1190	950	730
Økologi	1260	1060	810

Figur 6 udtrykker hvor stor en del af grundvandsdannelsen under landbrugsareal (fra rodzonen) som antages pesticidforurenede over grænseværdien jf. beregningerne. Baseline instrumentet giver således en forurenede vandmængde på 1,3 mia. m³ pr. år ud af en samlet 'ferskvandsressource' til grundvand og overfladevand på i alt 9 mia. m³ pr. år under landbrugsarealer (24.190 km²).

Det mest optimale instrument bedømt i forhold til den samlede ferskvandsressource er herbicidinstrumentet. Implementeres dette instrument giver lineær sammenhæng en reduktion af den forurenede vandmængde fra ca. 1,3 mia. m³ pr. år til ca. 0,9 mia. m³ pr. år. Det vil sige at der herved kan 'redde' knap 400 mill. m³ pr. år, hvis der implementeres herbicidafgifter.

Samlet kan det derfor konkluderes, at en kombination af en herbicidafgift og randzoner omkring vandboringer blandt de analyserede instrumenter giver den mest optimale påvirkning af drikkevand og nydannet vandressource under landbrugsarealer. Kigger man isoleret på drikkevandsindvindingerne udgør instrumentet med randzoner det mest optimale instrument, hvorimod herbicidafgifter giver størst effekt med hensyn til nedbringelse af pesticidforurening i vandløb og søer, samt grundvand dannet udenfor de indvindingsoplande der anvendes i dag.

6. Sammenfatning og diskussion

6.1 Hovedresultat af vurderingen

Samlet kan det konkluderes, at en kombination af to instrumenter: herbicidafgift og randzoner omkring vandboringer giver mest optimale påvirkning af drikkevand og nydannet grundvand til vandkredsløbet fra landbrugsarealer.

Kigger man isoleret på drikkevandsindvindingerne udgør instrumentet med randzoner det mest optimale instrument, hvorimod herbicidafgifter giver størst effekt med hensyn til nedbringelse af pesticidforurening i nydannet ferskvand der siver ned fra rodzonen og afstrømmer via dræn eller grundvand til vandløb og søer, samt i grundvand dannet udenfor de indvindingsoplande der anvendes idag

Den optimale effekt af instrumentet med etablering af randzoner omkring boringer og i markskel er blevet opnået under forudsætning af at instrumentet dels nedbringer 'behandlingshyppigheden' og dels antager at 'virkningsgraden' i forhold til en effektiv beskyttelse af de konkrete vandindvindinger ved etablering af 50 meter beskyttelseszoner omkring 70.000 enkeltindvindinger og 100 meter beskyttelseszoner omkring vandforsyningsboringer, samlet set er ca. 0,25.

Det er antaget, at randzoner omkring boringer har stor effekt 90-95 % for ca. 25 % af den samlede indvinding. Det drejer sig om indvindinger fra 70.000 enkeltforsyninger og vandværker der indvinde fra det øverste grundvand i mindre end 20 meters dybde. For indvindinger fra dybereliggende magasiner (75 % af samtlige indvinding) er det antaget, at der kun opnås en meget begrænset effekt på 5-10 %, som følge af etablering af 'beskyttelseszone' omkring vandboringer.

For større vandforsyninger og indvindinger fra dybereliggende magasiner, vil det derfor være relevant at overveje om '100 meter zonen' er bedre placeret hvor de mest sårbare arealer er beliggende. En omfattende sårbarhedkortlægning (GEUS & DJF, 2004) vurderer at ca. 10% af de sandede arealer er særligt sårbare overfor pesticid udvaskning. I forhold til de større vandforsyninger ville den optimale løsning derfor være at udlægge randzonerne (pesticidfrie områder) på disse mest sårbare områder. En sådan løsning vil give en større effekt end beregnet i denne analyse (tabel 11 og figur 5), og kunne forøge virkningsgraden af 'randzonerne' omkring vandboringer fra de nuværende ca. 25 % til en højere procentdel.

6.2 Kendte og ukendte kilder til usikkerhed

Geologisk betinget sårbarhed

I denne analyse er der ikke taget hensyn til variabiliteten i geologisk betinget sårbarhed af landbrugsarealer. Denne analyse er baseret på udvaskning fra kun 6 forsøgsmarker (VAP-markere). Datagrundlaget er således begrænset og de mest sårbare arealer er ikke nødvendigvis medtaget i analysen. På de sandede arealer forventes ca. 10-15 % af landbrugsarealet at være mere sårbare end de forsøgsmarker der er anvendt i denne analyse (GEUS & DJF, 2004 samt Per Rosenberg, Personlig kommentar). Tilsvarende sårbarhedsfordeling for de lerede lokaliteter kendes ikke.

Punktkildernes betydning

Punktkilder er ikke indregnet i nærværende opgørelse, idet det er data fra VAP der ligger til grund for vurderingen af udvaskningen med landbrugspesticider. Punktkilder vil derfor alt andet lige forøge den samlede risiko for udvaskning til grundvand og overfladevand. Det vil sige, at den del af udvaskningen af landbrugspesticider, der stammer fra uheld i forbindelse med udsprøjtning, tab i forbindelse med påfyldning og rengøring (skyllepladser) osv. ikke er indregnet.

