

Miljøprojekt Nr. 844 2003  
Teknologiudviklingsprogrammet for  
jord- og grundvandsforurening.

## Forventelige pesticidkoncentrationer i jord efter erhvervsmæssig pesticidanvendelse

Pernille Christensen og Arne Helweg  
Danmarks JordbrugsForskning, Afdeling for Plantebeskyttelse

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

<b>INDHOLD</b>	<b>3</b>
<b>1 FORORD</b>	<b>5</b>
<b>2 SAMMENDRAG</b>	<b>7</b>
<b>3 SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>9</b>
<b>4 FORESLÅEDE KVALITETSKRITERIER FOR JORDFORURENING MED PESTICIDER</b>	<b>11</b>
<b>5 KONCENTRATIONER AF PESTICIDER PÅVIST I MILJØET</b>	<b>13</b>
<b>6 KILDER TIL PESTICIDFORURENING</b>	<b>15</b>
6.1 MARKSPRØJTNING	16
6.2 HAVER	19
6.3 SKOVBRUG	19
6.4 TOTAL UKRUDTSBEKÆMPELSE PÅ UDYRKEDE OG BEFÆSTEDE OMRÅDER	20
6.5 PESTICIDER ANVENDT TIL DYPNING AF NÅLETRÆER	21
6.6 PUNKTKILDER FRA VASKEPLADSER	21
6.7 PUNKTKILDER FRA DEPONERET AFFALD	22
6.8 DEPONERING FRA ATMOSFÆREN	23
<b>7 UDVÆLGELSE AF PESTICIDER</b>	<b>25</b>
<b>8 FORVENTEDE KONCENTRATIONSFALD</b>	<b>27</b>
8.1 MIKROBIOLOGISK NEDBRYDNING	27
8.2 KONCENTRATIONENS INDFLYDELSE PÅ NEDBRYDNINGEN	29
8.3 TEMPERATURENS INDFLYDELSE PÅ NEDBRYDNINGEN	30
8.4 UDVASKNING	30
8.5 AFSÆTNING AF PESTICIDER PÅ JORDEN	31
8.6 FORVENTELIGE PESTICIDKONCENTRATIONER	31
<b>9 KONKLUSION</b>	<b>39</b>
<b>10 REFERENCER</b>	<b>43</b>
<b>BILAG I. UDVÆLGELSE AF PESTICIDER</b>	<b>47</b>
<b>BILAG II. BEREGNET RESIDUALKONCENTRATION AF PESTICIDER EFTER ENKELT DOSERING</b>	<b>49</b>



# 1 Forord

Dette notat er skrevet i forbindelse med fastsættelsen af jordkvalitetskriterier for pesticider, og har det formål, at belyse hvilke koncentrationer man kan forvente at finde af en udvalgt gruppe pesticider, dels lige efter sprøjtning og dels til forskellige tider efter sprøjtning under hensyntagen til variationen i nedbrydningstider og doseringer. De beregnede koncentrationer sættes i relation til en antagelse om, at et generelt jordkvalitetskriterium på basis af humantoksikologiske overvejelser kunne fastlægges til 1mg/kg jord. Oplysningerne om almindelig anvendelse af pesticider i landbrug, skovbrug, havebrug og på befæstede arealer stammer primært fra "Bekæmpelsesmiddelstatistik 2001" (Miljøstyrelsen, 2002), "Ukrudtsbekæmpelse i havebrug og vedplantekulturer 2002" (Noyé, 2002), "Plantebeskyttelsesmidler 2001" (Danmarks JordbrugsForskning, 2001) og "Vejledning i planteværn 2002" (Danmarks JordbrugsForskning, 2002). Til beregningerne er anvendt de anbefalede doseringer fra "Plantebeskyttelsesmidler 2001" og nedbrydningstiderne ifølge "The ARS Pesticide Properties Database" (USDA, [www.arsusda.gov](http://www.arsusda.gov)) samt "The Pesticide Manual" (Tomlin, 1997).

Notatet gennemgår kort udgangspunktet for beregningen af det foreslåede jordkvalitetskriterium og giver en summarisk gennemgang af anvendelsen af pesticider i Danmark indenfor landbrug, skovbrug, havebrug, samt pesticider i punktkilder, på befæstede arealer og ved atmosfærisk deponering. De følgende afsnit indeholder beregninger af pesticidkoncentrationer i jord kort tid efter udsprøjtning og residualkoncentrationer efter 3 og 12 måneder. 3 måneder svarer til den maksimale halveringstid for godkendte pesticider, og 12 måneder svarer til en vækstsæson.

Der er udvalgt 13 pesticider fordelt på 8 herbicider, 3 fungicider, 1 insekticid og 1 vækstregulerende middel. Udvælgelsen er baseret på salgstallene for pesticider, således som de årligt indrapporteres til Miljøstyrelsen af firmaerne, samt arealstørrelsen af de områder hvorpå de er anvendt, som de er opgivet i "Bekæmpelsesmiddelstatistikken 2001" (Miljøstyrelsen, 2002). Landbruget udgør langt størstedelen af de dyrkede arealer, hvorfor denne anvendelse er valgt som den vigtigste. Pesticiderne repræsenterer den samlede danske pesticidanvendelse, hvad angår dosering, binding i jorden og stabilitet overfor nedbrydning. Minimidler er ikke medtaget, da de selv lige efter udbringning ikke vil nærme sig det foreslåede jordkvalitetskriterium. Residualkoncentrationerne af pesticiderne efter 3 og 12 måneder er beregnet med anvendelse af en 1. ordens nedbrydningsmodel. Beregninger med andre modeller kan give større residualkoncentrationer f.eks. fordi sorption af pesticider til jorden reducerer nedbrydningshastigheden (Fomsgaard, 1997 a). Desuden kan gentagne behandlinger indenfor en vækstsæson resultere i højere indhold i jorden, hvilket er søgt illustreret ved et enkelt eksempel (12 sprøjtninger med mancozeb).



## 2 Sammendrag

På grundlag af børns potentielle indtag af jord og sammenligning med et maksimalt indtag af pesticider gennem drikkevand og luft, er der foreslået et kvalitetskriterium for pesticider i jord på 1 mg/kg. Denne værdi har samme størrelsesorden, som de grænseværdier der er fastsat for frugt og grøntsager. For at undersøge, hvordan dette kriterium passer med de koncentrationer der vil forekomme i jord, er de forventelige koncentrationer af pesticider i jord efter erhvervsmæssig anvendelse beregnet for 13 udbredt anvendte pesticider, dels lige efter udbringning, dels efter 3 måneder og efter 12 måneder. Fjernelsen ved nedbrydning er beregnet gennem 1. ordens nedbrydning ved forskellige halveringstider opgivet i litteraturen og ved forskellige doseringer, angivet i danske vejledninger. Dertil kommer en beregning af residualkoncentrationen efter 12 gentagne sprøjtninger med samme pesticid, som det eksempelvis praktiseres i produktionen af kartofler. Koncentrationerne er beregnet på grundlag af, at al det udsprøjtede pesticid rammer jorden og opblandes i et jordlag på ca. 7 cm.

De beregnede koncentrationer strakte sig fra 0,05 til 3,2 mg/kg lige efter behandling, som følge af doseringer mellem 0,05 og 3,2 kg/ha. 3 måneder efter en enkelt sprøjtning med de 13 pesticider var det beregnede koncentrationsinterval fra under 1 ng/kg til 1,5 mg/kg, og 12 måneder efter sprøjtning fra under 1 ng/kg til 1 mg/kg, ved forskellige doseringer og halveringstider. Ved gentagen dosering (beregninger med mancozeb) strakte de beregnede residualkoncentrationer sig fra 2,7 mg/kg til 14,9 mg/kg umiddelbart efter 12. sprøjtning, og fra 0,6 µg/kg til 9,9 mg/kg 3 måneder efter den sidste sprøjtning, og 12 måneder efter den sidste sprøjtning fra under 1 ng/kg til 2,6 mg/kg, ved forskellige doseringer og halveringstider.

Overskridelser af det foreslåede jordkvalitetskriterium på 1 mg/kg forekom i 15 af 36 tilfælde umiddelbart efter en enkelt almindelig anvendelse af pesticider. 3 og 12 måneder efter en enkelt sprøjtning er middel residualkoncentrationen under kvalitetskriteriet, dog er der 4 af 90 kombinationer af anvendt mængde og halveringstid der overskrider jordkvalitetskriteriet efter 3 måneder. Der er ingen overskridelser af jordkvalitetskriteriet 12 måneder efter behandling. For gentagen dosering af pesticid er den estimerede residualkoncentration over jordkvalitetskriteriet umiddelbart efter sidste sprøjtning. 3 måneder efter sidste dosering overskrider de estimerede jordkoncentrationer det foreslåede jordkvalitetskriterium, ved beregninger med middel og høj halveringstid af alle doseringer, hvilket i alt er 6 af de 9 undersøgte kombinationer. 12 måneder efter sidste sprøjtning var de estimerede residualkoncentrationer under jordkvalitetskriteriet ved beregninger med lav og middel halveringstid, men ved lang halveringstid er 3 af de 9 kombinationer over jordkvalitetskriteriet.

Et jordkvalitetskriterium for pesticider i jord på 1 mg/kg, vil i langt de fleste tilfælde kunne overholdes ved almindelig anbefalet anvendelse på dyrket jord. Der vil forekomme overskridelser af jordkvalitetskriteriet umiddelbart efter sprøjtning og efter 3 måneder, især på arealer med gentagen sprøjtning, men kun i enkelte tilfælde efter 12 måneder (efter meget lange halveringstider). Et jordkvalitetskriterium på 1 mg/kg synes dermed, at kunne overholdes, når man

sammenligner med de residualkoncentrationer, man kan forvente at finde ca. et år efter normal landbrugsmæssig anvendelse af pesticider.

Der kan dog være basis for at være forsigtig ved vurdering af restindholdet af pesticider i kartoffelmarker, nedlagte frugtplantager o.l., hvor gentagne sprøjtninger indenfor en vækstsæson kan forventes at give højere residualkoncentrationer.

Der kan desuden forekomme særligt høje koncentrationer på arealer, hvor man har håndteret pesticider, f.eks. i forbindelse med fabrikation, påfyldning, salg, behandling af planter og frø, og hvor man har vaske- og fyldepladser for sprøjter. Uheld og fejlagtig anvendelse af pesticider kan forekomme ved både erhvervmæssig og privat pesticidanvendelse, hvorved disse arealer kan få status som punktkilder, men der er ikke tilstrækkelige data til at vurdere denne type pestidforurening.

Særlige forhold gælder, hvor pesticider er anvendt til ukrudtsbekæmpelse på befæstede arealer. Befæstede arealer er arealer uden plantedække, hvor muldlaget er fjernet og erstattet af sand, sten eller råjord med lavt indhold af organisk stof. På disse arealer kan der være anvendt meget høje doseringer, og nedbrydningen vil ofte være langsom. Der er ikke tilstrækkelige informationer til at foretage beregninger af nedbrydningshastigheder eller restindhold. Der er derfor behov for, at få påvist det faktiske indhold på et udvalg af befæstede områder, før man kan vurdere risikoen for, at der foregår akkumulering på disse områder.

Forekomsten af eventuelle metabolitter er ikke medtaget i udredningen. Disse vil sandsynligvis forekomme i lavere koncentrationer end moderstofferne, men da de kan være mere stabile end moderstoffet, er det aktuelt at måle indholdet af pesticidmetabolitter på de dyrkede marker. Der er ikke i udredningen taget hensyn til deponeringen af pesticider fra atmosfæren, idet den under normale omstændigheder maksimalt udgør mellem 5 og 10 g/ha pr. år.



## 3 Summary and Conclusions

On basis of children's potential exposure to soil and comparison with a maximum intake of pesticides from water and air, a soil quality criterion of 1 mg pesticide per kg has been proposed. A calculation of the pesticide residual concentration after application of 13 of the most commonly used pesticides in Danish agriculture shows that the proposed soil quality criterion can be observed in most cases. There will be incidents where the soil quality criterion is exceeded immediately after spraying and after 3 months, especially in areas with repeated spraying, but only in a few cases after 12 months (after very long half-lives). Thus, it seems possible to observe a soil quality criterion of 1 mg/kg when it is compared with the residual concentrations that one may expect to find about one year after normal agricultural use of pesticides.



## 4 Foreslåede kvalitetskriterier for jordforurening med pesticider

Ved Institut for Fødevarer sikkerhed og Toksikologi er der foretaget en sundhedsmæssig vurdering og beregning af forslag til jordkvalitetskriterier for pesticiderne paraquat, captafol, lindan, parathion og methyl-parathion (Nielsen *et al.* 1999). Pesticiderne er blevet udvalgt blandt de toksikologisk mest kritiske pesticider, dvs. de pesticider der må anses for, at få tildelt de laveste jordkvalitetskriterier. Udfra vurderingen af de fem pesticider er der blevet foreslået et generelt jordkvalitetskriterium på 1 mg/kg, som det f.eks. også kendes for pesticidindhold i visse frugter og grønsager. Et pesticidindhold i jord på niveau med dette kvalitetskriterium vil ikke medføre større biotilgængelig dosis pr. dag, end hvad man kan blive udsat for via luft og drikkevand, der lever op til gældende krav/kvalitetskriterier. Endvidere foreslås et jordkvalitetskriterium for summen af pesticider på 5 mg/kg jord, ligesom der i drikkevand er en grænseværdi for enkeltpesticider på 0,1 µg/L og for summen af pesticider på 0,5 µg/L.

Børns eksponering for pesticider i jord er blevet anvendt til fastsættelse af jordkvalitetskriterierne for de fem pesticider. Den daglige pesticideksponering gennem jord er anslået til 0,2 µg/dag for et barn på 10 kg, der indtager 0,2 g jord pr. dag med et pesticidindhold i jorden på 1 mg/kg. I enkeltstående tilfælde indtages op til 10 g jord, hvilket svarer til en oral eksponering på 10 µg (Miljøstyrelsen 2001).

Den daglige pesticideksponering gennem drikkevand vil være 0,1 µg/dag for et barn på 10 kg, der drikker 1 liter vand pr. dag med et pesticidindhold på 0,1 µg/L (EU-grænseværdi). For summen af pesticider er grænseværdien i drikkevand 0,5 µg/L, hvorfor det daglige indtag tilsvarende er 0,5 µg/dag. Den daglige pesticideksponering gennem luften er 0,25 µg/dag for et barn på 10 kg, der indånder 10 m<sup>3</sup> pr. dag med et pesticidindhold svarende til overholdelse af grænseværdien på < 0,001 mg/m<sup>3</sup>.

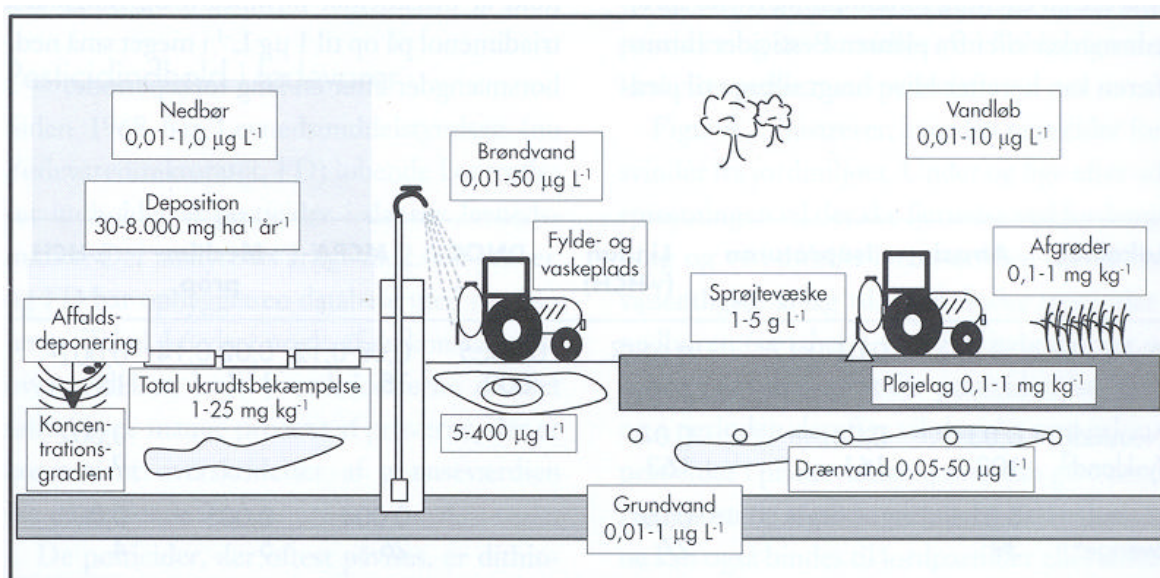
Den acceptable daglige jordeksponering er dermed sammenlignelig med den daglige eksponering gennem drikkevand og luft, som har et maksimalt acceptabelt pesticidindhold. Der må dog forventes en betydelig lavere biologisk tilgængelighed for jordeksponeringen, da pesticiderne bindes til og indlejres i jordpartiklerne med forskellig styrke. Til sammenligning med de 0,2 µg pesticid, som det skønnes acceptabelt at et barn indtager via jord pr. dag, kan det anføres, at man dagligt indtager ca. 200 µg pesticider pr. dag gennem danske og udenlandske fødevarer (Büchert, 1998). Jordkvalitetskriteriet på 1 mg/kg jord har i øvrigt samme størrelsesorden som grænseværdierne i frugt og grønt, som ligger mellem 0,05 og 3 mg/kg (Juhler *et al.*, 1995).



## 5 Koncentrationer af pesticider påvist i miljøet

Analysen for pesticider og andre kemiske stoffer i jord, nedbør, overfladevand og grundvand med metoder, som stadig bliver bedre, viser, at både industrikemikalier, trafikforureninger, pesticider og tungmetaller er vidt udbredt i omgivelserne.

Figur 1 viser eksempler på nogle af de miljøer, hvor der er påvist pesticider, samt de påviste koncentrationsintervaller. Figuren viser, at pesticider er påvist i nedbør, afgrøder ved høst, i jord, vandløb, drænvand og i grundvand.



Figur 1. Nogle koncentrationsintervaller for pesticider, som er påvist forskellige steder i miljøet i Nordeuropa. Koncentrationerne er angivet i  $\text{g L}^{-1}$ ,  $\text{mg L}^{-1}$  og  $\mu\text{g L}^{-1}$  og omfatter langt de fleste påvisninger. Tallene for vandmiljøer og afgrøder stammer fra monitoringer og for jord fra beregninger baseret på de udbragte mængder. Grænseværdi:  $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$  i drikkevand og mellem  $0,05$  og  $3 \text{mg kg}^{-1}$  i vegetabiliske fødevarer ( $1 \text{g} = 1.000 \text{mg} = 1.000.000 \mu\text{g}$ ) (Helweg *et al.*, 1998).

Figure 1. Some concentration intervals for pesticides detected in the environment in Northern Europe. The concentrations are given in  $\text{g L}^{-1}$ ,  $\text{mg L}^{-1}$  and  $\mu\text{g L}^{-1}$  and include most of the detected concentrations. The concentration intervals for aquatic environments and crops originate from monitorings and for soil from estimates based on the applied quantities. Permitted limits:  $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$  in drinking water and between  $0,05$  and  $3 \text{mg kg}^{-1}$  in vegetable foods ( $1 \text{g} = 1,000 \text{mg} = 1,000,000 \mu\text{g}$ ) (Helweg *et al.*, 1998).

Sammenligner man de pesticidmængder, som tilføres jorden med sprøjtning, med de mængder af detergenter, plastblødgørere og tungmetaller, som kan tilføres via slam, så er de ikke meget forskellige.

Tabel 1 viser nogle tilførsler med spildevandsslam og pesticidsprøjtning, og de tilsvarende koncentrationer i jorden udregnet i et jordlag på  $25 \text{cm}$  (pløjelaget) under den forudsætning, at jordens massefylde er  $1,5 \text{g/cm}^3$ .

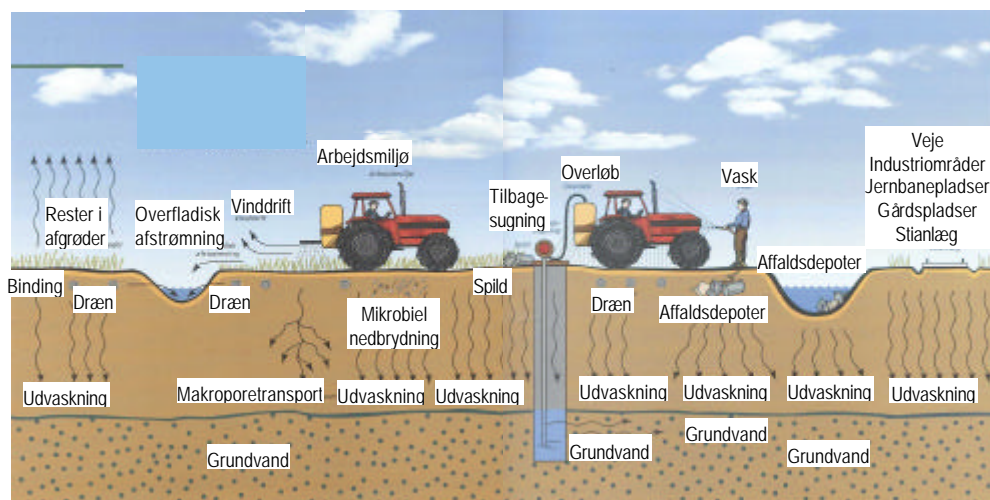
Tabel 1. Eksempler på indholdet af kemiske stoffer i spildevandsslam samt den maksimale årlige tilførsel til landbrugsjord. Det omtrentlige baggrunds niveau for de naturligt forekommende stoffer (metaller og PAH) er angivet i parentes. Tilførslen for pesticider er beregnet ud fra den anbefalede markdosis. For de andre stoffer er forudsat en årlig dosering af slam på 4 tons pr. ha. (Pers. Medd. John Jensen, DMU). \* i et 25 cm's jordlag (Helweg, 2000).

