

Risikovurdering af pesticidpunktkilder

Henrik Bay og Kirsten Rügge
NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
1.1 FORMÅL	6
1.2 DELRAPPORTER	6
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
2 PESTICIDER	11
2.1 PHENOXYSYRER	11
2.2 TRIAZINER	11
2.3 DICHLOBENIL	11
2.4 GLYPHOSAT OG AMPA	12
2.5 ISOPROTURON	12
2.6 BENTAZON	12
2.7 HEXAZINON	13
3 OMFANGET AF PESTICIDPROBLEMET	14
4 ANTALLET AF PESTICIDPUNKTKILDER	17
5 KARAKTEREN AF EN PESTICIDPUNKTKILDE	19
5.1 HÅNDTERINGEN AF PESTICIDER	19
5.2 OBSERVEREDE STOFFER	20
6 UDFØRTE UNDERSØGELSER	27
6.1 BESKRIVELSE AF LOKALITETERNE	27
6.1.1 Lokalitet 1	27
6.1.2 Lokalitet 2	28
6.1.3 Lokalitet 3	28
6.1.4 Lokalitet 4	29
6.1.5 Lokalitet 5	29
6.2 HÅNTEREDE MÆNGDER AF PESTICIDER OG OBSERVEREDE KONCENTRATIONER	30
6.3 MASSEN AF PESTICIDER OBSERVERET PÅ LOKALITETEN	32
6.4 FORURENINGFANERNES UDSTRÆKNING	33
6.4.1 Lokalitet 3	34
6.4.2 Lokalitet 1	35
6.4.3 Lokalitet 2	38
6.5 LOKALITET 2 – GLYPHOSAT OG AMPA.	39
7 RISIKOVURDERING	44
7.1 GENERELT OM JAGG – BEREGNINGER	44
7.2 GENERELLE BEREGNINGER	45
7.3 FAKTISKE BEREGNINGER	46
8 KONKLUSION	47
8.1 STOFFER DER HYPPIGT OPTRÆDER I FORBINDELSE MED PESTICIDPUNKTKILDER	47

8.2	POTENTIEL KILDESTYRKE AF EN PESTICIDPUNKTKILDEFORURENING	47
8.3	KORTLÆGNING AF BETYDENDE KILDER PÅ EN GÅRDSPLADS	47
8.4	RISIKOVURDERING AF PESTICIDPUNKTKILDER	48
8.5	FREMTIDIGE UNDERSØGELSER	48
9	PARADIGMA FOR FORURENINGS-UNDERSØGELSER	49
10	PERSPEKTIVERING	53
10.1	MEKANISMER VED KILDEN	53
10.2	STABILE FANER	53
10.3	POTENTIEL NEDBRYDNING	54
11	REFERENCER	55

APPENDIKS

Appendiks A:	Stofegenskaber
Appendiks B	Paradigma for undersøgelser

BILAG

Bilag 1:	Lokalitet 1 (JAGG)
Bilag 2:	Lokalitet 2 (JAGG)
Bilag 3:	Lokalitet 3 (JAGG)
Bilag 4:	Generelle beregninger (JAGG)

Forord

Nærværende projekt er gennemført under Miljøstyrelsens Teknologiprogram. Det er opbygget med henblik på at favne de vigtigste problemstillinger omkring risikovurderingen af pesticidpunktkilder på gårdspladser.

De danske amter, og herunder Storstrøms Amt, Nordjyllands Amt og Bornholms Regionskommune, har gennem de senere år kortlagt udvalgte potentielle pesticidpunktkilder (Bay og Hansen, 2000) og (Amternes Videncenter for jordforurening, 2002). Undersøgelserne har vist, at der i det terrænnære grundvand under hovedparten af de undersøgte maskinstationer og gårdspladser findes pesticidforurening, som sandsynligvis kan relateres til u hensigtsmæssig håndtering af pesticider.

Ovenstående er bekræftet af Landbrugets Rådgivningscenter, der efter bedriftstjek på et større antal gårde har fundet, at håndtering, herunder opbevaring og påfyldning af pesticider, vask af sprøjteudstyr og deponering af restprodukt, på godt 80% af de undersøgte lokaliteter forløber uhensigtsmæssigt (Stenvang, 2001).

Siden har Storstrøms Amt, Sønderjyllands Amt og Viborg Amt, i et projekt udført i samarbejde med GEUS, påvist pesticider over drikkevandskriteriet i et stort antal private enkeltindvindinger (Brüsch et al., 2003). Da mange private enkeltindvindinger findes tæt på gårdspladser, kan en stor del af forureningerne sandsynligvis relateres til pesticidpunktkilder.

Endelig er det fremført, at minimum 35% af de pesticidforurenede drikkevandsboringer kan relateres til punktkilder (Tuxen et al., 2001). Således er der mange indikationer på, at der findes et antal pesticidpunktkilder, som udgør en risiko for grundvandsressourcen.

Antallet af pesticidpunktkilder synes at være meget højt. Et estimat angiver, at der findes mellem 25.000 og 100.000 punktkilder. Selv om en stor andel af de pesticidfund, der er observeret i drikkevandsboringer, kan relateres til pesticidpunktkilder, er der dog tale om et så stort antal punktkilder, at det giver anledning til følgende hypotese:

” Det er med stor sandsynlighed kun et begrænset antal af disse, der udgør en reel risiko for grundvandet. Alternativt ville man forvente, at pesticidpunktkilder på nuværende tidspunkt ville have medført lukning af et endnu større antal vandværksboringer end det er tilfældet.”

Undersøgelse af alle de mulige punktkilder for forurening vil resultere i store udgifter. På denne baggrund er det relevant at opstille en risikovurderingsmodel, der kan udpege relevante punktkilder for videre undersøgelse. Det er i denne sammenhæng afgørende at øge forståelsesniveauet for pesticidforureninger samt kendskabet til stofegenskaberne.

1.1 Formål

Formålet med projektet er derfor at tilvejebringe et forbedret grundlag for risikovurdering af pesticidpunktkilder, herunder:

- At identificere stoffer, som hyppigt optræder i forbindelse med pesticidpunktkilder, med henblik på at målrette fremtidige undersøgelser samt minimere omkostningerne.
- At kortlægge den potentielle kildestyrke af en pesticidforurening på en gårdsplads i forhold til forureningstype, fordelt på renholdelse af gårdsplads, vask af sprøjter på vaskeplads samt spild.
- At vurdere risikovurderingsværktøjet JAGG's anvendelse til risikovurdering for pesticidpunktkilder.

1.2 delrapporter

I tilknytning til dette projekt er der udover nærværende rapport, følgende 6 delrapporter:

- Delrapport 1 – Udviklingen af pesticidhåndtering.
- Delrapport 2 – Lokalitet 1.
- Delrapport 3 – Lokalitet 2.
- Delrapport 4 – Lokalitet 3.
- Delrapport 5 – Lokalitet 4.
- Delrapport 6 – Lokalitet 5

Delrapporterne beskriver 5 lokaliteter, hvor der i forbindelse med nærværende projekt er udarbejdet detaljerede forureningsundersøgelser.

Sammenfatning og konklusioner

En gennemgang af GRUMO og LOOP samt artikler om undersøgelser af pesticidpunktkilder viser, at pesticidpunktkilder er et betydende problem for dansk vandforsyning. Der findes sandsynligvis et meget stort antal punktkilder i Danmark, men det er dog samtidigt klart, at det sandsynligvis langt fra er alle punktkilder, der udgør en trussel mod drikkevandsforsyningen.

For at afklare dette, er der i nærværende projekt foretaget en gennemgang af håndteringen af pesticider på landbrugsejendomme. Herudover er der udført detaljerede undersøgelser på 5 lokaliteter med pesticidpunktkilder. Gennem dette arbejde er opnået en forståelse for, hvilke mekanismer der er betydende for, om der på en lokalitet dannes en pesticidpunktkilde, og i hvor stort et omfang pesticidpunktkilden udgør en trussel over for grundvandsressourcen.

Den mest betydende faktor for, hvorvidt der dannes en betydende punktkilde, er hvor store mængder af pesticider, der er tabt på lokaliteten. Mængden af tabte pesticider afhænger af antallet af vaske, hvorvidt der bortskaffes restvæske, og om der anvendes skylletank til fortynding af restsprøjtevæske. Endvidere er det klart, at vaskepladsens indretning har betydning for, om der potentielt kan dannes en betydende pesticidpunktkilde.

Den faktiske kildestyrke, der er observeret på de undersøgte lokaliteter, er mellem 1 og 300 gr. aktivstof. Dette på trods af, at der er undersøgt lokaliteter, hvor der efter danske forhold er observeret kraftige forureninger. Samtidig er der i undersøgelserne observeret en betydelig reduktion af koncentrationen af stoffer. Dette indikerer samlet, at pesticidpunktkilder primært udgør en trussel over for almene vandforsyninger, hvis de ligger forholdsvis tæt på indvindingsboringerne.

Således er den samlede konklusion, at fremtidige undersøgelser af pesticidpunktkilder kan fokuseres på potentielle punktkilder som ligger tæt på almen vandforsyning og samtidig er af en vis størrelse.

Den opnåede viden omkring pesticidpunktkilders udbredelse og karakter er syntetiseret i et paradigma for forureningsundersøgelser på potentielle pesticidlokaliteter.

Summary and conclusions

The topic of this project is pesticide pollution from farm yards, and mainly from machine pools. A review of the data from the national survey systems: GRUMO and LOOP, and articles concerning investigations of pesticide point sources shows that pesticide point sources are a major concern for Danish drinking water resources. The review of data makes it clear that there probably exists a large number of pesticide point sources in Denmark. At the same time, it is clear that a large number of these point sources are insignificant in terms of a direct threat to drinking water resources.

In this project, the mass flow and the handling of pesticides on farms were estimated, and detailed investigations on 5 different sites (farm yards) polluted with pesticides were carried out. This has resulted in a better understanding of which mechanisms are important for the creation of a pesticide point source. Furthermore, we have gained a more precise knowledge of how big a threat pesticide point sources pose to the groundwater resources.

The most important factor is the amount of pesticides spilled. The amount of pesticides spilled is, to a great extent, dependent on the handling of the residual pesticides leftover in the sprayer, and whether the residual pesticides are diluted before disposal. The construction of the machine pool is also an important factor considering the potential risk of creating a pesticide point source, which presents an actual risk to the ground water resource. Up to 80 % of the machine pools in Denmark are without storage tanks, and here the spilled pesticides will leak into the ground water or other nearby recipients.

Despite that the investigated sites are - in Danish terms - heavily polluted with pesticides, the actual amounts of pesticides observed in the groundwater are between 1 - 300 grams active pesticides. At the same time, we have observed a large reduction in the concentration of pesticides at down stream hot spots, at approx. 20 - 70 m distance. This indicates that pesticide point sources will only pose a threat if situated close to a pumping well.

The conclusion of the project is that future investigations of pesticide point sources should focus on potential point sources with a true history of extensive handling of pesticides and on sites situated close to drinking water wells.

The obtained knowledge of the spreading and the character of pesticide point sources is synthesized in a paradigm for investigations of sites potentially polluted with pesticides.

2 Pesticider

Herunder beskrives kort forskellige udvalgte pesticider og metabolitter. Det er valgt at beskrive stofgrupperne phenoxysyrer og triaziner, idet begge stofgrupper er dominerende ved pesticidpunktkilder. Endvidere er det valgt at beskrive en række pesticider, der hyppigt findes i høje koncentrationer: Isoproturon, bentazon, hexazinon, 2,6 – dichlorbenzamid (BAM) samt glyphosat og nedbrydningsproduktet herfra, AMPA. Fælles for alle pesticider gælder, at drikkevandskvalitetskriteriet er 0,1 µg/l.

2.1 Phenoxysyrer

Phenoxysyrer tilhører en stofgruppe også kaldet hormonmidlerne. Blandt phenoxysyrene er mechlorprop og dichlorprop. Dette betyder, at phenoxysyrerne er den stofgruppe blandt pesticiderne, der er anvendt i størst mængde i Danmark. Dette på trods af, at phenoxysyrerne generelt blev udfaset i midten af 90'erne.

Phenoxysyrerne er 2. generationsherbicider som er solgt på væskeform. Andre phenoxysyrer og metabolitter er 2,4 D, MCPA, 4-CPP og 4-chlor-2-methylphenol. Phenoxysyrerne har typisk været anvendt til ukrudtsbekæmpelse i korn, græs, frøgræs mv.

Generelt forventes der i grundvand, og særligt under aerobe forhold, at være rimelige nedbrydningsmuligheder for phenoxysyrene.

2.2 Triaziner

Triaziner er en fællesbetegnelse for en række stoffer og nedbrydningsprodukter, der alle har sammenlignelige stofegenskaber. Fælles for mange triaziner er, som for phenoxysyrer, at de nu er udfasede.

Blandt triazinerne findes stoffer som atrazin, simazin, terbutylazin og metribuzin samt metabolitter som desethylatrazin, desiopropylatrazin, hydroxyterbutylazin, hydroxyzimazin.

Triaziner er typisk anvendt til ukrudtsbekæmpelse på udyrkede arealer, på planteskoler og i plantager, samt især i ærter, majs etc.

Mange triaziner nedbrydes i grundvandet, men med varierende hastighed. Dette er sandsynligvis en af årsagerne til at triaziner er den stofgruppe blandt pesticider, der efter BAM hyppigst findes i danske indvindingsboringer.

2.3 Dichlobenil

Dichlobenil er det aktive stof i pesticider, handlet under betegnelsen Prefix eller Casagran G. Stoffet er første gang anvendt i 1969 og udfaset i midten af 90'erne. Der er solgt godt 550.000 kg af stoffet i Danmark, hvilket er langt mindre end mange andre stoffer. På trods heraf er nedbrydningsproduktet 2,6

- Dichlorbenzamid (BAM) det stof, der hyppigst observeres i dansk grundvand. Således blev BAM i perioden 1990 – 1998 observeret i 25,9% af analyserne fra danske vandværksboringer. BAM er dermed et af de mest betydende grundvandsproblemer i Danmark. Dette hænger sandsynligvis sammen med, at det endnu ikke er påvist, at der foregår nedbrydning af BAM i grundvandet. Dichlobenil var et granulat, der blev anvendt som totalt ukrudtsmiddel.

2.4 Glyphosat og AMPA

Det aktive stof glyphosat har været anvendt i en række forskellige produkter (Folar 460 SC, Grassat, Round Up etc.). Glyphosat blev første gang anvendt i Danmark i 1975. I 1997 var der solgt ca. 5.300.000 kg glyphosat i Danmark, hvilket betyder, at glyphosat dengang var blandt de 10 mest anvendte stoffer gennem tiderne. Dette er siden ændret, idet mange phenoxysyrer i modsætning til glyphosat er udfaset. Glyphosat er et 2. generationsherbicid, der sælges som en væske og anvendes til ukrudtsbekæmpelse i korn, græs, ærter, plantager mv.

AMPA er et nedbrydningsprodukt fra glyphosat. I praksis er glyphosat og AMPA observeret i terrænnære sekundære magasiner, men ikke i dybereliggende magasiner. Således er glyphosat eller AMPA ikke observeret i almene vandforsyninger, men dog i flere private enkeltindvindinger.

Glyphosat og AMPA har gode sorbtionsegenskaber og nedbrydes generelt rimeligt hurtigt, og specielt i aerobe grundvandsmagasiner.

2.5 Isoproturon

Isoproturon har været solgt under handelsnavne som Arelon, Dublet og Tolkan L., og har været anvendt som ukrudtsbekæmpelsesmiddel i korn. Isoproturon, der nu er udfaset, blev første gang solgt i Danmark i 1976. I perioden 1976 til 1994 blev der i Danmark solgt 1.336.274 kg isoproturon, hvilket svarer til at isoproturon var nummer 24 på listen over de mest solgte pesticider. Isoproturon betragtes som et af de pesticider, der nedbrydes dårligt i grundvandsmagasinerne.

2.6 Bentazon

Bentazon sælges under handelsnavnet Basagran 480 og anvendes som ukrudtsbekæmpelsesmiddel i korn og græs. Det blev første gang solgt i Danmark i 1974. I perioden 1974 til 1997 er der totalt solgt 673.197 kg bentazon, der således var nr. 46 på listen over de mest solgte pesticider.

I grundvandsmagasiner er stoffet kendt for at nedbrydes dårligt, måske slet ikke, og der er derfor stor fokus på bentazon i grundvandsmæssig sammenhæng. Derimod kan bentazon nedbrydes fotokemisk på terrænoverfladen.

2.7 Hexazinon

Hexazinon er solgt under handelsnavnet Velpar og har været anvendt som ukrudtsbekæmpelsesmiddel på udyrkede arealer. Hexazinon blev første gang solgt i Danmark i 1978. Frem til 1994 er der solgt 134.715 kg hexazinon i Danmark. Hexazinon er nu udfaset.

3 Omfanget af pesticidproblemet

Pesticider har som ingen anden stofgruppe eller grundvandsrelateret problem været med til at lukke vandværksboringer i Danmark. Ved vandværkernes boringskontrol er der siden man begyndte at analysere for pesticider én eller flere gange detekteret et eller flere pesticider i 1.282 boringer ud af 5.643 analyserede, svarende til 22,7%. Antallet af boringer med indhold over 0,1 µg/l var 504, svarende til 8,9% (Brüsch og Felding, 2001). I 1998 analyserede vandværkerne 2.139 boringer og fandt et eller flere pesticider i ca. hver tredje boring, mens grænseværdien for drikkevand var overskredet i 12% (Brüsch og Felding, 1999).

Det er velkendt, at BAM, et nedbrydningsprodukt fra dichlobenil, er detekteret hyppigst. Således er stoffet detekteret i 25% af de undersøgte boringer og i koncentrationer over grænseværdien i 11% af boringerne.

Stof	Hyppighed [%]	Fund > 0,1 µg/l [%]	Antal boringer Undersøgt	Salg indtil 1998 [kg]	Anvendt første gang i Danmark
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	25,7	10,9	3.191	-	-
Deethyldeisopropylatrazin	8,1	0	62	-	-
Atrazin	4,6	0,9	5391	1.311.857	1960
Ethylentiurea	4,5	0,7	134	-	-
Deethylatrazin	4,4	0,6	2650	-	-
Aldicarb	3,4	0	59	27.748	1972
Desiopropylatrazin	3,2	0,4	2589	-	-
Simazin	2,5	0,2	5379	956.597	1957
Dichlorprop	2,5	0,2	5373	28.842.950	1963
Mechlorprop	2,4	0,4	5366	8.145.438	1959
Bentazon	2,2	0,4	2650	673.197	1974
Hexazinon	1,8	0,3	2768	134.715	1978
4-CPP	1,7	0,2	656	-	-
Hydroxyterbutylazin	1,6	0	61	-	-
Propionsyre	1,2	0	170	-	-
Dichlobenil	1,2	0,1	2821	555.919	1969
Isoproturon	0,8	0	2510	1.336.274	1976
Glyphosat (*)	0,7	0	150	5.186.307	1975
AMPA (*)	0	0	139	-	-

Tabel 1. Fund fra boringskontrol 1990 – 1998 (Brüsch og Felding 2001).

(*) Mellem isoproturon og glyphosat samt AMPA er der adskillige stoffer, der er observeret hyppigere end de to sidstnævnte. Glyphosat og AMPA er medtaget, da de er fokusstoffer i nærværende projekt.

Kolonnen "Salg" i Danmark indtil 1998 og anvendelsesperiode er oplyst af Miljøstyrelsen (1997). Triazin er markeret med rødt, mens phenoxysyrer er markeret med blå.

Det fremgår således også af tabel 1, at BAM er det stof, der observeres langt hyppigst. Der er to stoffer, ethylentiurea og aldicarp, for hvilke kun et stærkt begrænset antal boringer er undersøgt. Ses der bort fra disse to stoffer, er det næst efter BAM, triaziner, der findes langt hyppigst. Herefter findes med næsten ens fundhyppighed (1,7 – 2,5%) dichlorprop, mechlorprop, bentazon, hexazinon og 4-CPP. Isoproturon har en fundhyppighed på bare 0,8.

Det fremgår af tabel 1, at det ikke er anvendelsesperiode og anvendte mængder, der er betydende for antal fund i vandværksboringerne. Således er triazinerne og BAM anvendt i mindre mængder end fx phenoxysyrer og stoffet glyphosat.

Stof	Hyppighed [%]	Fund (> 0,1 ug/l) [%]	Antal boringer undersøgt
Deethyldeisopropylatrazin	37,5	12,5	8
Desiopropylatrazin	21,0	7,4	81
Bentazon	18,9	0	90
Deethylatrazin	17,2	2,3	87
AMPA(*)	10,7	7,1	28
Glyphosat (*)	10,0	6,7	30
Mechlorprop	9,8	0	123
Isoproturon	8,9	2,2	90
Propionsyre	7,7	0	13
Atrazin	6,5	0,8	123
Dichlorprop	5,7	0	123
Hexazinon	4,8	0	63
2,6-Dichlorbenzamid	2,7	1,4	73
Simazin	2,4	0	123

Tabel 2. Fund fra LOOP (Brusch og Felding, 2001). LOOP er en forkortelse for landovervågningen og udgøres af et filter i den umættede zone eller terrænnære boringer filtersat i det åbne land. Phenoxysyrer er markeret med blå, mens triaziner er markeret med rødt.

I tabel 2 er nogle af fundene fra LOOP præsenteret. Her er tale om analyser af vand fra sugeceller i den umættede zone eller terrænnært grundvand. Resultaterne bør være repræsentative for belastningen fra regelret anvendelse i forbindelse med landbrug (fladekilder).

Det ses dog, at der er nogle markante forskelle fra, hvad der er observeret i indvindingsboringerne. Forskellen kan sandsynligvis relateres til faktorer som:

- Naturlig nedbrydning og sorption af pesticider.
- Anvendelsesperiode og grundvandets alder.
- Vandværksboringer repræsenterer en volumenprøve.

Således er fundprocenten for BAM markant lavere i LOOP end tilsvarende i GRUMO. Dette stemmer overens med, at BAM primært er anvendt til renholdelse af gårdspladser, stier mv., og altså ikke repræsenterer landbrugspåvirkning.

Interessant er det, at stoffer som dichlorprop, mechlorprop, hexazinon, bentazon og isoproturon findes langt hyppigere i LOOP end i vandværksboringer. Derimod er der generelt færre fund over

drikkevandskvalitetskriteriet (0,1 µg/l) end det var tilfældet for vandværksboringerne. Således er der for flere af disse stoffer ikke fund over kvalitetskriteriet.

Ovenstående indikerer, at det for en række stoffer ikke er fladekilder, der er årsag til lukning af boringer. Derimod kan der potentielt være tale om forurening fra pesticidpunktkilder.

Dette er på linie med Tuxen et al. (2001). Her blev fund i LOOP-systematisk gennemgået og sammenlignet med fund i vandværksboringer, og det blev konkluderet, at fund i vandværksboringer over 0,3 µg/l sandsynligvis skal relateres til pesticidpunktkilder.

4 Antallet af pesticidpunktkilder

Pesticidpunktkilder kan optræde som følge af forskellige situationer relateret til:

- Gartnerier, planteskoler, frugtplantager mv.
- Landbrug og maskinstationer
- Fremstilling af pesticider
- Salg af pesticider (korn og foderstof)
- Deponi af pesticider (losse- og fyldpladser, opfyldte mergelgrave og vandhuller, modtagestationer mv.)

Iblandt ovenstående er der en del gråzoner. Således er der f.eks. på gartnerier og planteskoler på mindre områder anvendt høje doseringer af stoffer som triaziner og dichlobenil. Der er således tale om stoffer, som ofte findes i grundvandet (tabel 1), men som muligvis er blevet anvendt til regelret anvendelse.

I nærværende projekt fokuseres på landbrugsejendomme og maskinstationer. Baggrunden herfor er, at der potentielt er håndteret store mængder af pesticider på netop denne type lokaliteter.

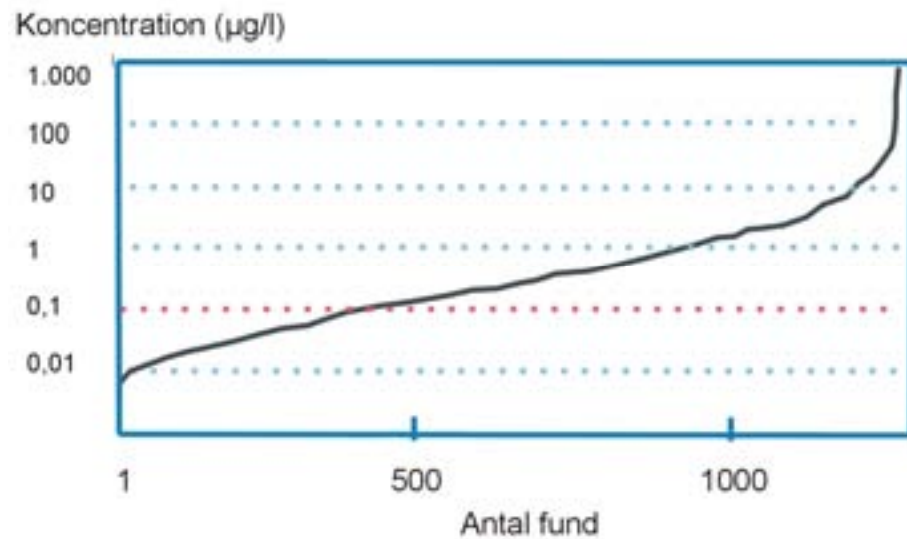
Der er i den danske litteratur rapporteret resultater fra flere undersøgelser af pesticidpunktkilder (Spliid, 1999), (Bay og Hansen, 2001) samt (Amternes Videncenter for Jordforurening, 2002). I sidstnævnte konkluderes det, at der er påvist pesticider på 93% af samtlige undersøgte lokaliteter, og at der er i 70% af 123 undersøgelser er konstateret pesticider i koncentrationer over drikkevandskvalitetskriteriet.