Usikkerheden omkring punktkilder og dermed betydningen af fokus på adfærdsmæssige forhold omkring håndtering og anvendelse der går udover regelret brug på landbrugsarealer medfører væsentlig bias i forhold til vurderingerne i nærværende notat. Et pilotprojekt i Sverige har vist, at en massiv indsats overfor landmandens adfærd med pesticider (håndtering, påfyldning og afvaskning af traktor og udstyr) medførte meget væsentlige reduktioner i pesticidudvaskning til overfladevand. Massiv adfærdsregulerende indsats i form af oplysning, råd og vejledning resulterede i en nedbringning af pesticidudvaskningen til vandløb med hele 90 % (Kreuger & Nilsson, 2004).

Det er et bedste estimat, der er givet ud fra den viden der foreligger fra VAP og Grundvandsovervågning, samt små vandværker, og der er opnået rimelig sammenhæng mellem beregnede og målte koncentrationer fra de forskellige monitoringsprogrammer. Men dette er ikke ensbetydende med, at der ikke kan være væsentlige bias når der regnes mellem de forskellige instrumenter.

Det leder så frem til den største usikkerhed på GEUS's vurderinger, som er knyttet til sammenhængen mellem behandlingshyppigheder og udvaskninger. Her er problemet søgt belyst ved tre alternative følsomhedsanalyser. Resultaterne viser betydelige forskelle i vurderingen af udvaskningen, uden dog at rækkefølgen mellem optimale instrumenter forrykkes.

Behandlingshyppighed som indikator for udvaskning

Teoretisk set, så gælder det at såfremt man antager at såvel adsorption som nedbrydning, begge er lineære, så vil der også være en lineær sammenhæng mellem udvaskning af pesticid fra rodzonen og tilført mængde ~'behandlingshyppighed' (Keur, 2004). Men ofte er adsorptionen ikke eksakt lineær (Freundlich komponent < 1), og nedbrydning følger heller ikke altid en første ordens kinetik, således at den udvaskede stofmængde ikke nødvendigvis vil være proportional til doseringen.

Det er valgt i analysen at benytte tre simple relationer mellem behandlingshyppighed og udvaskning (Lineær sammenhæng, dels Alternativ A som er lineær på det midterste stykke, og flader ud for små og store behandlingshyppigheder, og endelig Alternativ B som er lineær, dog baseret på afgrøde

specifikke relationer). Denne antagelse vurderes altså at være fornuftig i relation til det teoretiske grundlag.

Samtidig har såvel Bicheludvalg, pesticidhandlingsplaner som europæiske interesseorganisationer peget på, at behandlingshyppigheden udgør den mest retvisende indikator for miljøpåvirkningen (samlet vurderet) i forhold til anvendelse af pesticider på landbrugsarealer. Der er dog meget begrænset viden om denne sammenhæng når det gælder grundvandspåvirkning og om den i forbindelse med en yderligere nedbringelse af behandlingshyppigheden fortsat er den mest optimale indikator.

Man kunne indvende at kendskab til anvendelsestidspunktet (sommer eller vinter, lige før eller efter stor nedbør, temperaturforhold osv.) og stofspekificke forhold knyttet til det enkelte pesticid og geologiske forhold (f.eks. ovenfor nævnte sårbare områder) burde indgå i en vurdering af udvaskning. Det har dog ikke være muligt indenfor rammerne af nærværende analyse.

Det 6. mest solgte stof indgår ikke i overvågningen

En anden væsentlig usikkerhed er knyttet til nogen af de forhold som vi i dag ikke måler i naturen. F.eks er det 6. mest solgte stof i landbruget (en vækstfremmer) ikke medtaget i nogen overvågningsprogrammer, og der er således ingen data til belysning af vækstfremmere i vandmiljøet.

7. Referencer

GEUS (2004a) Beskyttelseszoner omkring små enkeltindvindere. Notat til Miljøstyrelsen GEUS notat 05-VA-04-05.

GEUS (2004b) Pesticidforurennet vand i små vandforsyningsanlæg. Rapport 2004/9. www.geus.dk

GEUS (2004c) Grundvandsovervågning 2003. Redaktør Lisbeth Flindt Jørgensen. GEUS. www.geus.dk

GEUS & DJF (2004). Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zoning. Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA. Danmark og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) og Danmarks JordbrugsForskning (DJF). Editor Erik Nygaard. www.geus.dk

Henriksen, H.J., Rasmussen, P., Brandt, G., von Bülow, D., Jørgensen, L.F. and Nyegaard, P. (2004a) Test of Bayesian belief network and stakeholder involvement. Groundwater management and protection at Havelse well field in Northern Zealand. EVK1-2000-00085 – MERIT (Danish case study). www.geus.dk

Henriksen H.J., Rasmussen, P., Brandt, G. and von Bülow, D. (2004b) Engaging Stakeholders in Construction and Validation of Bayesian belief network for groundwater protection. International Federation of Automatic Control (IFAC) workshop on Modelling and Control for Participatory Planning and Managing Water Systems. Venice. September 29th – October 1, 2004.