Table 1. Examples of the content of chemical substances in wastewater slurry and the maximum yearly application to agricultural soils. The approximate background levels of naturally occurring substances (metals and PAH) are given in brackets. The application of pesticides is calculated on the basis of the recommended field dosage. As regards the other substances, a yearly slurry dosage of 4 tons per ha is presupposed. (Pers. Comm. John Jensen, the National Environmental Research Institute, Denmark). \* in a soil layer of 25 cm (Helweg, 2000).

	Koncentration i slam (mg pr. kg)		Grænseværdi i slam (mg pr. kg)	Maksimal tilførsel til jord	
	Median	Min. – Max.		g pr. ha	(mg pr. kg*)
PAH	0,7	0,1-14	3,0	12	0,003 (0,1-1,0)
DEHP (plastblødgører)	24,5	3,9-170	50	200	0,05
LAS (detergent)	530	11-16.100	1.300	5.200	1,4
Nonylphenol + ethoxylater (detergenter)	7,95	0,3-67	30	120	0,03
Arsen	5,1	0,47-8,47	-	34	0,01 (3,6)
Cadmium	1,5	0,78-6,0	0,8	3,2	0,0004 (0,18)
Kobber	298	100-512	1.000	4.000	1,07 (7,8)
Zink	878	312-1.610	4.000	16.000	4,3 (29,1)
Glyphosat				2.000	0,53
Pendimethalin				2.000	0,53
Tribenuron-methyl				7,5	0,002

## 6 Kilder til pesticidforurening

Der er en række forskellige kilder til pesticidforurening af jordmiljøet, hvilket er vist i figur 2.



Figur 2. Forurening af jordmiljøet med pesticider kan stamme fra forskellige kilder.  
Figure 2. Pollution of the terrestrial environment with pesticides may originate from different sources.

Den mest udbredte forureningskilde er *Marksprøjtningen*. Denne belastning er dog ikke nødvendigvis den, som udgør det største potentiale for langvarig kontaminering og spredning. Det samme gør sig gældende for anvendelse af pesticider i *Havebrug* og *Skovbrug*, i og med der er gode muligheder for at pesticiderne kan nedbrydes på disse områder. Pesticider, benyttet til *Total ukrudtsbekæmpelse på befæstede områder* (veje, industriområder, jernbaner m.m.), kan på grund af en massiv anvendelse på overflader med lave indhold af organisk materiale skabe væsentlig længerevarende forureninger og udgøre en større risiko for at forureningerne skal sprede sig.

Et endnu større potentiale for langvarig kontaminering og stor spredningsrisiko udgøres af lokaliteter, hvor pesticider optræder som *Punktkilder på vaske- og fyldepladser for marksprøjter*. Jordforureninger under disse lokaliteter har kunnet påvises mellem ca. 5 og 20 år efter, man var ophørt med at benytte disse pladser (Helweg *et al.*, 1999, Jørgensen *et al.*, 2000). Pesticidforureninger kan også optræde som *Punktkilder fra deponeret affald*. Pesticider kan således findes i perkolat fra lossepladser som tegn på, at der er sket deponering af pesticider på lossepladser (Helweg *et al.*, 1998), og at de har en langvarig stabilitet i de anaerobe miljøer og ved de høje koncentrationer (Schraa, 1996). Bortset fra enkelte eksempler har man ikke målinger fra pesticidudsvævninger fra små lokale affaldsdepoter.

Nogle lidt specielle forureningskilder har vist sig at være lokaliteter, hvor *Pesticider er anvendt til dypning af nåletræer* (Århus Amt, 1999). Denne anvendelse drejede sig om chlorerede pesticider som DDT og lindan (HCH), hvor der kunne opstå ganske høje koncentrationer på de pladser, man

anvendte. Man har efterfølgende kunnet påvise disse forureninger adskillige år efter forureningerne var ophørt. *Deponering af pesticider fra atmosfæren* kan også medføre en deponering af pesticider på uventede områder.

## 6.1 Marksprøjtning

Beregnes det hvor store doseringer en hektar landbrugsjord i gennemsnit vil blive belastet med ud fra den totalt solgte mængde pesticid, så vil doseringen som gennemsnit udgøre ca. 1 kg/ha (ca. 3.000.000 kg pesticid anvendt på 2.700.000 ha). Den normale pesticidanvendelse er dog ikke en gennemsnitsværdi, men kan variere fra græsmarker som stort set ikke sprøjtes til kartoffelmarker som sprøjtes 5-10 gange i løbet af vækstperioden, og som derfor kan blive behandlet med op til ca. 10 kg/ha af et enkelt pesticid (f.eks. mancozeb). Tabel 2 viser behandlingshyppigheden for en række afgrøder.

Tabel 2. Behandlingshyppighed for forskellige afgrøder i 2001 (Miljøstyrelsen, 2002).  
Table 2. Frequency of treatments of different crops in 2001 (Miljøstyrelsen, 2002).

	Herbicerider	Fungicider	Insekticider	Vækstregulerende midler	Total
Vintersæd	0,96	0,66	0,19	0,37	2,19
Vårsæd	0,62	0,35	0,47	0,00	1,44
Vinterraps	1,49	0,09	1,04		2,62
Vårraps	0,41		1,71		2,12
Andre frø	0,70	0,10	0,16	0,23	1,20
Kartofler	2,86	6,37	1,05		10,28
Roer	2,65	0,07	0,45		3,16
Ærter	4,28	0,06	1,56		5,90
Majs	1,05		0,34		1,38
Grøntsager	1,49	2,36	1,21		5,12
Græs og kløver	0,04		0,02		0,06

Der er desuden stor forskel på, hvor udbredte de forskellige afgrøder er, hvorved en stor behandlingshyppighed af en afgrøde med ringe udbredelse kan blive mindre betydningsfuld i det samlede billede. Tabel 3 er en oversigt på aktivstofniveau over de teoretisk behandlede arealer i 2001.

Tabel 3. Behandlede arealer (ha) i 2001 fordelt på afgrødetyper og hovedgrupper af pesticider (Miljøstyrelsen, 2002).<sup>1</sup> inkl. 612.657 ha uden for vækstsæsonen f.eks. glyphosatsprøjtning efter høst.

Table 3. Treated areas (ha) in 2001 distributed on type of crop and main group of pesticides (Miljøstyrelsen, 2002).<sup>1</sup> incl. 612,657 ha outside the growing season, e.g. treatments with glyphosate after harvest.

	Herbicerider (ha)	Fungicider (ha)	Insekticider (ha)	Vækstregulerende midler (ha)	Total (ha)
Vintersæd	797.068	544.395	158.365	307.741	1.807.569
Vårsæd	467.634	261.252	351.569	1.671	1.082.126
Vinterraps	104.962	6.701	73.186		184.848
Vårraps	3.129		13.038		16.167
Andre frø	58.956	8.745	13.767	19.765	101.232
Kartofler	106.557	237.045	39.151		382.753
Roer	183.928	4.637	30.947		219.512
Ærter	126.528	1.701	46.023		174.252
Majs	80.069		25.655		105.724
Grøntsager	7.608	12.026	6.151	273	26.058
Græs og kløver	8.478		4.480		12.958
Total	2.557.574 <sup>1</sup>	1.076.500	762.333	329.450	4.725.857



Arealgrundlaget er fratrukket de økologisk dyrkede arealer, og der er regnet med en standarddosering for hvert aktivstof i hver relevant afgrøde. I en række tilfælde er standarddoseringen af aktivstoffer fastsat af eksperter, da der ikke har været en selvstændig, anerkendt dosering til pågældende formål. Herbicidgruppen er med hensyn til behandlede arealer og forbrug den dominerende gruppe pesticider. De samlede teoretiske arealer var i 2001 på 4,7 millioner hektarer, hvoraf næsten 2,6 millioner hektar (54%) udgjordes af herbicidbehandlinger. Herbiciderne udgjorde i 2001 70% af det totale pesticidforbrug, hvilket har ligget nogenlunde konstant de sidste år.

I 2001 blev der solgt ca. 1.154 tons midler til bekæmpelse af græsukrudt (53% af herbicidmængden), hvilket er 39% af alle ukrudtsbehandlinger, mens arealerne behandlet med minimidler udgjorde ca. 15% af det teoretisk behandlede areal. Andre arealmæssigt betydende aktivstoffer i 2001 var bromoxynil, fluroxypyr, ioxynil, MCPA, pendimethalin og prosulfocarb, der alle tegnede sig for mere end 100.000 ha. Glyphosatmidler tegnede sig alene for 818 tons eller omkring 38% af herbicidsalget. Minimidlerne udgjorde mængdemæssigt mindre end 0,2% af salget men er med hensyn til behandlede arealer af stor betydning. Af hormonmidler til anvendelse i landbruget er der nu kun MCPA tilbage, og i 2001 udgjorde salget med 238 tons ca. 11% af det samlede herbicidsalg. I 2001 var det blandt herbiciderne kun pendimethalin (250 tons), prosulfocarb (260 tons), glyphosat og MCPA blev solgt i mængder over 100 tons.

Næsten 330.000 ha, primært kornafgrøder, blev behandlet med vækstregulerende midler, altovervejende i form af chlormequat-chlorid (303.000 ha). Chlormequat-chlorid (297 tons) er mængdemæssigt det altdominerende vækstregulerende middel og tegnede sig i 2001 for mere end 95% af aktivstofferne til disse formål.

Fungicidbehandlingerne udgjorde i 2001 ca. 23% af de samlede pesticidbehandlinger. Azoxystrobin (305.000 ha), fenpropimorph (139.000 ha), mancozeb (177.000 ha), propiconazol (124.000 ha) og tebuconazol (198.000 ha) var de fem vigtigste aktivstoffer og tegnede sig for næsten 88% af de fungicidbehandlede arealer. Salget af mancozeb er fortsat det dominerende med 47% af salget svarende til 266 tons. De fire mest solgte stoffer i 2001 (azoxystrobin, fenpropimorph, mancozeb og tebuconazol) udgjorde 497 tons eller 89% af det samlede salg af fungicider i landbruget. Der blev derudover solgt ca. 32 tons fungicid bejdsemidler.

De syntetiske pyrethroider er fortsat langt de vigtigste blandt insekticiderne, i 2001 tegnede de fem aktivstoffer inden for denne gruppe sig for 82% af samtlige insekticidbehandlinger. Cypermethrin var det arealmæssigt vigtigste pyrethroid (og insekticid i det hele taget) i 2001 med næsten 220.000 ha. Sammen med cypermethrin var dimethoat (108.000 ha), esfenvalerat (177.000 ha) og tau-fluvalinat (104.000 ha) de vigtigste insekticider i 2001. Behandlingerne med disse fire aktivstoffer tegnede sig for ca. 80% af totalen. Dimethoat tegnede sig alene for 33 tons svarende til 68% af det samlede salg. Salget af syntetiske pyrethroider antog lidt over 11 tons svarende til ca. 23% af insekticidsalget. Øvrige insekticider tegnede sig således kun for ca. 9% af salget. Derudover blev der solgt ca. 12 tons insekticid bejdsemidler.

De pesticider, der har været mest anvendt i 2001 både mængdemæssigt og arealmæssigt, er herbiciderne bromoxynil, fluroxypyr, glyphosat, ioxynil,

MCPA, pendimethalin og prosulfocarb, det vækstregulerende middel chlormequat-chlorid, fungiciderne azoxystrobin, fenpropimorph, mancozeb samt insekticidet dimethoat (bilag 1).

Til produktionen af grøntsager samt frugt og bær, er der et betydeligt forbrug af pesticider. Som vist i tabel 2 er kartoffelproduktionen den af grøntsagsproduktionerne der har det højeste behandlingsindeks, hvoraf fungicidbehandlingen udgør den største del. Mancozeb er det fungicid, der har den største normaldosering, og anvendes op mod 8-12 gange i løbet af en vækstsæson i en normal kartoffelafgrøde (Pers. Medd. Bent Nielsen, DJF).

Til produktion af frugt og bær anvendes der ligeledes store mængder fungicider, og det er eksempelvis almindeligt med ca. 18 svampesprøjtninger i æbler i løbet af en vækstsæson (Miljøstyrelsen, 1999a). Der bruges dog flere pesticider og sjældent det samme stof flere gange. Tabel 4 viser de meget høje behandlingshyppigheder (BH) i disse kulturer samt arealer for de vigtigste afgrøder indenfor frugt- og bærproduktionen. Arealgrundlaget til beregningen af behandlingshyppigheden er fratrukket de økologisk dyrkede arealer, og der benyttes en standarddosering for hvert aktivstof i hver relevant afgrøde. I en række tilfælde er standarddoseringen af aktivstoffer fastsat af eksperter, da der ikke har været en selvstændig, anerkendt dosering til pågældende formål.

Tabel 4. Behandlingshyppighed (BH) og dyrkningsareal for de største frugt- og bærproduktioner i Danmark. (Miljøstyrelsen, 1999a; [Statistikbanken, 2002](#)).  
Table 4. Frequency of treatment (BH) and cultivated area for the largest productions of fruits and berries in Denmark. (Miljøstyrelsen, 1999a, [Statistikbanken, 2002](#)).

	BH i 1997 <sup>1</sup>	Areal (ha) i 2001 <sup>2</sup>
Æbler	20-25	1.783
Pærer	16	469
Jordbær	11	1.066
Sur/sødkirsebær	12	2.703
Solbær	15	1.850
Anden frugt- og bærart		576
Frugt og bær i alt		8.447

Blandt herbiciderne er der 11 stoffer som anvendes mest udbredt til bær og frugtavl. Det ses af tabel 4, at der er en høj behandlingshyppighed, og tabel 5 viser, at den anbefalede dosis også er relativt høj, hvilket resulterer i forholdsvis stor pesticidanvendelse pr. ha til frugt og bær.

Samlet set udgør arealet med frugt og bær ca. 8.500 ha svarende til kun 0,2% af landbrugsarealet. På grund af den intensive pesticidanvendelse er der dog grund til at være opmærksom på eventuelle rester af pesticider i disse jorde.

Tabel 5. Oversigt over nogle af de anbefalede anvendelser af herbicider og fungicider til de største frugt- og bærproduktioner. (Danmarks JordbrugsForskning, 2002, Danmarks JordbrugsForskning, 2001, Noyé, 2002).  
 Table 5. Survey of some of the recommended uses of herbicides and fungicides in the largest productions of fruits and berries. (Danmarks JordbrugsForskning, 2002, Danmarks JordbrugsForskning, 2001, Noyé, 2002).

Pesticid	Dosis (kg aktivt stof pr. ha)
Bitertanol	0,250-0,375
Clopyralid	1,200-1,500
Dichlorprop	2,000-3,000
Glyphosat	1,800-2,160
MCPA	1,000
Mechlorprop	2,000-3,000
Prosulfocarb	1,600-2,000
Simazin	1,000-1,500
Svovl	6,400-9,600
Terbutylazin	1,500
Tolyfluanid	1,500

## 6.2 Haver

Anvendelse af bekæmpelsesmidler i haver er primært til plæner, hække, buske og blomster af varierende art. Herudover kommer pesticidanvendelsen til nyttehaver, hvor produkter og doser kan sammenlignes med landbruget. Alene til vedligeholdelse af plæner er der i alt 23 produkter med forskelligt indhold af pesticider. De anbefalede doser af de forskellige pesticider til vedligeholdelse af græsarealer, hække, buske og blomster er vist i tabel 6. Der er det indeværende år sket indskrænkninger i hvilke pesticider der er tilladt. Disse begrænsninger er ikke medtaget i denne udredning.

Tabel 6. Oversigt over den anbefalede anvendelse af ukrudtsmidler og dosering til græsplæner, hække og buske og landskabsplanter (Danmarks JordbrugsForskning, 2002, Danmarks JordbrugsForskning, 2001, Noyé, 2002).  
 Table 6. Survey of the recommended use of herbicides and doses for use in lawns, hedges, bushes, and landscape plants (Danmarks JordbrugsForskning, 2002, Danmarks JordbrugsForskning, 2001, Noyé, 2002).

Pesticid	Dosis (kg aktivt stof pr. ha)
Clopyralid	0,150
Diuron	1,200
Dicamba	0,070
Fluazifop-p-butyl	0,375
Fluroxypyr	0,300
Glufosinat-ammonium	1,000
Glyphosat	2,160
Glyphosat-trimesium	2,880
Haloxypop	0,375
Napropamid	0,450
Pendimethalin	1,675
Simazin	0,150
Terbutylazin	0,150

## 6.3 Skovbrug

Der er i Danmark ca. 436.000 ha skov, fordelt på 163.000 ha løvtræ, 269.000 ha nåletræ og 4.000 ha midlertidigt ubevokset skov (Danmarks statistik, 2001). Til kulturforberedelse af skov og pyntegrønt, anbefales det udelukkende at anvende Roundup (glyphosat) i en relativt høj dosis på 3,0-

10,0 l pr. ha, svarende til mellem 1,180 og 3,600 kg aktivt stof pr. ha. Til træer på blivende voksested anvendes pesticiderne anført i tabel 7.

Tabel 7. Oversigt over anvendelse af pesticider og pesticiddosis til skovbrug (Danmarks JordbrugsForskning, 2002, Danmarks JordbrugsForskning, 2001, Noyé, 2002).

Table 7. Survey of use and dosage of pesticides for forestry (Danmarks JordbrugsForskning, 2002, Danmarks JordbrugsForskning, 2001, Noyé, 2002).

Pesticid	Dosis kg aktivt stof pr. ha
Clopyralid	1,500
Devrinol	0,450
Diuron	0,600-1,200
Fluazifop-p-butyl	0,188-0,375
Glyphosat	1,800
Glyphosat-trimesium	2,400
Glufosinat	0,600-1,200
Pendimethalin	2,000
Propyzamid	0,500
Simazin	1,440
Terbuthylazin	1,500

Der er flere betænkeligheder ved at anvende pesticider i skovbruget, da det kan skade kulturplanterne, og oftest vil lande på jorden (Skovteknisk Institut, 1982). Der er et højt indhold af organisk stof i skovjord, hvilket giver grobund for mange mikroorganismer, hvorfor man venter, at nedbrydningen af pesticider er hurtig. Dette er imidlertid ikke altid tilfældet, da et højt indhold af organisk stof også kan føre til en øget binding og dermed en mindre tilgængelighed for mikroorganismene. Desuden har nogle skovjorde meget lave pH-værdier, hvilket i flere tilfælde har vist sig at reducere nedbrydningen. En undersøgelse har vist, at 2,4-D var helt nedbrudt efter 3 måneders forløb i birkebevoksning med pH 5,5 og 6,6, mens der stadig var rester af 2,4-D 9 måneder efter behandling i et område med tidligere granskov, hvor pH kun var 4,6. Jordens indhold af organisk stof var i øvrigt væsentlig større i sidstnævnte jord, hvilket også har haft betydning for nedbrydningshastigheden (Stark og Torstensson, 1978).

#### 6.4 Total ukrudtsbekæmpelse på udyrkede og befæstede områder

Pesticider har gennem mange år været anvendt til at renholde arealer for ukrudt. De primære stoffer, som siden 70-erne har været anvendt til dette formål, har været dichlobenil (Prefix og Casoron), atrazin, simazin, diuron og glyphosat. I dag er det primært glufosinat-ammonium, der anvendes på befæstede arealer. På almindelig jord uden afgrøde, de udyrkede arealer, anvendes glufosinat-ammonium (0,600-1,500 kg aktivt stof pr. ha), glyphosat (0,800-2,160 kg aktivt stof pr. ha), diflufenican (0,200-0,280 kg aktivt stof pr. ha) og nonansyrer (3,880-7,760 kg aktivt stof pr. ha) til ukrudtsbekæmpelse (Danmarks JordbrugsForskning, 2002).

For at sikre fuldstændig renholdelse af befæstede arealer er der på disse områder tidligere benyttet meget store doseringer op til 25 kg aktivt stof pr. ha. Det er vanskeligt at dosere nøjagtigt på disse områder, og der har ikke været væsentlige økonomiske barrierer, hvorfor man må forvente, at disse områder kan komme til at fungere som punktkilder med en vis udstrækning.

På befæstede arealer er der en ringe binding af pesticider, da størstedelen af det organiske materiale er fjernet, hvorfor befæstede arealer er særligt

problematiske . Tabel 8 viser den markante forskel der er i isoproturon og atrazins sorption ( $k_d$ -værdi) i jord fra pløjelaget sammenlignet med sorptionen i sand og i jord udtaget i 50 og 100 cm's dybde, som i nogen grad modsvarer de grusdækkede befæstede områder.