I (Bay og Hansen, 2001) rapporteres om fund af pesticider over drikkevandskvalitetskriteriet på samtlige undersøgte landbrug og maskinstationer. I delrapport 1 – Udvikling af pesticidhåndtering, fremgår det, at der i 1950 fandtes 250.000 gårdspladser. Dette antal er nu faldet til 50.000, og det skønnes, at der håndteres pesticider på 30–50% af disse. Der er således uden tvivl tale om et stort antal pesticidpunktkilder i Danmark.

Det er klart, at eksisterer der 250.000 eller bare 50.000 betydende punktkilder i Danmark, ville disse udgøre en alvorlig trussel mod grundvandskvaliteten.

Et centralt spørgsmål er således, hvor kraftig en pesticidforurening af det terrænnære grundvand, der skal til, for at denne potentielt udgør en trussel mod grundvandet.

I figur 1 er præsenteret antal påvisninger af pesticider i vandprøver udtaget på 123 lokaliteter. Heraf fremgår det, at der i langt over halvdelen af vandprøverne er fundet mindre end 1 µg/l, og at der i langt hovedparten af vandprøverne er observeret mindre end 10 µg/l. Derimod er der enkelte fund over 100 µg/l op til knapt 1000 µg/l. Der skal dog tages det forbehold, at der er tale om vandprøver og ikke lokaliteter. Der er således tale om data fra 123 lokaliteter, og derfor adskillige analyser for hver lokalitet lidt uklart.



Figur 1. Antal påvisninger af pesticider i grundvand på 123 undersøgte lokaliteter (Amternes Videnscenter for Jordforurening, 2002). Figuren er af hensyn til kvaliteten rekonstrueret. Y-aksen men ikke X-aksen er logaritmisk. På X-aksen er angivet fund svarende til en vandprøve. Således kan flere fund af høje koncentrationer på en lokalitet, f.eks. i forbindelse med en forureningsundersøgelse, være udslagsgivende for figuren.

5 Karakteren af en pesticidpunktkilde

5.1 Håndteringen af pesticider

I bilagsrapporten, delrapport 1 – Udvikling af pesticidhåndtering, er det søgt at kortlægge flowet af pesticider og potentielle spild på gårdspladser. Heraf fremgår det, at pesticidpunktkilder typisk kan opdeles i regelmæssige spild relateret til driften og uregelmæssige spild relateret til uheld, se tabel 3:

Regelmæssige spild	Uregelmæssige spil
Opbevaring	Uheld
Påfyldning af sprøjte	Bortskaffelse af pesticider
Vask af sprøjte	
Kemisk renholdelse af gårdsplads og fundamenter	

Tabel 3. Typiske kilder til forurening med pesticider på en gårdsplads.

Massebetragtninger viser, at det potentielt største spild af pesticider kan forekomme på vaskepladsen. Det afgørende for, hvor store mængder pesticider der tabes, er:

- Mængden af restvæske der bortledes.
- Antallet af bortledninger/vaske.
- Hvorvidt restvæsken er fortyndet ved brug af skylletank.

Der kan således potentielt være sket store spild af pesticider på en vaskeplads. Af tabel 4 ses, at der på et 100 ha stort landbrug potentielt er spildt mellem 0,5 og 12 kg aktivt stof (as)/år. Der er således tale om en betydelig forskel i den potentielle kildestyrke. Reelt er usikkerheden i den beregnede kildestyrke så stor, at tabellen primært kan bruges til at vise trends i forhold til forskellig håndtering (størrelse, skylletank, minimidler mv.)

År	Bedrift størrelse				Maskinstationer
	10-50 ha	51-100 ha	101-200 ha	201-400 ha	
1950-1960	0,0 – 8,2	8,3 – 16	17 – 37	38 – 98	0,0 – 16
1961-1970	0,0 – 14	4,7 – 28	11 – 61	25 -140	0,0 – 28
1971-1980	0,0 – 14	3,5 – 18	8 – 38	16 – 88	4,5 – 90
1981-1990	1,0 – 14	3,5 – 18	1,0 – 33	1,2 – 56	4,0 – 91
1991-2000	0,5 – 8,0	0,5 – 12	0,9 – 22	1,0 – 45	0,5 – 90
2001-2004	0,5 – 8,0	0,5 – 12	0,9 – 22	1,0 – 33	0,5 – 90
Total [kg]	320	590	1190	2470	2430

Tabel 4. Opgørelse over mængder af regelmæssigt spild [kg/år], fordelt på bedriftstørrelse og tid. Beregningen af den totale mængde er baseret på gennemsnitstal. Blå områder i tabellen repræsenterer brug af skylletank (i beregning af minimumsværdi). Rød markering af teksten markerer, at minimidler er introduceret og har indflydelse på det potentielle spild.

Det synes dog sandsynligt, at det potentielle spild på en vaskeplads i værste fald kan opgøres i kg as/år. Et centralt spørgsmål for vurdering af den potentielle risiko for pesticidpunktkilder er således, hvor store spild der er betydende.

Indretningen af vaskepladser har sandsynligvis også indflydelse på, hvorvidt der dannes en pesticidpunktkilde af betydende karakter for grundvandet. Der kan skelnes mellem følgende typer af vaskepladser:

- Ubefæstet vaskeplads eller befæstet vaskeplads uden afløb.
- Befæstet vaskeplads med afløb til kloak, recipient mv.
- Befæstet vaskeplads med afløb til beholder.

Sidstnævnte type af vaskepladser kan underopdeles efter typen af beholder: Tank, åjlebeholder, gyllebeholder etc. Det er således klart, at en gyllebeholder har et forholdsvist stort volumen sammenlignet med f.eks. en tank. Endvidere har det vist sig, at åjlebeholdere ofte er utætte. Det største spild til grundvandet sker således via utætte tanke eller fra ubefæstede vaskepladser. Det er velkendt, at der i rodzonen og den umættede zone kan forekomme en stor omsætning af pesticider (Henriksen et al., 1998, Patterson et al., 2000, Spliid og Helweg, 2003, Barlebo, 2001), men forholdene i ovenstående undersøgelser har ikke svaret præcist til forholdene på en ubefæstet vaskeplads. På vaskepladser er der f.eks. typisk ikke en rodzone, da det øvre lag består af fyld eller stabilgrus. Endvidere håndteres der på en vaskeplads store mængder pesticider og vand.

Et centralt spørgsmål er således, hvilke forhold på en vaskeplads, der kan resultere i en grundvandsforurening, og specifikt om omsætningen af pesticider i den umættede zone er tilstrækkelig til, at spildte pesticider kan omsættes.

5.2 Observerede stoffer

Af tabel 5 ses, at der for mange stoffer er en stor fundprocent på maskinstationer. Det skal bemærkes, at grænsen mellem en maskinstation og et landbrug er flydende. Således er der fra en landbrugsbedrift ofte foretaget sprøjtning for naboer eller af et stort antal forpagtede ha. Derimod kan en maskinstation ofte kun i en begrænset periode have foretaget sprøjtning for andre bedrifter. Årsagen hertil er, at flere maskinstationer investerede i pesticidsprøjter. Disse blev siden så billige at landmændene selv investerede i sprøjter. Betegnelsen maskinstation kan således ofte relateres til andre funktioner såsom høst, spredning af slam etc., og ikke til udsprøjtning af pesticider.

Af tabellen fremgår, at phenoxysyrer, glyphosat/AMPA, bentazon og isoproturon alle er observeret i højere koncentrationer end triaziner. Dette til trods for, at der er stor fundhyppighed for netop triazinerne. Der kan være flere årsager hertil. Indledningsvist skal det dog bemærkes, at antallet af undersøgelser ikke er tilstrækkeligt til at tilfældigheder ikke også spiller en rolle. Det fremgår, at en stor del af de stoffer, der er fundet i de højeste koncentrationer, ligeledes er blandt de pesticider, der er anvendt i størst mængde. Dette indikerer, at des mere et stof er anvendt, jo højere koncentrationer findes der i grundvandet.

En anden faktor, der skal medregnes, er hvor ofte og hvordan, der er foretaget vask, og om denne har været foretaget under hensyntagen til de enkelte stoffers egenskaber. Således er det ved interview med landmænd berettet, at man har været ekstra på vagt over for phenoxy-syrer, hvorfor der altid blev udført en grundig vask ved skift fra phenoxy-syrer til andre midler. Der er derfor sandsynligvis udført flere vaske efter brug af phenoxy-syrer grundet stoffets natur og store anvendelse i Danmark.

Endvidere fremgår det af tabellen, at stoffer som phenoxy-syrer, der normalt forventes at nedbrydes rimeligt, observeres i højere koncentrationer end bentazon, triaziner og BAM, der generelt forventes at have lille nedbrydning. Dette indikerer, at nedbrydning ikke nødvendigvis er den mest betydende faktor for, hvor høje koncentrationer, der kan optræde ved en punktkilde.

Endelig kan man forestille sig, at koncentrationen af pesticider i grundvandet afspejler den koncentration, der er anvendt ved udsprøjtning af pesticider. Det ses af tabellen, at phenoxy-syrer generelt er anvendt i høje koncentrationer, og at de som nævnt også er blandt de hyppigst observerede pesticider. Dog ses ligeledes, at et stof som atrazin faktisk er anvendt i de højeste koncentrationer, men kun findes i forholdsvis lave koncentrationer i grundvandet under de undersøgte gårdspladser.

Endelig skal det bemærkes, at den koncentration, der anvendes i sprøjten, er i g/l, og at de observerede koncentrationer i grundvandet er i µg/l. Der er altså tale om en meget markant reduktion i koncentrationen.

Stof	Koncentration Maks. [µg/l]	Antal lokaliteter m. fund	Fundhyppighe d [%]	Salg (1) [kg]	Koncentration i sprøjtevæske (2) [g/l]
2,4-D	800	33	33	5.684.427	18,2
Dichlorprop	750	34	59	28.842.950	20,0
Mechlorprop	64	35	58	8.145.438	19,8
Glyphosat	63	11	36	5.186.307	8,3
Bentazon	59	43	47	673.197	6,7
Isoproturon	54	29	45	1.336.274	11,7
AMPA	50	11	27	-	-
MCPA	30	33	36	24.093.908	16,7
Simazin	28	35	54	956.597	6,7
Desiopropylatrazin	23	35	46	-	-
2,6-dichlorbenzamid	14	33	61	(555.919)	-
Terbutylazin	14	29	38	157.076	7,7
Hexazinon	7,7	29	28	134.715	26,7
Atrazin	5,9	35	51	1.311.857	66,7
Desethylatrazin	5,8	35	51	-	-

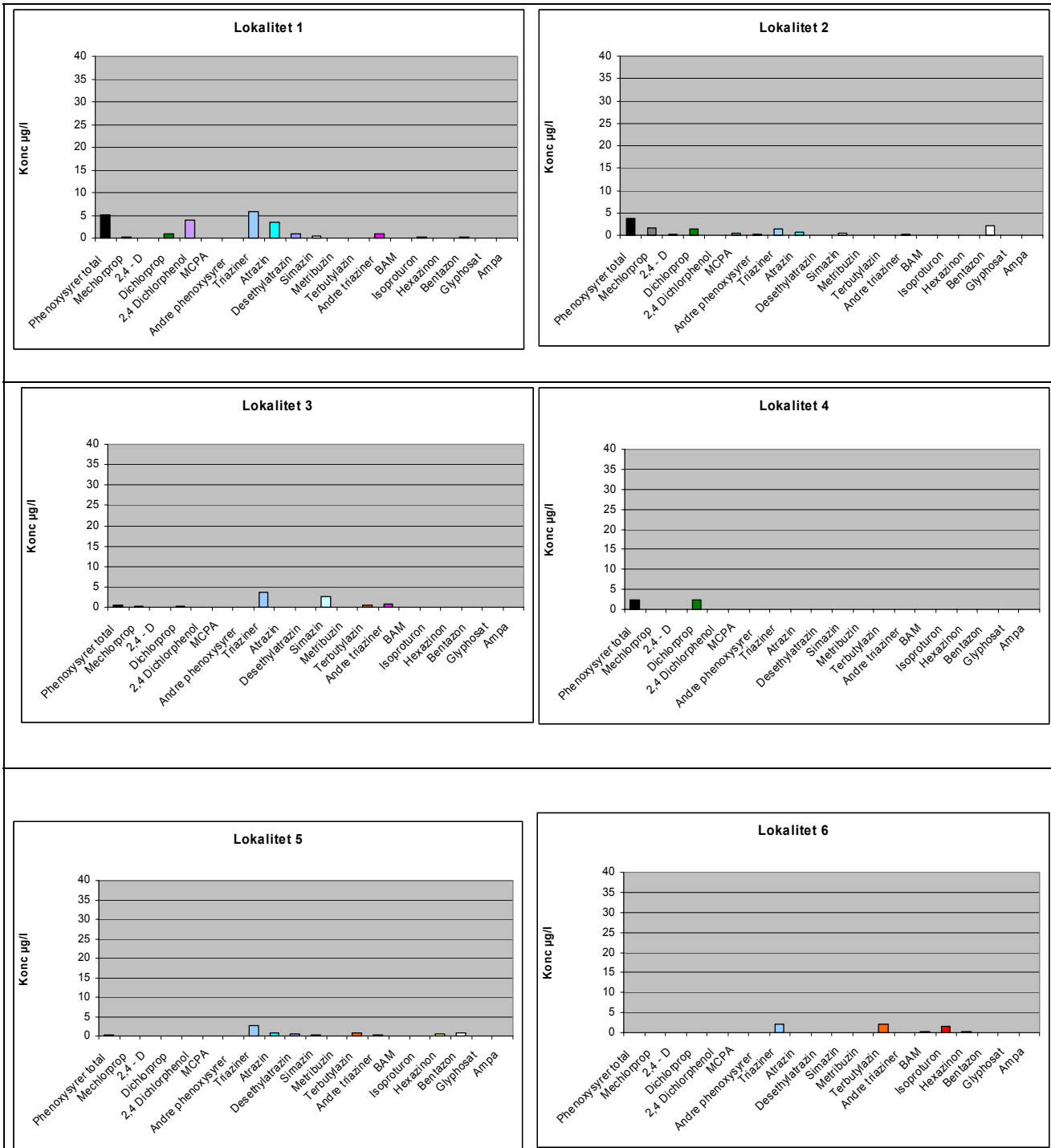
Tabel 5. Fund af pesticider på maskinstationer (Amternes Videncenter for Jordforurening, 2002).

Medtaget er stoffer, hvor der er udført undersøgelser på mere end 20 lokaliteter, og hvor et pesticid er observeret på mere end 20% af de undersøgte lokaliteter. Phenoxy-syrer er markeret med blå, mens stoffer hørende til triazinerne er markeret med rødt.

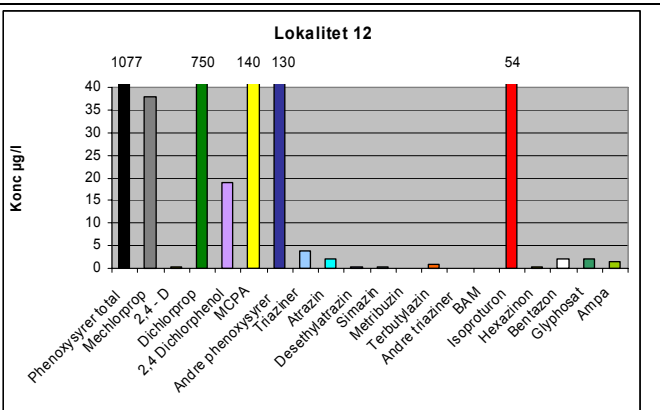
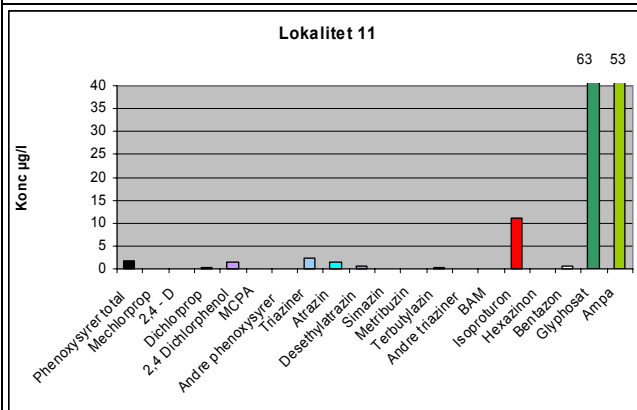
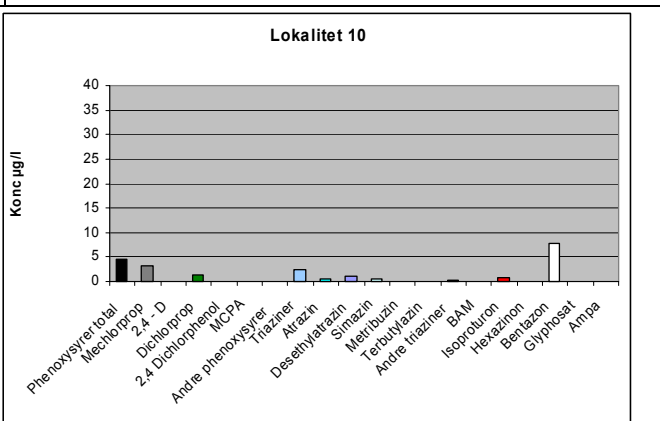
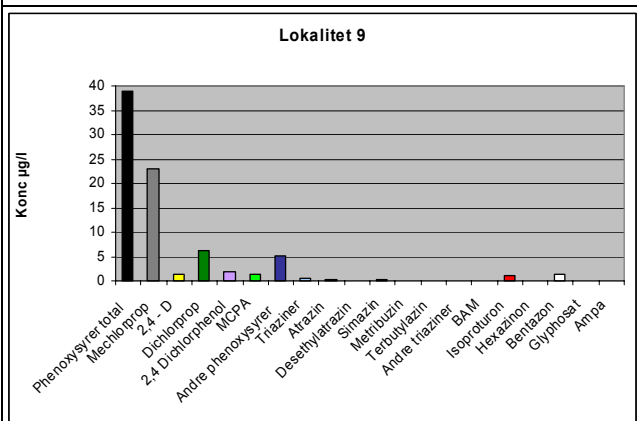
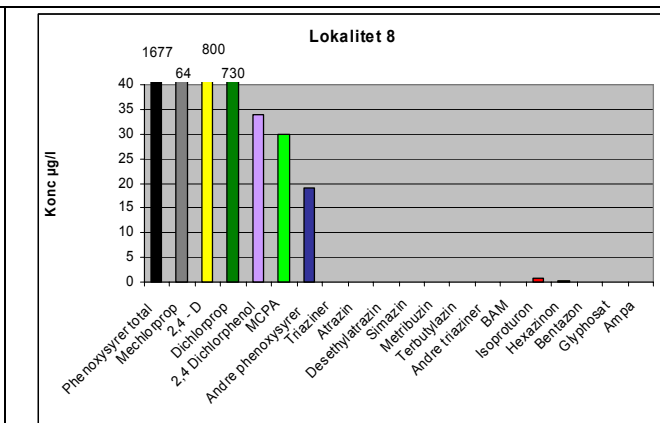
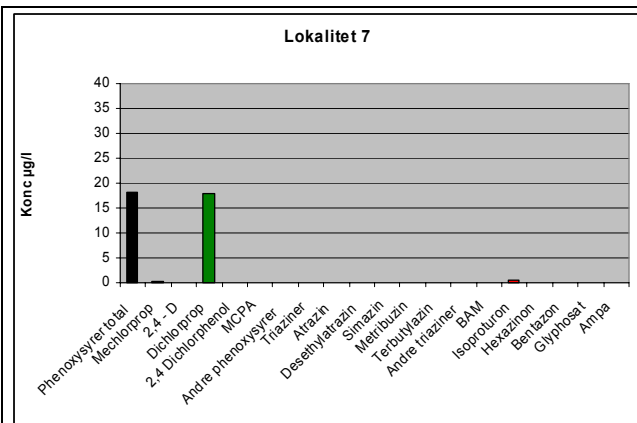
Salg af pesticider indtil 1998 er oplyst af (Miljøstyrelsen, 1997).

Koncentrationer af midler i sprøjtevæsken er beregnet ud fra (Jensen og Spliid, 2004), (Miljøstyrelsen, 1997) og (udtræk fra databasen PAN). Beregningerne er uddybet i delrapport 1 – Udvikling i pesticidhåndtering (NIRAS, 2005).

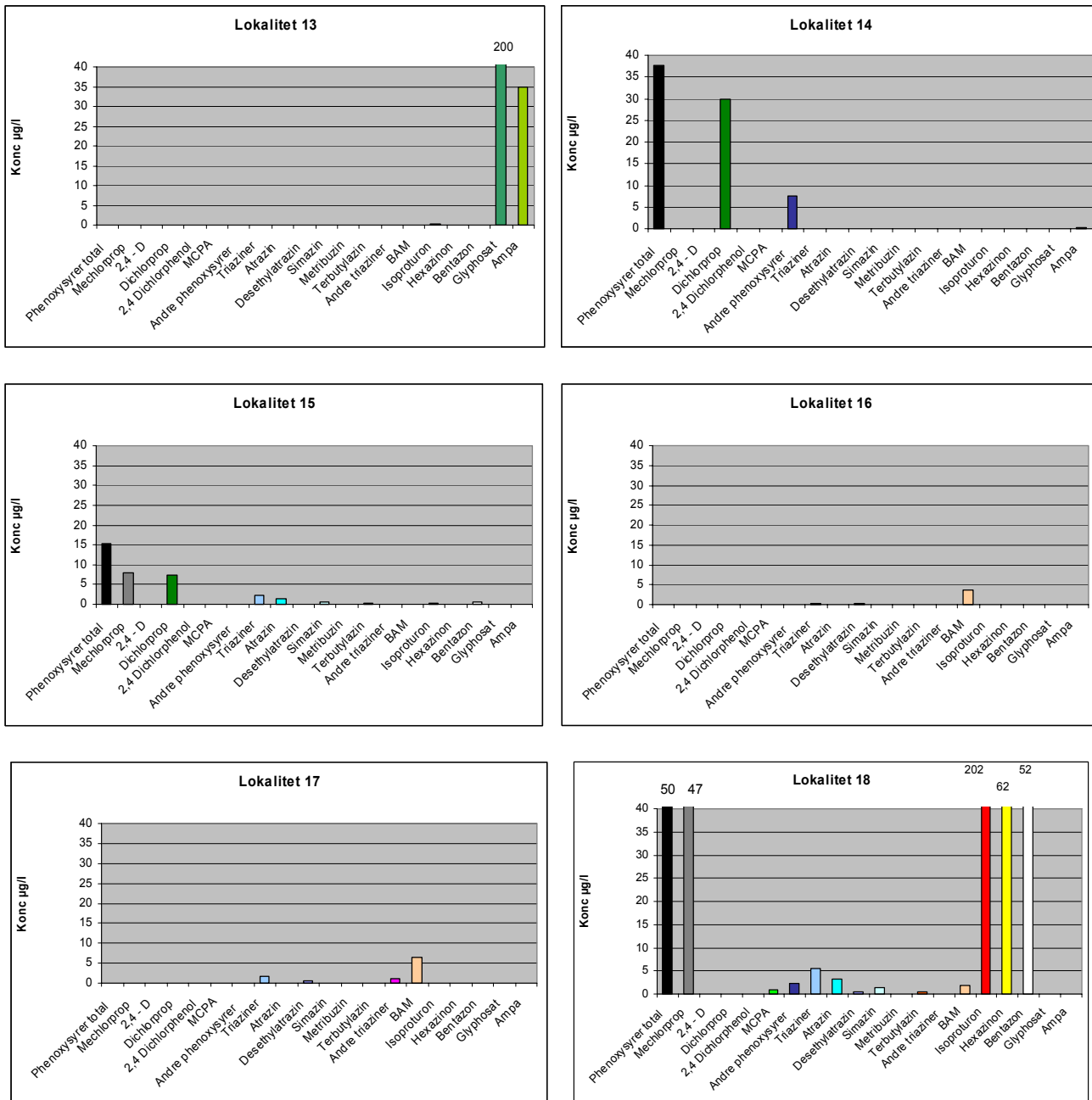
I figur 2 er vist fund fra 18 forskellige pesticidpunktkilder. Der er 10 lokaliteter, hvor den samlede koncentration af pesticider har været under 5 µg/l. Dette betyder, at der på knap halvdelen af lokaliteterne kun er fundet begrænsede mængder af pesticider, hvilket er på linie med resultaterne i figur 1.



Figur 2a. Fund af pesticider på lokaliteter med pesticidpunktkilder. Totalt haves data fra 18 lokaliteter.



Figur 2b. Fund af pesticider på lokaliteter med pesticidpunktkilder. Totalt haves data fra 18 lokaliteter.



Figur 2c. Fund af pesticider på lokaliteter med pesticidpunktkilder. Totalt haves data fra 18 lokaliteter.