Henriksen H.J. og Sonnenborg, A. (2003) Ferskvandets kredsløb. NOVA 2003 temarapport. GEUS, DMU, DJF og DMI. www.vandmodel.dk

Jeanne Kjær, Preben Olsen, Heidi C. Barlebo, Rene K. Juhler, Finn Plauborg, Ruth Grant, Lasse Gudmundsson and Walter Brusch (2004) The Danish Pesticide Leaching Assessment Programme (Varslingssystem for udvaskning af pesticider til grundvand - VAP) . GEUS, DJF og DMU. www.pesticidvarsling.dk

Keur, P. (2004) Personlig kommunikation.

Kreuger, J. & Nilsson, E. 2004. Sådan blev pesticidindholdet i overfladevand reduceret i Skåne. DJF rapport nr 98, Markbrug, Plantebeskyttelse 1, 129-133. 1 Danske Plantekongres, 13-14 januar, Herning.

Miljøstyrelsen (2003) Notat fra arbejdsgruppe til vurdering af større sprøjtefrie zoner omkring vandindvindingsboringer. ”300 m udvalget”. Miljøstyrelsen, GEUS, Dansk Vand- og Spildevandsforening og Foreningen af Vandværker i Danmark. 1. december 2003.

Appendix 1 Eksempel på sandsynlighedstabel for relation mellem behandlingshyppighed og udvaskning af herbicider

H-Pesticidudvaskningherbicider(C6)

C11	Lineær sammenhæng									
C14	Korn vinter/vår									
C7 1	Ler									
C4	0	0.01 - 0.5	0.5 - 1	1 - 1.5	1.5 - 2	2 - 2.5	2.5 - 3	3 - 3.5	3.5 - 4	4 - 4.5
< 0.01 ug/l	1.0	0.8	0.6	0.4	0.19	0.1	0.08	0.06	0.04	0.02
0.01-0.1 ug/l	0.0	0.1	0.25	0.4	0.56	0.6	0.55	0.54	0.51	0.48
> 0.1 ug/l	0.0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5

C11	Lineær sammenhæng									
C14	Korn vinter/vår									
C7 1	Ler		Sand							
C4	4.5 - 5	> 5	0	0.01 - 0.5	0.5 - 1	1 - 1.5	1.5 - 2	2 - 2.5	2.5 - 3	3 - 3.5
< 0.01 ug/l	0.0	0.0	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
0.01-0.1 ug/l	0.45	0.4	0.0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
> 0.1 ug/l	0.55	0.6	0.0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4

C11	Lineær sammenhæng									
C14	Korn vinter/vår					Kartofler, roer og ærter				
C7 1	Sand					Ler				
C4	3.5 - 4	4 - 4.5	4.5 - 5	> 5	0	0.01 - 0.5	0.5 - 1	1 - 1.5	1.5 - 2	2 - 2.5
< 0.01 ug/l	0.1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	0.6	0.4	0.19	0.1
0.01-0.1 ug/l	0.45	0.5	0.45	0.4	0.0	0.1	0.25	0.4	0.56	0.6
> 0.1 ug/l	0.45	0.5	0.55	0.6	0.0	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3

C11	Lineær sammenhæng									
C14	Kartofler, roer og ærter									
C7 1	Ler						Sand			
C4	2.5 - 3	3 - 3.5	3.5 - 4	4 - 4.5	4.5 - 5	> 5	0	0.01 - 0.5	0.5 - 1	1 - 1.5
< 0.01 ug/l	0.08	0.06	0.04	0.02	0.0	0.0	1.0	0.8	0.7	0.6
0.01-0.1 ug/l	0.55	0.54	0.51	0.48	0.45	0.4	0.0	0.1	0.15	0.2
> 0.1 ug/l	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.0	0.1	0.15	0.2

C11	Lineær sammenhæng									Alternativ A - S-kurve
C14	Kartofler, roer og ærter									Korn vinter/vår
C7 1	Sand									Ler
C4	1.5 - 2	2 - 2.5	2.5 - 3	3 - 3.5	3.5 - 4	4 - 4.5	4.5 - 5	> 5	0	0.01 - 0.5
< 0.01 ug/l	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.9
0.01-0.1 ug/l	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.45	0.4	0.0	0.05
> 0.1 ug/l	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.0	0.05

Eksempel på udsnit af sandsynlighedstabel der viser den vurderede sammenhæng mellem behandlingshyppighed (søjler) og udvaskning i tre intervaller (rækker). I den lineære sammenhæng er antaget samme sandsynlighed for udvaskning for samtlige afgrødetyper (korn vinter/vår & kartofler, roer og ærter). Data fra VAP er brugt til at konstruere søjlen svarende til behandlingshyppighed 1.5 – 2, mens de øvrige søjler er fastlagt på basis af en ekspertvurdering. For alternativ A er antaget en S-kurve i stedet for en ren lineær sammenhæng, for alternativ B er der skelnet mellem de to hovedkategorier på afgrødetyper.