Tabel 8. Binding af herbicidet isoproturon i forskellige jordtyper og af herbicidet atrazin i forskellige jorddybder fra samme lokalitet vist ved stoffernes fordelingskoefficient ( $k_d$ -værdien) (Pedersen *et al.*, 1995, Jensen *et al.*, 1988).  
Table 8. Sorption of the herbicide isoproturon in varying types of soil and of the herbicide atrazine in varying soil depths from the same location indicated by the partition coefficient ( $k_d$ -value) (Pedersen *et al.*, 1995, Jensen *et al.*, 1988).

Pesticid	Lokalitet/jorddybde	Humusindhold (%)	$k_d$ -værdi (L pr. kg)
Isoproturon	Rent sand	0	0,02
	Flakkebjerg/pløjelag	1,1	0,5
	Borris/pløjelag	2,8	1,4
	Ribe/pløjelag	13,9	13,3
Atrazin	Drengsted/pløjelag	4,5	5,2
	Drengsted/50 cm	1,1	0,6
	Drengsted/100 cm	0,2	0,1

## 6.5 Pesticider anvendt til dypning af nåletræer

Der har været anvendt forskellige stabile insektmidler, specielt chlorerede stoffer som DDT og lindan (HCH), for at holde nåletræernes småplanter fri for skadedyrsangreb, specielt snudebiller. Man har i starten af denne behandling stået i skoven og dyppet småplanterne før plantning. Rester af pesticidesuspensionerne er herefter hældt ud og har kunnet give høje koncentrationer i jorden. Disse punktkildeforureninger har kunnet påvises flere år efter anvendelse.

Århus Amt har i en undersøgelse klarlagt indholdet af DDT på 29 mulige punktkilder (Århus Amt, 1999). Undersøgelsen har klarlagt, at der på halvdelen af lokaliteterne er fundet en væsentlig forurening, og DDT-forureninger op til ca. 10.000 mg pr. kg er fundet. Det skønnes dog ikke (Århus Amt, 1999), at disse kilder udgør nogen stor risiko for spredning til grundvandet af følgende grunde:

- DDT og dets nedbrydningsprodukter er hårdt bundet til jorden, og der er derfor ikke risiko for udvaskning af DDT og dets nedbrydningsprodukter. DDT udgør således ikke et problem i forhold til de regionale grundvandsinteresser.
- Selv om det i undersøgelsen påvises, at DDT har en effekt på dyrelivet i de forurenede områder, er påvirkningen af dyrelivet lokal og ubetydelig i forhold til omgivelserne.
- De forurenede områder ligger 'langt ude i skoven' og har kun undtagelsesvis en nuværende anvendelse og tilgængelighed, der skønnes problematisk.

## 6.6 Punktkilder fra vaskepladser

De lokaliteter, hvor sprøjter fyldes og vaskes, anses for at være potentielle punktkilder på grund af risikoen for spild, overløb fra sprøjten og aftapning af rester af sprøjtevæske. Der vil være et potentiale for ca. 45.000 af denne type pladser, hvortil kommer ca. 750 maskinstationer. Under en vaskeplads ved Skælskør er der, 5 år efter brugen var ophørt, påvist relativt høje koncentrationer af pesticiderne mechlorprop og dichlorprop på henholdsvis 77 µg pr. L og 390 µg pr. L (Jørgensen *et al.*, 2000). Ligeledes er der på en

lokalitet i Allingåbro fundet høje rester af pesticider under en vaskeplads 15-20 år efter anvendelsen (Helweg *et al.*, 1999).

I Bornholms Amt er 10 maskinstationer og 5 planteskoler blevet undersøgt for punktkildeforureninger (Bornholms Amt, 2000). På alle 15 lokaliteter kunne konstateres større eller mindre forurening i det overfladenære grundvand, nogle af fundene er angivet i tabel 9. I Storstrøms Amt blev 7 lokaliteter undersøgt: 2 landbrug, 1 grovvare- og kolonialhandel, 1 frilandsgartner med maskinstation og 3 maskinstationer (Bay, 1999). På 5 ud af de 7 blev der observeret pesticidkoncentrationer i vandet, der overskrider grænseværdien i drikkevand på 0,1 µg pr. L.

Tabel 9. Pesticidkoncentrationer fundet under maskinstationer og plantager i Bornholms Amt (Bornholms Amt, 2000).  
Table 9. Concentrations of pesticides detected beneath machine pools and orchards in the County of Bornholm (Bornholms Amt, 2000).

Under maskinstationer		Under plantager	
800 µg/L	2,4-D	7,3 µg/L	2,6-dichlorbenzoesyre
750 µg/L	Dichlorprop	3,0 µg/L	Hexazinon
140 µg/L	4-chlor-2-methylphenol	0,56 µg/L	Triadimenol
68 µg/L	2,4-Dichlorphenol	0,18 µg/L	Desisopropylatrazin
14 µg/L	BAM	0,15 µg/L	Clopyralid
14 µg/L	Terbutylazin		
11 µg/L	Isoproturon		

Koncentrationen af pesticider har stor indflydelse på nedbrydningshastigheden. Høje koncentrationer af pesticider kan reducere den procentvise nedbrydning, hvorved lokaliteten i en lang periode kan være kilde til forurening. Det kan derfor forventes, at fylde- og vaskepladser gennem adskillige år kan indeholde væsentlig højere pesticidkoncentrationer, end det vil findes efter normal anvendelse. I forbindelse med vurdering af forureningsgraden i landbrugsområder vil det sandsynligvis være muligt at lokalisere de fleste af disse pladser.

#### 6.7 Punktkilder fra deponeret affald

Bortskaffelse af rester af pesticider som ikke længere skulle anvendes, har utvivlsomt været et problem, og nogle landmænd og gartnere har fulgt den vejledning som Landbrugsministeriets Giftnævn udsendte i 1966, hvor man opfordrede til at nedgrave eventuelt pesticidaffald. Tabel 10 og 11 viser resultaterne af en spørgeskemaundersøgelse om bortskaffelsen, den giver dog ikke noget statistisk billede af omfanget, men der er næppe tvivl om, at der nogle steder både i det åbne land og nær landbrugsejendomme kan forekomme sådanne punktkilder. Det er næppe muligt i større omfang at lokalisere de steder hvor nedgravninger har fundet sted. Sædvanligvis vil det dog ikke være overfladejorden som er forurennet.

Undersøgelsen giver ikke noget statistisk billede af omfanget, men der er næppe tvivl om, at der er nogle steder i det åbne land og nær landbrugsejendomme kan forekomme sådanne punktkilder.

Tabel 10. Bortskaffelse af pesticidaffald (Miljøstyrelsen, 1999b).  
Table 10. Disposal of pesticide waste (Miljøstyrelsen, 1999b).

Sted	Faggruppe	Skemaer retur	På offentlig losseplads	Ved nedgravning	På privat losseplads	Mergelgrav	Grusgrav	Andet	I alt
Morsø Landbrugs-skole	Frøavlere	40	19	11	8	12	3	15	68
Nyborg Strand	Frugtavlere	43	21	27	11	14	4	15	92
Holeby	Maltbyg-producenter	6	1	2		2		1	6
Varde	Landmænd	23	8	13	8	10	9	4	52
Sakskøbing	Frugtavlere	18	4	4	1	4		3	16
Lyngby Landbrugs-skole	Landmænd	27	2	12	2	2			18
Vestlolland	Landmænd	28	6	15	8	15	1	2	47
Sum		185	61	84	38	59	17	40	
% af afleverede skemaer			33	45	21	32	9	22	

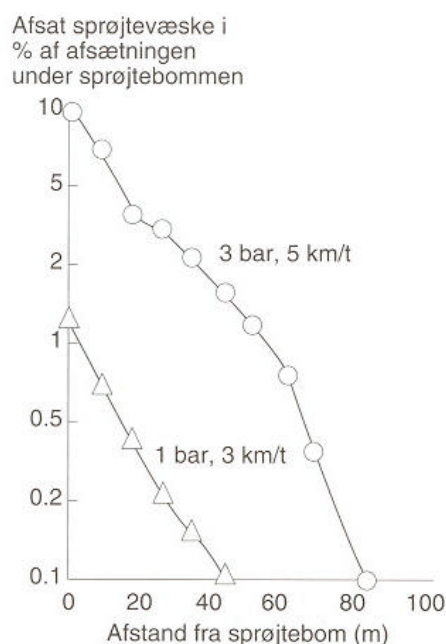
Tabel 11. Mængder af pesticider bortskaffet (Miljøstyrelsen, 1999b)  
Table 11. Amounts of pesticides which have been disposed of (Miljøstyrelsen, 1999b).

Sted	Faggruppe	Skemaer retur	Kun tom emballage	Under 1 kg sprøjtemidler	1-10 kg sprøjtemidler	Over 10 kg sprøjtemidler	I alt
Morsø Landbrugs-skole	Frøavlere	40	24	6	7	5	42
Nyborg Strand	Frugtavlere	43	26	2	7	6	41
Holeby	Maltbyg-producenter	6	5		1		6
Varde	Landmænd	23	14	3	4		21
Sakskøbing	Frugtavlere	18	9	1	1	2	13
Lyngby Landbrugs-skole	Landmænd	27	20	4	1	1	26
Vestlolland	Landmænd	28	19	1	5	5	30
Sum		185	117	17	26	19	
% af afleverede skemaer			63	9	14	10	

## 6.8 Deponering fra atmosfæren

Lokalt set optræder transport af pesticider i atmosfæren som et tilbagevendende problem i forbindelse med de såkaldte vinddriftskader på naboafgrøder og haver, der støder op til den sprøjtede mark. Afdriften er påvirket af mange faktorer såsom højden af sprøjtebommen, kørselshastigheden, dysetyper og sprøjtestrykket som alle ændrer dråbestørrelsesfordelingen. Figur 3 viser afsætningen af sprøjtevæske ved afdrift ved kørsel med 5 km/t og 3 bar samt ved kørsel med 3 km/t og 1 bar. Målinger af afdrift af pesticider ved forskellige forhold har vist, at 1-46% kan opsamles 10 m fra den sprøjtede mark, og at der 150 m væk fra marken kan findes op mod 1% af det udsprøjtede pesticid (Carlsen, 2002). Kun relativt tæt på de behandlede marker skønnes afdriften at medføre målbare rester i jorden. De kan påvirke planter i tilgrænsende hegn og haver, men de skønnes ikke at være problematiske for overholdelse af jordkvalitetskriteriet. Atmosfærisk transport af pesticider kan under visse omstændigheder være

langtrækkende, som eksempelvis med fund af det forbudte stof lindan i regnvand, som tilskrives grænseoverskridende transport.



Figur 3. Afsætning af sprøjtevæske ved afdrift. Afsætning dels ved kørsel med 5 km/t og et tryk på 3 bar, dels ved kørsel med 3 km/t og 1 bar (dyse 4110-20 og vindhastighed 4-6 m/s) (Permin, 1980).

Figure 3. Deposits of spraying fluid by drift. Deposits partly by tractor speed 5 km/h and a pressure of 3 bar and partly by tractor speed 3 km/h and a pressure of 1 bar (nozzle 4110-20 and wind speed 4-6 m/sec) (Permin, 1980).

Pesticiderne i atmosfæren kan afsættes ved nedbør (våddeposition) eller afsættes på overflader (tørdeposition). Deponeringen er afhængig af meteorologiske forhold, stoffernes egenskaber, samt tilstedeværelsen af andre stoffer i skyer og regndråber. Tabel 12 viser eksempler på pesticidkoncentrationer i nedbør. Pesticiddeponering med nedbøren er påvist af en størrelsesorden på fra under 0,01 g/ha til 7,5 g/ha for DNOC, det er dog mest sandsynligt, at den høje DNOC-deponering primært skyldes trafikforurening. Da pesticiddeponeringen fra atmosfæren max. udgør 5 til 10 g pr. ha pr. år, skønnes de ikke at have en sådan størrelse, at de vil kunne påvirke koncentrationen i jord i væsentlig grad.

Tabel 12. Pesticiddeponering med nedbøren. Øverste tal viser det gennemsnitlige indhold i regnvandsprøverne i µg pr. liter, og det nederste tal er en beregnet årlig deponering i mg pr. ha. Der er normalt ikke opsamlet nedbør i vintermånederne. -: ikke analyseret. 1: Felding & Helweg, 1998 og Felding *et al.*, 1999. 2: Cleeman *et al.*, 1995. 3: Jaeschke *et al.*, 1995. 4: Kreuger, 1995.

Table 12. Pesticide deposits by precipitation. Upper number signifying the mean concentration in rain water in µg per litre and lower number signifying the calculated yearly deposits in mg per ha. Normally, no precipitation is collected in the winter months. -: not analysed. 1: Felding & Helweg, 1998 and Felding *et al.*, 1999. 2: Cleeman *et al.*, 1995. 3: Jaeschke *et al.*, 1995. 4: Kreuger, 1995.

Lokalitet	Atrazin	Isoproturon	Lindan (γ-HCH)	DNOC	MCPA	Mechlorprop	α-HCH
Danmark <sup>1</sup>		0,01-0,07	0,015 <sup>2</sup> 116	0,3-4,5 7500	0,08-0,12 18	0,02-0,14 117	0,002 <sup>2</sup> 15
Neustadt, Tyskland <sup>3</sup>	0,03 103	0,04 161	0,04 163		-	-	0,002 9
Ekerød, Sverige <sup>4</sup>	0,01 39	-	0,02 27		0,004 26	0,001 5	0,003 4



## 7 Udvalgelse af pesticider

Der blev i 2001 brugt 3.083 tons bekæmpelsesmidler i Danmark fordelt på ca. 80 aktivstoffer. Anvendelsen varierer fra befæstede arealer over skov- og havebrug til landbrug. Midlerne bruges til bekæmpelse af ukrudt, sygdomme og skadedyr og som vækstregulerende midler, i alt fra græsplæner, blomsterbede og grantræer til korn, frugt og grøntsager.

Der er udvalgt 13 pesticider fordelt på 8 herbicider, 3 fungicider, 1 insekticid og 1 vækstregulerende middel. Udvalgelsen er sket på grundlag af hvor store mængder der blev solgt i 2001, samt størrelsen af de landbrugsarealer hvorpå de er blevet anvendt. De behandlede arealer og salget i kg pr.ha fremgår af bilag 1.

Landbruget udgør langt størstedelen af de dyrkede arealer, hvorfor udvalgelsen af pesticiderne primært er foretaget på baggrund af denne anvendelse. De udvalgte pesticider er: Azoxystrobin, Bromoxynil, Chlormequat-chlorid, Dimethoat, Fenpropimorph, Fluroxypyr, Glufosinat-ammonium, Glyphosat, Ioxynil, Mancozeb, MCPA, Pendimethalin og Prosulfocarb.

Pesticiderne er repræsentative for de pesticider der anvendes i Danmark til anvendelse i landbrug, hvad angår anvendte doseringer og stabilitet overfor nedbrydning ( $t_{1/2}$ ). Desuden er medtaget glufosinat-ammonium som det anvendes på befæstede arealer. I tabel 13 er anvendte doseringer og halveringstider for de enkelte pesticider opstillet.

Tabel 13. Pesticidtype, dosering, halveringstid ( $t_{1/2}$ ) og binding til organisk stof ( $k_{oc}$ ) for de 13 pesticider der er udvalgt som repræsentanter for pesticiderne i Danmark. Halveringstiderne angivet i parenteser er de bedste estimater ifølge Tomlin 1997. (Tomlin, 1997<sup>1</sup>, [The ARS Pesticide Properties Database, USDA](#)<sup>2</sup>, Pilling *et al.*, 1996<sup>3</sup>, Danmarks JordbrugsForskning, 2001<sup>4</sup>).

Table 13. Type of pesticide, dosage, half-life ( $t_{1/2}$ ), and sorption to organic matter ( $k_{oc}$ ) of the 13 pesticides selected as representative of the pesticides used in Denmark. The half-lives given in brackets are the best estimates according to Tomlin 1997. (Tomlin, 1997<sup>1</sup>, [The ARS Pesticide Properties Database, USDA](#)<sup>2</sup>, Pilling *et al.*, 1996<sup>3</sup>, Danmarks JordbrugsForskning, 2001<sup>4</sup>).

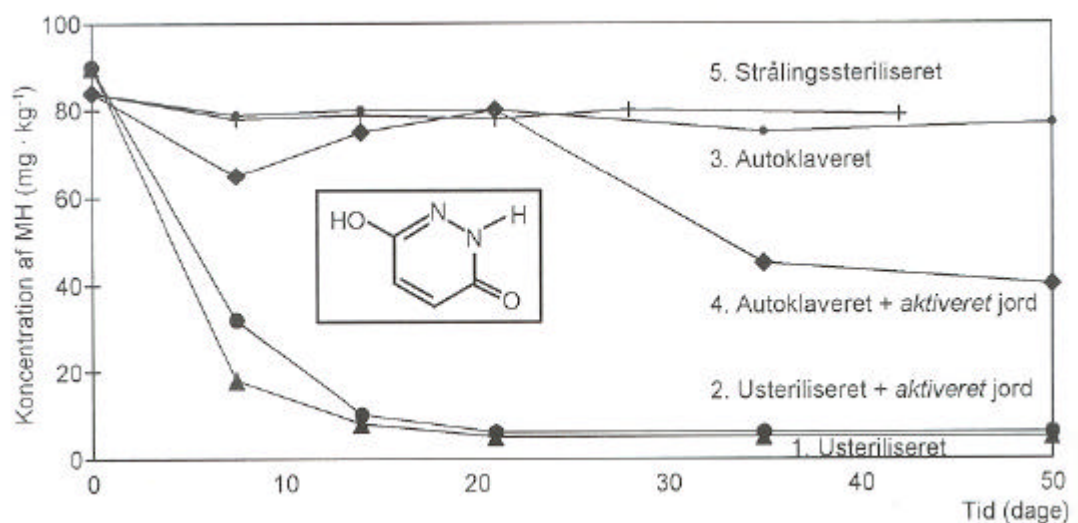
Pesticid	Type	Dosering pr. behandling <sup>4</sup> (kg. aktivt stof pr. ha)	$t_{1/2}$ (d)	$k_{oc}$
Azoxystrobin	Fungicid	0,200-0,250	7-28 <sup>3</sup>	
Bromoxynil	Herbicid	0,100-0,200	10 <sup>1</sup>	
Chlormequat-chlorid	Vækstregulerende middel	0,920-1,840	1-28 <sup>1</sup>	203
Dimethoat	Insekticid	0,320-1,200	7 <sup>2</sup>	20
Fenpropimorph	Fungicid	0,150-0,375	15-93 <sup>1</sup>	862-4500
Fluroxypyr	Herbicid	0,080-0,150	5-9 <sup>1</sup>	
Glufosinat-ammonium	Herbicid	0,600-1,000	6-20 <sup>2</sup> (13) <sup>2</sup>	430
Glyphosat	Herbicid	0,720-2,160	2-174 <sup>2</sup> (37) <sup>2</sup>	2100
Ioxynil	Herbicid	0,050-0,750	10 <sup>1</sup>	
Mancozeb	Fungicid	1,334-1,500	7-139 <sup>2</sup> (43) <sup>2</sup>	6000
MCPA	Herbicid	0,100-2,025	6-60 <sup>2</sup> (25) <sup>2</sup>	110
Pendimethalin	Herbicid	0,300-1,675	8-480 <sup>2</sup> (174) <sup>2</sup>	13400
Prosulfocarb	Herbicid	1,600-3,200	10-35 <sup>1</sup>	

Den koncentration der er i jorden kort efter sprøjtning, er beregnet som den doserede mængde opblandet homogent i 6,66 cm's dybde, i en jord med en massefylde på 1,5 g pr. cm<sup>3</sup>. Et jordlag på 6,66 cm med en massefylde på 1,5 g pr. cm<sup>3</sup> vejer 6,66 cm \* 1,5 g pr. cm<sup>3</sup> = 10 g pr. cm<sup>2</sup> = 0,01 kg pr. cm<sup>2</sup>. Opblandes en pesticiddosis på 1 kg pr. ha = 1.000.000 mg pr. ha = 0,01 mg pr. cm<sup>2</sup> i et sådant jordlag, bliver koncentrationen i jorden på 0,01 mg pesticid pr. cm<sup>2</sup> jord / 0,01 kg jord pr. cm<sup>2</sup> jord = 1 mg pesticid pr. kg jord. Koncentrationen i jord umiddelbart efter sprøjtning med eksempelvis 250 g azoxystrobin pr. ha = 0,250 kg pr. ha bliver dermed 0,250 mg azoxystrobin pr. kg jord.

# 8 Forventede koncentrationsfald

## 8.1 Mikrobiologisk nedbrydning

Pesticider nedbrydes i overvejende grad mikrobiologisk, men fotokemisk og kemisk nedbrydning kan også i nogen grad påvirke nedbrydningen. Figur 4 viser hvordan ukrudtsmidlet maleinhydrazid nedbrydes hurtigt i usteril jord (1 og 2), som tegn på en biologisk nedbrydning, medens sterilisering blokerer nedbrydningen (3 og 5). Der er dog en lille rest af stoffet tilbage efter den indledende hurtige nedbrydning, som gradvis ser ud til at blive fjernet.