Det fremgår af figur 2, at der på to lokaliteter er observeret maximale koncentrationer på mere end 1.000 µg/l. På to lokaliteter er der observeret mellem 100 og 1.000 µg/l, og videre er der på 5 lokaliteter observeret mellem 10 og 100 µg/l. På to lokaliteter er der således observeret pesticider på mellem 5 og 10 g/l, mens der på resten af lokaliteterne er observeret mindre en 5 µg/l.

Af figur 2 fremgår endvidere, at koncentrationer over 300 µg/l kan henføres til phenoxysyrer. Det er interessant at bemærke, at der på disse lokaliteter er observeret flere phenoxysyrer i tilsvarende høje koncentrationer. På to af lokaliteterne, hvor der er observeret phenoxysyrer i koncentrationer over 50 µg/l, er der ligeledes observeret høje koncentrationer af andre stoffer såsom bentazon, isoproturon og hexazinon. Generelt viser en gennemgang af de 18

lokaliteter også, at des højere koncentrationer af phenoxysyrer, der er observeret, des flere forskellige pesticider er der fundet. En del af forklaringen herpå er dog, at de lokaliteter, hvor der er observeret høje koncentrationer af phenoxysyrer, er blevet grundigere undersøgt. Normerer man fundene på den enkelte lokalitet i forhold til analysepakken, svarende til boringskontrol (Miljøstyrelsen, 1997), vil der fortsat være et større antal fund på de lokaliteter, hvor der er observeret høje koncentrationer af phenoxysyrer.

På én lokalitet, hvor der observeres høje koncentrationer af isoproturon (202 g/l), observeres ligeledes flere andre pesticider (bentazon, hexazinon og mechlorprop) i høje koncentrationer (> 50 g/l). Dette indikerer, at der er særlige forhold, der gør sig gældende på disse lokaliteter; enten er der spildt store mængder af pesticider, eller også er vaskepladsen indrettet uhensigtsmæssigt.

På de to lokaliteter, hvor der er observeret høje koncentrationer af glyphosat/AMPA, observeres der ikke høje koncentrationer af andre pesticider. En forklaring kunne være, at gårdspladserne fortsat renholdes med glyphosat, og at målingerne i de miljøtekniske borer kan være påvirket heraf.

Det er slående, at triaziner ligesom BAM typisk observeres i koncentrationer under 1 µg/l og aldrig over 10 µg/l. På trods heraf findes disse stoffer på hovedparten af lokaliteterne. Nærlæses undersøgelsesrapporterne, ses det, at de 7 lokaliteter, der havde en total koncentration under 10 µg/l, primært er påvirket af triaziner og BAM. Det ses endvidere, at hvor der for phenoxysyrer samt glyphosat/AMPA er et tydeligt hot spot omkring vaskepladsen, ses der på de fleste lokaliteter ikke et tilsvarende hot spot for triaziner og BAM. Disse stoffer observeres derimod typisk i sammenlignelige koncentrationer i flere borer på lokaliteterne. Dette indikerer, at flere af de observerede forureninger med triaziner og BAM kan relateres til renholdelse af gårdspladsen, kombineret med uheldige stofegenskaber.

Senere i nærværende rapport ses, at forureningsfanerne fra pesticidpunktkilder kan være forholdsvis smalle. Der ses som nævnt et mønster for forureningen fra pesticidpunktkilder, der viser, at det er på enkelte lokaliteter, at der er spildt flere forskellige pesticider i store mængder. En undersøgelsesstrategi over for potentielle pesticidpunktkilder bør derfor fokusere på flest mulige borer i forhold til de økonomiske midler, der er til rådighed, samt en grundig historisk redegørelse med fokus på kilder som vaskepladser.

Dette medfører, at det er relevant at minimere analyseprogrammet. Et analyseprogram bestående af pesticiderne opført i boringskontrollen (Miljøstyrelsen, 1997), kombineret med glyphosat og AMPA, vurderes at være optimalt. Dette er uddybet i bilagsrapporten, appendiks B – Paradigma for undersøgelser (NIRAS, 2005) samt (Bay, 2001).

6 Udførte undersøgelser

I forbindelse med nærværende projekt er der udført detaljerede undersøgelser på 5 lokaliteter. Disse er præsenteret i tabel 6, og undersøgelserne er rapporteret i 3 – 8 (NIRAS, 2005).

Det er valgt at fokusere på følgende stoffer: Mechlorprop, dichlorprop, bentazon, isoproturon, hexazinon samt glyphosat/AMPA. Årsagen hertil er, at disse stoffer findes hyppigt og er fundet i kritiske koncentrationer på en eller flere af de undersøgte lokaliteter.

6.1 Beskrivelse af Lokaliteterne

6.1.1 Lokalitet 1

Der er i dag seks bygninger på ejendommen. Bedriften var tidligere - i starten af forrige århundrede - på 5 - 6000 ha, heraf 4500 ha skov. Herefter er arealet reduceret, og bedriften var i 1990 på kun 420 ha landbrug. I dag er landbrugsarealet dog reduceret til 250 ha. Et skovbrug lejer lokaler på lokaliteten, og der drives således fortsat ca. 1200 ha skov fra lokaliteten. Omkring 1990 lejede en maskinstation ligeledes lokaler på lokaliteten. Maskinstationen blev drevet fra lokaliteten, og der har hermed praksis har været drevet et betydeligt areal fra lokaliteten.

Ud over skovbrug var der i starten af 60'erne kvæg- og svinebrug på lokaliteten. I 70'erne var der ægproduktion på lokaliteten samt land- og skovbrug. Herefter kom maskinstationen, der som nævnt ophørte i starten af 90'erne. I dag drives der, ud over de nævnte skov- og landbrug, endvidere golfbane fra lokaliteten. I forbindelse med landbrugsproduktionen og skovdriften er der anvendt pesticider.

Den i bedriften anvendte sprøjte er produceret i England (den er håndlavet og der findes kun 2 af slagsen i Danmark). Der er tale om en liftsprøjte med delt tank på 1,0 m³ i fronten og 1,5 m³ på liften. Der bruges lavdriftsdyser og udsprøjtes dermed kun 70 l/ha. Sprøjten er forsynet med skylletank. Før denne blev der brugt forskellige sprøjte typer uden skylletank. Ved forårs- og efterårsprøjtning anvendes sprøjten dagligt.

Fyldepladsen har i mange år ligget på et grusareal med hældning mod den tidligere mødding. Dette område drænes mod en rist placeret midt i grusarealet med afløb til en sø i nærheden.

Ved samtale med ejeren blev det oplyst, at sprøjten under reparation af dysser i flere omgange har stået og dryppet på fyldepladsen. Derudover kan det ikke udelukkes, at sprøjten har stået på fyldepladsen med væske i natten over. Da sprøjtningsopgaver varetages af flere arbejdere, kan uheld med spild af pesticider, overløb og overskumning ikke afvises. Gårdspladsen er befæstet med perlesten, uden afløb, og med en hældning mod nord og vest. Sprøjten vaskes forsat på den ubefæstede vaskeplads.

Der er kortlagt en forurening overvejende bestående af mechlorprop, isoproturon, bentazon og hexazinon. Forureningen er betydelig med maksimale koncentrationer fra 50- 410 µg/l afhængig af stoftypen. Forureningsfanen kan sandsynligvis relateres til ubefæstet vaskeplads og er af ældre oprindelse.

Forureningsfanen strækker sig over mere end 100 meter og er ikke fuldstændigt afgrænset. For stofferne bentazon, mechlorprop og isoproturon ses en reduktion i koncentrationen på mere end 90% inden for de første 100 meter. Det skal bemærkes at undersøgelserne ikke er tilstrækkeligt detaljerede til at kunne vurdere faktorer som nedsivning af regnvand, porøsitet etc.

6.1.2 Lokaltet 2

Lokaliteten har i en længere årrække været anvendt til landbrug, og siden 1973 har ejendommen været anvendt som kombineret landbrug og maskinstation. Ejendommen har været drevet sammen med naboejendommen. Samlet er de to ejendomme på ca. 100 ha. Driften af maskinstationen foregik primært fra lokalitet 2. Ud over de 2 ejendomme er der forpagtet flere andre ejendomme. Det er hovedsageligt afgrøder som korn, raps og græs, der er dyrket fra de 2 gårde. I 1996 ophørte maskinstationen og dermed driften på lokalitet 2. I 2003 blev driften imidlertid genoptaget.

Der har været 2 sprøjter i brug på ejendommen, på henholdsvis 600 og 800 l. I maskinstationens aktive periode havde sprøjterne ikke skylletank. Den ene sprøjte blev udelukkende anvendt til hormonmidler, og hvorved vask kunne minimeres. Der var en mand fast ansat til sprøjtning, og antallet af kunder har været stort. De seneste år indtil 1996 blev antallet af kunder kraftigt reduceret og driften af maskinstationen endelig afsluttet.

Vaskepladsen er befæstet og med afløb til ajlebeholder. Nedstrøms for vaskepladsen er der i det terrænnære grundvand observeret en kraftig forurening med pesticider. Det er primært phenoxysyrer, men samlet er der observeret 52 pesticider. Grundvandet er grundet ajle stærkt anaerobt nedstrøms vaskepladsen og ajlebeholderen.

6.1.3 Lokaltet 3

Ejendommen blev overtaget af den nuværende ejer i 80'erne, men har været aktiv i en længere periode (familieejt). Igennem årene har hovederhvervet været landbrug, tidligere med dyrehold.

I dag bliver der drevet konventionelt landbrug med planteavl på lokaliteten. Inklusive forpagtede arealer og harmoniarealer omfatter driften 350 ha. Sprøjtning af markerne foretages fra lokaliteten, og der foregår kun håndtering af pesticider i forbindelse med egne arealer. Der foretages vask på ubefæstet vaske-/fyldplads, og der anvendes i bedriften en Hardi trailersprøjte med et tankvolumen på 3.500 l, anskaffet i 1985. Tidligere er anvendt adskillige sprøjter, afhængig af udviklingen på markedet. I 1989 er en 300 liter skylletank monteret på sprøjten. Hovedtanken på sprøjten er desuden monteret med indvendige dyser til rengøring. Indvendig vask sker i marken og vaskevandet udsprøjtes på den netop behandlede afgrøde. Den fortyndede restvæske (ca. 20 – 30 l) hældes som regel ligeledes ud på marken. Indvendig rengøring foregår af 3 omgange, og hertil bruges halvdelen af skylletankens indhold.

Påfyldning af sprøjte sker fra tank på vaskeplads, der har været aktiv i 10 år. Pladsen er et ubefæstet græsareal, og de bare pletter, som opstår som følge af vask, tilsås én gang om året.

Opbevaring af bekæmpelsesmidler foregår iht. retningslinierne og tom emballage bortskaffes via den kommunale affaldsordning. Det er oplyst, at udvendig vask af sprøjten foregår 1 gang årligt på vaskepladsen, hvortil der anvendes vandslange.

De på lokaliteten observerede koncentrationer er lave sammenlignet med tilsvarende resultater fra lokaliteter, hvor et lignende areal dyrkes. Således er observeret en mindre men sammenhængende forurening med bentazon.

6.1.4 Lokalitet 4

I dag bliver der drevet et mindre konventionelt landbrug med planteavl på lokaliteten (28 tønder land). Ejendommen har været i familieejede siden 1954, og der er blevet drevet konventionelt landbrug på lokaliteten. Op gennem 50'erne og 60'erne indtil 1967 er der ligeledes drevet maskinstation.

Den første sprøjte blev erhvervet i 50'erne (en stempelsprøjte fabrikeret af en smed i Vejstrup). Herefter har man haft flere Hardi sprøjter. Efter 1967 ophørte driften af maskinstationen, og sprøjten blev udskiftet fra en 600 liter til en 400 liter sprøjte. I løbet af 70'erne ophørte man med sprøjtning fra lokaliteten. Denne er siden blevet udført af naboen.

Vask af sprøjter skete efter brug af hormonmidler med efterfølgende skift til anden afgrøde, som f.eks. roer. Vask foregik efter, at sprøjten var kørt så tom som muligt. Herefter blev sprøjten fyldt med vand og sulfo, og stod natten over. Indholdet i sprøjten blev derefter tømt på vaskepladsen, der var befæstet med brosten og udstyret med rende til en effektiv udledning af vaskevandet.

Undersøgelserne viser fund af primært dichlorprop (1,2 µg/l) og isoproturon (4,4 µg/l). De på lokaliteten observerede koncentrationer er lave sammenlignet med tilsvarende resultater fra lignende lokaliteter/vaskepladser. Årsagen hertil er sandsynligvis, at der har været tale om en mindre maskinstation, og endvidere at vask af sprøjter ophørte i begyndelsen af 1970'erne.

6.1.5 Lokalitet 5

Gården er på ca. 50 ha og blev overtaget af den nuværende ejer i 1987. Gården har dog været familieejet i flere år. På lokaliteten er der blevet drevet konventionelt landbrug, så længe gården har eksisteret. Husdyrbedriften er blevet opført ved ejerskiftet.

I løbet af årene er anvendt flere størrelser sprøjter. Udviklingen i sprøjteteknikken har været mod større tankvolumener og længere bomme. Den senest anvendte sprøjte er en 1.200 liter Hardi sprøjte med 15 m bom. Hverken den anvendte sprøjte eller de tidligere sprøjter har haft skylletank påmonteret. Vask af landbrugsmaskiner, herunder sprøjten, foregår på betonbefæstet mødding. Aflen og vaskevandet ledes til gyllebeholder.

Der er observeret fund svarende til en mindre forurening med dichlorprop, mechlorprop og bentazon med koncentrationer på hhv. 5,5 µg/l, 0,73 µg/l og 0,45 µg/l.

6.2 Håndterede mængder af pesticider og observerede koncentrationer

Det fremgår af tabel 6, at der er to lokaliteter, hvor der er håndteret betydelige mængder af pesticider, og hvor det endvidere er oplyst, at der er tabt adskillige kg As stof/år. Det er samtidig de to lokaliteter, hvor der observeres høje koncentrationer (> 50 µg/l) af flere forskellige pesticider.

Lokalitet	Størrelse	Drift (vaskeplads)	Vaskeplads	Potentielt spild	Fund [µg/l]	
Lokalitet 1	300 – 1.500 ha Herudover maskinstation	1980 -	Ubefæstet m. grus	Adskillige kg As/år	Mechlorprop	410
					Dichlorprop	0
					Bentazon	52
					Isoproturon	169
					Hexazinon	62
					Glyphosat AMPA	- -
Lokalitet 2	100 ha Herudover maskinstation	1980 -	Befæstet m. Ajlebeholder	Adskillige kg As/år	Mechlorprop	42
					Dichlorprop	750
					Bentazon	5,7
					Isoproturon	54
					Hexazinon	1,7
					Glyphosat AMPA	5,6 1,7
Lokalitet 3	350 ha	1990 -	Ubefæstet m. græs	10 – 50 g As/år	Mechlorprop	-
					Dichlorprop	-
					Bentazon	5
					Isoproturon	1,1
					Hexazinon	-
					Glyphosat AMPA	- 0,99
Lokalitet 4	30 ha Herudover mindre maskinstation	1950 – 1972	Ubefæstet m. perlesten	Nogen kg As/år	Mechlorprop	0,40
					Dichlorprop	1,9
					Bentazon	4,1
					Isoproturon	4,4
					Hexazinon	-
					Glyphosat AMPA	- -
Lokalitet 5	50 ha	1987 -	Befæstet m. gylletank	Nogen kg As/år	Mechlorprop	0,73
					Dichlorprop	5,5
					Bentazon	1,25
					Isoproturon	0,63
					Hexazinon	-
					Glyphosat AMPA	- -

Tabel 6. Resultater fra detaljerede undersøgelser. Undersøgelserne er rapporteret i delrapport 2 – 6 (NIRAS, 2005).

Der er tale om to forskellige vaskepladser, henholdsvis en ubefæstet vaskeplads på Lokalitet 1 og en befæstet vaskeplads med afløb til ajlebeholder på Lokalitet 2. På sidstnævnte lokalitet kortsluttes den umættede zone, da vaskevandet kan løbe direkte fra ajlebeholderen og ud i det terrænnære grundvand. Derimod er der på den ubefæstede vaskeplads en umættet zone på ca. 1,5 m. Koncentrationerne af pesticider i grundvandet i hot spot er på nogenlunde samme niveau på de to lokaliteter. Der har således ikke været en tilstrækkelig omsætning i den umættede zone under den ubefæstede vaskeplads på Lokalitet 1 til at forhindre nedsivning af pesticider.

I forbindelse med nærværende projekt er der udtaget jordkerner fra den ubefæstede vaskeplads på Lokalitet 3. Jordkernerne blev i et eksamensprojekt udført på DTU anvendt til at simulere en vaskehændelse med MCPP og glyphosat (Hojman, 2005). Der blev udført to laboratorieforsøg.

I forsøg I blev opstillet batches, hvori det blev forsøgt at simulere, at topjorden ved en vaskehændelse tilføres pesticider i høje koncentrationer. Herefter blev effekten af faldende koncentrationer med dybden søgt simuleret.

For at vurdere, hvorvidt det er mikroorganismene over dybden eller koncentrationen af pesticider i de opstillede batches, der styrer omsætningen, blev opstillet et forsøg II. Her blev i samtlige dybder tilsat 10 µg/l MCPP og glyphosat, og der blev observeret et aftagende nedbrydningspotentiale med dybden. Mineraliseringsraterne under top laget fulgte 0. eller 1. ordens nedbrydning med k -værdier på 0,0025 d⁻¹ i 0,2 – 0,4 m u.t. og 0,0012 d⁻¹ i 0,6 – 1,0 m u.t. for MCPP. Nedbrydningen i top laget blev desuden forsøgt modelleret ved Monod kinetik og 1. orden med lagfase samt under antagelse af, at alt biotilgængeligt stof blev nedbrudt efter 84 dage. Resultaterne viste høje korrelationer for begge modeller med $k = 0,083 \text{ d}^{-1}$, eller $t_{1/2} = 8,35$ dage for 1. ordens modellering.

Det var problematisk at estimere opholdstiden i den umættede zone under vaskepladsen. Årsagen hertil var blandt andet, at geologien er præget af fed ler. Konklusionen på undersøgelserne er, at nedbrydning af pesticider i den umættede zone under vaskepladser ikke kan afvises at være en betydende faktor. Det fremgår af tabel 6, at der ikke er observeret pesticider i betydende koncentrationer på Lokalitet 3.

På lokaliteten er endvidere installeret sugeceller i den umættede zone, samt udtaget jordprøver til analyse for pesticider. På trods af, at jordprøverne og porevandet blev udtaget fra 0,2 – 1,5 m u.t. og direkte under vaskepladsen, blev der ikke observeret pesticider i betydelige koncentrationer, idet der kun blev observeret 0,8 µg dimethoat/l i én sugecelle 0,8 m u.t.

Dette bekræfter altså antagelsen af, at der, med den begrænsede udledning af pesticider, der er på lokaliteten, sker en betydelig omsætning.

På Lokalitet 4 har der ligeledes eksisteret en ubefæstet vaskeplads. Til forskel fra Lokalitet 3, er vaskepladsen her ikke længere i drift, og der er ikke observeret pesticider i jordprøver, men lave koncentrationer i grundvandet. Håndtering af pesticider ophørte i starten af 1970'erne. Der er som på Lokalitet 3 udtaget porevandsprøver og jordprøver til analyser for pesticider. Som det fremgår af tabel 6, er det gennem den historiske redegørelse bekræftet, at der har været spildt pesticider (primært phenoxysyrer) i mængder, der skal opgøres i nogle kg As/år inden for få kvadratmeter. Dette

indikerer altså, at der gennem de sidste 30 år har været en tilstrækkelig omsætning/sorption til at forureningen i praksis er væk eller fortyndet og skyllet bort.

På Lokaltet 5 er der sandsynligvis tabt større mængder af pesticider end på Lokaltet 3. Der konstateres kun begrænsede koncentrationer af pesticider i grundvandet ($< 5,5 \mu\text{g/l}$), hvilket sandsynligvis kan relateres til, at den befæstede vaskeplads er tæt, og endvidere at vaskevandet opsamles i en gyllebeholder, der har et betydende volumen.

På Lokaltet 2 anvendes nu skylletank på sprøjten, og driften af maskinstationen er ophørt. Tabet af pesticider er altså betydeligt mindre i dag end tidligere. På trods heraf er der i ajlebeholderen observeret pesticider i følgende koncentrationer; Mechlørprop ($6,3 \mu\text{g/l}$), atrazin ($60 \mu\text{g/l}$), bentazon ($2,3 \mu\text{g/l}$), ethofumesat ($15 \mu\text{g/l}$), isoproturon ($68 \mu\text{g/l}$), glyphosat ($460 \mu\text{g/l}$) og AMPA ($990 \mu\text{g/l}$).

Det vides, at glyphosat har været anvendt i på lokaliteten en årrække. På trods heraf er koncentrationen betydeligt lavere i grundvandet end observeret i ajlebeholderen. Dette tyder på en betydelig omsætning, sorption og/eller fortynding. Flere af de andre stoffer som atrazin, mechlørprop og isoproturon, har ikke været anvendt i en årrække. Der er de nu observerede koncentrationer i ajlebeholderen betydeligt lavere end tidligere niveauer.

6.3 Massen af pesticider observeret på Lokalteten

Som tidligere nævnt er der ikke observeret pesticider i betydende mængder i jord eller porevand fra den umættede zone hverken på Lokaltet 3 eller 4. I praksis er massen af pesticider i den umættede zone således nul.

Der er tre lokaliteter, hvor der er observeret en egentlig forureningsfane med pesticider. Det drejer sig om Lokaltet 1, 2 og 3. Ud fra de optegnede forureningsfaner (se delrapporterne) samt ud fra kendskabet til den vertikale udbredelse, er massen af pesticider i hot spot, henholdsvis forureningsfaner, estimeret. Der er udført fugacitetsberegninger, således at pesticider i jordmatricen er medtaget i beregningerne.

På Lokaltet 2 findes som tidligere nævnt en vaskeplads. Vaskevandet fra denne ledes til ajlebeholder, hvori der ligeledes er observeret pesticider. Massen af pesticider i denne ajlebeholder er ligeledes beregnet.

I tabel 6 er opgivet, at der sandsynligvis er tabt adskillige kilo pesticider på denne vaskeplads. Siden er indført skylletank på pesticidesprøjten og maskinstationen er ophørt. Anvendes de i delrapport 1 – Udvikling for håndtering af pesticider foreslåede beregninger for tab af pesticider via vask ses, at der er en god overensstemmelse mellem de beregnede tab af pesticider ved brug af skylletank, og det indhold af pesticider, der er observeret i ajlebeholderen. Beregningen er udført i delrapport 3 – Lokaltet 2 (NIRAS, 2005).

	Lokalitet 2 [g]	Ajlebeholder [g]	Lokalitet 1 [g]	Lokalitet 3 [g]
Hot Spot	Mechlorprop 5 Dichlorprop 150 Bentazon 0,3 Isoproturon 2 Hexazinon 0,1 Glyphosat 0,1 AMPA 0,1	Mechlorpro 0,3 p - Dichlorpro 0,1 p 3 Bentazon - Isoproturon 50 Hexazinon 23 Glyphosat AMPA	Mechlorprop 25 Dichlorprop - Bentazon 3 Isoproturon 10 Hexazinon 3 Glyphosat - AMPA -	Mechlorpro - p - Dichlorpro 0,4 p - Bentazon - Isoproturon - Hexazinon - Glyphosat AMPA
Fane	Mechlorprop 15 Dichlorprop 8 Bentazon 1 Isoproturon 4 Hexazinon 0,5 Glyphosat 0,1 AMPA 0,12		Mechlorprop 21 Dichlorprop - Bentazon 1 Isoproturon 10 Hexazinon 80 Glyphosat - AMPA -	Mechlorpro - p - Dichlorpro 0,5 p - Bentazon - Isoproturon - Hexazinon - Glyphosat AMPA
<i>Total</i>	180	80	180	0,9

Tabel 7. Masse af pesticider i den mættede zone i hot spot og forureningsfanen på tre lokaliteter. Masse i ajlebeholder er den mængde af pesticider, der er observeret i den ajlebeholder, der anvendes til opbevaringstank for vaskepladsen på Lokalitet 2. Beregningerne inkluderer fugacitetsberegninger, og indholdet af pesticider i jordmatricen er således inkluderet.

Betragtes resultaterne i tabel 7, ses det, at mængden af pesticider på de observerede lokaliteter skal opgøres i g. Sammenlignes med de forventede, tabte mængder af pesticider på de tre lokaliteter A, B og C (tabel 6), ses det, at der generelt er observeret mindre mængder af pesticider i hot spot og forureningsfane end det spild, der hvert år er estimeret at have foregået fra vaskepladserne.

Alle vaskepladserne har været drevet i ca. 20 år. Den observerede mængde i forureningsfanen er således betydeligt mindre, end det potentielle spild. Af tabel 7 ses endvidere, at der for pesticiderne mechlorprop, dichlorprop og glyphosat er en tendens til, at mængden af pesticider i hot spot er i samme størrelsesorden eller betydeligt højere end de mængder, der er observeret i forureningsfanen.

Derimod er der en tendens til at isoproturon, bentazon og især hexazinon findes i samme eller mindre mængder i hot spot end tilsvarende i forureningsfanen.