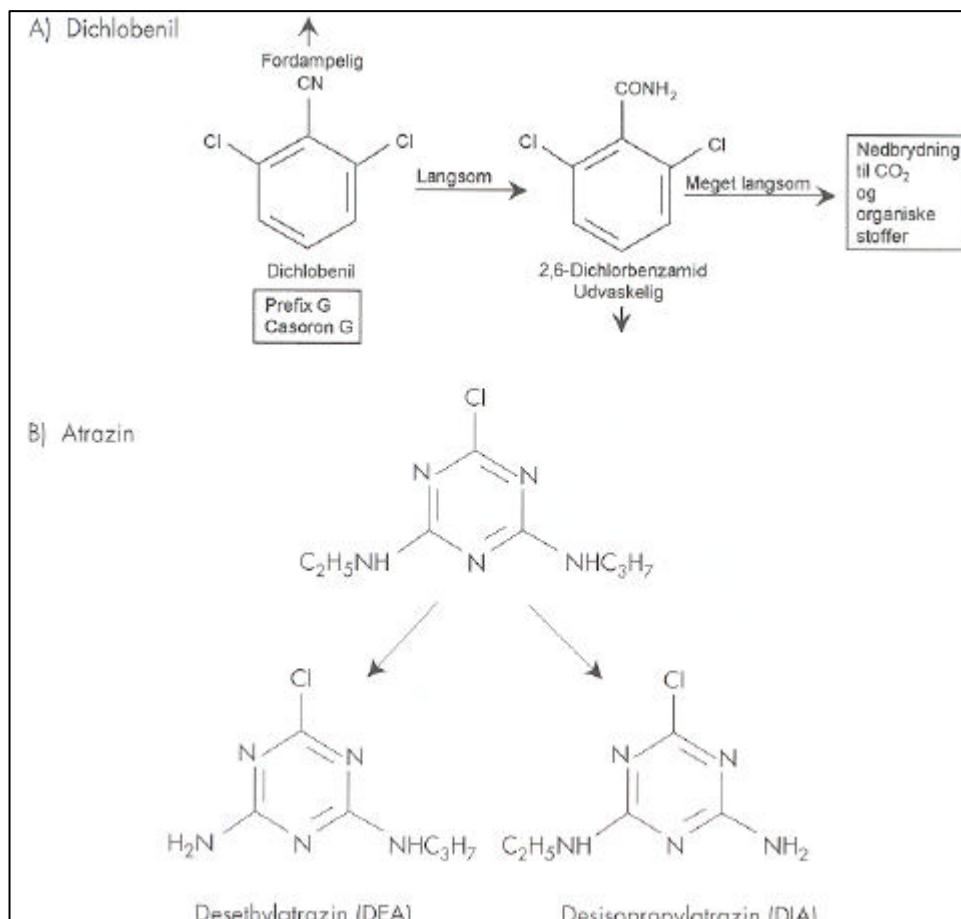
Figur 4. Mikrofloraens indflydelse på nedbrydningen af herbicidet maleinhydrazid i jord fra pløjelag. Jordprøverne er henholdsvis usterile, sterile tilsat 5% 'aktiveret jord', autoklaverede, autoklaverede tilsat 5% 'aktiveret jord' og strålesteriliserede (Helweg, 1983). 'Aktiveret jord' er forbehandlet med maleinhydrazid i 3 måneder i et forsøg på at vænne jordens mikroorganismer til at nedbryde stoffet.

Figure 4. The influence of the microflora on the degradation of the herbicide maleinhydrazide in soil from the plough layer. The soil samples are non-sterile, sterile added 5% 'activated soil', autoclaved, autoclaved added 5% 'activated soil', and x-rayed samples, respectively (Helweg, 1983). 'Activated soil' is pretreated with maleinhydrazide for 3 months in an attempt to adapt the soil microorganisms to degrade the substance.

De lave koncentrationer af pesticider, der bliver efterladt i jorden, efter at hovedparten af pesticidet er blevet nedbrudt, kan bl.a. være stabiliseret ved indtrængning i mikroporer i jorden. Mikroporerne kan være så små, at mikroorganismene ikke kan trænge ind, og først efter at pesticidet er diffunderet ud igen, kan det nedbrydes.

De stoffer, der kun nedbrydes delvis, kan efterlade nedbrydningsprodukter i jorden, som kan være væsentlig mere stabile og toksiske end det oprindelige stof. Nedbrydningsprodukterne kan udgøre en større trussel end pesticiderne selv, og bl.a. nedbrydningsproduktet 2,6-dichlorbenzamid, BAM, har givet anledning til lukning af en lang række vandindvindingsboringer.

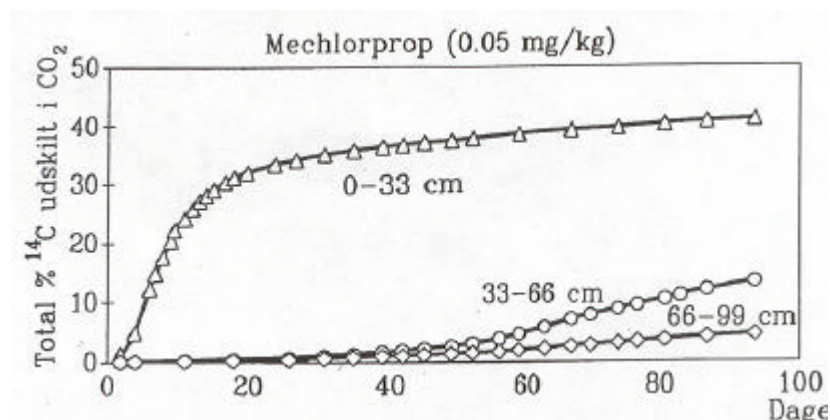
Figur 5 viser eksempler på nogle af de mest omtalte pesticider og deres metabolitter. Koncentrationerne af metabolitter er dog normalt væsentlig lavere end koncentrationen af moderstoffet, fordi der løbende sker en videre nedbrydning. Desuden vil der næppe i Danmark blive godkendt pesticider, hvor der sker en akkumulering af stabile metabolitter i jorden. Der er ikke taget hensyn til eventuelle metabolitkoncentrationer ved beregning af residualkoncentrationer af pesticider, men der kan være basis for at måle indholdet af pesticidmetabolitter i de dyrkede jorde, idet metabolitterne kan være mere stabile end moderstofferne.



Figur 5. Nedbrydning af dichlobenil og atrazin samt dannelsen af stabile nedbrydningsprodukter (Helweg, 2000).  
Figure 5. Degradation of dichlobenil and atrazine and the formation of stable metabolites (Helweg, 2000).

Der vil være jordtyper, hvor man umiddelbart kan forudsige, at nedbrydningen vil være langsom. Det gælder jorde med lave pH-værdier f.eks. visse skovjorde og jorde uden nævneværdigt indhold af organisk stof, såsom befæstede arealer og stærkt sandede jorde.

Befæstede arealer, såsom parkeringspladser, gårdspladser og vejkanter, er karakteriseret ved, at muldlaget er fjernet og erstattet af grus, stabil eller lignende, hvorpå der kan være lagt småsten, fliser og asfalt. Det antages derfor, at nedbrydningen i uorganiske jorde er sammenlignelige med nedbrydningen på befæstede arealer. Figur 6 viser, nedbrydningen af herbicidet mechlorprop mærket med <sup>14</sup>C vist ved udskillelsen af <sup>14</sup>C i CO<sub>2</sub>. Figuren viser at nedbrydningen er væsentlig langsommere i de uorganiske jordprøver udtaget i 33-66 og i 66-99 cm's dybde.



Figur 6. Total udskillelse af  $^{14}\text{C}$  som  $^{14}\text{CO}_2$  fra jordprøver (Jyndevad) udtaget i 0-33, 33-66 og 66-99 cm's dybde og tilsat  $^{14}\text{C}$ -mechlorprop (0,05 mg/kg) (Helweg *et al.*, 1991).  
 Figure 6. Total formation of  $^{14}\text{C}$  as  $^{14}\text{CO}_2$  from soil samples (Jyndevad) sampled at a depth of 0-33, 33-66, and 66-99 cm, respectively, and added  $^{14}\text{C}$ -mecoprop (0.05 mg/kg) (Helweg *et al.*, 1991).

Befæstede arealer er meget ugæstfrie miljøer for mikroorganismene, og nedbrydningshastigheden i disse miljøer er tilsvarende meget lav, ofte under 10% af nedbrydningshastigheden i jord fra pløjelaget. Tabel 14 viser, hvor meget nedbrydningshastigheden af glyphosat kan variere fra jord til jord, og specielt i jord udtaget fra dybe jordlag var der en meget langsom nedbrydning (lang halveringstid). Man må forvente, at den langsomme nedbrydning kan resultere i en vis akkumulering af pesticider i dette miljø.

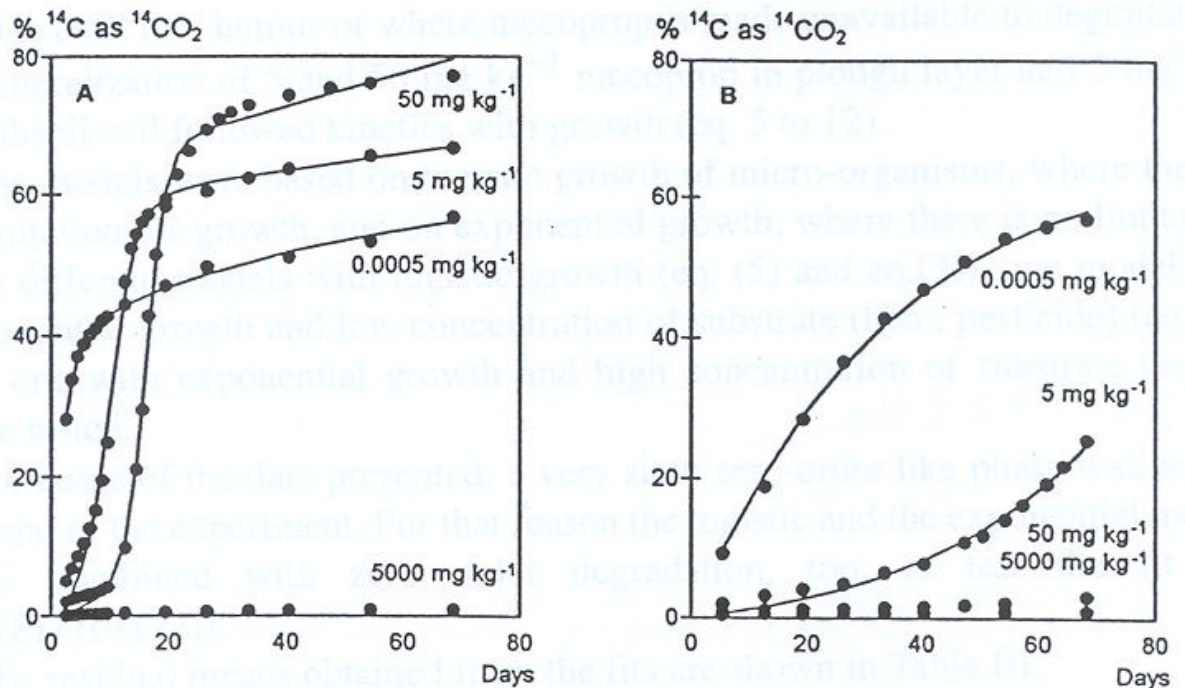
Tabel 14. Nedbrydning af glyphosat i forskellige jordtyper og jorddybder (Jacobsen *et al.*, 1998).

Table 14. Degradation of glyphosate in varying types and depths of soil (Jacobsen *et al.*, 1998).

Forfatter	Jord (cm)	Temperatur (°C)	Organisk stof (%)	Halveringstid (dage)
Rueppel <i>et al.</i> , 1977	Lermuld	30	1	3
	Sandmuld	30	1	130
Nielsen	Sandmuld 0-30	10/20	2,5	100/45
	Grovsand 35-55	10/20	1,0	>1000/500
	Grovsand 90-100	10/20	0,2	>1000/>1000

## 8.2 Koncentrationens indflydelse på nedbrydningen

Koncentrationen af pesticiderne har en stor indflydelse på deres nedbrydningshastighed. Figur 7 viser nedbrydningen af det i øvrigt let nedbrydelige pesticid mechlorprop ved koncentrationer fra 0,0005 til 5000 mg/kg, udtrykt ved udskillelsen af  $^{14}\text{C}$  i  $\text{CO}_2$ . Ved meget høje koncentrationer, som det f.eks. kan findes i og nær punktkilder, kan den procentvise nedbrydning være meget langsom, hvorved lokaliteten i en lang periode kan forventes at være kilde til forurening. Specielt hvor der er tale om dybe jordlag (Fig. B), er nedbrydningen langsom ved de høje koncentrationer.



Figur 7. Nedbrydning af forskellige koncentrationer af mechl orprop vist ved udskillelsen af  $^{14}\text{C}$ -mærket  $\text{CO}_2$ . Figuren til venstre (A) viser nedbrydningen i jord fra pløjelaget og til højre (B) i jord udtaget i dybe jordlag (Helweg *et al.*, 1998).  
 Figure 7. Degradation of varying concentrations of mecoprop indicated by formation of  $^{14}\text{C}$ -labelled  $\text{CO}_2$ . The figure to the left (A) shows the degradation in soil from the plough layer and to the right (B) in soil sampled in deep soil layers (Helweg *et al.*, 1998).

Ved massive koncentrationer kan både den mikrobielle nedbrydning og bindingen reduceres. På befæstede arealer hvor nedbrydningen og bindingen er ringe, på grund af et lavt indhold af organisk materiale, sprøjtes der ofte med høje pesticidkoncentrationer for at renholde arealet, hvormed der er risiko for høje tilgængelige jordkoncentrationer.

### 8.3 Temperaturens indflydelse på nedbrydningen

Nedbrydningsprocessernes hastighed og bindingen er afhængig af temperaturen og dermed af anvendelsestidspunktet af pesticidet. Hvis et kemisk stof lander i jorden, mens den er kold, vil nedbrydningen ofte kun være mellem 5% og 25% af, hvad den er i sommerperioden. F.eks. vil en 10 °C stigning i temperaturen forøge nedbrydningshastigheden med 2-3 gange, også kaldet  $Q_{10}$ , som vist i tabel 15 (FOCUS, 1997).

Tabel 15. Sammenhæng mellem temperatur og nedbrydningshastighed (FOCUS, 1997).  
 Table 15. Connexion between temperature and degradation rate (FOCUS, 1997).

Herbicide	$Q_{10}$
Atrazin	2,2
Chlorsulfuron	2,6
Isoproturon	2,0
Maleinhydrazid	3,1
Metsulfuron-methyl	2,7

### 8.4 Udvasning

Anvendelsestidspunktet vil have indflydelse på nedbrydningshastigheden, og kan desuden have betydning for, hvor længe stofferne vil befinde sig i det øverste jordlag. Under danske forhold udgør overskudsnedbøren ca. 50% af

den samlede gennemsnitsnedbør på ca. 660 mm pr. år. En del af overskudsnedbøren vil sive gennem jordprofilen ned til grundvandet, hvilket giver en nedadrettet vandbevægelse, der kan føre mindre mængder pesticider væk fra det øverste jordlag.

Makroporetransport af jordkolloider, hvorpå der er bundet pesticider, kan ligeledes føre pesticiderne væk fra det øverste jordlag og nedsætte biotilgængeligheden. Eksempelvis er herbicidet glyphosat blevet udvasket, selvom dets fordelingskoefficient er meget stor, hvilket bl.a. tilskrives denne udvaskning af jordkolloider fra jordoverfladen gennem porer og sprækkedannelser (deJonge *et al.*, 2000).

Med den store variation i halveringstider, som er benyttet i denne rapport, regner vi med, at der er dækning for de variationer, som temperatur og nedbørsforhold kan forårsage i residualkoncentrationerne i jorden.

## 8.5 Afsætning af pesticider på jorden

Tætheden og højden af plantedækket har stor betydning for hvor meget pesticid, der bliver afsat på jorden, og dermed bidrager til jordforureningen under en sprøjtning. Dermed bliver koncentrationen i jorden mindre ved sprøjtning på en tæt afgrøde sammenlignet med en åben. Eksempelvis er plantedækket ved efterårssprøjtning af vinterhvede 10-20%, hvorimod sprøjtninger med insekticider i vinterhvede ofte foregår det følgende år, når planterne er så store at plantedækket er 80-100% (Miljøstyrelsen 1997).

Planteretentionen er ligeledes afhængig af dråbestørrelsesfordelingen, som er et resultat af typen af sprøjtedyse, trykket, bomhøjden og i en vis udstrækning traktorens kørselshastighed. En del af de store dråber vil ryge af planterne og ramme den underliggende jord. Meget små dråber bliver bedst fordelt på planterne, men giver en sprøjtetåge der kan drive væk, hvormed pesticidet kan ramme helt utilsigtede arealer.

I beregningerne i denne rapport, er det antaget at hele den udsprøjtede pesticidmængde rammer jorden, hvilket er en "worst-case" situation.

## 8.6 Forventelige pesticidkoncentrationer

Der er en stor variation i bindingen i jorden og i halveringstidens længde fra et pesticid til et andet, pga. stoffernes forskellige kemiske opbygning og egenskaber. Også for et givet pesticid kan både bindingen og nedbrydningshastigheden variere overordentligt meget. Den relativt store spredning på halveringstiderne ( $DT_{50}$  eller  $t_{1/2}$ ) skyldes dels, at værdierne er bestemt ved forskellige forsøgsbetingelser og at der er varierende kvalitet af de enkelte undersøgelser, dels at der er stor usikkerhed forbundet med at reducere et forsøg til en enkelt parameter, og dels i at det i flere tilfælde er diskutabelt, om de observerede nedbrydningsforløb kan beskrives ved den 1.ordens proces, der anvendes til at bestemme  $DT_{50}$ . Derudover dækker  $DT_{50}$ -værdien i laboratorieforsøg ofte kun over den mikrobielle nedbrydning, hvorimod markforsøg inkluderer fordampning, udvaskning, hydrolyse og fotolyse. I en undersøgelse af 12 pesticider viste det sig, at den relative

spredning på nedbrydningshastigheden var mellem 36 og 112% (Fomsgaard 1997b). Tabel 16 viser halveringstiderne for de 12 pesticider som var med i denne sammenligning af litteraturværdier.

Tabel 16. Halveringstider for udvalgte pesticider. Antal gennemgaaede undersøgelser (N). Antal datasæt (n). Gennemsnitlige halveringstider (Gen. Dage), den relative standardspredning (RSD, %) samt median-, minimums- og maksimumsværdier. (Fomsgaard 1997b).

Table 16. Half-lives of the selected pesticides. Number of studies (N). Amount of data sets (n). Mean half-life (Gen. Dage), relative standard deviation (RSD, %), and median-, minimum-, and maximum values. (Fomsgaard, 1997b).

	Miljøstyrelsen							Linders <i>et al.</i>		
	N	n	Gen. Dage	RSD %	Median Dage	Min Dage	Max Dage	Median Dage	Min Dage	Max Dage
Atrazin	5	27	58	79	37	20	225	50	38	62
Bentazon	3	3	50	41	52	29	70	48	19	77
Diuron	1	1	90		90					
Glyphosat	3	28	18	44	16	3	36	38	18	66
Isoproturon	4	36	16	48	18	4	40			
MCPA	2	62	14	36	13	11	50	15	6	24
Mechlorprop	6	10	16	82	12	5	50	11	6	14
Metamitron	5	23	14	80	16	5	43	30	20	40
Metsulfuron methyl	2	15	81	112	45	1	315	31	27	34
Phenmedipham	6	38	39	70	34	10	140			
Propiconazol	8	36	112	95	714	14	430	96	67	125
Triasulfuron	5	24	40	81	28	3	122			

Tabellen viser, at f.eks. for atrazin varierer halveringstiderne fra 20 til 225 dage med et gennemsnit på 58 dage. Tabellen illustrerer klart, at man ved beregning af residualkoncentrationer af pesticider i jord er nødt til at medtage de variationer, som findes i halveringstiderne.

Til beregning af mængden af tilbageværende pesticid over tid, kan nedbrydningen beskrives ved at analysere den kinetiske proces og angive hastighedskonstanten for denne proces. Oftest beskrives nedbrydningen som halveringstiden, idet der tages udgangspunkt i en 1.ordens nedbrydning.

Halveringstider kan beregnes ud fra følgende udtryk for 1.ordens nedbrydning:

$$1) \quad C(t) = C_0 * e^{-kt}$$

hvor  $C(t)$  er stofkoncentrationen til tiden  $t$ ,  $C_0$  er startkoncentrationen og  $k$  er hastighedskonstanten.

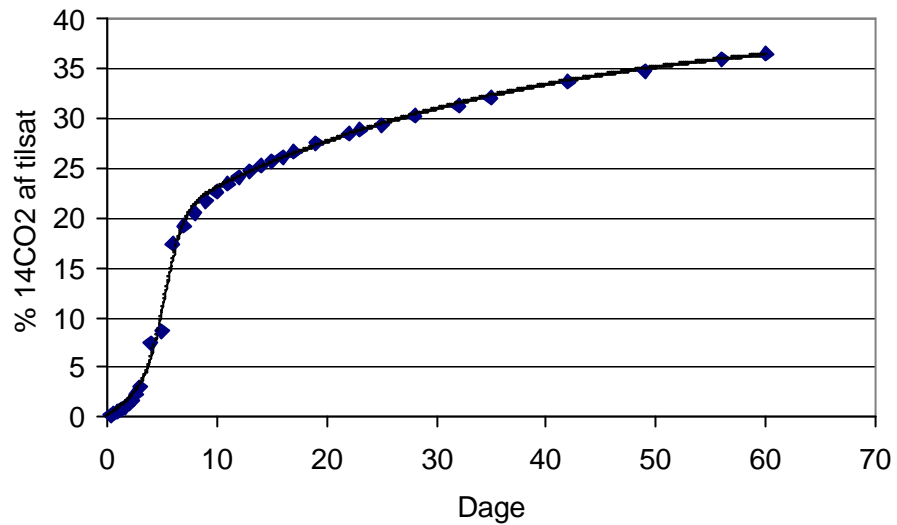
Halveringstiden ( $t_{1/2}$  eller  $DT_{50}$ ) beregnes som:

$$DT_{50} = \ln 2/k = 0,6931/k$$

Det er langt fra muligt at beskrive alle nedbrydninger med denne simple sammenhæng. Der kan f.eks. ske ændringer i antallet af nedbrydere, nedbrydningen kan ske ved flere processer, som kan forløbe samtidig men med forskellig hastighed, eller stigende adsorption til jordpartiklerne kan vanskeliggøre nedbrydningen med tiden. Undersøgelser af mineraliseringen af kemiske stoffer, målt ved udskillelsen af  $^{14}\text{CO}_2$  fra mærkede stoffer, har vist, at man ofte bedst kan beskrive mineraliseringsforløbet med to-leddede modeller. F.eks. kan nedbrydningen af ETU beskrives med en model bestående af et led med logistisk vækst, og et led med en første ordens proces (Fomsgaard, 1998). Når koncentrationen af det kemiske stof er høj, beskrives nedbrydningen primært af ligningens første led, og efterhånden som  $^{14}\text{C}$  bindes og indbygges i biomassen og humus, bliver det andet led dominerende.



Figur 8 viser nedbrydningen af  $^{14}\text{C}$ -ETU modelleret med denne to-leddede model.



Figur 8. Nedbrydningen af  $^{14}\text{C}$ -ETU og model lering heraf vist ved udskillelsen af  $^{14}\text{CO}_2$ . Punkter er datapunkter og kurven er bedste fit. (Fomsgaard, 1998).  
 Figure 8. Degradation of  $^{14}\text{C}$ -ETU and the degradation model shown as formation of  $^{14}\text{CO}_2$ . Dots are data points, and the curve is the best fit. (Fomsgaard, 1998).

Til bestemmelse af residualkoncentrationen af pesticider i dette notat, er der anvendt såkaldte Field dissipation halflives som halveringstider, hvor det har været muligt (dimethoat, glufosinat-ammonium, glyphosat, mancozeb, MCPA og pendimethalin), for at medtage alle forsvindingsveje. Hvor dette ikke har været muligt er anvendt halveringstider fundet ved laboratorieforsøg. Beregninger af alle de valgte koncentrationer fremgår af bilag 2.

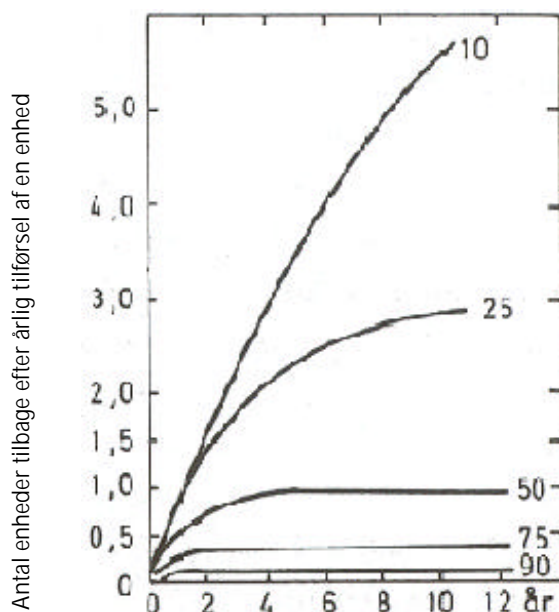
Eksempelvis kan residualkoncentration af azoxystrobin beregnes efter 3 måneder (90 dage) og 12 måneder (360 dage) efter følgende formler, når halveringstiden sættes til 28 dage og dosis til 0,25mg/kg:

$$C(t) = C_0 * e^{-kt}$$

$$\begin{aligned} \text{Azoxystrobin konc. (3 mdr.)} &= 0,25 \text{ mg / kg jord} * \exp(-(\ln 2 / 28) * 90) \\ &= 0,25 \text{ mg / kg jord} * 0,1077 = 0,027 \text{ mg / kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Azoxystrobin konc. (12 mdr.)} &= 0,25 \text{ mg / kg jord} * \exp(-(\ln 2 / 28) * 360) \\ &= 0,25 \text{ mg / kg jord} * 0,0001 = 0,025 \text{ ng / kg} \end{aligned}$$

I produktionen af kartofler samt frugt og bær anvendes ofte gentagen behandling af samme pesticid. Den teoretiske mulighed for akkumulering i jorden ved gentagen anvendelse af samme forbindelse er vist i figur 9. Figuren viser akkumuleringsforløbet ved årlig fjernelse af henholdsvis 90, 75, 50, 25 og 10% af koncentrationen i jorden. Heraf kan f.eks. ses at ved en halveringstid på 1 år (50% nedbrudt på 1 år) vil den mængde der er tilbage 1 år efter sidste dosering maksimalt svare til en doseringsenhed.



Figur 9. Pesticidakkumulering i jord ved årlig fjernelse af henholdsvis 10, 25, 50, 75 og 90 % af koncentrationen i jorden (Hill *et al.*, 1955).  
 Figure 9. Accumulation of pesticide in soil by yearly dissipation of 10, 25, 50, 75, and 90%, respectively, of the concentration in the soil (Hill *et al.*, 1955).

Mancozeb er et fungicid, der anvendes op mod 8-12 gange i kartofler. Der sprøjtes ca. én gang om ugen med en normaldosering på 1.334-1.500 g pr. ha og denne gentagne tilsætning af pesticid kan ikke direkte gengives med en 1.ordens nedbrydning. I stedet kan residualkoncentrationen efter hver enkelt sprøjtning beregnes ved 1.ordens nedbrydning. Umiddelbart efter sprøjtning vil koncentrationen være summen af den nyudsprøjtede dosis ( $C_d$ ) og hvad, der endnu ikke er blevet nedbrudt af den tidligere doserede mængde. Den tilbageværende koncentration af pesticid til forskellige tider derefter kan beregnes ved almindelig 1.ordens nedbrydning af koncentrationen i jorden efter sidste sprøjtning ( $C_t * e^{-kt}$ ). De anvendte formler er følgende:

$$\begin{aligned}
 C_{t1} &= C_d \\
 C_{t2} &= C_d + C_{t1} * e^{-kt} \\
 C_{t3} &= C_d + C_{t2} * e^{-kt} \\
 &\dots \\
 &= \dots \\
 C_{t12} &= C_d + C_{t11} * e^{-kt} \\
 C_{3md} &= C_{t12} * e^{-k*90} \\
 C_{12md} &= C_{t12} * e^{-k*360}
 \end{aligned}$$

Hvor  $C_{t1}$  er koncentrationen umiddelbart efter 1.sprøjtning,  $C_{t2}$  er koncentrationen umiddelbart efter 2.sprøjtning osv.  $C_d$  er den doserede mængde,  $t$  er tiden i dage og  $k$  er hastighedskonstanten.

Eksempelvis kan den tilbageværende koncentration af mancozeb umiddelbart efter 2. sprøjtning (7 dage senere) med 1,500 kg pr. ha (1,5 mg pr. kg jord), og 12 måneder efter den 12. sprøjtning, beregnes efter følgende formler når halveringstiden sættes til 7 dage:

$$\begin{aligned}
 C_{t2} &= C_d + C_{t1} * e^{-kt} \\
 \text{Mancozeb konc. (2. spr.)} \\
 &= 1,50\text{mg/kg jord} + (1,50\text{mg/kg jord} * \exp\left(-\left(\frac{\ln 2}{7}\right) * 7\right)
 \end{aligned}$$

$$= 1,50 \text{ mg / kg jord} + (1,50 \text{ mg / kg jord} * 0,5 = 2,25 \text{ mg / kg}$$

$$C_{12\text{md}} = C_{t12} * e^{-k*360}$$

$$\text{Mancozeb konc. (12 mdr.)} = 2,999 \text{ mg / kg jord} * \exp\left(-\left(\frac{\ln 2}{7}\right) * 360\right)$$

$$= 2,999 \text{ mg / kg jord} * 3,30 * 10^{-16} < 1 \text{ ng / kg}$$

Tabel 17, 18 og 19 viser de beregnede koncentrationer henholdsvis 0 dage, 3 og 12 måneder efter en enkelt sprøjtning med hver af de 13 enkelte stoffer. De viser desuden koncentrationerne ved lav, middel og høj halveringstid (svarende til de forskellige nedbrydningstider angivet i tabel 13). De beregnede koncentrationer spænder lige fra 0,050 mg/kg (ioxynil) til 3,200 mg/kg (prosulfocarb) lige efter udsprøjtning, og fra < 1 ng/kg (flere) til 0,996 mg/kg (pendimethalin ved høj dosering og høj halveringstid) efter 12 måneder. Ved start overskrides jordkvalitetskriteriet i 15 tilfælde, mens der efter 3 måneder kun er 4 tilfælde og efter 12 måneder ikke længere er nogen overskridelser. Overskridelserne stammer hovedsagelig fra beregninger, hvor der sprøjtes med høj eller middel pesticiddosering, og hvor nedbrydningen ikke er optimal. I disse beregninger er der anvendt anbefalede doseringer, men der vil sandsynligvis være steder, hvor doseringen er endnu højere.

Tabel 20 viser det beregnede pesticidindhold efter 12 sprøjtninger ligeligt fordelt over 3 måneder med det samme pesticid, som det lejlighedsvis praktiseres i kartoffel. Undersøgelsen af 12 gentagne behandlinger med mancozeb i en vækstsæson for kartofler viser, at jordkvalitetskriteriet overskrides i 117 af de 126 undersøgte tilfælde. Residualkoncentrationen stiger med antallet af sprøjtninger, således at alle koncentrationer ligger over jordkvalitetskriteriet indtil 3 måneder efter den sidste sprøjtning. Efter 3 måneder er middelkoncentrationen stadig over jordkvalitetskriteriet, men residualkoncentrationen, hvor der er anvendt den laveste dosis, er under. 12 måneder efter sidste sprøjtning er middelkoncentrationen under jordkvalitetskriteriet, men der er stadig overskridelser, hvor den maksimale dosis er anvendt.

Tabel 17. Beregnede pesticidkoncentrationer (mg pr. kg) i et jordlag på ca. 6,66 cm lige efter udsprøjtning af de 13 udvalgte pesticider i lav, middel og høj dosering. Data findes i bilag II.

Table 17. Calculated concentrations of pesticides (mg per kg) in a soil layer of 6.66 cm immediately after treatment with the 13 selected pesticides. Data can be found in 'bilag II'.

Pesticid/Dosis	Lav	Middel	Høj
Azoxystrobin	0,200	0,225	0,250
Bromoxynil	0,100	0,150	0,200
Chlormequat-chlorid	0,920	1,380	1,840
Dimethoat	0,320	0,760	1,200
Fenpropimorph	0,150	0,263	0,375
Fluroxypyr	0,080	0,115	0,150
Glufosinat-ammonium	0,600	0,800	1,000
Glyphosat	0,720	1,440	2,160
Ioxynil	0,050	0,400	0,750
Mancozeb	1,334	1,417	1,500
MCPA	0,100	1,063	2,025
Pendimethalin	0,300	0,988	1,675
Prosulfocarb	1,600	2,400	3,200

Tabel 18. Beregnede pesticidkoncentrationer (mg pr. kg) i et jordlag på 6,66 cm 3 måneder efter udsprøjtning af de 13 udvalgte pesticider ved henholdsvis lav, middel og høj dosering og lav, middel og høj halveringstid. Data findes i bilag II.  
 Table 18. Calculated concentrations of pesticides (mg per kg) in a soil layer of 6.66 cm 3 months after treatment with the 13 selected pesticides at low, mean, and high dosage, respectively. Data can be found in 'bilag II'.

Dosis	Lav	Lav	Lav	Middel	Middel	Middel	Høj	Høj	Høj
Halveringstid	Lav	Middel	Høj	Lav	Middel	Høj	Lav	Middel	Høj
Azoxystrobin	<0,001	0,006	0,022	<0,001	0,006	0,024	<0,001	0,007	0,027
Bromoxynil	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004
Chlormequat-chlorid	<0,001	0,012	0,099	<0,001	0,019	0,149	<0,001	0,025	0,198
Dimethoat	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fenpropimorph	0,002	0,047	0,077	0,004	0,083	0,134	0,006	0,118	0,192
Fluroxypyr	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Glufosinat-ammonium	<0,001	0,005	0,027	<0,001	0,007	0,035	<0,001	0,008	0,044
Glyphosat	<0,001	0,133	0,503	<0,001	0,267	1,006	<0,001	0,400	1,509
Ioxynil	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mancozeb	<0,001	0,313	0,852	<0,001	0,332	0,905	<0,001	0,352	0,958
MCPA	<0,001	0,008	0,035	<0,001	0,088	0,376	<0,001	0,167	0,716
Pendimethalin	<0,001	0,210	0,263	<0,001	0,690	0,867	0,001	1,170	1,471
Prosulfocarb	0,003	0,100	0,269	0,005	0,150	0,404	0,006	0,200	0,538

Tabel 19. Beregnede pesticidkoncentrationer (mg pr. kg) i et jordlag på 6,66 cm 12 måneder efter udsprøjtning af de 13 udvalgte pesticider ved henholdsvis lav, middel og høj dosering og lav, middel og høj halveringstid. Data findes i bilag II.  
 Table 19. Calculated concentrations of pesticides (mg per kg) in a soil layer of 6.66 cm 12 months after treatment with the 13 selected pesticides at low, mean, and high dosage, respectively. Data can be found in 'bilag II'.

Dosis	Lav	Lav	Lav	Middel	Middel	Middel	Høj	Høj	Høj
Halveringstid	Lav	Middel	Høj	Lav	Middel	Høj	Lav	Middel	Høj
Azoxystrobin	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Bromoxynil	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chlormequat-chlorid	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Dimethoat	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Fenpropimorph	<0,001	0,001	0,010	<0,001	0,003	0,018	<0,001	0,004	0,026
Fluroxypyr	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Glufosinat-ammonium	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Glyphosat	<0,001	0,001	0,172	<0,001	0,002	0,343	<0,001	0,003	0,515
Ioxynil	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Mancozeb	<0,001	0,004	0,222	<0,001	0,004	0,235	<0,001	0,005	0,249
MCPA	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,017	<0,001	<0,001	0,032
Pendimethalin	<0,001	0,071	0,178	<0,001	0,235	0,587	<0,001	0,399	0,996
Prosulfocarb	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,003

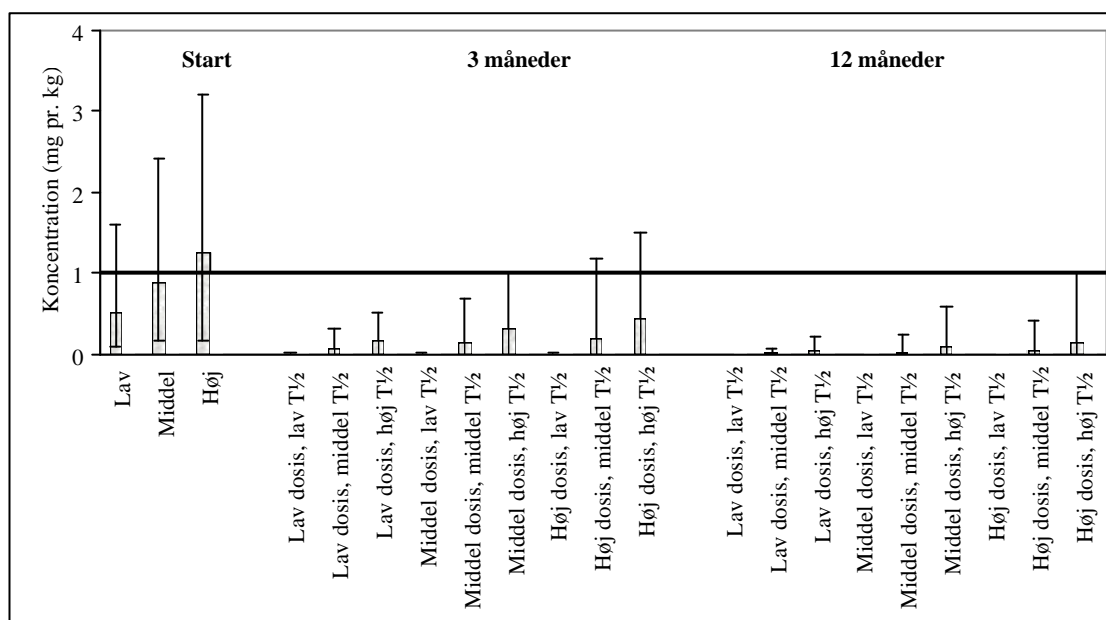
Tabel 20. Beregnede pesticidkoncentrationer (mg pr. kg) ved lav, middel og høj dosering og lav, middel og høj halveringstid i et jordlag på 6,66 cm umiddelbart efter 12 doseringer af mancozeb samt 3 og 12 måneder efter den sidste sprøjtning.  
 Table 20. Calculated concentrations of pesticides (mg per kg) in a soil layer of 6.66 cm immediately after 12 dosages of mancozeb and 3 and 12 months after the last treatment.

Dosis (kg aktivt stof /ha)	Lav 1,334	Lav 1,334	Lav 1,334	Middel 1,417	Middel 1,417	Middel 1,417	Høj 1,500	Høj 1,500	Høj 1,500
Halveringstid (dage)	Lav 7	Middel 43	Høj 139	Lav 7	Middel 43	Høj 139	Lav 7	Middel 43	Høj 139
1. sprøjtning/Dag 0	1,334	1,334	1,334	1,417	1,417	1,417	1,500	1,500	1,500
2. sprøjtning/Dag 7	2,001	2,526	2,622	2,126	2,683	2,785	2,250	2,840	2,949
3. sprøjtning/Dag 14	2,335	3,590	3,866	2,480	3,814	4,107	2,625	4,037	4,347
4. sprøjtning/Dag 21	2,501	4,541	5,068	2,657	4,824	5,383	2,813	5,106	5,698
5. sprøjtning/Dag 28	2,585	5,391	6,228	2,745	5,726	6,615	2,906	6,061	7,003
6. sprøjtning/Dag 35	2,626	6,149	7,348	2,790	6,532	7,805	2,953	6,915	8,263
7. sprøjtning/Dag 42	2,647	6,827	8,430	2,812	7,252	8,955	2,977	7,677	9,479
8. sprøjtning/Dag 49	2,658	7,433	9,475	2,823	7,895	10,064	2,988	8,358	10,654
9. sprøjtning/Dag 56	2,663	7,974	10,484	2,828	8,470	11,136	2,994	8,966	11,788
10. sprøjtning/Dag 63	2,665	8,457	11,458	2,831	8,983	12,171	2,997	9,509	12,884
11. sprøjtning/Dag 70	2,667	8,888	12,399	2,833	9,441	13,171	2,999	9,994	13,942
12. sprøjtning/Dag 77	2,667	9,274	13,308	2,833	9,851	14,136	2,999	10,428	14,964
3 måneder	0,001	2,396	8,767	0,001	2,545	9,313	0,001	2,694	9,858
12 måneder	<0,001	0,031	2,281	<0,001	0,033	2,423	<0,001	0,035	2,565



## 9 Konklusion

Umiddelbart efter en enkelt sprøjtning med middeldosering overskrider residualkoncentrationen af 5 af de 13 pesticider det foreslåede jordkvalitetskriterie. Ved den højeste dosering er der 8 pesticider, og ved den laveste dosering er der 2 pesticider, der overskrider det foreslåede jordkvalitetskriterium på 1 mg pr. kg. Efter 3 måneder er der 4 overskridelser af kriteriet, hvilket er i tilfælde, hvor der er givet høj og middel dosering af glyphosat og pendimethalin på jord med høj og middel halveringstid. Efter 12 måneder er der ingen overskridelser af jordkvalitetskriteriet. Højeste dosering er den højeste anbefalede dosering, men der vil sandsynligvis forekomme arealer hvorpå der er anvendt endnu højere doseringer. Et eksempel på dette er de befæstede arealer, hvor der førhen har været anvendt doseringer på op til 30 kg diuron pr. ha (Amternes Videnscenter for Jordforurening).