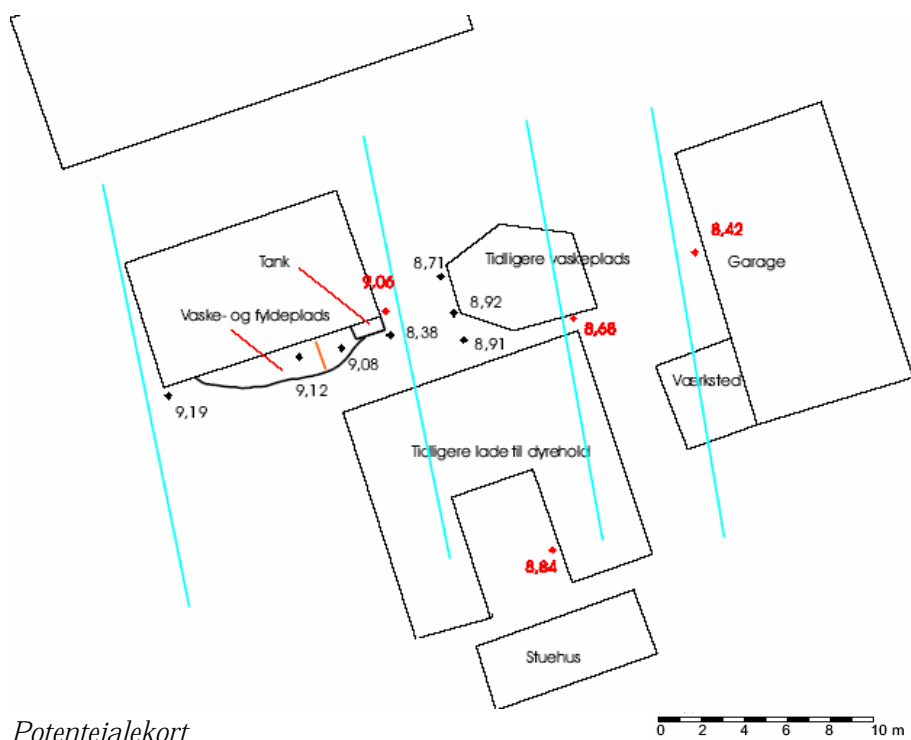
6.4 Forureningsfanernes udstrækning

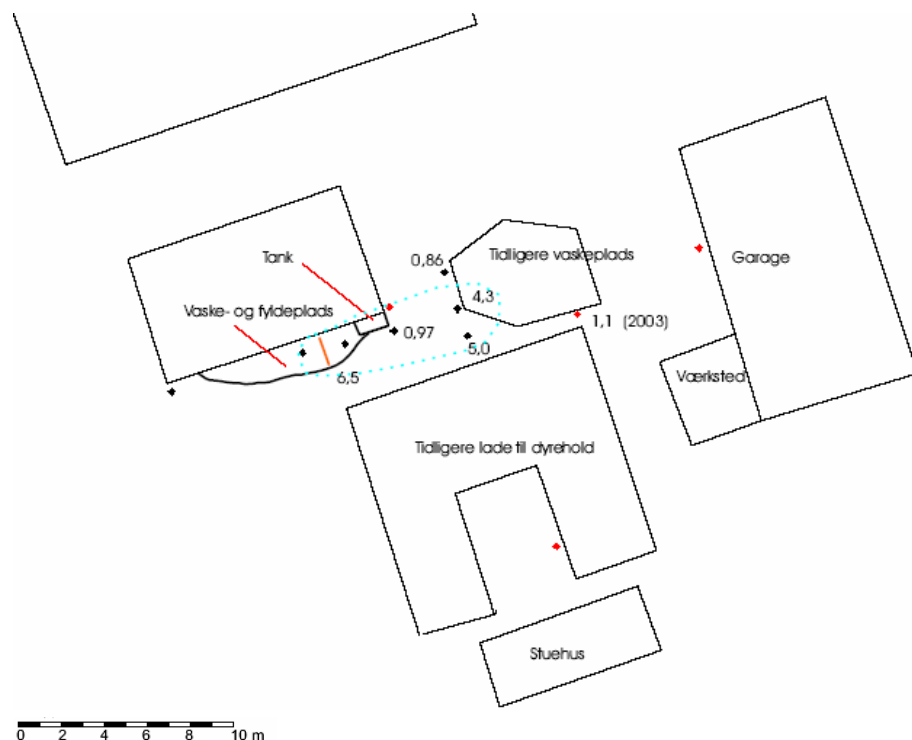
Som tidligere nævnt er der observeret forureningsfaner på tre lokaliteter: Lokalitet 1, Lokalitet 2 og Lokalitet 3.

6.4.1 Lokaltet 3

Forureningen på Lokaltet 3 er beskrevet i delrapport 5 – Lokaltet 4 (NIRAS, 2005). Kilden til forureningen er vask og påfyldning af pesticider på den græsbevoksede vaskeplads. Som tidligere nævnt, anvendes her skylletank på pesticidesprøjten.

Bentazon håndteres fortsat på lokaliteten, og resultaterne i figur 3 indikerer en forureningsfane, der følger strømningsretningen. De højeste koncentrationer er observeret 2 m u.t. ved vaskepladsen, hvilket indikerer, at kilden til forureningen er håndtering af pesticider på vaskepladsen. Forureningen med bentazon er ikke afgrænset, og i en boring placeret centralt i den formodede forureningsfane er hverken observeret bentazon eller andre pesticider. Dette indikerer, at strømningsforløbet i lerlagene er komplicerede, og det kan derfor diskuteres, hvorvidt der er tale om en decideret forureningsfane.





Figur 3. Potentialekort (øverst) og forureningsfane (nederst) på Lokalitet 3. Potentialet i borerigterne er markeret med sort (GeoProbeboringer) henholdsvis rød (Ø63 mm). Koncentrationerne af bentazon er opgivet i µg/l.

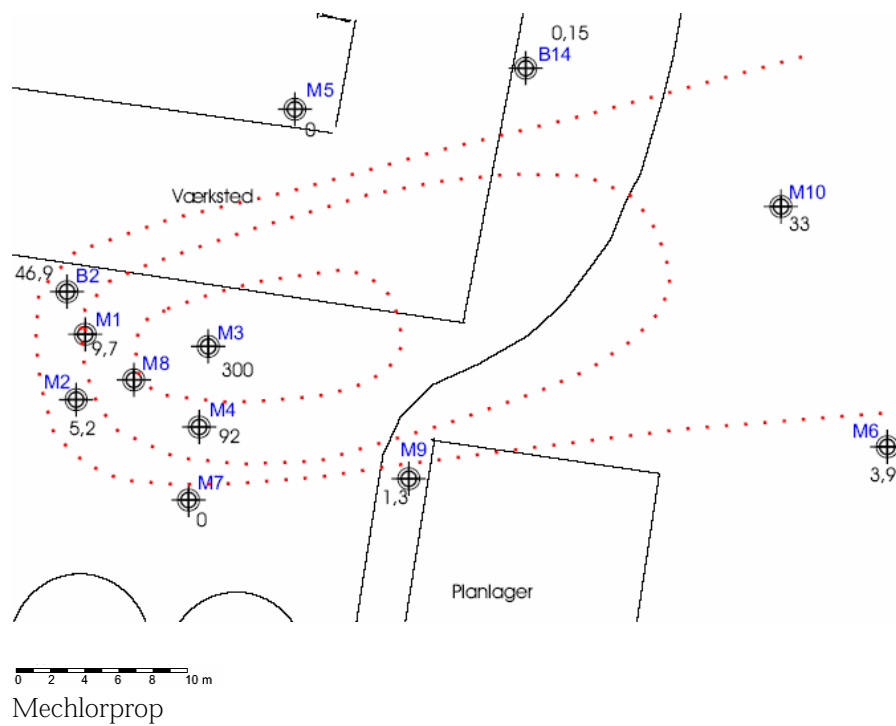
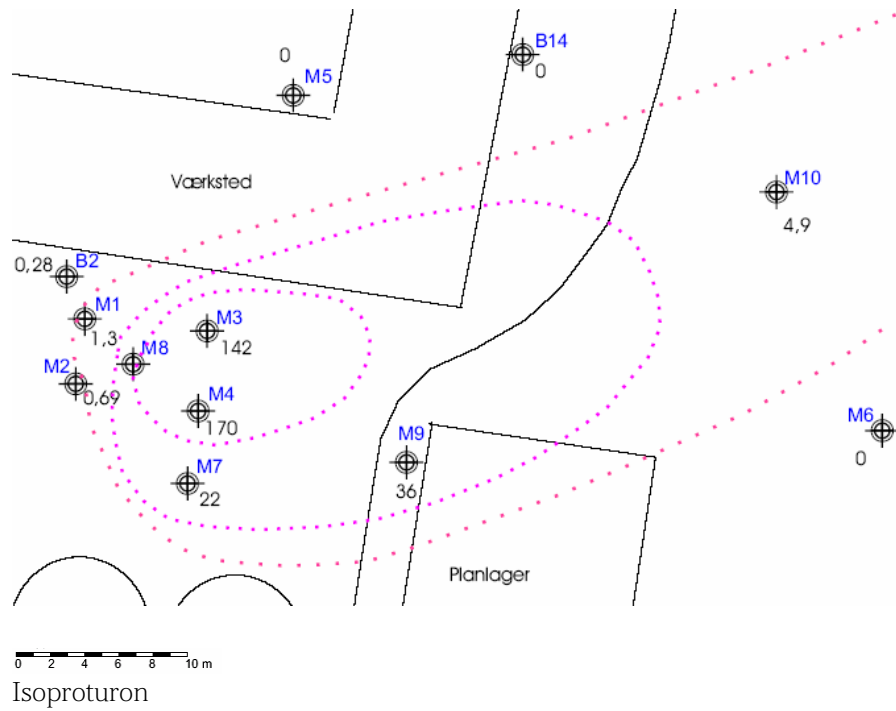
6.4.2 Lokalitet 1

På figur 4a og b ses resultater fra Lokalitet 1. En detaljeret rapportering af resultaterne findes i bilagsrapporten, delrapport 2 – Lokalitet 1 (NIRAS, 2005). Kilden til forureningen er vask på ubefæstet vaskeplads ved M3. Der har været håndteret store mængder af pesticider af mange forskellige personer, og derfor tabt betydeligt mængder af pesticider.

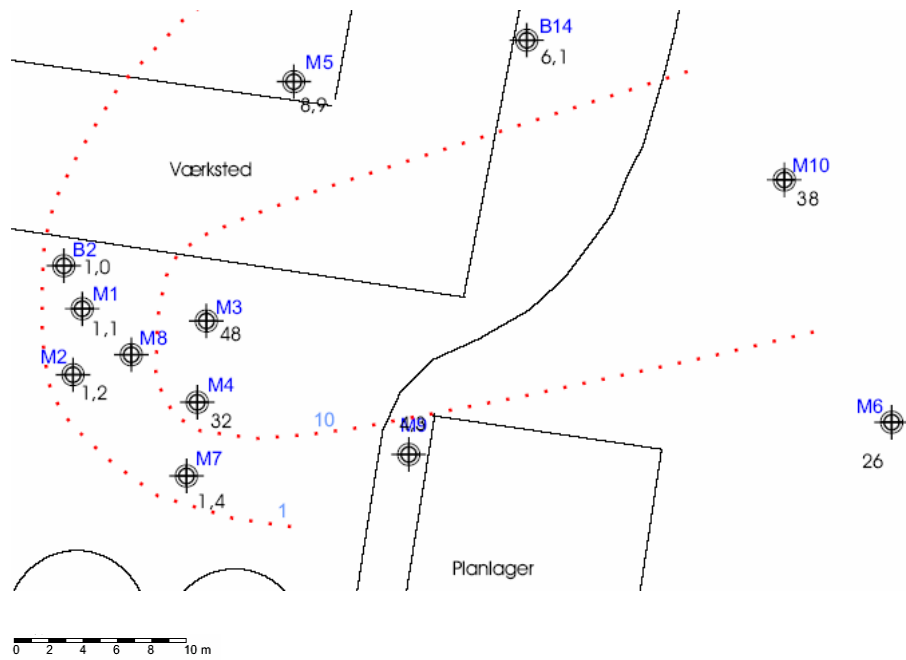
Der er observeret adskillige pesticider og i høje koncentrationer. De pesticider, der er observeret i de suverænt højeste koncentrationer er isoproturon og mechlorprop som vist på figur 4a og b.

Det fremgår af figuren, at forureningen ikke er afgrænset. Dog ses en betydelig reduktion i koncentrationen af pesticider inden for det undersøgte område. Der ses en reduktion fra M3 til M10 for mechlorprop (89%), isoproturon (97%), hexazinon (21%) og bentazon (100%).

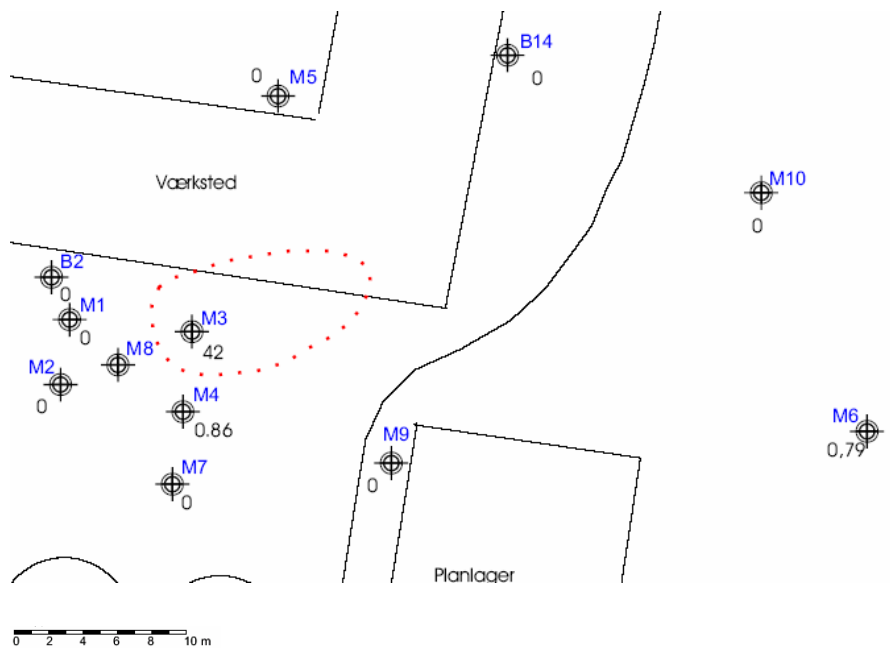
Af figur 4a og 4b fremgår det dog, at forureningen med bentazon generelt synes at have en mindre udbredelse end forureningen med de øvrige stoffer. Denne kan således være af nyere oprindelse og/eller repræsentere et mindre spild.



Figur 4a. Isoproturon og mechlorprop på Lokalitet 1 ($\mu\text{g/l}$). Der er ca. 40 m fra M2 til M10. Vaskepladsen er beliggende omkring M3. Gårdspladsen hælder fra M3 mod M2 og M7. Den naturlige terrænhældning er fra M3 mod M10. Grundvandsstrømningen er ligeledes fra M3 mod M10, og altså i overensstemmelse med den generelle terrænhældning.



Hexazinon

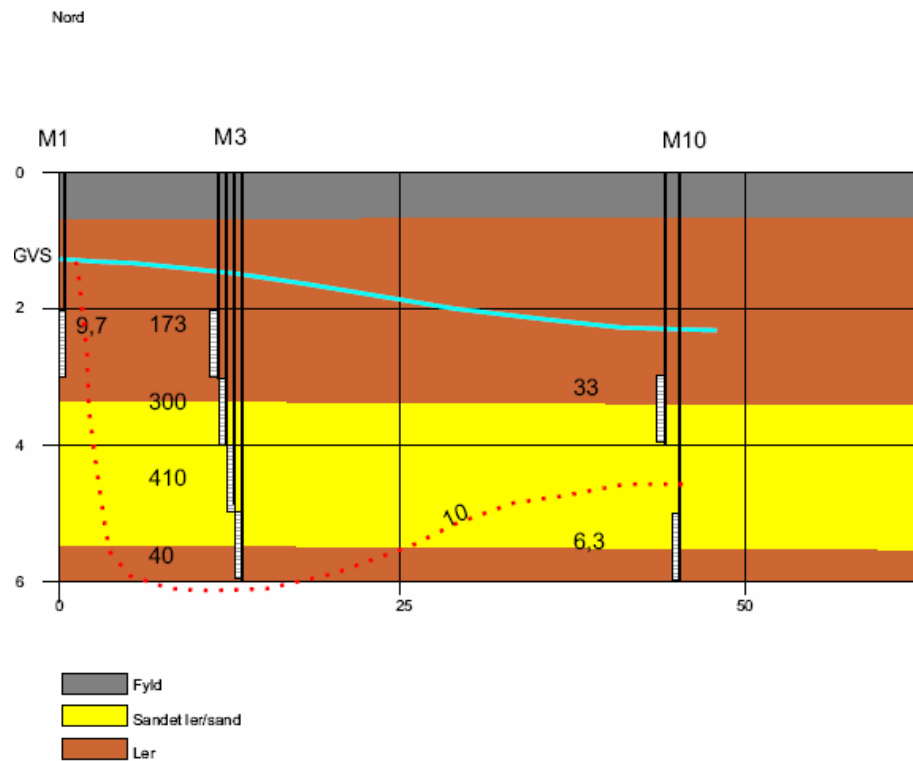


Bentazon

Figur 4b. Hexazinon og bentazon på Lokalitet 1 ($\mu\text{g/l}$). Der er ca. 40 m fra M2 til M10. Vaskepladsen er beliggende omkring M3. Gårdspladsen hælder fra M3 mod M2 og M7. Den naturlige terrænhældning er fra M3 mod M10. Grundvandsstrømningen er ligeledes fra M3 mod M10, og altså i overensstemmelse med den generelle terrænhældning.

I figur 5 er vist et geologisk profil gennem forureningen. Som det fremgår af figuren, er det ikke umiddelbart enkelt at vurdere koncentrationen i hot spot (M3), da denne varierer betydeligt over dybden. Ved den tidligere beregning af reduktionen i koncentrationen er det valgt at se særskilt på filtre placeret 3 – 4 m u.t., da der i denne dybde er observeret et gennemgående sandlag.

Den betydelige variation over dybden, og den forholdsvis smalle forureningsfane, der observeres illustrerer vigtigheden af at anvende størst mulige antal boringer/filtre i forureningsundersøgelser.



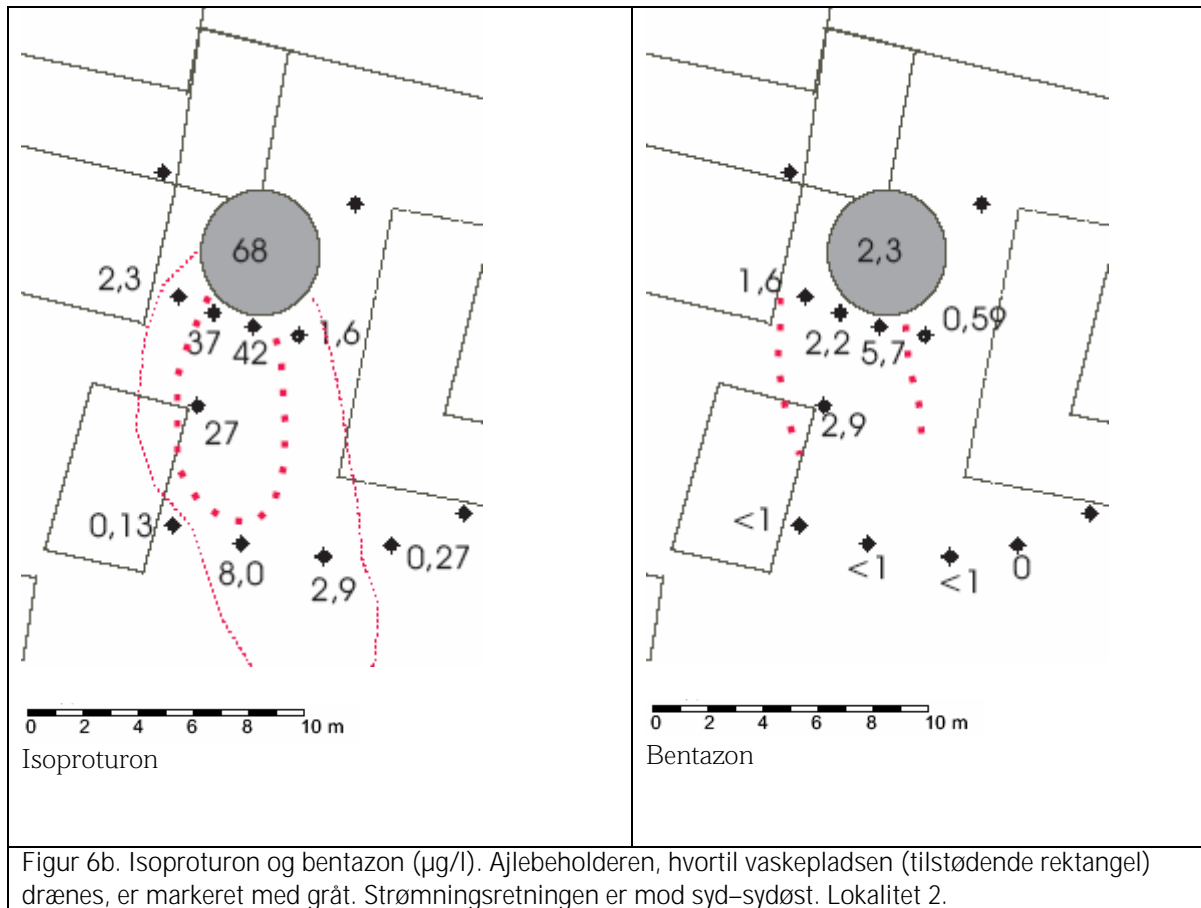
Figur 5. Profil med mechlrorprop ($\mu\text{g/l}$) i forureningsfanen på Lokalitet 1. Grundvandspejlet er indtegnet med lyseblå linie. Iso-linie (10 $\mu\text{g/l}$) er indtegnet med rød stiplede linie. Dybde (y-akse) og afstand (x-akse) er opgivet i meter.

6.4.3 Lokalitet 2

Forureningen på Lokalitet 2 er rapporteret i bilagsrapporten, delrapport 3 (NIRAS, 2005). Der blev i alt fundet 52 forskellige pesticider og nedbrydningsprodukter ved undersøgelser i perioden fra 1999 til 2004. Her er valgt at fokusere på de stoffer, der har været gennemgående for de andre lokaliteter. Dette betyder samtidig, at samtlige pesticider, der i betydelige koncentrationer er observeret på Lokalitet 2, er inkluderet. Dog skal det bemærkes, at stoffer som 4 – CPP, MCPA, 4 – chlor – 2 methylphenol o.a. phenoxysyrer ligeledes er observeret på Lokalitet 2, men ikke behandlet her.

Kilden til forureningen er 20 års vask af pesticidesprøjter på en befæstet vaskeplads med afløb til ajlebeholder. Ajlebeholderen har senere vist sig at være utæt. De højeste koncentrationer af pesticider er, som det fremgår af figur 6, observeret umiddelbart nedstrøms ajlebeholderen. Der er derfor ingen tvivl om, at en primær kilde til forureningen er ajlebeholderen.

Det er klart, at de høje koncentrationer af glyphosat og AMPA i ajlebeholderen blandt andet kan relateres til vask, der er foregået i nyere tid, hvilket vil sige 2004. Der er første gang analyseret for glyphosat i en boring i forureningsfanen i 1999. Senere målinger har vist et forholdsvis konstant niveau af glyphosat/AMPA siden 1999. Dette indikerer, at glyphosat og AMPA tidligere har været anvendt på lokaliteten, hvilket er bekræftet gennem den historiske redegørelse. Det må således forventes, at der flere gange gennem hele anvendelsesperioden for glyphosat, har været høje koncentrationer af glyphosat og AMPA i ajlebeholderen, svarende til de koncentrationer, der er observeret i forbindelse med nærværende undersøgelse.



Figur 6b. Isoproturon og bentazon ($\mu\text{g/l}$). Ajlebeholderen, hvortil vaskepladsen (tilstødende rektangel) drænes, er markeret med gråt. Strømningsretningen er mod syd-sydøst. Lokalitet 2.

I figur 6b er udbredelsen af isoproturon optegnet. Det ses, at der sker en spredning af pesticiderne i overvejende sydlig retning.

6.5.1.1 Lokalitet 2 - Isoproturon

Der er i forbindelse med projekter på Danmarks Tekniske Universitet udført laboratorieforsøg. Disse har ikke påvist nedbrydning af isoproturon. Forsøgene var dog påvirket af meget høje primær substratkoncentrationer, som gør, at disse forsøg må tillægges mindre vægt. Det er derfor problematisk at vurdere, hvorvidt der faktisk forekommer en naturlig nedbrydning af isoproturon i grundvandet nedstrøms kilden.

Sammenholdes koncentrationen i hotspot med de koncentrationer, der er observeret længere nedstrøms i det primære magasin, ses et fald. Beregningen viser en reduktion af koncentrationen for mechlorprop og dichlorprop på henholdsvis 99% og 90%. Tilsvarende sker der en reduktion af den observerede koncentration for isoproturon på 99,8%. Denne del af

forureningen er ikke vist på figur 6b, men der kan henvises til delrapport 3 – Lokaltitet 2 (NIRAS, 2005).