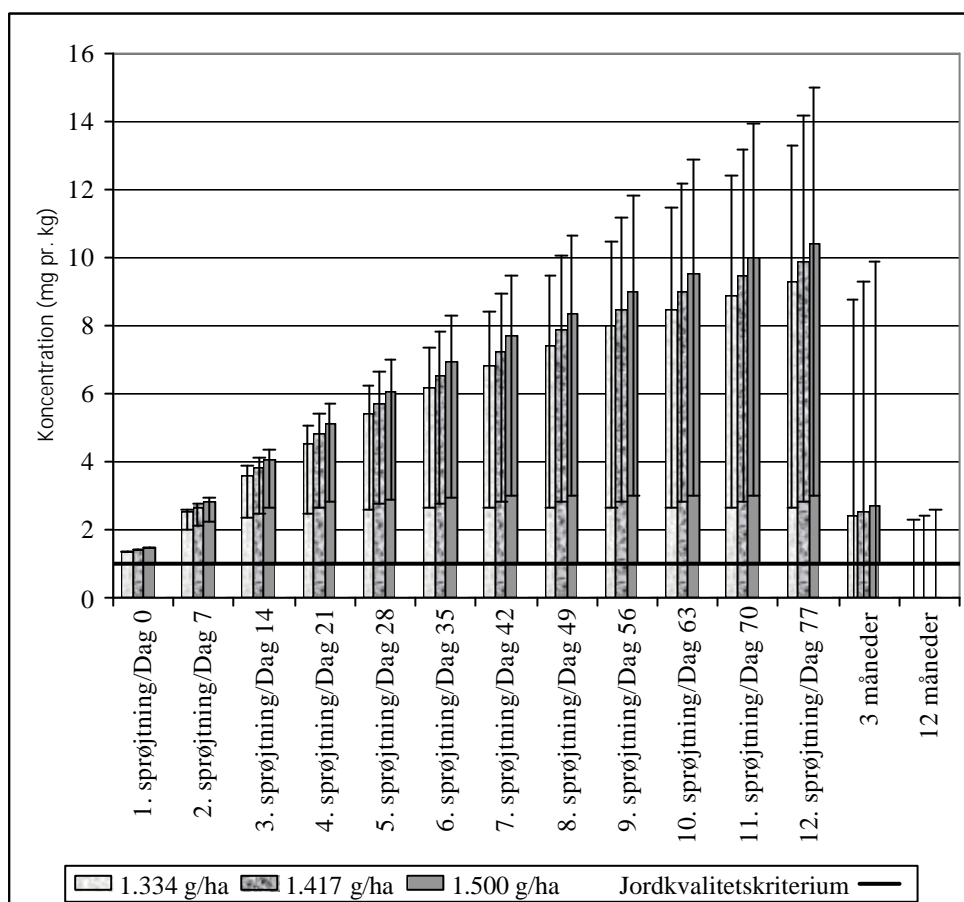
Figur 10. Beregnede middelkoncentrationer af de 13 udvalgte pesticider umiddelbart efter sprøjtning, og efter 3 og 12 måneder. Den optrukne linie angiver det foreslåede jordkvalitetskriterium for pesticider på 1 mg/kg jord. Ved start angives den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering. Efter 3 og 12 måneder angives koncentrationen, beregnet ved 1.ordens nedbrydning ved henholdsvis lav, middel og høj halveringstid og dosis. Søjlerne angiver middel tallet og barerne angiver den højeste og laveste værdi for de 13 pesticider.

Figure 10. The columns indicate the calculated mean concentrations of the 13 pesticides immediately after treatment, and after 3 and 12 months. The full-drawn line indicates the proposed quality criterion of pesticides in soil of 1 mg/kg. The concentration immediately after spraying is indicated after low, mean, and high dosages. After 3 and 12 months the residual concentration, calculated by first-order kinetics, is indicated after spraying with low, mean, and high half-lives. The bars indicate the minimum and maximum concentration of the 13 pesticides.

Den gennemsnitlige residualkoncentration af de 13 undersøgte pesticider, umiddelbart efter sprøjtning, samt 3 og 12 måneder efter enkelt dosering, er vist i figur 10. Det er oftest pendimethalinen, der er tilbage i høje koncentrationer, hvilket skyldes, at der angives en halveringstid på op til 480 dage. Denne halveringstid er høj i forhold til de fleste andre anvendte

pesticider. Der angives dog f.eks. at halveringstiden for diflufenican kan variere mellem 105 og 210 dage og for ethofumesat mellem 84 og 407 dage (Tomlin, 1997). Man kan derfor ikke udelukke, at der i enkelte tilfælde, kan findes pesticidkoncentrationer, der er over det foreslåede jordkvalitetskriterium. Dette vil hovedsagelig være tilfældet umiddelbart efter sprøjtning, men vil også forekomme efter 3 måneder, mens risikoen for overskridelser vil være meget lav efter 12 måneder, med mindre der er sprøjtet mange gange.

Ved gentagen sprøjtning er residualkoncentrationen op til 15 gange jordkvalitetskriteriet umiddelbart efter sidste sprøjtning. Denne akkumulering er at forvente, hvor der sprøjtes hyppigere, end pesticiderne kan nedbrydes. Efter 3 måneder er der 6 af de 9 beregnede tilfælde, hvor residualkoncentrationen overskrider jordkvalitetskriteriet. Dette tal er faldet til 3 ud af 9 efter 12 måneder. Den gennemsnitlige residualkoncentration af mancozeb efter gentagne doseringer er vist i figur 11.



Figur 11. Middel-residualkoncentrationerne af mancozeb umiddelbart efter hver sprøjtning, samt 3 og 12 måneder efter den sidste sprøjtning. Desuden angives den mindste og den største residualkoncentration med barer for hhv. den mindste (7 dage) og største (139 dage) halveringstid. Den optrukne linie angiver det foreslåede jordkvalitetskriterium på 1 mg/kg.

Figure 11. Mean residual concentration of mancozeb immediately after spraying, and 3 and 12 months after spraying. The bars indicate the minimum and maximum residual concentrations calculated for the minimum (7 days) and the maximum (139 days) half-life, respectively. The full-drawn line indicates the proposed soil quality criterion of 1 mg/kg.

Residualkoncentrationen i jorden er beregnet ud fra den forudsætning, at pesticidernes nedbrydning kan beskrives med en 1.ordens proces. Det er dog ikke altid muligt at beskrive nedbrydningen med denne simple sammenhæng. Flere undersøgelser har vist, at nedbrydningskinetikken er afhængig af



pesticidkoncentrationen. Gentagen dosering, der medfører høje pesticidkoncentrationer, kan derfor muligvis give anledning til langsommere nedbrydning med tiden, hvilket ikke kan modelleres med en 1.ordens proces. Beskrivelse af residualkoncentrationen med modeller der medtager, at den procentvise nedbrydning falder med tiden, giver en større koncentration i jorden. Biotilgængeligheden af denne residualkoncentration vil dog med tiden reduceres, da bindingen til og i jordpartiklerne øges, men forandringer i det fysisk-kemiske miljø, kan øge biotilgængeligheden; eksempelvis ved forsuring af jorden eller nedbrydning af humus og lerminerale.

Generelt vil der være de største pesticidkoncentrationer i jorden umiddelbart efter sprøjtning. Ved gentagne doseringer kan det give anledning til en vis akkumulering i jorden. Pesticidkoncentrationen i jorden umiddelbart efter en enkelt sprøjtning vil overstige jordkvalitetskriteriet, hvor den højeste dosering er anvendt. Efter 3 og 12 måneder er middelkoncentrationen under jordkvalitetskriteriet ved enkeltdosering, men overskridelser kan forekomme i tilfælde hvor nedbrydningen ikke er optimal, og hvor der er anvendt mere end den laveste anbefalede dosis.

Et kvalitetskriterium for jordforurening med pesticider på 1 mg pr. kg, vil i langt de fleste tilfælde kunne overholdes ved almindelig anbefalet anvendelse, men man skal være opmærksom på, at der vil forekomme overskridelser af jordkvalitetskriteriet umiddelbart efter sprøjtning og efter 3 måneder, især på arealer med gentagen sprøjtning, men kun i enkelte tilfælde efter 12 måneder.

Områder hvor der er tilført højere pesticidkoncentrationer f.eks. vaskepladser for sprøjter og steder hvor man har deponeret emballage eller tømt sprøjter, kan indeholde væsentlig højere koncentrationer end de beregnede. Der er ikke i beregningerne af residualkoncentrationerne taget hensyn til forekomsten af metabolitter, idet de skønnes at forekomme i lavere koncentrationer end moderstoffet. Da metabolitterne imidlertid kan være mere stabile end moderstoffet, er det aktuelt at undersøge forekomsten af stabile metabolitter i de dyrkede marker.

De befæstede arealer udgør områder, hvor nedbrydningen er lav sammenlignet med almindelig landbrugsjord (Figur 6 og Tabel 14), hvorfor der her kan forekomme residualkoncentrationer, der er højere end for landbrugsjord. Det har ikke i denne rapport været muligt at beregne indholdet af pesticider på befæstede arealer, da der ikke foreligger tilstrækkelige data for nedbrydning til at foretage beregninger af residualkoncentrationer. Det bør derfor undersøges ved analysering af udvalgte befæstede arealer i hvilken grad pesticider fjernes fra disse områder.



# 10 Referencer

Amternes Videnscenter for Jordforurening. Pesticidanvendelser i forskellige brancher.

Bay, H. (1999). Pesticider i grundvandet, også et punktkildeproblem. Tillæg til orientering fra Amternes Videnscenter for jordforurening, april 1999.

Bornholms Amt, Teknisk Forvaltning. Pesticidforurening fra punktkilder. Sammendrag af undersøgelser 1999/2000

Büchert, A. (1998). Indtagelse af pesticider gennem kosten. Konsulentrapport fra Fødevaredirektoratet, Institut for Fødevareundersøgelser og Ernæring, 56 pp., Fra Bicheludvalget, Miljø og Sundhed

Carlsen, S. (2002). Quantification of the Drift and Evaporation of 10 Herbicides after Tractor Spray Application. Danish Institute of Agricultural Sciences, Department of Crop Protection, Research Centre Flakkebjerg.

Cleemann, M., Poulsen M. & Hilbert G. (1995). Long distance transport of Lindane in Denmark. In proc. from seminar "pesticides in precipitation and surface water", Helweg, A. (ED.), Nordic Council of Ministers, Tema Nord, 1995:558, 75-83.

Danmarks JordbrugsForskning (2001). Plantebeskyttelsesmidler 2001. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Danmarks JordbrugsForskning, Afdeling for Plantebeskyttelse.

Danmarks JordbrugsForskning (2002). Vejledning i planteværn 2002. Danmarks JordbrugsForskning, Landskontoret for Planteavl, Landbrugets Rådgivningscenter.

Danmarks Statistik (2001). Landbrug 2000 Statistik om landbrug, gartneri og skovbrug. Danmarks Statistik.

deJonge, H, deJonge, L.W. & Jacobsen, O.H. (2000). [<sup>14</sup>C]glyphosate transport in undisturbed topsoil columns. Pest. Manag. Sci. 56 (10) 9. 909-915.

Felding, G., Asman W.A.H. & Spliid NH. (1999). Belastning af landjorden med pesticider via nedbør. 16. Danske Planteværnskonference, DJF rapport nr. 9, 71-87.

Felding, G. & Helweg A. (1998). Forurening af jord med pesticider via luft og regnvand. Tidsskr. F. Landøkonomi, 185 årg., 2, 67-73

FOCUS (1997). Soil persistence models and EU registration. Final report of FOCUS, 7617/VI/96, 74 pp.

- Fomsgaard, I.S. (1997a). Modelling the mineralization kinetics for low concentrations of pesticides in surface and subsurface soil. *Ecological Modelling* 102, 175-208
- Fomsgaard, I.S. (1997b). Vurdering af variationen på nedbrydningstider i jord DT<sub>50</sub>. I Lindhart, B., I.S. Fomsgaard, W. Brüsich og R. Bossi (1997). Pesticiders udvaskelighed.
- Fomsgaard, I.S. (1998). Mineralisering af pesticider i jord fra pløjelag og dybere jordlag – i relation til temperatur, jordsammensætning, biologisk aktivitet og initial pesticidkoncentration. Ph.D. afhandling. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Danmarks JordbrugsForskning, 4200 Slagelse
- Helweg, A. (1983). Mikrobiologisk nedbrydning og effekt af maleinhydrazid, carbendazim og 2-aminobenzimidazol i jord. Disputats, Den Kgl. Vetr. Og Landbohøjskole.
- Helweg, A., Fomsgaard, I. & Gardshodn, E. (1991). Nedbrydning af herbicidet mechlorprop (MCP) i jord. Indflydelse af jordtemperatur og jorddybde. 8. Danske Planteværnskonference, 1991, 255-264. Danmarks JordbrugsForskning, 4200 Slagelse
- Helweg, A, Fomsgaard, I.S., Reffstrup & Sørensen, H. (1998). Degradation of mecoprop and isoproturon in soil – influence of initial concentration. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, Vol. 70, 1-4, 133-148.
- Helweg, A., Brüsich, W., Jacobsen, O.S., Spliid, N.H., Hansen, S.U. & Laier, T. (1999). Pesticider i punktkilde. Punktkildernes oprindelse og spredning i jord og grundvand. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen, Nr. 51, 76 p.
- Helweg, A. (2000). *Kemiske stoffer i miljøet*. Gads Forlag
- Hill, G.D., McGahen, J.W., Baker, H.M., Finnerty, D.W. & Bingeman, C.W. (1955). The Fate of Substituted Urea Herbicides in Agricultural Soils. *Agronomy Journal* vol. 47, No. 2, Feb. 1955.
- Jaeschke, W., B. Gath & D. Pfäfflin (1995). Deposition monitoring of pesticides in Southern Germany. In. Proc. from seminar "Pesticides in precipitation and surface water", Helweg, A. (ED.), Nordic Council of Ministers, Tema Nord, 1995:558, 65-75
- Jacobsen, C.S., Helweg, A. & Spliid, N.H. (1998). Glyphosat og AMPA i jord. 15. Danske Planteværnskonference, 1998, 17-26. Danmarks JordbrugsForskning, 4200 Slagelse
- Jensen, E.H., Jacobsen, C.S. & Helweg, A. (1988). Binding og udvaskning af atrazin i to danske jordtyper. 5. Danske Planteværnskonference, 1. Marts 1988, 33-44. Danmarks JordbrugsForskning, 4200 Slagelse
- Juhler, R.K., Hilbert, G. & Green, M. (1995). Pesticidrester i danske levnedsmidler 1994. Publ. 234, Levnedsmiddelstyrelsen, Mørkhøj Bygade 19, 2860 Søborg, Denmark, 105 pp.

Jørgensen P.R., Spliid, N.H., Hansen, M., Lindgreen, H., Outzen, S. & Brehmer, A. (2000). Point and Non-Point Source Leaching of Pesticides in a Till Groundwater Catchment. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen, No. 52, 85 p.

Kreuger, J. (1995). Pesticider i regnvatten i Sverige. I. Proc. from seminar "Pesticides in precipitation and surface water", Helweg, A. (ED.), Nordic Council of Ministers, Tema Nord, 1995:558, 33-44

Miljøstyrelsen (1997). Deposits of Pesticides on the Soil Surface. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen, nr. 27. Miljø- og energiministeriet. Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen (1999a). Rapport fra underudvalget om jordbrugsdyrkning. Bichel-udvalget. Miljøstyrelsen, Sekretariatet for Pesticidudvalget.  
Miljøstyrelsen (1999b). Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen 1999. Nr. 51. Miljøstyrelsen, 76 p

Miljøstyrelsen (2001). Indstilling vedr. generelt jordkvalitetskriterium for pesticidrester i jord. Kontoret for Biocid- og Kemikalievurdering, samt Jordforureningskontoret. Miljøstyrelsen

Miljøstyrelsen (2002). Bekæmpelsesmiddelstatistik 2001. Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 5. Miljøstyrelsen

Nielsen, E., Meyer, O., Edelgaard, I., Ihlemann, C., Bagge, L. & Larsen, P.B. (1999). Møde vedr. Jordkvalitetskriterier for pesticider (j.nr. M7041-0121) d. 18 november 1999. Institutet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Sekretariatet og Udredningsafdeling.

Noyé, G. (2002). Ukrudtsbekæmpelse i havebrug og vedplantekulturer 2002. DJF Rapport. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Danmarks JordbrugsForskning.

Pedersen, H.J., Kudsk, P. & Helweg, A. (1995). Adsorption and ED<sub>50</sub> Values of Five Soil-Applied Herbicides. Pesticide Science, 44, 131-136.

Permin, O. (1980). Forskellige metoder til at undgå afdrift ved marksprøjtning og virkning på ukrudt ved sprøjtning med herbicider. Tidsskrift for Planteavl, 84, 75-88.

Pilling, E.D., Earl, M. & Joseph, R.S.I. (1996). Azoxystrobin: fate and effects in the terrestrial environment. Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases - 1996. Volume 1. Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 18-21 November, 1996, pp. 315-322.

Schraa, G. (1996). Use of microorganisms in soil sanitation. I: Soil Pollution and Soil Protection, de Haan, F.A.M. & Visser-Reyneveld, M.I. (eds.), International Training Centre (PHLO), Wageningen Agric. Univ., p.119.

Skovteknisk Institut (1982). Skovsprøjtning '82.

Stark, J. & Torstensson, L. (1978). Persistens av 2,4-D i skogsjord. 19:e Svenska Ugräskonferens n/-N11.

Statistikbanken (2002). <http://www.Statistikbanken.dk/>

Tomlin, C. (1997). The Pesticide Manual. 11. edition. Crop Protection Publications.

Århus Amt (1999). Pesticider i grundvand i Århus Amt. Teknisk rapport Juni 1999. Århus Amt Natur og Miljø.

The ARS Pesticide Properties Database, USDA ([www.arsusda.gov](http://www.arsusda.gov))

# Bilag I. Udvælgelse af pesticider

Salget og det totale behandlede areal af hvert pesticid er angivet i nedenstående tabeller. Herudfra er valgt et bredt udsnit af pesticider med arealer over 100.000 ha og salg over ca. 25.000 kg pr. år (markeret). Datamaterialet til tabellerne i bilag I er fra Miljøstyrelsen 2002.

Herbicerider	Total behandlede ha	Salg (kg)
Aclonifen	6.480	9.483
Amidosulfuron	112.774	1.712
Asulam	3.280	2.624
Bentazon	93.444	54.104
Bromoxinil	112.272	44.909
Clomazon	41.351	4.802
Clopyralid	45.564	5.740
Desmedipham	1.857	1.337
Dicamba	18.450	3.690
Diflufenican	19.158	1.847
Diquat dibromid	11.819	16.074
Ethofumesat	58.350	23.340
Fenoxaprop-p-ethyl	58.246	4.019
Flamprop-m-isopropyl	18.720	11.232
Fluazifop-p-butyl	16.342	4.523
Fluroxypyr	175.824	24.963
Glufosinat-ammonium	5.920	3.552
Glyphosat	634.603	799.600
Glyphosat-trimesium	10.299	18.816
Haloxypop-ethoxyethyl	18.008	3.385
Ioxynil	107.378	43.041
Linuron	9.708	8.982
MCPA	177.898	238.208
Metamitron	45.674	95.915
Methabenzthiazurin	5.017	12.292
Metribuzin	33.743	8.267
Metsulfuron methyl	115.150	658
Napropamid	10	6
Pendimethanlin	176.530	250.101
Phenmedipham	44.499	32.039
Propaquizafop	16.197	1.780
Propyzamid	35.108	17.554
Prosulfocarb	127.057	355.760
Pyridat	19.353	17.418
Rimsulfuron	33.600	252
Terbuthylazin	35.620	40.963
Thifensulfuron methyl	22.800	180
Triasulfuron	65.750	263
Tribenuron-methyl	12.000	90
Trifluralin	65	31
Triflusulfuron-methyl	11.667	525
Total (behandlede ha)	2.557.585	2.164.077

Vækstregulerende midler	Total behandlet areal (ha)	Salg (kg)
Chlormequat-chlorid	302.984	296.641
Ethephon	21.159	9.756
Maleinhydrazid	273	545
Mepiquat-chlorid	1.530	1.836
Trinexapac-ethyl	3.504	438
Total (behandlede ha)	329.450	309.216

Fungicider	Total behandlet areal (ha)	Salg (kg)
Azoxystrobin	304.756	76.689
Cyprodinil	3.748	2.811
Dimethomorph	1.396	698
Fenpropidin	15.561	11.671
Fenpropimorph	138.984	104.238
Fosetyl-al	66.705	
Fluazinam	366	13.341
Isoprodin	358	
Kresoxim methyl	20.744	2.593
Mancozeb	177.308	265.962
Prochloraz	20.158	9.071
Propamocarb	3.873	3.789
Propiconazol	124.120	15.515
Svovl	754	4.220
Tebuconazol	197.670	50.255
Total (behandlede ha)	1.076.501	560.853

Insekticider	Total behandlet areal (ha)	Salg (kg)
Alpha-cypermethrin	36.519	462
Chlorfenvinphos	107	160
Cypermethrin	219.447	3.202
Dimethoat	107.978	32.987
Esfenvalerat	177.259	1.887
Ferrifosfat	94	46
Lambda-cyhalothrin	87.207	653
Malathion	407	359
Pirimicarb	29.398	3.902
Tau-fluvalinat	103.916	5.160
Total (behandlede ha)	762.332	48.818