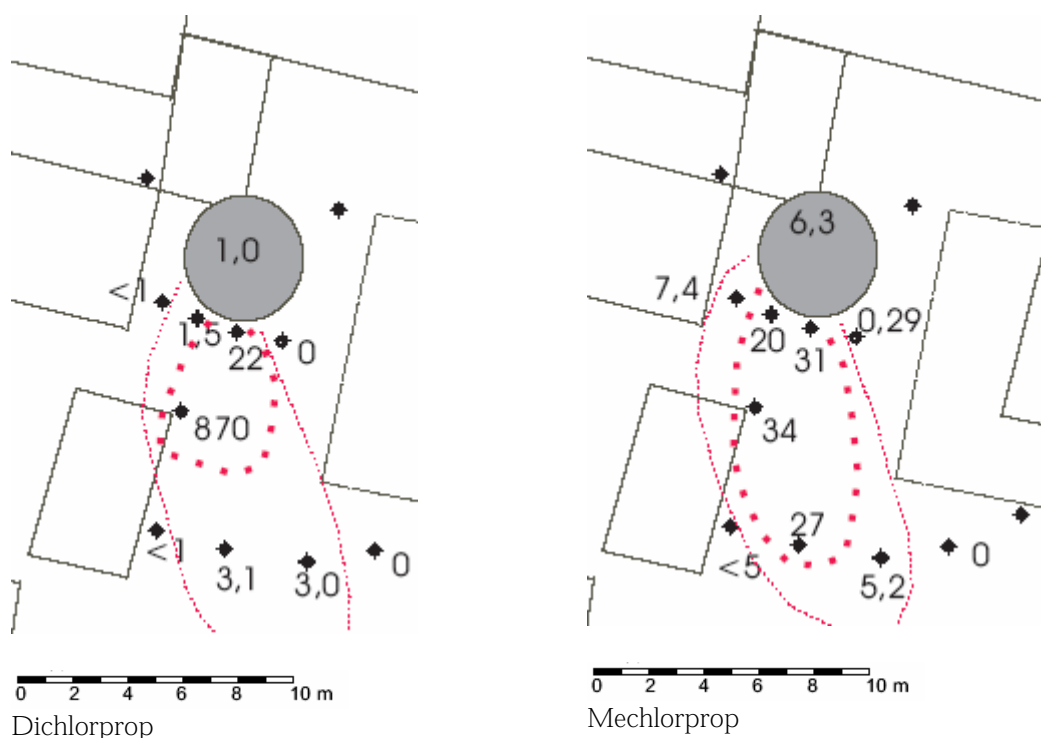
Der foreligger dog ingen præcise historiske data for, hvornår forureningen er sket. Hertil skal det dog bemærkes, at der er udarbejdet en overordnet grundvandsmodel for området ved lokaliteten. Heraf fremgår, at strømningshastigheden i det primære magasin er forholdsvis stor. Der kan derfor forventes fuldt gennemslag i den nedstrøms boring efter en periode på mindre end 5 – 10 år. Udfra den historiske redegørelse er det derfor sandsynligt, at man har set den fulde effekt af forureningen med isoproturon.

6.5.1.2 Lokaltitet 2 - Bentazon

I figur 6b er spredningen af bentazon i det sekundære magasin optegnet. Figuren viser, at der fra kildeområdet sker en spredning af pesticiderne i overvejende sydlig retning. Grundet analysetekniske problemer er detektionsgrænsen for bentazon i flere af analyserne forholdsvis høj. Dette begrænser muligheden for at sammenligne med tidligere undersøgelsesresultater.

Laboratorieforsøg udført i forbindelse med projekter på Danmarks Tekniske Universitet har ikke vist nedbrydning af bentazon, men forsøgene var påvirket af meget høje primære substratkoncentrationer, som gør, at disse forsøg må tillægges mindre vægt.

Ligesom for isoproturon er den procentvise reduktion af koncentrationen af bentazon fra hot spot og til en boring nedstrøms det primære magasin udregnet. Således fjernes ca. 86% bentazon modsat 99,8% isoproturon, 99% dichlorprop og 90% mechlorprop.



Figur 6c. Udsnit af forureningsfanen med dichlorprop og mechlorprop (µg/l). Ajlbeholderen, hvortil vaskepladsen (tilstødende rektangel) drænes, er markeret med gråt. Strømningsretningen er mod syd-sydøst..

Figur 6c viser forureningen med dichlorprop og mechlorprop på Lokalitet 2. Det ses, at forureningen med specielt dichlorprop er meget kraftig. I betragtning af, at grundvandets strømningshastighed som tidligere nævnt er forholdsvis høj i forhold til anvendelsesperioden, ses dog en kraftig reduktion i koncentrationen.

I grundvandet ved Lokalitet 2 er de dominerende stoffer phenoxysyrer og relaterede stoffer. I tabel 8 er fund af de nævnte stoffer i tidligere undersøgelser listet. Det fremgår ligeledes, at koncentrationerne er forholdsvis høje.

Fortolkningen af data for phenoxysyrer kompliceres af, at de potentielle nedbrydningsprodukter, der er fundet på lokaliteten (f.eks. chlorphenoler), også findes som urenheder i pesticider. Dermed kan forekomsten af potentielle nedbrydningsprodukter i sig selv ikke dokumentere, at der sker nedbrydning.

Derfor beregnede Reitzel (2003) urenhed/moderstof-forholdene for de målepunkter, hvor det kunne lade sig gøre. Der var dog ikke nogen veldefineret sammenhæng mellem urenhed/moderstof-forholdet og afstanden fra kilden. Derimod var der en del urenhed/moderstof-forhold, som langt oversteg worst-case forholdene (max. 4-CPP/dichlorprop-forholdet var fx 411, mens worst-case forholdet var 0,07). Dette kan bruges som dokumentation for, at der sker nedbrydning af phenoxysyrer, hvilket der i en række boringer er en klar indikation af.

Stof	Koncentrationsområde (µg/l)	Antal fund	Antal prøver
2,4-D	7,5	1	10
Dichlorprop	0,01-750	20	34
2,6-DCPP	0,01-10	21	32
2-CPP	-	-	-
4-CPP	0,01-260	15	32
2,4-dichlorphenol	19-68	2	2
MCPA	0,02-2.6	10	34
MCPP	0,02 - 42	20	34
6-C-2-MPP	-	-	-
4-chlor- <i>o</i> -cresol	0,01 - 140	14	26

Tabel 8. Koncentrationer af phenoxysyrer og relaterede stoffer i tidligere undersøgelser. – angiver ikke analyseret.

Nedbrydningsforsøg udført i laboratorium med grundvand og sediment fra det sekundære grundvand i kildeområdet viste, at de tilstedeværende phenoxysyrer og relaterede stoffer kan nedbrydes af de naturligt forekommende bakterier under tilstedeværelsen af ilt (Reitzel et al., 2003; Tuxen et al., 2003; Rosenborg, 2005). Ved forsøg med grundvand fra to boringer i det primære magasin (304a og 305a) observeredes en hurtig

nedbrydning af MCPP ved iltrige forhold. Der blev imidlertid ikke observeret nedbrydning i grundvand fra en opstrøms liggende boring over en periode på 100 dage. Dette antyder, at der i forureningsfanen er opbygget en bakteriemasse, som effektivt kan nedbryde MCPP samt nedbrydningsprodukter heraf.

7 Risikovurdering

Der er i nærværende undersøgelse observeret egentlige forureningsfaner på tre lokaliteter: Lokalitet 1, Lokalitet 2 og Lokalitet 3. På de to førstnævnte lokaliteter er der observeret forureninger, der hører til blandt de kraftigste, der er observeret i Danmark. På trods heraf er der ikke observeret forureningsfaner, hvor der ikke er sket en betydelig reduktion i koncentrationen inden for 50 - 100 m. Undtagelsen herfor er hexazinon.

Massen i forureningsfanerne er beregnet til 1 - 270 g. Med de gældende kvalitetskriterier for pesticider i drikkevand, svarer dette til forurening af 10.000 - 2.700.000 m³ vand. En forurening vil typisk være 10-50 år om at nå ned til en vandværksboring. Endvidere vil den fulde forurening, grundet nedbrydning og sorption, sandsynligvis aldrig nå indvindingsboringerne. Dette indikerer, at pesticidpunktkilder primært udgør en trussel mod små vandforsyninger og vandforsyninger, der er placeret tæt på forureningen. En undersøgelse af vandkvaliteten i private brønde og boringer, hvor der er observeret adskillige forureninger med pesticider, bekræfter, at pesticidpunktkilder udgør en trussel for mindre vandforsyninger, hvilket ligeledes bekræftes af (Brüsch et al., 2004). Men at det ikke kun er mindre vandforsyninger, der er truet af pesticidpunktkilder, er i nærværende rapport sandsynliggjort ved gennemgang af pesticidfund samt i (Tuxen et al., 2001).

7.1 Generelt om JAGG – beregninger

Miljøstyrelsens risikovurderingsprogram JAGG anvendes i dag som standard ved vurdering af risikoen for forurening af grundvandsressourcen nedstrøms en konstateret forurening. Programmet er udviklet til at håndtere forureninger af typerne olie- og benzin, chlorerede opløsningsmidler samt en række phenoler. Ved hjælp af programmet kan der udføres en trinvis beregning af den resulterende stofkoncentration, idet der tages højde for opblanding i magasinet, dispersion, sorption og evt. nedbrydning. Beregningen vil være afhængig af:

- Forureningssituationen, dvs. stoftype (mobilitet/nedbrydelighed og andre stofkarakteristika) samt forureningskoncentration og areal.
- Geologi og hydrogeologi.

(Miljøstyrelsen, 1998).

Hvis man ønsker at anvende JAGG ved vurdering af en pesticidkilde, bør man overveje følgende problemstillinger:

- Utilstrækkeligt kendskab til mange pesticider, og især utilstrækkelig viden om nedbrydning.
- Begrebet pesticider dækker over en lang række forskellige stoffer med vidt forskellige fysisk/kemiske egenskaber. Derfor er det vigtigt at indhente stofkarakteristika for de på en given lokalitet observerede pesticider. Det er ligeledes nødvendigt at udføre beregninger for alle de pesticider, der er observeret i kritiske mængder på en lokalitet.

- Beregning af mobilitet (uddybes herunder).
- Beregning af nedbrydning besværliggøres af, at der ofte er et usikkert datagrundlag.

I appendiks A er det forsøgt at samle karakteristika for pesticider, der ofte ses i forbindelse med pesticidpunktkilder.

Ved vurdering af et stofs mobilitet indgår tilbageholdelse via sorption som en meget vigtig faktor. Programmet beregner en tilbageholdelsesfaktor, K_d , via stoffets $\log K_{OW}$ -værdi. En nærmere granskning af beregningsmetoden viser, at Abdulls formel er anvendt til beregning af K_d -værdien. Abdull angives i Miljøstyrelsen (1997) at være anvendelig for BTX'er og chlorerede opløsningsmidler samt for PCB'er.

Skal der derimod beregnes en K_d -værdi for pesticider, anbefales brug af Brown & Flagg eller Rao & Davidson. Anvendes Abdull frem for disse formler, fås eksempelvis en faktor 5 – 10 mindre K_d og dermed en mindre sorption for stofferne mechlorprop og atrazin, der er blandt de oftest fundne pesticider.

Stoffet glyphosat har helt andre sorptionsegenskaber, og det vil ikke være muligt at udføre en realistisk beregning af tilbageholdelsen af stoffet ved brug af hverken Abdull, Brown & Flagg eller Rao & Davidson. Det skal dog bemærkes, at der på mange lokaliteter vil være andre pesticider, der vil udgøre en større risiko over for grundvandet, og endvidere at der er meget få fund af glyphosat/AMPA i indvindingsboringer til almen vandforsyning.

Ved beregning af nedbrydning af stoffer i grundvandsmagasinet anvendes 1. ordens nedbrydningsrater for det givne stof. For pesticider er der ikke umiddelbart sådanne rater for nedbrydning i grundvand.

7.2 Generelle beregninger

For at vurdere anvendelsen af JAGG er der foretaget en modelberegning med programmet. Det er valgt at anvende trin IIB og IIIB på et sandmagasin af 30 meters mægtighed og med en hydraulisk gradient på 0,004.

Målt koncentration	100	35	10
Trin II B	35	12	3,5
Trin IIIB	24	8,5	2,4

Tabel 9. Modelberegninger for mechlorprop (nedbrydning er sat til 0,001 dag⁻¹). Koncentration er i µg/l.

Det fremgår af tabel 9, at der ved beregningen sker en begrænset reduktion af stoffet. Dette betyder, at JAGG først ved en koncentration omkring 1 µg/l viser, at forureningen vurderes at være uden betydning. I forhold til resultaterne i figur 2, medfører dette, at 11 af 18 undersøgte lokaliteter med JAGG vurderes at udgøre en risiko over for grundvandsressourcen.

7.3 Faktiske beregninger

Der skal gøres opmærksom på, at der ved brug af JAGG er betydelige usikkerheder ved fastlæggelse af de hydrauliske parametre, kendskab til nedbrydningshastighed etc.

Der er valgt at udføre beregninger for phenoxysyrer eksemplificeret ved dichlorprop på Lokalitet 2 og mechlorprop på Lokalitet 1. Herudover er der udført beregninger for bentazon på alle 3 lokaliteter. JAGG har imidlertid ikke disse to stoffer i stofdatabasen, hvorfor de relevante parametre er indhentet fra (The Pesticide Manual, 1997). Nedbrydningen er for phenoxysyrerne sat til 10^{-4} og bentazon antages ikke nedbrydeligt.

Beregningerne er præsenteret i bilag 1 til 3. Det fremgår af beregningerne, at der sker en fjernelse af phenoxysyrerne, men at denne ikke er tilstrækkelig. Forureningen på lokaliteterne vurderes således på baggrund af JAGG-beregningerne at udgøre en trussel for grundvandsressourcen. Dette er ikke overraskende, da der på begge lokaliteter er observeret høje koncentrationer af phenoxysyrer.

Beregningerne for bentazon viser, at der ikke sker nogen ændring fra trin II til trin III. Årsagen hertil er naturligvis, at der ikke sker nogen nedbrydning. Bentazon er observeret i forholdsvis høj koncentration på Lokalitet 1, men kun i koncentrationer omkring 5 µg/l på Lokalitet 2 og 3. Det fremgår således, at JAGG-beregningerne alligevel prioriterer forureningen på alle lokaliteterne som værende en trussel over for grundvandet.

8 Konklusion

Samlet set kan det konkluderes, at der med dette projekt er opnået en forståelse for, hvilke mekanismer der er vigtige for, hvorvidt der dannes en betydende punktkilde. Endvidere er det lykkedes at estimere størrelsesforholdene/massen af pesticider fra det tidspunkt, hvor disse spildes på lokaliteten, og til forureningen i grundvandet observeres. En gennemgang af GRUMO og LOOP samt undersøgelser af pesticidpunktkilder, rapporteret i litteraturen, viser, at pesticidpunktkilder er et betydende problem for dansk vandforsyning, og at der sandsynligvis findes et stort antal punktkilder i Danmark. Dog er det samtidig klart, at det sandsynligvis langt fra er alle punktkilder, der udgør en trussel mod drikkevandsforsyningen.

8.1 Stoffer der hyppigt optræder i forbindelse med pesticidpunktkilder

På de undersøgte lokaliteter observeres phenoxysyrer, isoproturon, bentazon, hexazinon og glyphosat samt AMPA i høje koncentrationer. Endvidere bliver der hyppigt observeret triaziner, men i lavere koncentrationer. Dette er i overensstemmelse med hvad der observeres på 18 lokaliteter. Således vurderes boringskontrolpakken for pesticider kombineret med glyphosat og AMPA at være et godt udgangspunkt for forureningsundersøgelser (se evt. kapitel 10, hvor et paradigma for undersøgelser på potentielle punktkilder er beskrevet).

8.2 Potentiel kildestyrke af en pesticidpunktkildeforurening

Det er gennem massebetragtninger sandsynliggjort, at der potentielt kan tabes pesticider i mængder der skal opgøres i kg As/år. Disse store mængder kan relateres til tab af restsprøjtevæske fra sprøjter uden skylletank. Det skal dog fremhæves, at så store tab sandsynligvis ikke sker på alle lokaliteter, men at der i forbindelse med nærværende projekt er observeret eksempler på, at så store spild altså forekommer. Den faktiske kildestyrke, der er observeret på de undersøgte lokaliteter, er mellem 1 og 200 gr. Dette på trods af, at der er undersøgt lokaliteter, hvor der efter danske forhold er observeret kraftige forureninger.

8.3 Kortlægning af betydende kilder på en gårdsplads

En gennemgang af håndteringen af pesticider på landbrugsejendomme introducerer begrebet regelmæssigt og uregelmæssigt spild. Regelmæssigt spild, og herunder vask af sprøjte (inkl. bortskaffelse af restsprøjtevæske), er den betydende faktor for, hvor store mængder af pesticider, der er tabt. Mængden af tabte pesticider afhænger således af antallet af vaske, hvorvidt der bortskaffes restvæske, og om der anvendes skylletank til fortynding af restsprøjtevæske.

Endvidere er det klart, at vaskepladsens indretning har betydning for, hvorvidt der potentielt kan dannes en betydende pesticidpunktkilde. Der kan skelnes mellem følgende typer af vaskepladser:

- Ubefæstet vaskeplads eller befæstet vaskeplads uden afløb.
- Befæstet vaskeplads med afløb til kloak, recipient mv.
- Befæstet vaskeplads med afløb til beholder.

Laboratorieundersøgelser, der er udført på jordkerner udtaget i forbindelse med nærværende projekt, viser, at omsætning af pesticider i den umættede zone kan være en faktor, som mindsker udvaskningen af pesticider. Dette er især tilfældet på lokaliteter, hvor tabet af pesticider er forsøgt minimeret ved anvendelse af skylletank og generelt minimering af antallet af vaske. Således kan der foregå en tilstrækkelig omsætning af pesticider, når vask foregår på ubefæstede vaskepladser.

Undersøgelserne på de 5 lokaliteter viser dog, at der på de to lokaliteter, hvor der er spildt de suverænt største mængder, ligeledes observeres de mest betydende forureninger, uantastet at der er tale om en ubefæstet vaskeplads henholdsvis en vaskeplads, hvor den umættede zone kortsluttes via utæt ajlebeholder.

Således indikerer undersøgelserne, at det primært er mængden af tabte pesticider, der er afgørende for, hvorvidt der dannes en betydende pesticidpunktkilde.

8.4 Risikovurdering af pesticidpunktkilder

At pesticidpunktkilder i flere tilfælde udgør en trussel over for den almene vandforsyning, er sandsynliggjort ved gennemgang af faktiske fund.

Risikovurderingen indikerer, at pesticidpunktkilder primært udgør en trussel mod små vandforsyninger og vandforsyninger, der er placeret tæt på forureningen. Årsagen hertil er, at der er observeret en begrænset masse i de kortlagte forureningsfaner. Konklusionen bekræftes af generelle kortlægninger af indholdet af pesticider i drikkevand i Danmark.

Endeligt viser JAGG-beregninger, at JAGG – modellen på et stort antal lokaliteter sandsynligvis vil overestimere truslen mod grundvandet. Et stort antal lokaliteter vil ved anvendelse af JAG derfor blive prioriteret som en trussel mod grundvandet.

8.5 Fremtidige undersøgelser

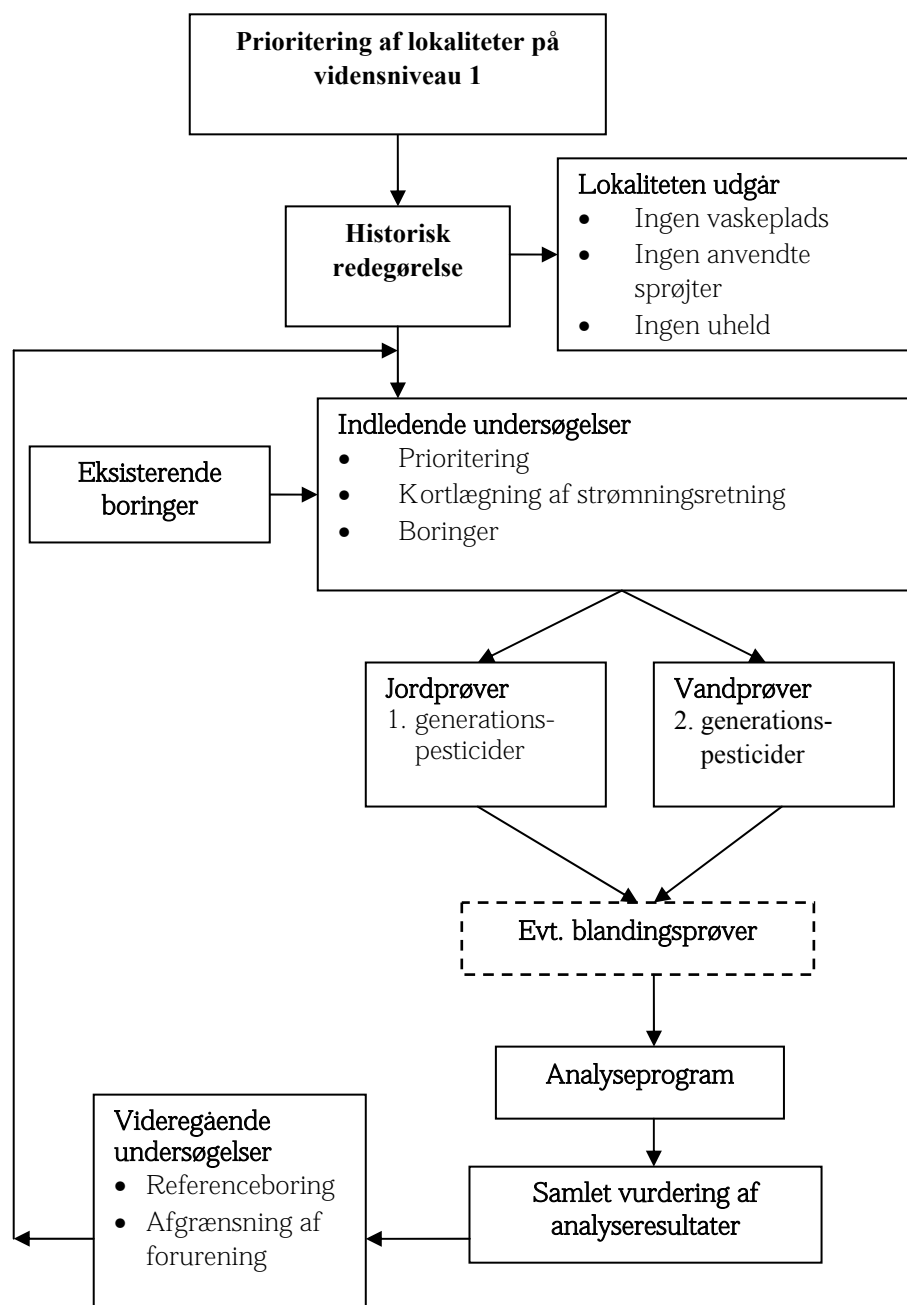
Den samlede konklusion er, at fremtidige undersøgelser af pesticidpunktkilder som udgangspunkt kan fokuseres på potentielle punktkilder af en vis størrelse og beliggende tæt på almen vandforsyning.

Tages udgangspunkt i hvornår den største mængde pesticider er anvendt og dermed potentielt spildt, kan man f.eks. vælge at fokusere på bedrifter/maskinstationer over 100 ha, og med en driftperiode i 80'erne og 90'erne. I denne periode er der typisk ikke anvendt skylletank, og mange pesticider var endnu ikke udfasede.

Sammenholdes de observerede faner og mængder af pesticider, kan man vælge at fokusere på punktkilder beliggende inden for en afstand af 1 km fra almen vandforsyning.

9 Paradigma for forureningsundersøgelser

Med udgangspunkt i 5 forureningsundersøgelser udført i forbindelse med nærværende projekt, samt erfaringer fra de 18 lokaliteter, der ligeledes er gennemgået i forbindelse med nærværende projekt, er der udarbejdet et paradigma for forureningsundersøgelser på pesticidpunktkilder (appendiks B).



Ovenstående rutediagram illustrerer strategien for undersøgelser af pesticidpunktkilder.

Som udgangspunkt kan fokuseres på potentielle punktkilder af en vis størrelse og beliggende tæt på almen vandforsyning. Man kan f.eks. vælge at fokusere på bedrifter/maskinstationer over 100 ha, med en driftperiode i 80'erne og 90'erne, hvor der ikke er anvendt skylletank, og som er beliggende inden for en afstand af 1 km fra almen vandforsyning. Den historiske redegørelse er fundamentet for undersøgelserne, idet der her indhentes oplysninger om, hvilke stoffer, der har været anvendt på de enkelte bedrifter. Der findes en række potentielle kilder på en gårdsplads, men der bør være særlig stor fokus på påfyldning og vask af sprøjter.

Kilder	Punkter der skal afklares
Ejerforhold	Hvilke ejere har der været på lokaliteten siden 1950?
Pesticider/ typer	Har der været håndteret pesticider (tidsperiode)? Hvilken type bedrift har været drevet fra lokaliteten?
Opbevaring af pesticider	Hvor har pesticider været opbevaret (tidligere og nu). Hvordan er forholdene i opbevaringsrummet, og har der været mellemdeponi?
Påfyldning og vask	Hvor sker påfyldning og hvorledes (tidligere og nu)? Hvor foregår vask (tidligere og nu)? Hvilke typer sprøjter anvendes/har været anvendt? Hvilken praksis har der været vedrørende sprøjten ved afgrødeskift? Er der skylletank på pesticidesprøjten? Hvor hyppigt har der været udført vask (indvendigt og udvendigt)? Hvordan er restsprøjtevæske håndteret? Hvordan er afløbsforholdene på vaskepladsen?
Renholdelse af gårdsplads	Har gårdsplads, fundament etc. været renholdt med pesticider. Med hvilke pesticider, hvor ofte og med hånd- eller marksprøjte/evt. begge dele?
Deponi	Hvordan er pesticider bortskaffet (tidligere og nu)?
Uheld	Er der forekommet uheld i forbindelse med håndtering af pesticider?

Tabel 9. Minimumsindhold til historisk redegørelse.

Erfaringerne viser at indledende undersøgelser bør fokuseres på vandprøver fra den mættede zone, dvs. de terrænnære grundvandsmagasiner, og tæt på potentielle hot spots.

Det er nødvendigt at anvende forede boringer, eller andre boremetoder, der minimerer risikoen for at topjord kan kontaminere grundvandet. Det er nødvendigt at indmåle og nivellere boringerne, således at der kan udarbejdes et potentialekort. Endelig er solide og tætte afslutninger nødvendige.

De hydrologiske forhold er vigtige for at kunne vurdere kvaliteten af undersøgelsen, hvorfor en indledende vurdering af strømningsretningen er nødvendig. Der bør som minimum udføres tre boringer, således at et bud på en overordnet strømningsretning kan vurderes. I forbindelse med placering af boringer skal der tages hensyn til områder med særlig stor nedsivning af vand, afløb fra tagarealer og vaskeplads.

Som udgangspunkt er det nødvendigt at udføre mindst én boring nedstrøms hver enkelt potentiel kilde. Er det af økonomiske grunde nødvendigt at prioritere, bør der være fokus på vaskeplads, påfyldningsplads og affaldsdeponi. Alternativt kan det vælges at anvende blandingsprøver, hvorved betydende pesticidpunktkilder fortsat kan identificeres.

Endelig er det relevant at udtage prøver til analyse for pesticider fra eksisterende brønde og boringer. Prøver udtages dels som volumenprøver for det dybereliggende magasin, og dels som kontrol af, hvorvidt ubenyttede brønde udgør en kortslutning til grundvandsmagasinet.

Idet anvendes over 200 forskellige pesticider i Danmark, og da der ofte anvendes adskillige forskellige pesticider på samme lokalitet, kan et analyseprogram som udgangspunkt ikke være for omfattende. Erfaringer har dog vist, at Miljøstyrelsens boringskontrol, kombineret med analyse for glyphosat og AMPA, er et godt udgangspunkt, og det nærmeste man kan komme på indikatorparametre. Således giver denne analysepakke en god balance mellem omkostninger og omfang på mange lokaliteter.

10 Perspektivering

10.1 Mekanismer ved kilden

I forbindelse med nærværende projekt er der foretaget en opgørelse over spildte mængder på lokaliteterne. Sættes disse i forhold til de mængder, der er observeret i forureningsfanerne, ses det, at der potentielt er sket en betydelig reduktion i massen. Således er den reduktion, der er forekommet, fra spildet er sket til øjeblikbilledet for forureningsfanen, langt større end den reduktion, der skal til for helt at fjerne resten af forureningen.

Samtidig er der sket en betydelig reduktion i koncentrationerne for stoffer som bentazon og hexazinon fra pesticiderne er spildt på overfladen til forureningsfanen findes i grundvandet. Disse er stoffer, hvoraf der ikke er observeret betydende omsætning i grundvandet. Det vides således ikke, om bentazon og hexazinon kan nedbrydes i grundvandet i de koncentrationer, som optræder på lokaliteterne. For en bedre forståelse af mekanismerne omkring pesticidpunktkilder og risikovurdering bør der derfor fokuseres på omkring følgende:

- Der er behov for yderligere at fastlægge, hvor stor en fjernelse af pesticider der sker fra pesticider tabes på overfladen til grundvandet forurenes.
- Hvor sker denne fjernelse af pesticider primært (på overfladen, i de øverste lag, ved grundvandsspejlet etc.) og eventuelt en forståelse af hvorfor denne fjernelse sker,

Der kan i denne forbindelse f.eks. være tale om følgende undersøgelser:

- Laboratoriebatch eller -søjleforsøg, hvor forskellige pesticider i koncentrationer svarende til vask med og uden skylletank tilsættes og nedbrydningen fastlægges.
- Tilsvarende forsøg med lysimeter.
- Feltforsøg, hvor en vaskehændelse - evt. tilsat et sporstof - følges.

10.2 Stabile faner

Det har i nærværende projekt alene været hensigten at skaffe et øjeblikbillede af de betydende faner. Der er således to betydende faktorer, der ikke er kortlagt:

- Er der tale om stabile koncentrationer i hot spot, eller er disse aftagende?
- Er de observerede forureningsfanerne stationære?

Der er for nogle pesticider (phenoxy-syrer og glyphosat/AMPA) i nærværende rapportering indikationer på svar til ovenstående spørgsmål. Det vurderes imidlertid, at usikkerhederne ved estimering af nedbrydningskonstanterne er så store, at kun etablering af en fortsat monitoring gennem en længere

tidsperiode, svarende til overvågning af naturlig nedbrydning, vil kunne give præcise svar herpå.

10.3 Potentiel nedbrydning

På Lokalitet 1 og B ses en betydelig reduktion i koncentrationen nedstrøms fanen. Sammenlignes reduktionen i koncentrationerne af stoffer som phenoxysyre, isoproturon, hexazinon og bentazon, fås en svag indikation af, at der foregår en nedbrydning af isoproturon og bentazon, hvilket ikke før er set i grundvandet. Undersøgelsesintensiteten i nærværende projekt er dog for lille til at der kan fastlægges egentlige nedbrydningsrater, endsige fastslå om der foregår nedbrydning. Det vil være relevant at forfølge, hvorvidt disse to pesticider nedbrydes i grundvandet under de to lokaliteter.

11 Referencer

Amternes Videnscenter for Jordforurening, 2002. "*Erfaringsopsamling amternes undersøgelser af pesticidpunktkilder*", Teknik og Administration nr. 2, 2002.

Barlebo, H.C., 2001. "*Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer – præsentation af projekt for sand*", KUPA, GEUS, *Rent drikkevand – kvalitet og mængder*, ATV Jord og Grundvand, 2001.

Bay, H., Hansen, H. P., (2001). "*Gårdspladser og vaskepladser forurener grundvandet med pesticider*". Vandteknik 1, feb. 2001.

Bay, H., Hansen, H. P., (2002). "*Hvilke pesticider finder man ved en pesticid punktkilde*", ATV – møde.

Broholm, M. M., Rügge, K., Tuxen, N., Højbjerg, A. L., Mosbæk, H. & Bjerg, P.L. (2001). Fate of herbicides in a shallow aerobic aquifer: A continuous field injection experiment (Vejen, Denmark) *Water Resources Research*, 37, (12), 3163-3176.

Brüsch, W. og G. Felding, 1999. "*Pesticider og nedbrydningsprodukter*". Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Miljø- og Energiministeriet. P 41-60.

Brüsch, W. og G. Felding, 2001. "*Pesticider i dansk og udenlandsk grundvand – "State of the art" – projekt*". Danmarks og Grønlands Geologiske undersøgelse, Miljø- og Energiministeriet.

Brüsch W., Stockmarr J., Kelstrup., von Platen-Hallermund F. & Rosenberg P., 2004. "*Pesticidforurenede vand i små vandforsyninger*". GEUS rapport nr. 9. Miljøministeriet.

Henriksen, V.V., Binder, A., Nielsen, M., Laursen, B., Spliid, N.H. & Helweg, A.- Flakkebjerg Forsøgscenter, Felding, G. – GEUS og Hansen, L.S. – Landskontoret for Planteavl, (1998). "*Leaching of pesticides from washing-sites and capacity of biobeds to retain pesticides*", 1998.

Hojman, G., 2005. "*Pesticidnedrivning fra vaskepladser*", Eksamensprojekt, Miljø og Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet.

Miljøstyrelsen 1996. Kemiske stoffers opførelse i jord og Grundvand. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelse, nr. 20, 1996.

Miljøstyrelsen 1997. "*Boringskontrol på vandværker*", Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 2 1997.

Miljøstyrelsen 1998. "*Oprydning på forurenede lokaliteter*". Hovedbind og appendikser. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 6, 1998.

[PAN Pesticides Database under Pesticide Action Network North America](http://www.pesticideinfo.org/Index.html)
<http://www.pesticideinfo.org/Index.html>.

Patterson, B.M., Franzmann, P.D., Rayner, J.L. & Davis, G.B., (2000).
"Combining coring and suction cup data to improve the monitoring of pesticides in sandy vadose zones", Journal of Contaminant Hydrology 46, 2000, 187-204.

Jensen, P.K. og Spliid, N. H. 2004. "Hvor meget af pesticiderne er der tilbage på sprøjten?", 1. Danske Plantekongres 2004.

Rügge, K. & Agertved J. (1993): Nedbrydning af to pesticider i grundvand. Vand og Miljø, 10, 107 – 111.

Spliid, N.H. & Helweg, A 2003. "Udvaskning af pesticider fra fuldskalabiobed – analyser fra projektets første år" DJF rapport nr. 89, 271-275, 2003.

Spliid, N.H., Helweg A., Brusch W., Jacobsen O. S., Hansen S. U. 1999.
"Pesticidpunktkilder og spredning af pesticider fra en nedlagt vaske/fyldeplads". Den 16. Danske Planteværnskonference.

Stenvang L. 2001. Personlig kommentar på pesticideworkshop. Dansk Lanbrugs Rådgivningscenter.

Reitzel, L.A., Tuxen, N., Ledin, A. & Bjerg, P.L. 2004. "Can degradation products be used as documentation for natural attenuation of phenoxy acids in groundwater?". Environmental Science & Technology, 38, 457-467.

Rosenborg B., 2003. "Skæbnen af pesticidforurening fra en punktkilde – nedbrydning og udbredelse i grundvand". Eksamensprojekt ved M&R, DTU.

The Pesticide Manual, 1999. Eleventh Edition, ISBN I 901396 11 8.

Tuxen N., Bjerg P.L. & Albrechtsen H.J., 2001. "Forureningen af grundvandet – hvor mange fund kan relateres til pesticidpunktkilder?", AVJinfo nr. 10.

Tuxen N., 2002. "In situ bioremediation of groundwater contaminated by herbicides from point sources". PhD thesis, E&R, DTU.

Tuxen N., Reitzel, L.A., Albrechtsen, H.-J. & Bjerg, P.L. (2005): Addition of oxygen enhances phenoxy acid biodegradation in groundwater at contaminated sites. Ground Water, (In press)

Varslingssystem, 2004. <http://WWW.pesticidvarsling.dk>.

Appendiks A Stofegenskaber

Egenskaber og toksicitet

Stof	CAS ^{a)}	Formål ^{a)}	Stofgruppe ^{a)}	Urenheder ^{b)}	Salg kg vs ^{c)} (1956-1993)	Anses for EDCer ^{d)}	Toksicitet (LD ₅₀) ^{b)} Karcinogenitet ^{a)}	Nedbrydningsprodukter ^{b)}
Dichlorprop	7547-66-2	Herbicide	Phenoxy-syrer		28.842.950		Oral rotte: 825-1470, mus: 400 mg/kg Muligvis karcinogen	2,4 dichlorphenol
MCPA	94-74-6	Herbicide	Phenoxy-syrer	1-15%	24.093.908		Oral rotte: 900-1160, mus: 550 mg/kg Muligvis karcinogen	4-chloro-2-methylphenol
Mechlorprop	7085-19-0 og 93-65-2	Herbicide	Phenoxy-syrer		8.145.438		Oral rotte: 930-1166, mus: 650 mg/kg Muligvis karcinogen	4-chloro-2-methylphenol
2,4-D	94-75-7	Herbicide	Chlorophenox y-syrer	≤ 4%	5.684.427	Potentielt	Oral rotte: 639-764, mus: 138 mg/kg Muligvis karcinogen	
Glyphosat	1071-83-6	Herbicide	Organo phosphorous	≤ 5%	5.186.307		Oral rotte: 5600, mus: 11.300 mg/kg	Aminomethylphosphon-syre (AMPA)
Isoproturon	34123-59-6	Herbicide	Phenylurea	≤ 1,5%	1.336.274		Oral rotte: 1826-2417, mus: 3350 mg/kg	4-isopropylanilin
Atrazin	1912-24-9	Herbicide	Triaziner	≤ 4%	1.311.857	Ja	Oral rotte: 1869-3090, mus: 1332-3992 mg/kg	Desethylatrazin, hydroxyatrazin
Simazin	122-34-9	Herbicide	Triaziner	≤ 3%	956.597	Potentielt	Oral rotte, mus: > 5000 mg/kg	Desethylatrazin, hydroxyatrazin
Cyanazin	21725-46-2	Herbicide	Triaziner	≤ 5%	802.457		Oral rotte: 182-334, mus: 380 mg/kg	
Bentazon	25075-89-0	Herbicide	Benzothiadiazinon	≤ 4%	673.197		Oral rotte: > 1000, hund: > 500 mg/kg	
Ethofumesat	26225-79-6	Herbicide	Andre		477.128		Oral rotte, mus: > 5000 mg/kg	
Alachlor	15972-60-8	Herbicide	Chloroacetanilid	≤ 7%	116.036	Ja	Oral rotte: 930-1350	2-chloro-2',6'-diethylacetanilid
Aminomethylphosphonsyre (AMPA)	1066-51-9	-	Organo phosphorous nedb.	-	-			

2,4 dichlorphenol	120-83-2	-	Phenoxyisyre nedb.	-	-	Potentielt	Fisk: 96h LC ₅₀ = 5.5mg/l ^{e)}	
Desisopropylatrazin	1014-69-3	-	Triazin nedb.	-	-			
Desethylatrazin		-	Triazin nedb.	-	-			
2,6- dichlorbenzamid (BAM)	2008-58-4	-	Nitril nedb.	-	-		Fisk: LC ₅₀ = 235-346 mg/l ^{f)}	
4-chloro-2- methylphenol		-	Phenoxyisyre nedb	-	-	Potentielt		

Stof	Molær vægt ^{b)}	K _{oc} [l/kg] ⁱ⁾	Log K _{ow} ^{b)}	Opløselighed [mg/l] ^{b)}	Opløselighed [mg/l] ⁱ⁾	Log K _{ow} ^{b)}	Opløselighed [mg/l] ^{b)}	Opløselighed [mg/l] ⁱ⁾	pK _a ^{b)}	K _H ^{b)} [Pa m ³ mol ⁻¹]	Soil DT ₅₀ ⁱ⁾ [dage]
Dichlorprop	235,1	1000	1,77	350 ved 20°C			50		3	-	10
MCPA	200,6		0,46 pH 5	734 ved 25°C					3,07	-	25
Mechlorprop	214,6	20	0,1004 pH 7	734 ved 25°C			660,000		3,78 20-25 °C	-	21
2,4-D	221,0	20, 109 ^{h)}	2,58-2,83 pH 1	600 ved 20°C pH 1			890		2,73	-	10
Glyphosat	169,1	24.000 ^{h)}	<-3,4	11.600 ved 25°C			900.000		1-0,8; 2-3,0; 3-6,0; 4-11	-	≤ 14 (aerobic) ≤ 14-22 (anaerobic) ^{b)}
Isoproturon	206,3	129 ^{m)}	2,5 ved 20°C	65 ved 22°C			-		-	1,46x10 ⁻⁵	6-40 ^{m)}
Atrazin	215,7	100	2,5 ved 25°C	33 ved 22°C pH 7			33		1,7	1,5x10 ⁻⁴	60
Simazin	201,7	130	2,1 ved 25°C	6,2 ved 20°C pH 7			6,2		1,62 20°C	5,6x10 ⁻³	60
Cyanazin	240,7	190	2,1	171 ved 25°C			170		0,63	-	14
Bentazon	240,3	34 ⁿ⁾	0,77 pH 5 -0,46 pH 7	570 ved 20°C pH 7			-		3,3 24 °C	7,167x10 ⁻¹¹	40 ⁿ⁾
Ethofumesat	286,3	340	2,7 pH 6,5- 7,6 ved 25°C	50 ved 25°C			50		-	3,7-6,8x10 ⁻³	≤ 84-407 ^{b)}
Alachlor	269,8	170	3,09	242 ved 25°C			240		-	-	15
AMPA	111,04	-	-	-			-		-	-	-
2,4 dichlorphenol	163,01 ^{e)}	695 for 0,0025 mg/l ^{e)}	3,06 ^{e)}	4.600 ved 20°C ^{e)}			-		-	-	9 d ^{e)}
Desiopylatrazin	213,3	-	2,38	580 ved 20°C			-		4,0	4,8x10 ⁻⁵	-
Desethylatrazin	-	-	-	-			-		-	-	-
2,6-dichlorbenzamid (BAM)	190,03 ^{f)}	0 ^{f)}	-1,36 ^{f)}	-			-		-	-	660 d ^{f)}
4-chloro-2-methylphenol	-	-	-	-			-		-	-	-

Stof	Afgrøder ^{e)}	Dosering skøn gns. Kg- l vs/ha ^{e)}	Dodering interval Kg-l vs/ha ^{e)}	Forbudslisten og begrænsninger ^{f)}	Salg i DK 2000- 2002 [kg] ^{k)}
Dichlorprop	Korn/græs	3,0	2-4	<60 g as/ha/år	417 (2000)
MCPA	Korn/græs	2,5	1-4	<100 g as/ha/år	542.730
Mechlorprop	Korn/frøgræs	2,5	2-3	<100 g as/ha/år	17.038
2,4-D	Korn	1,5	0,5-3	<100 g as/ha/år	
Glyphosat	Korn/korsblom./græs/ ærter/plantager	1,25	0,8-3,5	-	2.628.125
Isoproturon	Korn	1,75		√	10.275 (2000)
Atrazin	Majs/udyrkede arealer	10	0,7-20	√	
Simazin	Planteskoler/ udyrkede arealer	1	0,5-10	-	53.620
Cyanazin	Ærter/raps/majs	0,5	0,2-0,75	√	0
Bentazon	Korn/græs	1		-	165.711
Alachlor	Raps	1,75		-	
Ethofumesat	Roer	1		-	56.624

Ifølge udvaskningskriteriet kan det være interessant at se på: 1,2-dichlorpropan (JD), aldicarb (I),

- Litteratur:
- a) PAN Pesticides database www.pesticideinfo.org
 - b) Tomlin C D S *The pesticide manual* eleventh edition, 1998
 - c) *Borningskontrol på vandværker* Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr.2 1997
 - d) EU's liste over 118 stoffer, der anses for at være hormonforstyrrende eller potentielt hormonforstyrrende, Miljøstyrelsen <http://www.mst.dk>
 - e) Verschaueren Karl, *Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals*, 3rd edition, 1996

- f) *Nedbrydning og sorption af dichlobenil og BAM- litteraturopsamling samt laboratorieforsøg*, Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 35, 2002 <http://www.mst.dk>
- g) International Occupational Safety and Health Information Centre (CIS) http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/icsc/dtasht/_icsc04/icsc0438.htm
- h) Monsanto, *Background - Glyphosate and Environmental Fate Studies*, April 2003 http://www.monsanto.com/monsanto/content/products/productivity/roundup/gly_efate_bkg.pdf
- i) Oregon State University (OSU) Extension Pesticide Properties Database <http://npic.orst.edu/ppdmove.htm>
- j) Miljøstyrelsen, *Forbudte stoffer i bekæmpelsesmidler – Forbudslisten*, Opdateret 04/09/03 <http://www.mst.dk/kemi/01030600.htm>
- k) Miljøstyrelsen, *Bekæmpelsesmiddelstatistik 2002*, Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 5, 2003
- l) HSDB <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/f?./temp/~Rv9XpN:1>
- m) Miljøministeriet, *Godkendelse af Isoproturon 1990*, <http://www.itass.dk/are.htm>
- n) Thorsen M., Hansen S. og Refsgaard J.C., GEUS, ”Modellering af pesticidnedrivning til grundvand”, Det strategiske miljøforskningsprogram, april 2000 http://www.geus.dk/grundvandsgruppen/smp_42_p_32_35.pdf

Appendiks B
Paradigma for
undersøgelser

Indhold

FORORD	67
1.1 FORMÅL	67
1.2 AFGRÆNSNING	67
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	68
2 HISTORISK REDEGØRELSE	70
2.1 HÅNDTERINGEN AF PESTICIDER	70
2.2 ANDRE FORHOLD DER SKAL KORTLÆGGES FORUD FOR FORURENINGSUUNDERSØGELSER	71
3 ANALYSEPROGRAM	73
3.1 JORD	73
3.2 DDT, DDD OG DDE	74
3.3 UMÆTTET ZONE	74
3.4 GRUNDTVAND	74
3.5 BØRINGSKONTROL	74
4 FELTARBEJDE	78
4.1 BOREMETODER	78
4.2 AFSLUTNING AF BOREARBEJDE	78
5 STRATEGI FOR INDLEDENDE UNDERSØGELSER	80
6 ØKONOMISKE BETRAGTNINGER	83
7 KONKLUSION	84
7.1 HISTORISK REDEGØRELSE	84
7.2 BOREMETODER	84
7.3 HYDROLOGISKE FORHOLD	84
7.4 ANALYSEPROGRAM	84
8 REFERENCER	85

Forord

Nærværende appendiks beskriver forslag til paradigma for undersøgelser på pesticidpunktkilder. I princippet kan dette paradigma bruges ved undersøgelser på en lang række pesticidpunktkilder, men fokus er dog lagt på gårdspladser på landbrug/maskinstationer.

Ved pesticidpunktkilder er der en række forhold, der adskiller sig fra traditionelle forureningsundersøgelser på lokaliteter forurenede med olie- og benzinprodukter, metaller eller klorerede opløsningsmidler.

Karakteristika for en pesticidforurening på en gårdsplads er:

- At der findes en lang række af mulige kilder til forureningen.
- At forureningen kan bestå af et stort antal forskellige stoffer, der ikke er direkte knyttet til hinanden.
- At forureningen ofte er letopløselig i grundvandet.
- At forureningen typisk ikke kan detekteres visuelt, ved lugt eller ved feltmålinger.
- At forureningen kan have foregået siden 1950'erne.
- At potentielle kilder til forureningen typisk ikke vil kunne ses af byggesagsarkiv mv.

En historisk redegørelse vil således være et vigtigt redskab i planlægningen af forureningsundersøgelserne.

1.1 Formål

Formålet med nærværende paradigma er at give retningslinier for forureningsundersøgelser på pesticidpunktkilder, og således forsøge at sikre fyldestgørende og troværdige undersøgelser med optimalt forhold mellem pris og omfang.

1.2 Afgrænsning

Nærværende paradigma omhandler de indledende undersøgelser på en pesticidpunktkilde. Det er valgt at fokusere på gårdspladser på landbrug/maskinstationer, da det vurderes, at flowet af pesticider her har været/er størst. Samtidig er paradigmaet udarbejdet med henblik på at begrænse antallet af lokaliteter, der skal undersøges. Ved anvendelse af paradigmaet udvælges de kraftigste forureninger, der udgør den største trussel for grundvandet. Formålet er således at få størst muligt udbytte af undersøgelserne med færrest mulige midler. Med andre ord er det søgt at designe nærværende paradigma således, at betydende forureninger observeres med et minimum af undersøgelser.

Sammenfatning og konklusioner

Med udgangspunkt i litteraturstudium, gennemgang af forureningsundersøgelser på pesticidpunktkilder samt undersøgelser udført i forbindelse med Miljøstyrelsens Teknologiprojekt "Risikovurdering af pesticidpunktkilder" er der udarbejdet et paradigma for indledende undersøgelser på pesticidpunktkilder.

Det er valgt at fokusere på gårdspladser på landbrug/maskinstationer, idet der er et stort antal lokaliteter af denne type i Danmark. Derudover vurderes det, at der i landbruget er håndteret langt større mængder af pesticider end f.eks. på planteskoler og i skovbrug.

Paradigmaet omhandler minimumsindhold af den historiske redegørelse, indhold af hydrologisk kortlægning, forslag til analyseprogram, vurdering af egnede boremetoder samt strategi for udførelsen af selve undersøgelsen.

Endelig behandles dele af videregående forureningsundersøgelser, der er specifikke for pesticidpunktkilder.

2 Historisk redegørelse

De såkaldte 2. generationspesticider blev introduceret omkring 1960. Siden da kan der på gårdspladser have været håndteret denne type pesticider med risiko for forurening af grundvandsmagasinet til følge. Typen af pesticider, afgrødesammensætningen på bedrifter, sprøjtetyper etc. har ændret sig gennem hele perioden, og det er således komplekst at skabe et fuldstændigt overblik over håndteringen af pesticider på en given lokalitet.

2.1 Håndteringen af pesticider

NIRAS foretog i 2005 en kortlægning af flow af pesticider og potentielle spild på gårdspladser. Heraf fremgår det, at pesticidpunktkilder typisk kan opdeles i regelmæssige spild og spild relateret til uheld, se tabel 1:

Regelmæssige spild	Uregelmæssige spil
Opbevaring	Uheld
Påfyldning af sprøjte	Bortskaffelse af pesticider
Vask af sprøjte	
Kemisk renholdelse af gårdsplads og fundamenter	

Tabel 1. Typiske kilder til forurening med pesticider på en gårdsplads.