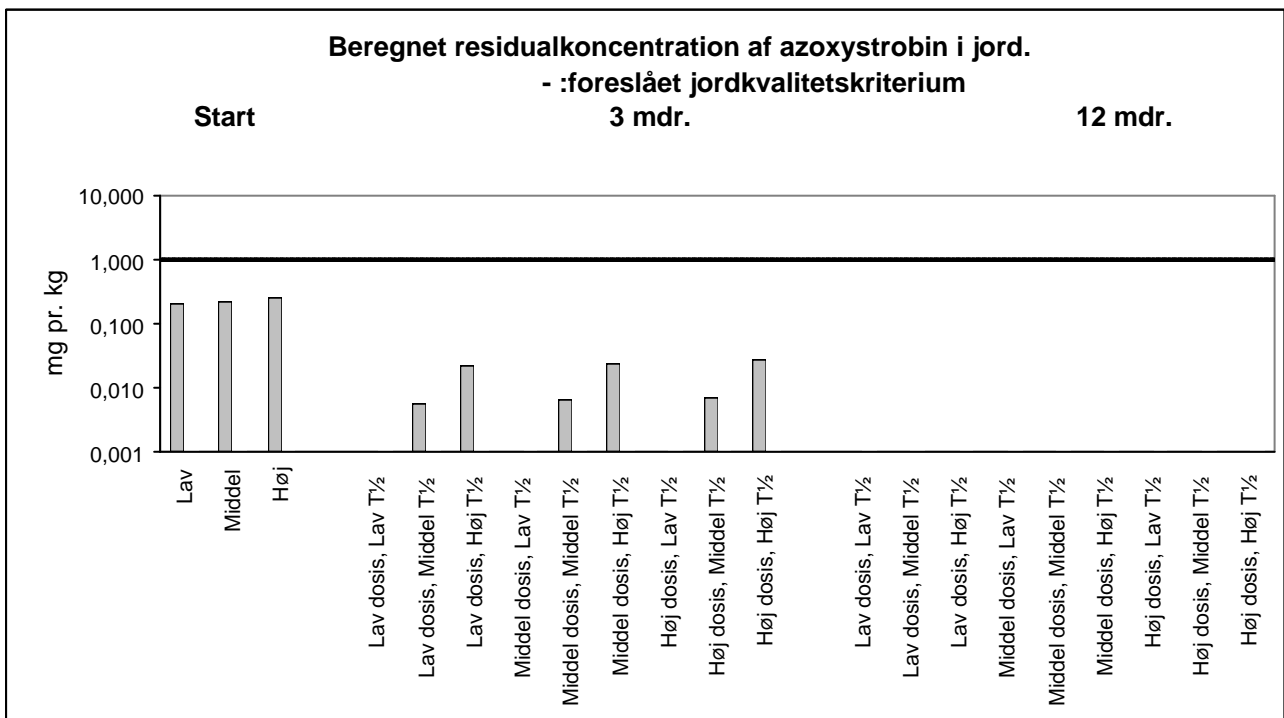


# Bilag II. Beregnet residualkoncentration af pesticider efter enkelt dosering

## Azoxystrobin

Beregnet residualkoncentration af azoxystrobin i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,200 0,225 og 0,250 g aktivt stof pr. ha og halveringstider på 7, 18 og 28 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

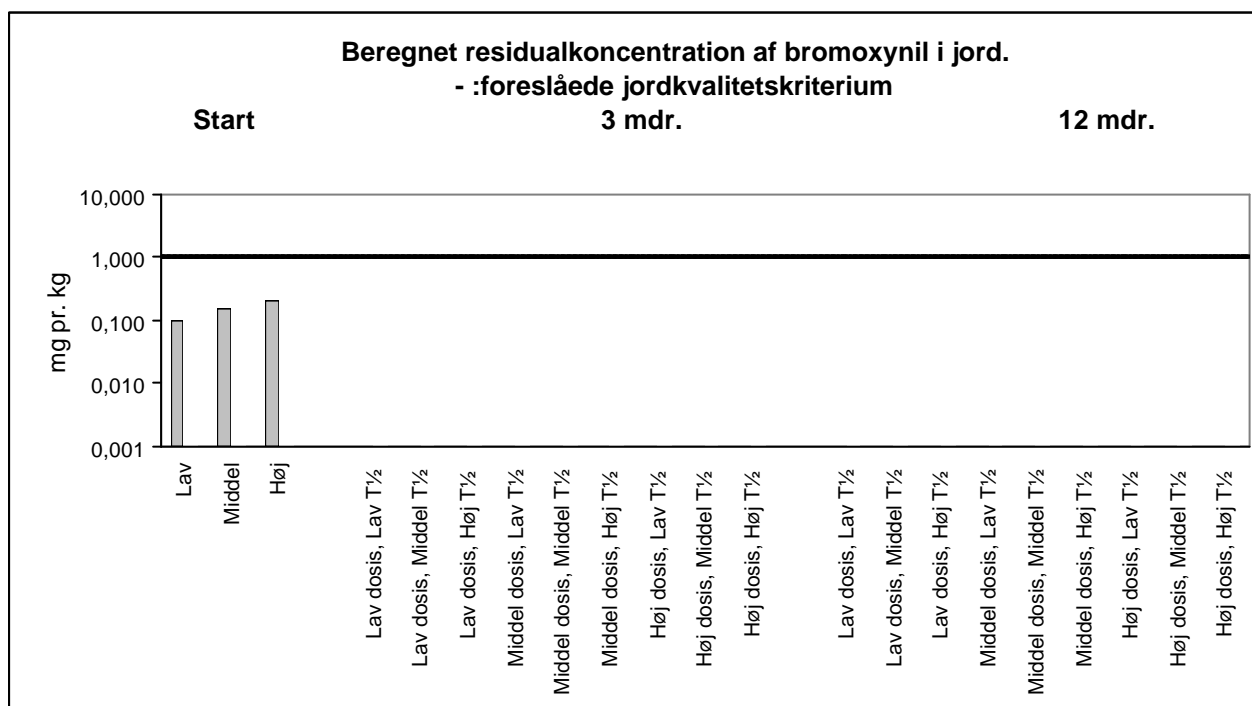
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,200	Lav 0,200	Lav 0,200	Middel 0,225	Middel 0,225	Middel 0,225	Høj 0,250	Høj 0,250	Høj 0,250
t <sub>1/2</sub> (dage)	Lav 7	Middel 18	Høj 28	Lav 7	Middel 18	Høj 28	Lav 7	Middel 18	Høj 28
Start	0,200	0,200	0,200	0,225	0,225	0,225	0,250	0,250	0,250
3 mdr.	<0,001	0,006	0,022	<0,001	0,006	0,024	<0,001	0,007	0,027
12 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001



## Bromoxynil

Beregnet residualkoncentration af bromoxynil i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,100 0,150 og 0,200 kg aktivt stof pr. ha og en halveringstid på 10 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

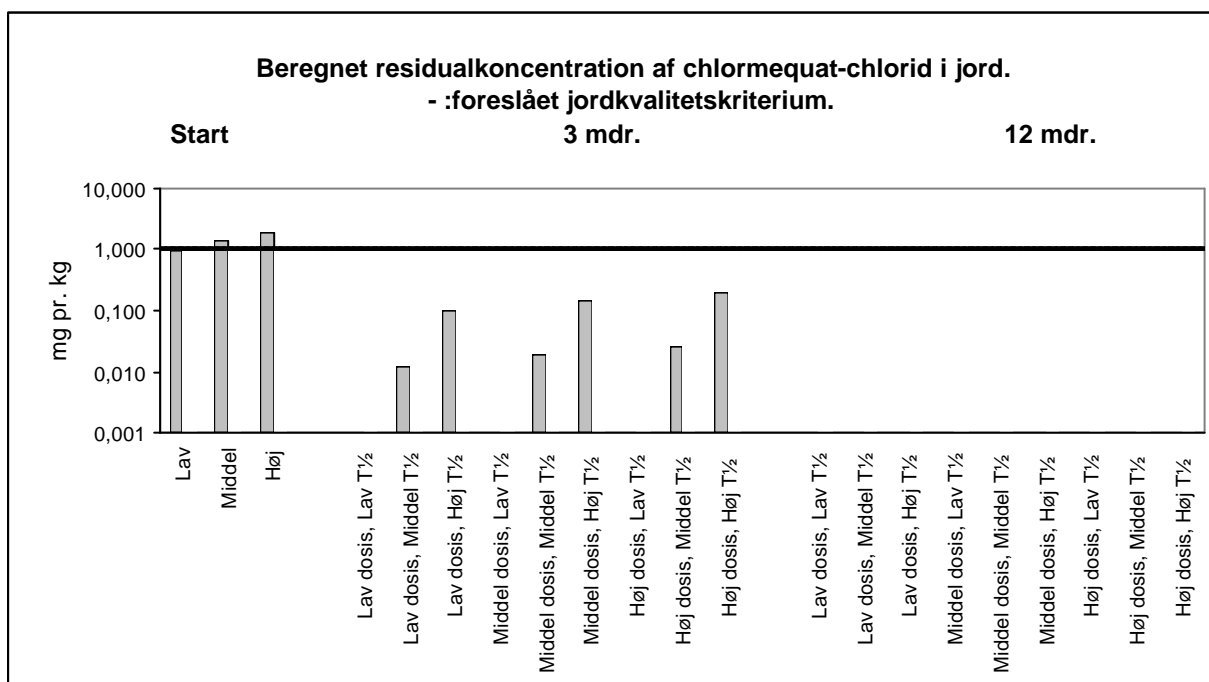
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,100	Middel 0,150	Høj 0,200
t <sub>1/2</sub> (dage)	Middel 10	Middel 10	Middel 10
Start	0,100	0,150	0,200
3 mdr.	0,002	0,003	0,004
12 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001



## Chlormequat-chlorid

Beregnet residualkoncentration af chlormequat-chlorid i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,920, 1,380 og 1,840 kg aktivt stof pr. ha og halveringstider på 1, 15 og 28 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

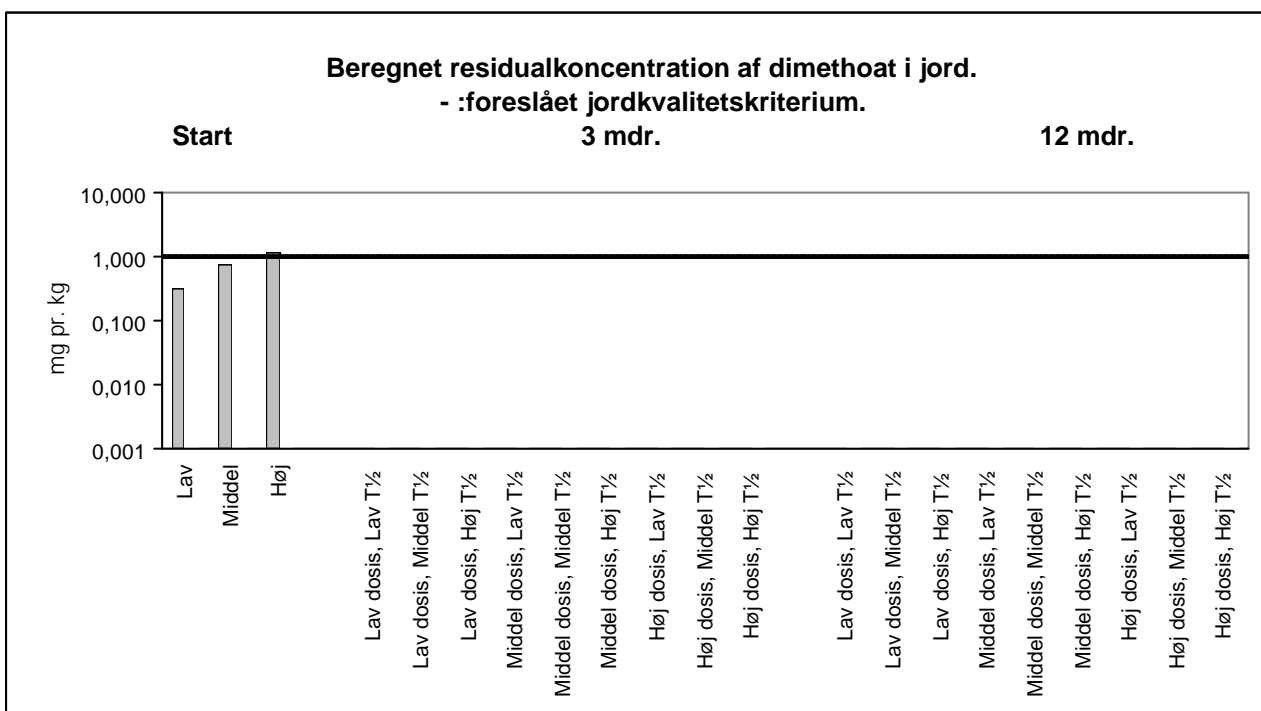
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,920	Lav 0,920	Lav 0,920	Middel 1,380	Middel 1,380	Middel 1,380	Høj 1,840	Høj 1,840	Høj 1,840
T½ (dage)	Lav 1	Middel 15	Høj 28	Lav 1	Middel 15	Høj 28	Lav 1	Middel 15	Høj 28
Start	0,920	0,920	0,920	1,380	1,380	1,380	1,840	1,840	1,840
3 mdr.	<0,001	0,012	0,099	<0,001	0,019	0,149	<0,001	0,025	0,198
12 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001



## Dimethoat

Beregnet residualkoncentration af dimethoat i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,320, 0,760 og 1,200 kg aktivt stof pr. ha og en halveringstid på 7 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

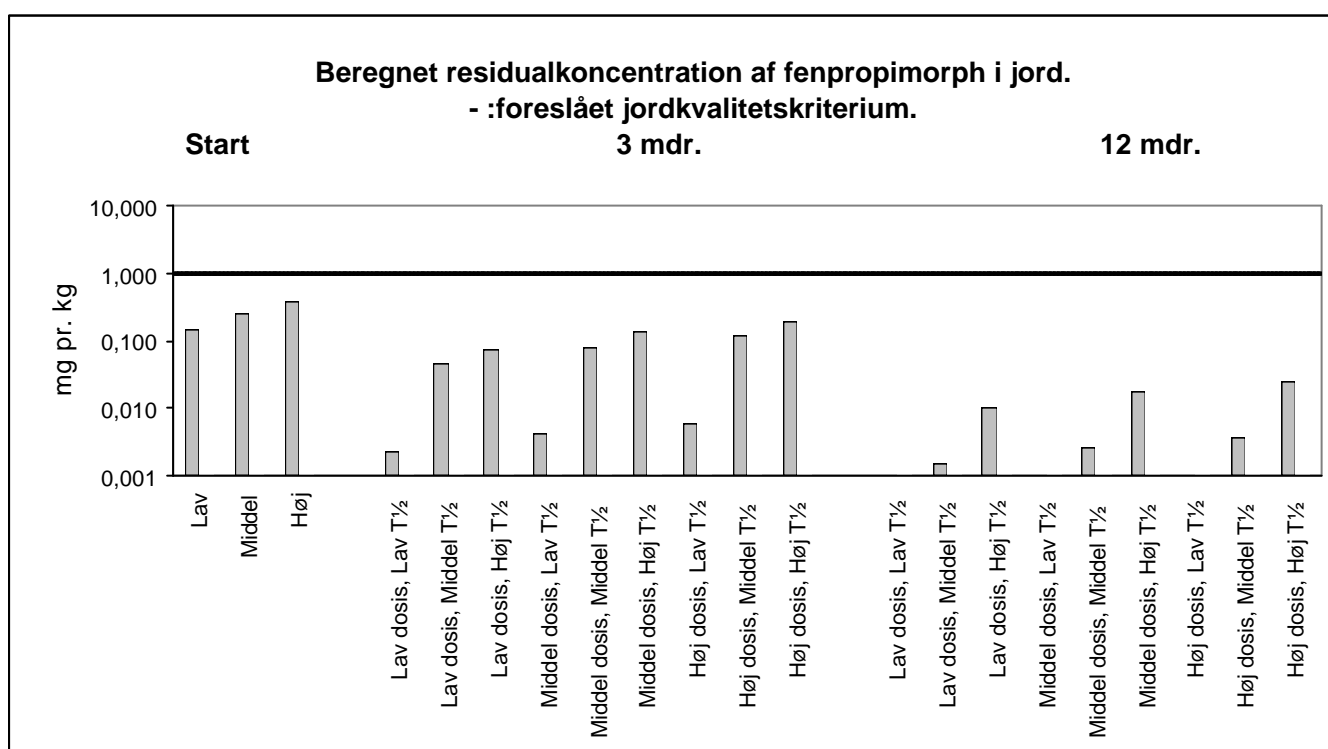
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,320	Middel 0,760	Høj 1,200
t½ (dage)	Middel 7	Middel 7	Middel 7
Start	0,320	0,760	1,200
3 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001
12 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001



## Fenpropimorph

Beregnet residualkoncentration af fenpropimorph i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,150, 0,263 og 0,375 kg aktivt stof pr. ha og halveringstider på 15, 54 og 93 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

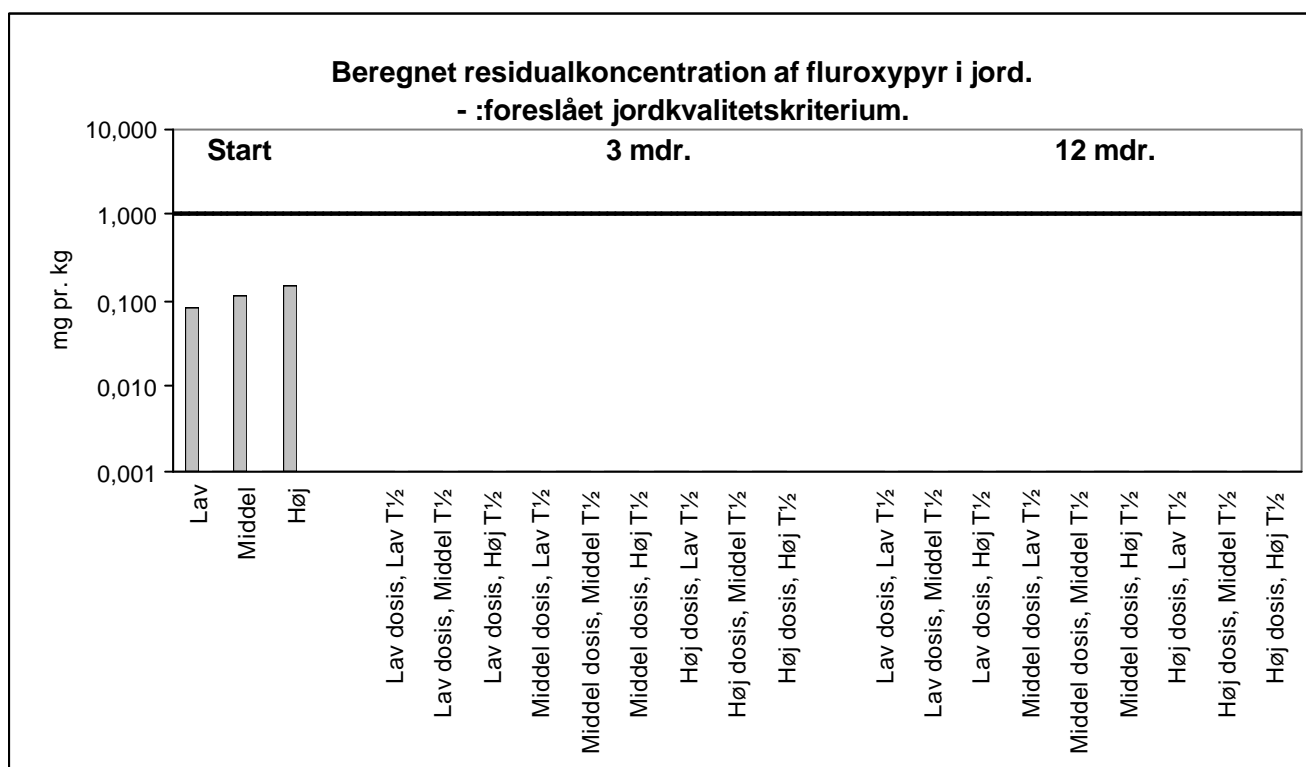
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,150	Lav 0,150	Lav 0,150	Middel 0,263	Middel 0,263	Middel 0,263	Høj 0,375	Høj 0,375	Høj 0,375
t½ (dage)	Lav 15	Middel 54	Høj 93	Lav 15	Middel 54	Høj 93	Lav 15	Middel 54	Høj 93
Start	0,150	0,150	0,150	0,263	0,263	0,263	0,375	0,375	0,375
3 mdr.	0,002	0,047	0,077	0,004	0,083	0,134	0,006	0,118	0,192
12 mdr.	<0,001	0,001	0,010	<0,001	0,003	0,018	<0,001	0,004	0,026



## Fluroxypyr

Beregnet residualkoncentration af fluroxypyr i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,080, 0,115 og 0,150 kg aktivt stof pr. ha og halveringstider på 5, 7 og 9 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