For at udføre en detaljeret kortlægning af flowet og tabet af pesticider på en given lokalitet kan anvendes det omfattende spørgeskema, som er vist i bilag 1. Det har i praksis vist sig, at det sjældent er muligt at indhente alle oplysningerne. Typisk mangler der oplysninger om, hvilke pesticider og hvilke mængder, der har været håndteret på en given lokalitet. Desuden er der oftest ingen eller kun få oplysninger om uheld eller affaldsbortskaffelse af ældre dato.

I NIRAS blev det i 2005 vurderet, at de mest betydningsfulde spild af pesticider typisk kan relateres til påfyldning og vask af sprøjter, herunder udledning af restsprøjtevæske, og således direkte til forholdene på vaskepladsen. I tabel 2 er der således listet en række forhold, som det vil være realistisk at kortlægge ved udarbejdelse af en historisk redegørelse for en gårdsplads. Nedenstående forhold må som minimum være kendt forud for forureningsundersøgelser af gårdspladser.

Kilder	Punkter der skal afklares
Ejerforhold	Hvilke ejere har der været på lokaliteten siden 1950 ?
Pesticider/typer	Har der været håndteret pesticider (tidsperiode) ? Hvilken type bedrift har været drevet fra lokaliteten ?
Opbevaring af pesticider	Hvor har pesticider været opbevaret (tidligere og nu). Hvordan er forholdene i opbevaringsrummet, og har der været mellemdæponi ?
Påfyldning og vask	Hvor sker påfyldning og hvorledes (tidligere og nu) ? Hvor foregår vask (tidligere og nu) ? Hvilke typer sprøjter anvendes/har været anvendt ? Hvilken praksis har der været vedrørende sprøjten ved afgrødeskift ? Er der skylletank på pesticidesprøjten ? Hvor hyppigt har der været udført vask (indvendig og udvendig) ? Hvordan er restsprøjtevæske håndteret ? Hvordan er afløbsforholdene fra vaskepladsen ?
Renholdelse af gårdsplads	Har gårdsplads, fundament etc. været renholdt med pesticider. Med hvilke pesticider, hvor ofte og med hånd- eller marksprøjte /evt. begge dele.
Dæponi	Hvordan er pesticider bortskaffet (tidligere og nu) ?
Uheld	Er der forekommet uheld i forbindelse med håndtering af pesticider ?

Tabel 2. Minimumsindhold af historisk redegørelse.

2.2 Andre forhold der skal kortlægges forud for forureningsundersøgelser

Der er en række andre forhold, det er nødvendigt at kortlægge forud for forureningsundersøgelser på en gårdsplads, hvor der er potentielle punktkilder. Nogle af de herunder listede forhold kan ikke altid kortlægges præcist forud for undersøgelsen, men skal afklares senest i løbet af undersøgelsen.

Det er vigtigt at kortlægge de geologiske forhold på lokaliteten. Herunder tilstedeværende grundvandsmagasiner, tykkelse af dæklag mv. I forbindelse med selve undersøgelsen skal man være opmærksom på, at der typisk har været udført en del anlægsarbejder på gårdspladser, hvilket kan have resulteret i betydelig jordflytning, opfyldning etc.

Da pesticider ofte er mobile i grundvandet og typisk ikke kan kortlægges ved feltmetoder, er det vigtigt, at der kortlægges en række hydrologiske forhold. Overordnet skal dybden af den umættede zone samt strømningsretningen for primære og sekundære magasiner kortlægges. I den forbindelse er det nødvendigt at forholde sig til helt lokale faktorer, der kan have betydning for strømningsretningen, herunder:

- Tørbrønde, f.eks. i forbindelse med kornsiloer. En sådan tørbrønd kan lokalt kontrollere grundvandsstrømningen.
- Dræn kan ligeledes kontrollere strømningsretningen i terrænnære grundvandsmagasiner.
- Private indvindinger tæt på gårdspladsen kan være betydelige, specielt på bedrifter med større dyrebesætninger.
- Flere gårdspladser er indrettet således, at de hælder til brønd. Dette kan medføre øget nedsivning og fungere som kortslutning af den umættede zone.
- Der er store tagarealer på mange gårdspladser. Dette kan resultere i, at betydelige mængder vand bliver tilført overfladen i små områder. Dette skyldes, at mange tagrender ofte har direkte udløb, uden at være forbundet med kloaksystemet. I nogle tilfælde eksisterer der slet ikke tagrender.

Ud over de hydrologiske forhold kan der være lokale forhold, der har stor indvirkning på de grundvandskemiske forhold i terrænnære magasiner under en gårdsplads. Det drejer sig om opbevaring af ensilage, møddinger, gyllebeholdere, ajlebeholder samt opbevaring af kunstgødning.

På en gårdsplads har der udover pesticider typisk været håndteret andre miljøfremmede stoffer, der kan give anledning til forurening. Det drejer sig om olie og benzin fra maskiner (herunder olietanke), metaller fra bejdsning eller mindre værkstedsdrift etc.

3 Analyseprogram

Som nævnt i indledningen er mange punktkildeforureninger kendetegnet ved et stort antal af stoffer, hvoraf mange ikke direkte kan relateres til hinanden. Der er i det terrænnære grundvand observeret op til 52 forskellige pesticider på en gårdsplads (Bay og Hansen, 2002). Således vil et analyseprogram ideelt set omfatte alle de pesticider, der er anvendt i Danmark siden 1960'erne, men dette er selvsagt ikke muligt i praksis. Endvidere er analyser for pesticider relativt dyre. Således er omkostninger til analyser typisk en afgørende faktor i forbindelse med forureningsundersøgelser af pesticidpunktkilder. Dette er derfor et væsentligt incitament til at optimere analysepakkerne.

3.1 Jord

Traditionelt anvendes jordprøver i undersøgelser til tre formål:

- Blandeprøver fra terrænoverfladen anvendes til at undersøge, om der er sket forurening på lokaliteten.
- Jordprøver fra terrænoverfladen og til ca. 1 m u.t. anvendes til at undersøge, hvorvidt en given forurening udgør en risiko over for følsom arealanvendelse.
- Jordprøver anvendes til at vurdere kildestyrken.

I forbindelse med nærværende projekt er der analyseret jordprøver fra 0 – 0,5 m u.t. på vaskepladser, hvor det specifikt vides, at vask af sprøjter er foregået på ubefæstet jord. Under disse vaskepladser er der konstateret pesticider i koncentrationer på 1 – 12 mg/kg TS. Der er således konstateret forurening under vaskepladser som følge af håndteringen af pesticider. På trods heraf konstateres ikke pesticider i jordprøver udtaget fra de øvre 0,5 m u.t. Årsagerne hertil er sandsynligvis flere, herunder:

- Langt hovedparten af pesticider omsættes hurtigt i rodzonen
- Detektionsgrænsen for pesticider i jord er forholdsvis høj > 5 mg/kg TS
- Selv på en vaskeplads kan der være tale om spild koncentreret på et lille areal

Endvidere er de få kvalitetskriterier, der findes for pesticider, typisk omkring 1 mg/kg TS (Miljøstyrelsen, 2003), se tabel 3. Således bør jordprøver fra terrænoverfladen som udgangspunkt ikke indgå i forureningsundersøgelser på gårdspladser.

Pesticid	Koncentration [mg/kgTS]
DDT + DDD + DDE	0,5
Lindan	0,6
Paraquat	5
Parathion	0,1

Tabel 3. Kvalitetskriterier for jord opsat af Miljøstyrelsen juli 2003.

3.2 DDT, DDD og DDE

Er der ved den historiske redegørelse fremkommet oplysninger om, at 1. generationspesticider, herunder tjære og metaller eller DDT, har været anvendt, vil det være relevant med jordprøver fra terræn. Der findes således flere eksempler på, at DDT er fundet i høje koncentrationer, specielt på tidligere dyppepladser (Bay og Hansen, 2001; Amternes Videncenter for Jordforurening, 2000).

Der er eksempler på, at der ved kraftige grundvandsforureninger med pesticider er konstateret betydelige koncentrationer af pesticider i jordmatricen under grundvandsspejlet. I forbindelse med vurdering af kildestyrke ved betydende pesticidforureninger kan det således være relevant at analysere jordprøver fra området omkring grundvandsspejlet. Analyseprogrammet afhænger af, hvilke pesticider der er observeret ved tidligere undersøgelser.

3.3 Umættet zone

Udtagning af vand fra den umættede zone er alene relevant i forbindelse med videregående undersøgelser. Helveg m.fl. (2001) har observeret høje koncentrationer af pesticider i porevandet under aktive vaskepladser. Det er vigtigt i den forbindelse at være opmærksom på, at sugeceller har forskellige fordele og ulemper mht. responstid, sorption af pesticider mv., se bilag 2. Karakteristisk for arbejdet med sugeceller er, at det kan være problematisk at udtage tilstrækkeligt med vand. Derfor er det relevant at anvende laboratorier, der kan udføre analyser på små vandmængder og samtidig har de lavest mulige detektionsgrænser på analyserne.

3.4 Grundvand

Som tidligere nævnt, kan der observeres et stort antal af forskellige pesticider på en punktkilde. Derfor vil det som udgangspunkt være relevant at anvende brede analyseprogrammer. I praksis har det vist sig, at kraftige punktkildeforureninger (>50 – 100 µg/l) typisk vil indeholde phenoxysyrer, bentazon, isoproturon mv. (Bay og Hansen, 2002).

Herudover er der i forbindelse med dette projekt gennemgået undersøgelser fra en række lokaliteter, der er forurenede med pesticider. På to af lokaliteterne er der udelukkende observeret høje koncentrationer af glyphosat og AMPA.

3.5 Boringskontrol

Et godt udgangspunkt for et analyseprogram er således den boringskontrol, der er foreslået til kontrol på vandværker (Miljøstyrelsen, 1997), kombineret med analyse for glyphosat og AMPA, se tabel 4. Såfremt der er økonomisk råderum, vil et bredere analyseprogram være relevant. Udgangspunktet for et sådant analyseprogram vil være overvågningsprogrammet anvendt i forbindelse med NOVANA.

Ved videregående undersøgelser er det naturligvis muligt at udarbejde mere målrettede analyseprogrammer. Således vil det være relevant at foretage en screening af flest mulige pesticider i hot spot. Endvidere kan det være relevant at anvende begrænsede, og dermed billigere, analyseprogrammer til

afgrænsning af forureningen. Her kan tages udgangspunkt i de stoffer, der forekommer i de højeste koncentrationer i hot spot.

Aktivstoffer	Aktivstoffer	Nedbrydningsprodukter
2,4-D	Isoproturon	Desethylatrazin
Atrazin	MCPA	Desisopropylatrazin
Bentazon	Mechlorprop	Hydroxyatrazin
Cyanazin	Metamitron	4-chlor-2-methylphenol
Dichlobenil	Pendimethalin	2,4-dichlorphenol
Dichlorprop	Simazin	2,6-dichlorbenzamid (BAM)
Dimethoat	Terbutylazin	
Dinoseb	Glyphosat	
DNOC	AMPA	
Hexazinon		

Tabel 4. Stoffer der kan medtages i analyseprogram. Markeret med blå er stoffer, hvor alle de undersøgte betydende pesticidpunktkilder ville være observeret, ekskl. glyphosat og AMPA. Stoffer markeret med rød og blå udgør tilsammen boringskontrollen.

I praksis har det vist sig, at en stor del af de kraftige pesticidpunktkilder, der observeres, udgøres af phenoxysyrer (Bay og Hansen, 1999; Splid m.fl., 1998). Der er i litteraturen rapporteret om nedbrydning af phenoxysyrer i terrænnære grundvandsmagasiner (Rügge og Agertved, 1993; Broholm m.fl., 2001). Ved undersøgelser fokuseret på nedbrydning af phenoxysyrer er det vigtigt at forholde sig til, at flere nedbrydningsprodukter fra phenoxysyrer ligeledes findes som urenheder fra produktionen. F.eks. angiver Reitzel m.fl. (2003), at stoffet 2,4-dichlorphenol kan findes som urenhed i op til 8,4% i moderstoffet 2,4-dichlorprop. Indholdet af urenhederne har været forskelligt fra produktion til produktion, men generelt har indholdet af urenheder været højere, jo længere tilbage i tiden produktionen har foregået (Reitzel m.fl., 2003). I tabel 5 er listet relevante phenoxysyrer og nedbrydningsprodukter/urenheder ved videregående undersøgelser af pesticidforurening med phenoxysyrer.

Phenoxysyrer	Nedbrydningsprodukter og urenheder	
2,4-D	2,4-dichlorphenol	6-C-2-MPP
Dichlorprop	4-chlor-2 methylphenol	2,6-DCPP
MCPA	2-CPP	
Mechlorprop	4-CPP	

Tabel 5. Relevante phenoxysyrer, nedbrydningsprodukter og urenheder fra phenoxysyrer.

På linie med videregående undersøgelser af lokaliteter forurenet med olieprodukter, klorerede forbindelser etc., er der en række parametre, som vil være relevante at medtage i analyseprogrammer. Det drejer sig om feltmålinger for temperatur, redoxpotential, ledningsevne, pH og ilt, samt analyse for redoxfølsomme parametre (nitrat, mangan, jern, sulfat, metan etc.)

4 Feltarbejde

4.1 Boremetoder

Mange forureningsundersøgelser udføres på lokaliteter, hvor pesticider fortsat anvendes. Der kan være tale om landbrug, hvor pesticider systematisk anvendes på bedriften. Der kan endvidere være tale om nedlagte landbrug, hvor pesticider anvendes til renholdelse af gårdsplads og fundamenter. Her anvendes ofte Round Up (Glyphosat).

Tidligere er det beskrevet, at det ikke har været muligt at finde pesticider i jordprøver fra topjorden, selv på aktive vaskepladser. Men det er kendt, at et stof som glyphosat har høje bindingsegenskaber til jorden, og der vil derfor kunne spores glyphosat i topjorden kort efter anvendelsen. For at sikre troværdigheden af de udførte undersøgelser, vil det være hensigtsmæssigt at anvende forede boringer. Herved mindskes også risikoen for at forurene grundvandet med topjord evt. forurennet med pesticider.

Der findes en række andre boremetoder, der kan være interessante i forbindelse med forureningsundersøgelser på pesticidforurenede lokaliteter. Rammeboringer, som f.eks. Geoprobeboringer, vil være interessante, dels fordi disse minimerer muligheden for, at overjord kan kontaminere vandprøverne, og dels fordi der ved rammeboringer hurtigt og billigt kan udtages et større antal vandprøver.

Ved rammeboringer fås ikke en geologisk beskrivelse af de gennemborede jordlag. Men i forbindelse med forureningsundersøgelser på pesticidpunktkilder vil der dog heller ikke være samme fokus på den visuelle bedømmelse af forureningsudbredelsen i de forskellige jordlag. For at få en forståelse af de geologiske forhold, kan det dog på lokaliteter med flere magasiner og kompliceret geologi være nødvendigt at udtage jordkerner eller anvende forede boringer.

4.2 Afslutning af borearbejde

Der er en vis sandsynlighed for, at der vil blive anvendt pesticider omkring de miljøtekniske boringer. Dette stiller store krav til afslutningen af boringerne, som naturligvis skal være kørefaste og endvidere forsvarligt afproppet med bentonit. Endelig bør selve blindrøret være afsluttet med tæt prop, evt. med lås.

Det er tidligere beskrevet, at kendskabet til de hydrologiske forhold er vigtigt. Derfor bør de boringer, der udføres i forbindelse med undersøgelser på pesticidpunktkilder, indmåles og nivelleres, f.eks. ved anvendelse af GPS (x, y, z-koordinater). Der kan ofte være tale om en ganske lille hældning af grundvandsspejlet, hvorfor indmålingen bør være så præcis som mulig, og gerne med en usikkerhed på mindre end 5 cm.

Herved vil der være størst mulighed for at udarbejde et korrekt potentialekort.

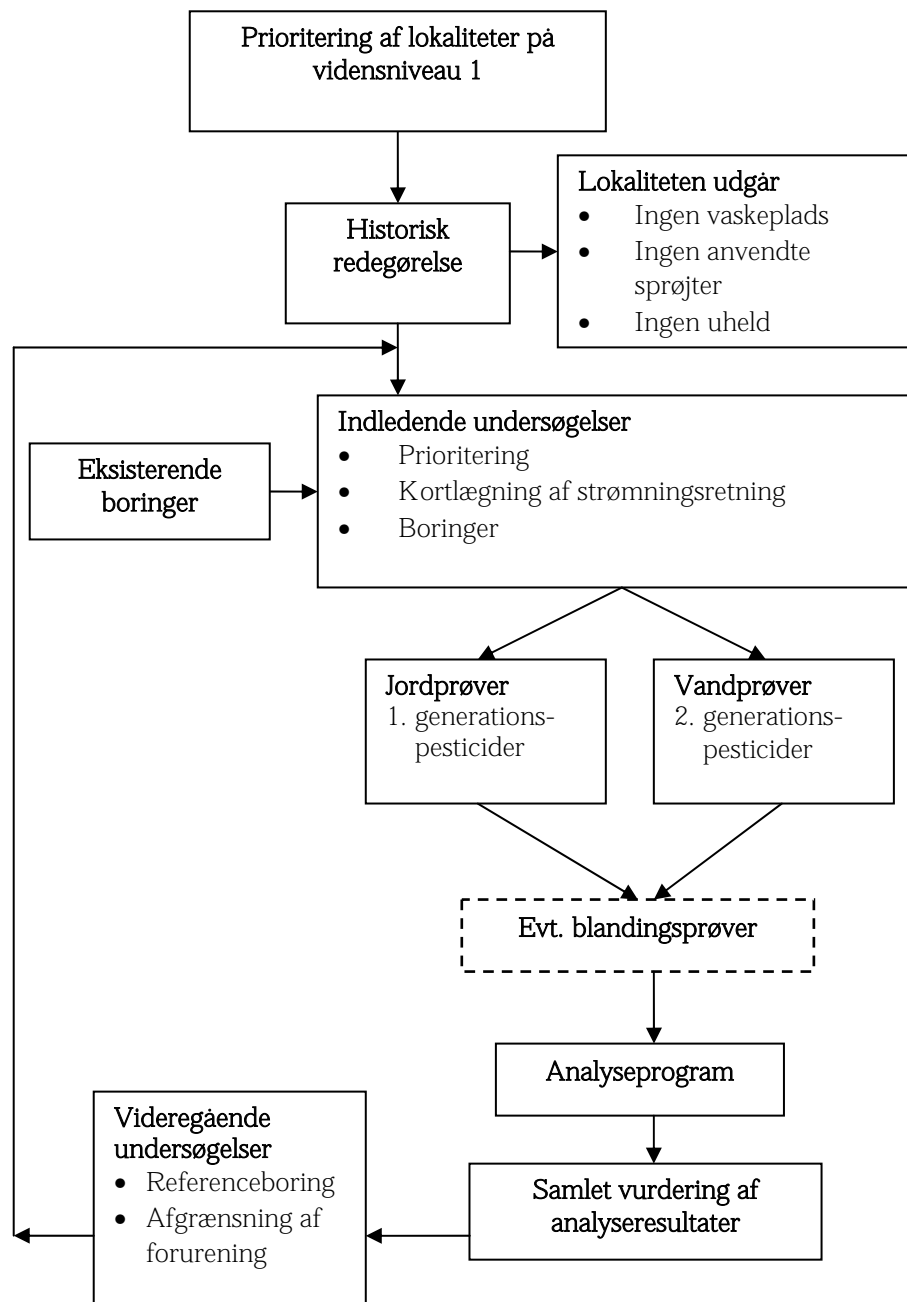
Endvidere foregår der aktivt arbejde på mange gårdspladser. Der kan tilføres et nyt lag perlesten, gårdspladsen kan blive harvet (med landbrugsmaskiner) mv. Står boringerne i udkanten af gårdspladsen, kan det være, at et tilstødende areal pløjes. Det er derfor vigtigt at have en solid afslutning, f.eks. betonring, om indmålte boringer, så disse kan genfindes.

Ved videregående undersøgelser viser det sig hurtigt, at analyseomkostninger er en betydelig post. Med kendskab til magasinets hydrauliske parametre og potentialeforholdene kan der gives et bud på grundvandshastighed og retning. Dette kan medvirke til at begrænse antallet af analyser for en tilstrækkelig afgrænsning. Det vil derfor, udover pejling af samtlige boringer, være hensigtsmæssigt også at udføre f.eks. slug test, prøvepumpning og tilbagepejling på enkelte af de udførte boringer for at bestemme magasinets hydrauliske parametre.

Prøvetagning bør følge de normale forskrifter (Amternes Videncenter for Jordforurening, 2003). Særlig vigtigt er det at være opmærksom på, at pesticider typisk kan analyseres ned til 0,01 µg/l. Er der således observeret 50 – 100 µg/l i et hot spot, kan selv en lille mængde vand ved kontaminering bidrage til positive fund i ellers rene vandprøver. Anvendelse af engangsslanger/-pumper kan derfor øge sikkerheden for korrekte prøver.

5 Strategi for indledende undersøgelser

Nedenstående rutediagram illustrerer strategien for risikovurdering af pesticidpunktkilder. Efterfølgende bliver rutediagrammets overskrifter uddybet og forklaret.



Ud fra den historiske redegørelse vurderes det, om lokaliteten skal udgå eller der skal udføres indledende tekniske undersøgelser.

Lokaliteten udgår typisk, hvis der ikke er nogen vaskeplads, ikke er anvendt sprøjter eller rapporteret om uheld. Endvidere kan man (vælge at) fravælge lokaliteter ud fra den mængde af pesticider, der er håndteret. Det vil sige driftperiode for vaskeplads, størrelsen af ejendommen, og ikke mindst hvorledes restvæske fra sprøjter er håndteret.

Indledende forureningsundersøgelser koncentrerer sig typisk om det terrænnære øvre magasin. Dels er det her, de højeste koncentrationer typisk findes, dels er det billigere at foretage terrænnære undersøgelser. Endelig er det ikke hensigtsmæssigt at bore gennem hot spot for en ukendt kilde og videre til det primære magasin.

På gårdspladser findes ofte aktive, private enkeltindvindinger, ligesom der ofte findes ubenyttede brønde. Sidstnævnte kan udgøre en mulig kortslutning til dybereliggende magasiner, og der bør derfor udtages en prøve fra ubenyttede brønde.

En aktiv boring (enkeltindvinding, markvanding etc.) kan udgøre en volumenprøve fra de dybereliggende magasiner. Det kan være relevant at udtage en vandprøve herfra, idet det har vist sig, at over 50% af enkeltindvindingerne er kontamineret med pesticider (GEUS, 2002).

På denne baggrund skal man endvidere være forberedt på, at det kan/vil være nødvendigt at vurdere kvaliteten af eksisterende anlæg for at sikre troværdigheden af den udtagne vandprøve. Endvidere skal man være forberedt på, at mange vandforsyninger vil være forurenede med koncentrationer over drikkevandskvalitetskriterierne.

Ved de indledende undersøgelser foretages ofte en *prioritering* af indsatsen. Indledningsvist placeres de miljøtekniske boringer ud fra kendskabet til den overordnede *strømningsretning*. Fra disse boringer udtages der jord- og vandprøver til bestemmelse af forureningsniveauet, og boringerne pejles for en nærmere bestemmelse af den lokale strømningsretning.

Det er typisk på vaskepladser og herefter påfyldningspladser, at de største mængder af pesticider har været håndteret og spildt. Endvidere er affaldsdeponier og større uheld betydende kilder. Er det nødvendigt af økonomiske hensyn at prioritere enkelte områder, kan der derfor med fordel sættes på disse områder.

Ofte kendes den overordnede strømningsretning, hvilket er tilstrækkeligt til den indledende placering af miljøtekniske boringer. Er dette ikke tilfældet, kan det være nødvendigt at udføre en indledende undersøgelse med det formål at kortlægge strømningsretningen. Dette er dog også afhængigt af typen af punktkilder. På ubefæstede vaskepladser, affaldsdeponier mv. vil det i den indledende undersøgelse være tilstrækkeligt at udføre en boring direkte gennem det formodede hot spot til det terrænnære grundvandsmagasin.

Kendes strømningsretningen ikke, skal der som minimum filtersættes tre boringer, og gerne flere, således at der kan udarbejdes et potentialekort eller strømningsretningen i det mindste kan vurderes. Her er det vigtigt, at boringerne ikke installeres tæt på nedløbsrør fra tagarealer, hvor potentialeforholdene kan være påvirket. Samtidig skal man være opmærksom på, at en boring placeret på en vaskeplads er placeret i et område med potentiel stor nedsivning af vand. Eventuelle eksisterende boringer på lokaliteten kan her anvendes som supplement.

Som nævnt i tabel 1, findes der et stort antal potentielle kilder på en gårdsplads. Som udgangspunkt bør der udføres minimum én foret boring nedstrøms hver potentiel kilde. Ud fra den historiske redegørelse vurderes det, hvilken type af pesticider der er anvendt gennem tiden, og på denne baggrund fastsættes den videre prøveudtagning.

Som udgangspunkt bør boringer filtersættes umiddelbart under grundvandsspejlet. For at fastslå kildestyrken, kan det som tidligere nævnt være relevant at udtage jordprøver lige omkring grundvandsspejlet, men udgangspunktet for en undersøgelse vil normalt være udtagning af vandprøver.

Tidligere undersøgelser har vist, at pesticid-punktkildeforureninger kan være meget kraftige. Ved størstedelen af punktkilderne findes pesticider i koncentrationer på 1 – 10 µg/l. Herudover findes der på et mindre antal lokaliteter pesticider i koncentrationer på 50 – 100 µg/l, og endelig er der på enkelte lokaliteter fundet koncentrationer på op til 500 – 1000 µg/l.