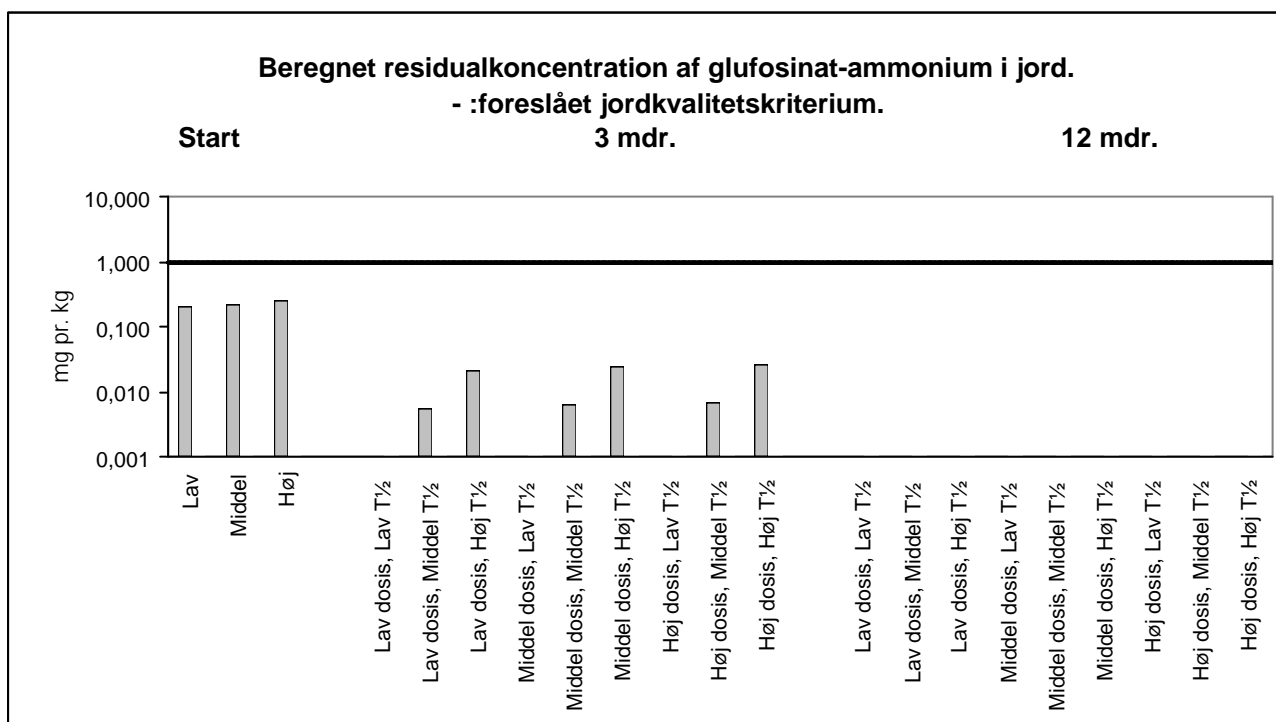
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,080	Lav 0,080	Lav 0,080	Middel 0,115	Middel 0,115	Middel 0,115	Høj 0,150	Høj 0,150	Høj 0,150
t <sub>1/2</sub> (dage)	Lav 5	Middel 7	Høj 9	Lav 5	Middel 7	Høj 9	Lav 5	Middel 7	Høj 9
Start	0,080	0,080	0,080	0,115	0,115	0,115	0,150	0,150	0,150
3 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
12 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001



## Glufosinat-ammonium

Beregnet residualkoncentration af glufosinat-ammonium i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,600, 0,800 og 1,000 kg aktivt stof pr. ha og halveringstider på 6, 13 og 20 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

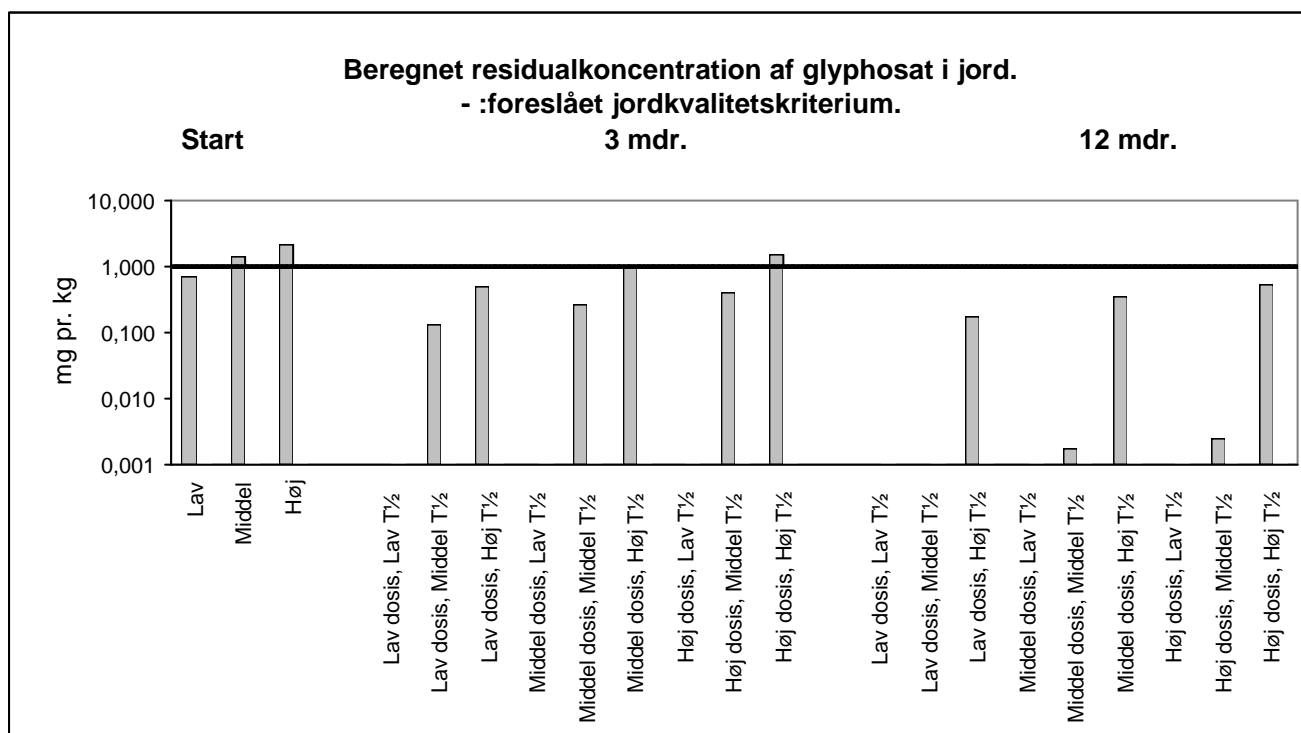
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,600	Lav 0,600	Lav 0,600	Middel 0,800	Middel 0,800	Middel 0,800	Høj 1,000	Høj 1,000	Høj 1,000
t½ (dage)	Lav 6	Middel 13	Høj 20	Lav 6	Middel 13	Høj 20	Lav 6	Middel 13	Høj 20
Start	0,600	0,600	0,600	0,800	0,800	0,800	1,000	1,000	1,000
3 mdr.	<0,001	0,005	0,027	<0,001	0,007	0,035	<0,001	0,008	0,044
12 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001



## Glyphosat

Beregnet residualkoncentration af glyphosat i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,720, 1,440 og 2,160 kg aktivt stof pr. ha og halveringstider på 2, 37 og 174 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,720	Lav 0,720	Lav 0,720	Middel 1,440	Middel 1,440	Middel 1,440	Høj 2,160	Høj 2,160	Høj 2,160
t <sub>1/2</sub> (dage)	Lav 2	Middel 37	Høj 174	Lav 2	Middel 37	Høj 174	Lav 2	Middel 37	Høj 174
Start	0,720	0,720	0,720	1,440	1,440	1,440	2,160	2,160	2,160
3 mdr.	<0,001	0,133	0,503	<0,001	0,267	1,006	<0,001	0,400	1,509
12 mdr.	<0,001	0,001	0,172	<0,001	0,002	0,343	<0,001	0,003	0,515

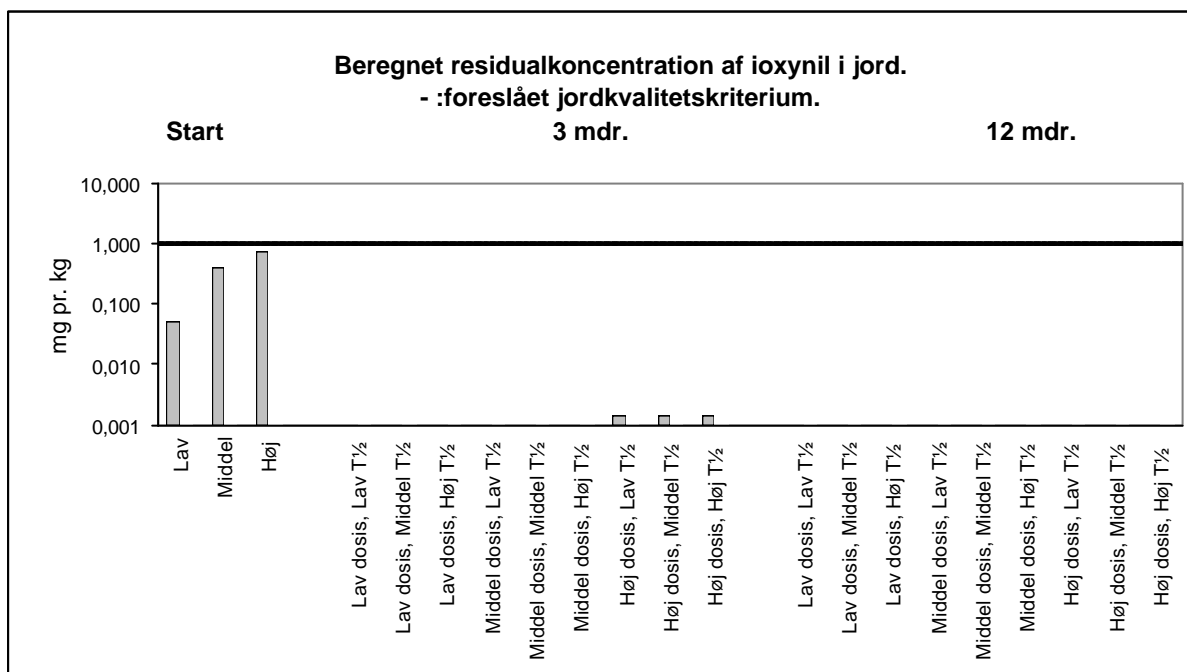




## Ioxynil

Beregnet residualkoncentration af ioxynil i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,050, 0,400 og 0,750 kg aktivt stof pr. ha og en halveringstid på 10 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

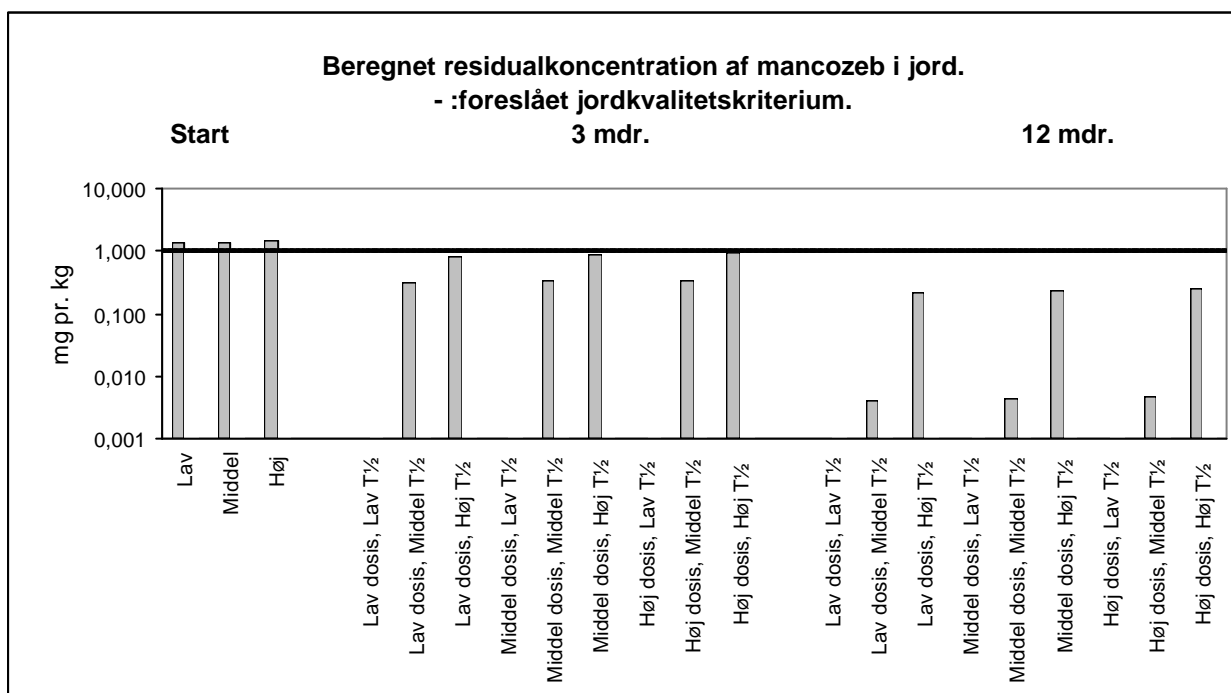
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,050	Middel 0,400	Høj 0,750
t <sub>1/2</sub> (dage)	Middel 10	Middel 10	Middel 10
Start	0,050	0,400	0,750
3 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001
12 mdr.	<0,001	<0,001	<0,001



## Mancozeb

Beregnet residualkoncentration af mancozeb i jord (mg/kg) ved doseringer på 1,334, 1,417 og 1,500 kg aktivt stof pr. ha og halveringstider på 7, 43 og 139 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

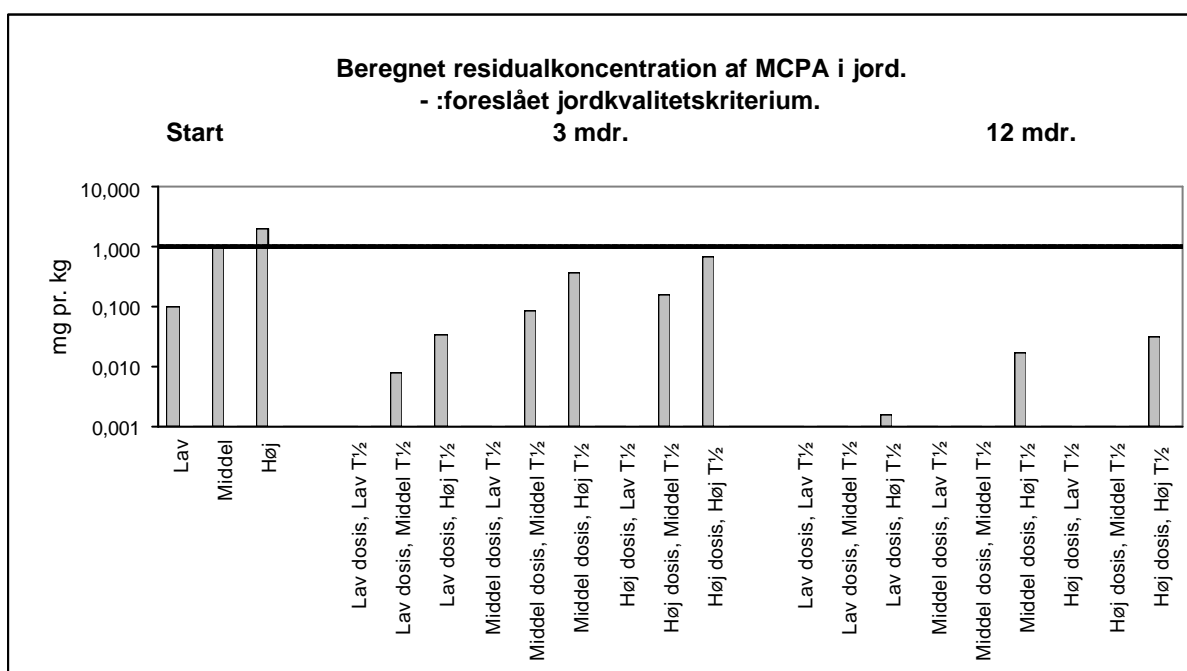
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 1,334	Lav 1,334	Lav 1,334	Middel 1,417	Middel 1,417	Middel 1,417	Høj 1,500	Høj 1,500	Høj 1,500
t <sub>1/2</sub> (dage)	Lav 7	Middel 43	Høj 139	Lav 7	Middel 43	Høj 139	Lav 7	Middel 43	Høj 139
Start	1,334	1,334	1,334	1,417	1,417	1,417	1,500	1,500	1,500
3 mdr.	<0,001	0,313	0,852	<0,001	0,332	0,905	<0,001	0,352	0,958
12 mdr.	<0,001	0,004	0,222	<0,001	0,004	0,235	<0,001	0,005	0,249



## MCPA

Beregnet residualkoncentration af MCPA i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,100, 1,063 og 2,025 kg aktivt stof pr. ha og halveringstider på 6, 25 og 60 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

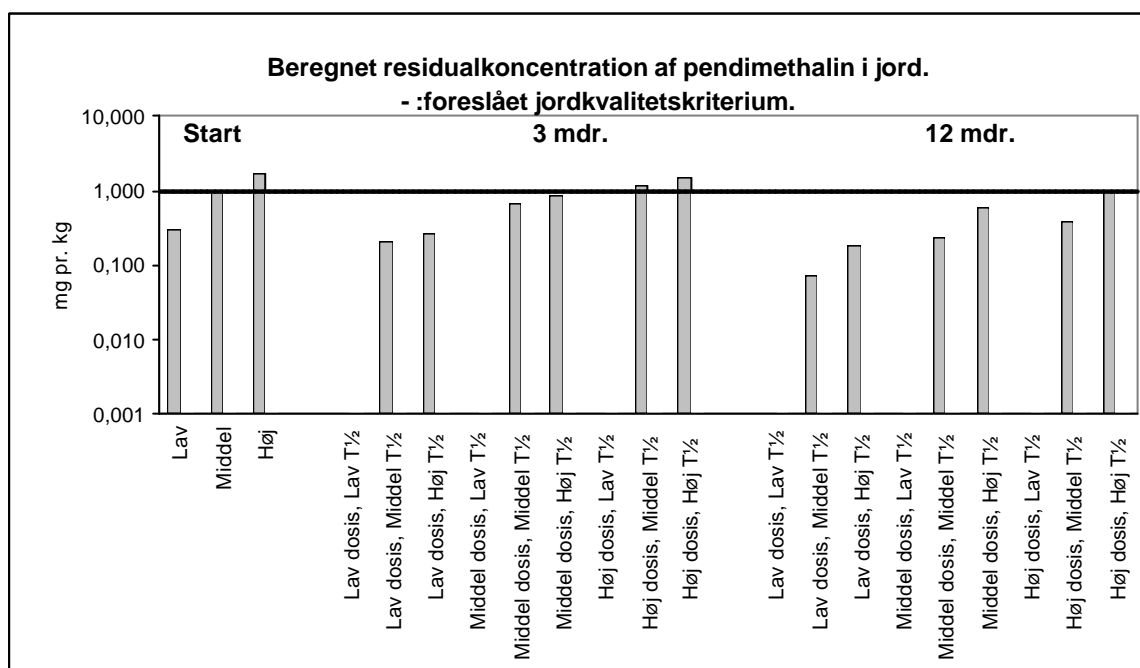
Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,100	Lav 0,100	Lav 0,100	Middel 1,063	Middel 1,063	Middel 1,063	Høj 2,025	Høj 2,025	Høj 2,025
t <sub>1/2</sub> (dage)	Lav 6	Middel 25	Høj 60	Lav 6	Middel 25	Høj 60	Lav 6	Middel 25	Høj 60
Start	0,100	0,100	0,100	1,063	1,063	1,063	2,025	2,025	2,025
3 mdr.	<0,001	0,008	0,035	<0,001	0,088	0,376	<0,001	0,167	0,716
12 mdr.	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,017	<0,001	<0,001	0,032



## Pendimethalin

Beregnet residualkoncentration af pendimethalin i jord (mg/kg) ved doseringer på 0,300, 0,988 og 1,675 kg aktivt stof pr. ha og halveringstider på 8, 174 og 480 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 0,300	Lav 0,300	Lav 0,300	Middel 0,988	Middel 0,988	Middel 0,988	Høj 1,675	Høj 1,675	Høj 1,675
t½ (dage)	Lav 8	Middel 174	Høj 480	Lav 8	Middel 174	Høj 480	Lav 8	Middel 174	Høj 480
Start	0,300	0,300	0,300	0,988	0,988	0,988	1,675	1,675	1,675
3 mdr.	<0,001	0,210	0,263	<0,001	0,690	0,867	0,001	1,170	1,471
12 mdr.	<0,001	0,071	0,178	<0,001	0,235	0,587	<0,001	0,399	0,996



## Prosulfocarb

Beregnet residualkoncentration af prosulfocarb i jord (mg/kg) ved doseringer på 1,600, 2,400 og 3,200 kg aktivt stof pr. ha og halveringstider på 10, 23 og 35 dage hhv. lige efter behandling samt 3 og 12 måneder efter. I figuren angives ved start den beregnede koncentration ved lav, middel og høj dosering.

Dosis (kg aktivt stof/ha)	Lav 1,600	Lav 1,600	Lav 1,600	Middel 2,400	Middel 2,400	Middel 2,400	Høj 3,200	Høj 3,200	Høj 3,200
t½ (dage)	Lav 10	Middel 23	Høj 35	Lav 10	Middel 23	Høj 35	Lav 10	Middel 23	Høj 35
Start	1,600	1,600	1,600	2,400	2,400	2,400	3,200	3,200	3,200
3 mdr.	0,003	0,100	0,269	0,005	0,150	0,404	0,006	0,200	0,538
12 mdr.	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,003