Formålet med en forureningsundersøgelse er typisk at kortlægge betydende forureninger. Afhængigt af afstanden til nærmeste vandværk, tyder meget på, at det vil være interessant at undersøge lokaliteter, hvor koncentrationen af pesticider er > 50 – 100 µg/l. Her er der tale om i størrelsesordenen 1 lokalitet for hver 10 undersøgte (Bay og Hansen, 2001). For at minimere omkostningerne ved de indledende undersøgelser kan man således vælge at anvende blandingsprøver. Installerer f.eks. 5 boringer på en lokalitet, kan det således være hensigtsmæssigt indledende at udtage en blandingsprøve som en screening. Man kan samtidig vælge at anvende et bredt analyseprogram.

Som udgangspunkt kan et analyseprogram ikke være for omfattende, men Miljøstyrelsens boringskontrol kombineret med analyse for glyphosat og AMPA er et godt udgangspunkt. Gennemgang af tidligere undersøgelser viser således, at ovenstående analyseprogram ville have identificeret alle kendte, betydende pesticidpunktkildeforureninger relateret til landbrug (Bay og Hansen 2002).

De punktkilder, som det vil være hensigtsmæssigt at undersøge videre, vil typisk have så høje koncentrationer af pesticider, at der ikke vil være tvivl om, at der er tale om en punktkilde.

På denne baggrund er det derfor ikke strengt nødvendigt at udføre en *referenceboring* opstrøms lokaliteten. Denne kan dog være nyttig ved udarbejdelse af potentialekort, og som referenceboring ved videregående forureningsundersøgelser.

Herudover kan referenceboringen være nyttig i forbindelse med *afgrænsning* af forureningsens udbredelse. Til fastlæggelse af forureningsudbredelsen, placeres der ud fra det nærmere kendskab til de lokale strømningsforhold en række supplerende boringer omkring hot spot.

6 Økonomiske betragtninger

I den foreslåede strategi er der foretaget nogle valg, som bunder i en økonomisk prioritering, der er foretaget under forudsætning af, at den foreslåede strategi sikrer, at alle kraftige pesticidforureninger findes.

For at belyse dette, er der i nedenstående tabel opstillet et overordnet budget for en forureningsundersøgelse.

Punkt	Boringskontrol	Boringskontrol + glyphosat/AMPA	NOVANA
Projektledelse	10.000	10.000	10.000
Historisk redegørelse	5.000	5.000	5.000
Feltarbejde			
Ledningsplaner	1.500	1.500	1.500
Borearbejde (1dag)	14.000	14.000	14.000
Tilsyn	4.000	4.000	4.000
Vandprøvetagning	3.000	3.000	3.000
Analyser (5 stk.)	9.000	15.000	22.500
Rapportering	15.000	15.000	15.000
Fjernelse boringer	3.000	3.000	3.000
Samlet	64.500	70.500	78.000

Tabel 6. Økonomisk overslag over forureningsundersøgelse.

De tre kolonner repræsenterer et overslag, hvor analysebakken udgøres af

1. boringskontrol (kr. 1800).
2. Boringskontrol + glyphosat/AMPA (kr. 3000).
3. NOVANA (kr. 4500).

Som det fremgår af tabellen, udgør analyseprogrammet mellem 14 og 30% af det samlede undersøgelsesbudget. Dette forudsætter, at der afsættes én boreddag pr. lokalitet, og at det er muligt at filtersætte 5 boringer.

Antallet af analyser og valg af analyseprogram går således hen og bliver en vigtig økonomisk parameter, hvorfor der i den foreslåede strategi er fokuseret på netop at minimere omkostningerne til analyser.

Erfaringen viser derimod, at det vil være problematisk at skære for meget i den historiske redegørelse, idet en tilstrækkelig historisk redegørelse ofte er baseret på fortrolighed med de interviewede. En god historisk redegørelse kræver således tid, og mere tid end der traditionelt er afsat til historiske redegørelse f.eks. for olie.

7 Konklusion

7.1 Historisk redegørelse

Den historiske redegørelse er fundamentet for undersøgelserne, idet der her indhentes oplysninger om håndteringen af stoffer, betydende kilder, hvilke stoffer, der har været anvendt på de enkelte bedrifter mv. Der findes en række potentielle kilder på en gårdsplads, men der bør være særlig stor fokus på påfyldning og vask af sprøjter.

7.2 Boremetoder

Det er nødvendigt at anvende forede boringer, eller andre boremetoder, der minimerer risikoen for at topjord kan kontaminere grundvandet. Det er nødvendigt at indmåle og nivellere boringerne, således at der kan udarbejdes et potentialekort, og endelig er det nødvendigt at anvende solide og tætte afslutninger.

7.3 Hydrologiske forhold

De hydrologiske forhold er vigtige for at være i stand til at vurdere kvaliteten af undersøgelsen. Derfor er en indledende vurdering af strømningsretning nødvendig. Der bør som minimum udføres tre boringer, således at (et bud på) en overordnet strømningsretning kan gives. I forbindelse med placering af boringer skal der tages hensyn til områder med særlig stor nedsivning af vand, afløb fra tagarealer og vaskeplads.

Som udgangspunkt er det nødvendigt at udføre én boring nedstrøms hver enkelt potentiel kilde. Er det af økonomiske grunde nødvendigt at prioritere, bør der være fokus på vaskeplads, påfyldningsplads og affaldsdeponi.

Alternativt kan det vælges at anvende blandingsprøver, hvorved betydende pesticidpunktkilder fortsat kan identificeres.

Endelig er det relevant at udtage prøver til analyse for pesticider fra eksisterende brønde og boringer. Prøver udtages dels som volumenprøver for det dybereliggende magasin, og dels for kontrol af, hvorvidt ubenyttede brønde udgør en kortslutning til grundvandsmagasinet.

7.4 Analyseprogram

Som udgangspunkt kan et analyseprogram ikke være for omfattende, men Miljøstyrelsens boringskontrol, kombineret med analyse for glyphosat og AMPA, er et godt udgangspunkt.

8 Referencer

Amternes Videncenter for Jordforurening (2000): Pesticidanvendelse i skovbruget. Branchebeskrivelse, 2000.

Amternes Videncenter for Jordforurening (2003): Håndbog i prøvetagning af jord og grundvand, Teknik og Administration.

Bay, H., Hansen, H. P., (2001). Gårdspladser og vaskepladser forurener grundvandet med pesticider. Vandteknik 1, feb. 2001.

Bay, H., Hansen, H. P., (2002). Hvilke pesticider finder man ved en pesticidpunktkilde, ATV-møde.

Broholm, M. M., Rügge, K., Tuxen, N., Højberg, A. L., Mosbæk, H., Bjerg, P. L. (2002): Fate of herbicides in a shallow aerobic aquifer: A continuous field injection experiment (Vejen, Denmark), Water Resources Research, Vol. 37, No. 12, Pages 3163 – 3176, December 2001.

GEUS (2002): Eksisterende brønde og boringer, Arbejdsrapport.
Helweg, A., Bay, H., Hansen, H. P. B., Rabølle, M., Sonnenborg, A., Stenvang, L. (2001): Pesticide pollution at and below sites used for mixing and loading. Environmental Analytical Chemistry.

NIRAS (2005): Risikovurdering af pesticidpunktkilder, Delopgave 1 - Historisk opgørelse af flow og potentielt spild af pesticider på gårdspladser, Miljøstyrelsens Teknologipuljeprojekt, 2005.

Miljøstyrelsen (1997): Vejledning nr. x2, Boringskontrol på vandværker.

Miljøstyrelsen (2003): Jord- og grundvandskvalitetskriterier, Notat, www.mst.dk.

Reitzel, L.A., Tuxen, N., Ledin, A. & Bjerg, P.L. (2003): Can degradation products be used as documentation for natural attenuation of phenoxy acids in groundwater? *Environmental Science & Technology*. In press.

Rügge, K. & Agertved, J. (1993): Nedbrydning af to pesticider i grundvand. *Vand og Miljø*, **10**, 107-111.

Bilag 1
Lokalitet 1

**Datagrundlag og beregninger af forureningskoncentration i grundvand
(med kendt forureningskoncentration) vha. JAGG-modellen***

Loklitet Lokaltet 1
NIRAS sag: 04.476.00
Beregning for: Bentazon
modelstof for

Trin Ib

Målt koncentration	C1,målt	0,042 mg/l
Filterlængde	l	0,25 m

Forureningskoncentration	C1	0,042 mg/l
Grænseværdi		0,0001 mg/l

Trin IIb

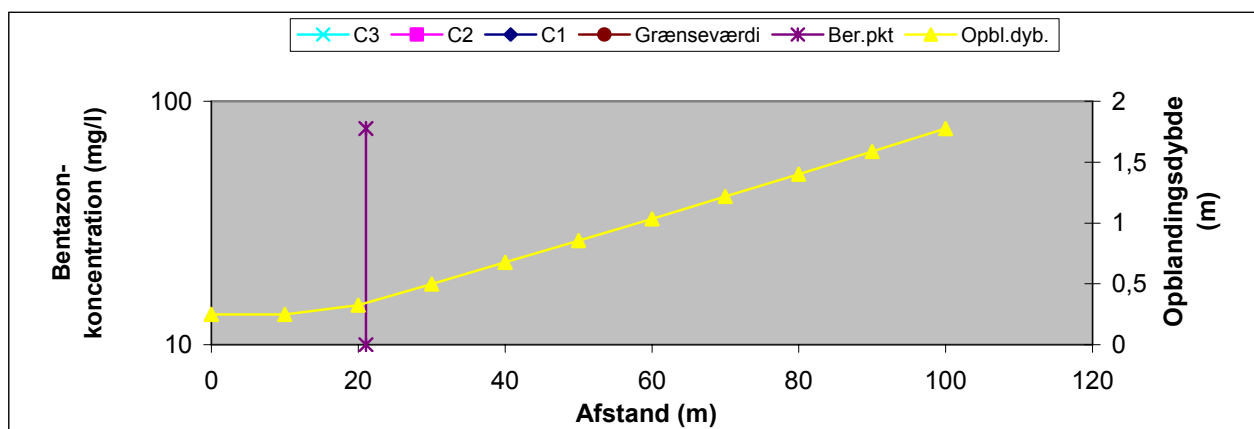
Hydraulisk ledningsevne	k	0,0001 m/s
Hydraulisk gradient	i	0,002
Effektiv porøsitet	e _{eff}	0,3
Tykk. grundvandsmagasin	max dm	4 m
Gnmsn. porevandshast.	VP	21,0384 m/år
Opblandingsdybde	dm	0,34 m

Forureningskoncentration	C2	0,031 mg/l
Grænseværdi		0,0001 mg/l

Trin III

1. ordens nedbrydning	k ₁	0 dag ⁻¹
Oktanolvand fordelingsk.	Log k _{ow}	0,77
Vandmættet porøsitet	e _w	0,45
Bulkmassefylde	rb	1,4575
Organisk indhold	f _{oc}	0,001
Fordelingskoefficient	log K _d	-3,0392
Afst. t. teoretisk beregn. pkt.	L	21,0384 m
Sorptionstid		0 366,3309019 dage

Konc. m. sorpt. og nedbr.	C3	0,031 mg/l
Grænseværdi	0	0,0001 mg/l



* "Risikovurdering af forurenede grunde, Excel-regneark", "Vejledning fra Miljøstyrelsen, Oprydning på forurenede lokaliteter nr. 6 1998", Miljøstyrelsen, Jordforureningskontoret, Strandgade 29, 1401 København K

**Datagrundlag og beregninger af forureningskoncentration i grundvand
(med kendt forureningskoncentration) vha. JAGG-modellen***

Loklitet Lokaltet 1
NIRAS sag: 04.476.00
Beregning for: Mechlorprop
modelstof for

Trin Ib

Målt koncentration C1,målt 0,4 mg/l
 Filterlængde l 0,25 m

Forureningskoncentration	C1	0,4 mg/l
Grænseværdi		0,0001 mg/l

Trin IIb

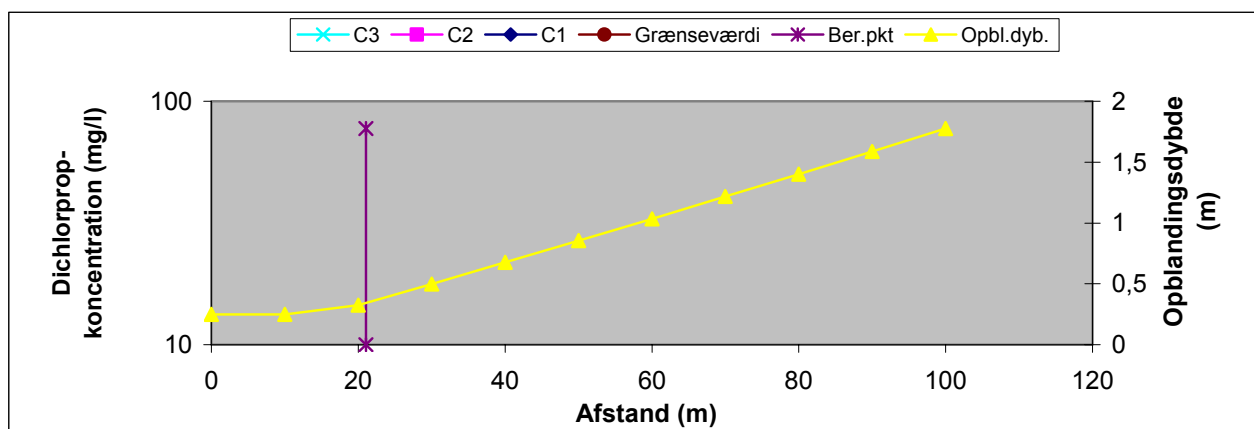
Hydraulisk ledningsevne k 0,0001 m/s
 Hydraulisk gradient i 0,002
 Effektiv porøsitet eeff 0,3
 Tykk. grundvandsmagasin max dm 4 m
 Gnmsn. porevandshast. VP 21,0384 m/år
 Opblandingsdybde dm 0,34 m

Forureningskoncentration	C2	0,292 mg/l
Grænseværdi		0,0001 mg/l

Trin III

1. ordens nedbrydning k1 0,001 dag⁻¹
 Oktanol/vand fordelingsk. Log kow 0,1004
 Vandmættet porøsitet ew 0,45
 Bulkmassefylde rb 1,4575
 Organisk indhold foc 0,001
 Fordelingskoefficient log Kd -3,735584
 Afst. t. teoretisk beregn. pkt. L 21,0384 m
 Sorptionstid 0 365,4674715 dage

Konc. m. sorpt. og nedbr.	C3	0,203 mg/l
Grænseværdi	0	0,0001 mg/l



* "Risikovurdering af forurenede grunde, Excel-regneark", "Vejledning fra Miljøstyrelsen, Oprydning på forurenede lokaliteter nr. 6 1998", Miljøstyrelsen, Jordforureningskontoret, Strandgade 29, 1401 København K

Bilag 2
Lokalitet 2

**Datagrundlag og beregninger af forureningskoncentration i grundvand
(med kendt forureningskoncentration) vha. JAGG-modellen***

Loklitet Lokaltet 2
NIRAS sag: 04.476.00
Beregning for: Bentazon
modelstof for

Trin Ib

Målt koncentration C1,målt 0,0057 mg/l
 Filterlængde l 0,25 m

Forureningskoncentration C1 0,0057 mg/l
 Grænseværdi 0,0001 mg/l

Trin IIb

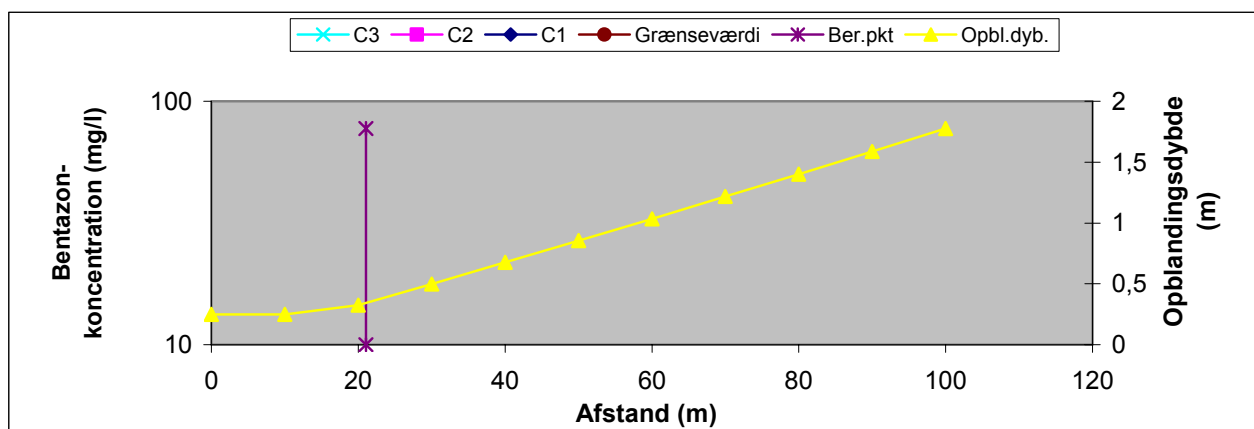
Hydraulisk ledningsevne k 0,0001 m/s
 Hydraulisk gradient i 0,002
 Effektiv porøsitet eeff 0,3
 Tykk. grundvandsmagasin max dm 10 m
 Gnmsn. porevandshast. VP 21,0384 m/år
 Opblandingsdybde dm 0,34 m

Forureningskoncentration C2 0,004 mg/l
 Grænseværdi 0,0001 mg/l

Trin III

1. ordens nedbrydning k1 0 dag⁻¹
 Oktanol/vand fordelingsk. Log kow 0,77
 Vandmættet porøsitet ew 0,45
 Bulkmassefylde rb 1,4575
 Organisk indhold foc 0,001
 Fordelingskoefficient log Kd -3,0392
 Afst. t. teoretisk beregn. pkt. L 21,0384 m
 Sorptionstid 0 366,3309019 dage

Konc. m. sorpt. og nedbr. C3 0,004 mg/l
 Grænseværdi 0 0,0001 mg/l



* "Risikovurdering af forurenede grunde, Excel-regneark", "Vejledning fra Miljøstyrelsen, Oprydning på forurenede lokaliteter nr. 6 1998", Miljøstyrelsen, Jordforureningskontoret, Strandgade 29, 1401 København K

**Datagrundlag og beregninger af forureningskoncentration i grundvand
(med kendt forureningskoncentration) vha. JAGG-modellen***

Loklitet Lokaltet 2
NIRAS sag: 04.476.00
Beregning for: Dichlorprop
modelstof for

Trin Ib

Målt koncentration	C1,målt	0,75 mg/l
Filterlængde	l	0,25 m

Forureningskoncentration	C1	0,75 mg/l
Grænseværdi		0,0001 mg/l

Trin IIb

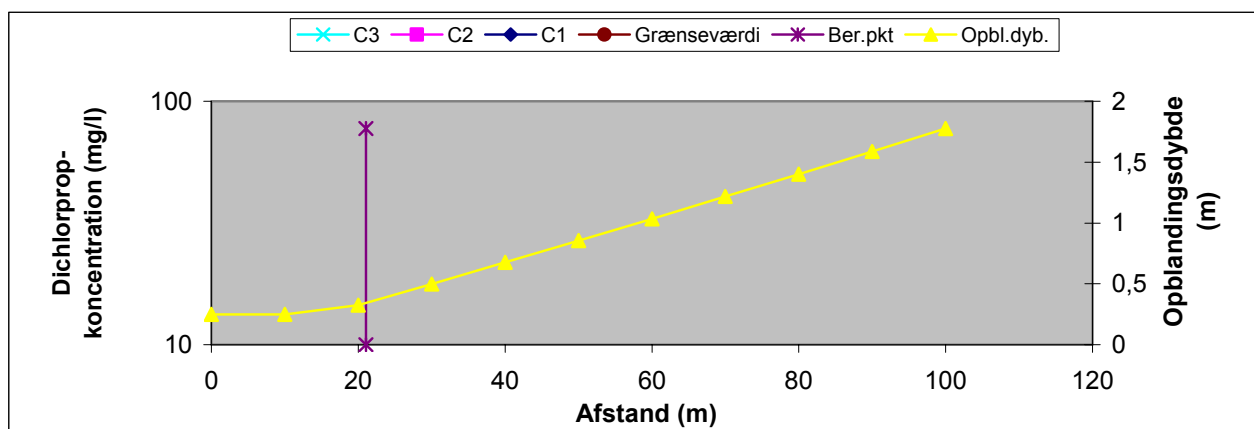
Hydraulisk ledningsevne	k	0,0001 m/s
Hydraulisk gradient	i	0,002
Effektiv porøsitet	e _{eff}	0,3
Tykk. grundvandsmagasin	max dm	10 m
Gnmsn. porevandshast.	VP	21,0384 m/år
Opblandingsdybde	dm	0,34 m

Forureningskoncentration	C2	0,548 mg/l
Grænseværdi		0,0001 mg/l

Trin III

1. ordens nedbrydning	k ₁	0,001 dag ⁻¹
Oktanolvand fordelingsk.	Log k _{ow}	1,77
Vandmættet porøsitet	e _w	0,45
Bulkmassefylde	rb	1,4575
Organisk indhold	f _{oc}	0,001
Fordelingskoefficient	log K _d	-1,9992
Afst. t. teoretisk beregn. pkt.	L	21,0384 m
Sorptionstid		0 377,1018535 dage

Konc. m. sorpt. og nedbr.	C3	0,376 mg/l
Grænseværdi	0	0,0001 mg/l



* "Risikovurdering af forurenede grunde, Excel-regneark", "Vejledning fra Miljøstyrelsen, Oprydning på forurenede lokaliteter nr. 6 1998", Miljøstyrelsen, Jordforureningskontoret, Strandgade 29, 1401 København K

Bilag 3
Lokalitet 3

Bilag 4
Generelle beregninger

**Datagrundlag og beregninger af forureningskoncentration i grundvand
(med kendt forureningskoncentration) vha. JAGG-modellen***

Loklitet **Generel - 10ug**
NIRAS sag: **04.476.00**
Beregning for: **Mechlorprop**
modelstof for

Trin Ib

Målt koncentration C1,målt 0,00001 mg/l
 Filterlængde l 0,25 m

Forureningskoncentration C1 0,00001 mg/l
 Grænseværdi 0,0001 mg/l

Trin IIb

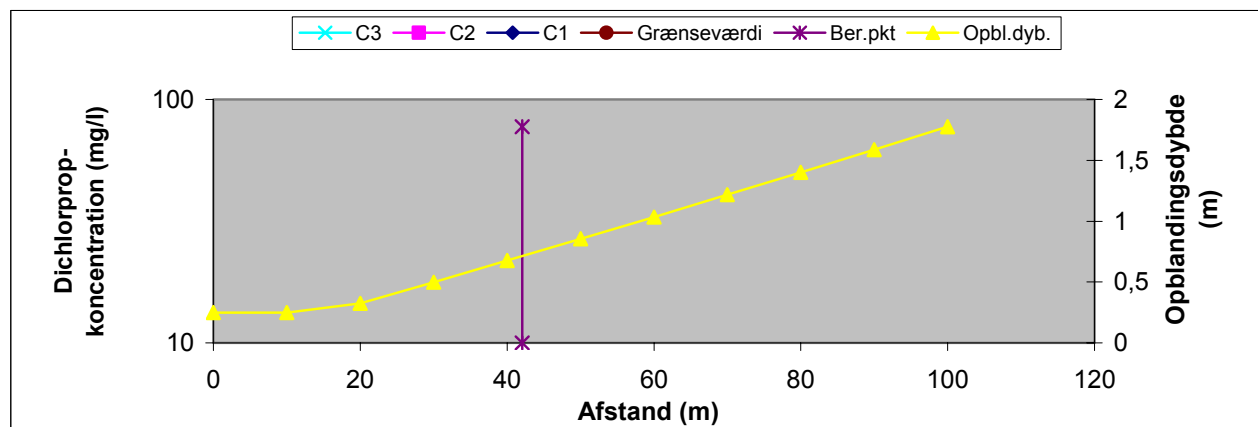
Hydraulisk ledningsevne k 0,0001 m/s
 Hydraulisk gradient i 0,004
 Effektiv porøsitet eeff 0,3
 Tykk. grundvandsmagasin max dm 30 m
 Gnmsn. porevandshast. VP 42,0768 m/år
 Opblandingsdybde dm 0,71 m

Forureningskoncentration C2 0,0000035 mg/l
 Grænseværdi 0,0001 mg/l

Trin III

1. ordens nedbrydning k1 0,001 dag⁻¹
 Oktanol/vand fordelingsk. Log kow 0,1004
 Vandmættet porøsitet ew 0,45
 Bulkmassefylde rb 1,4575
 Organisk indhold foc 0,001
 Fordelingskoefficient log Kd -3,735584
 Afst. t. teoretisk beregn. pkt. L 42,0768 m
 Sorptionstid 0 365,4674715 dage

Konc. m. sorpt. og nedbr. C3 0,0000024 mg/l
 Grænseværdi 0 0,0001 mg/l



* "Risikovurdering af forurenede grunde, Excel-regneark", "Vejledning fra Miljøstyrelsen, Oprydning på forurenede lokaliteter nr. 6 1998", Miljøstyrelsen, Jordforureningskontoret, Strandgade 29, 1401 København K

