

Varslingssystemet for udvaskning af pesticider til grundvand (VAP)

*Sammendrag af monitoringsresultater
med fokus på juli 2018 - juni 2020*



Nora Badawi, Sachin Karan, Eline B. Haarder, Annette E. Rosenbom, Lasse Gudmundsson, Carl H. Hansen, Carsten B. Nielsen, Finn Plauborg, Kirsten Kørup og Preben Olsen

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet

Institut for Agroøkologi (AGRO)
Aarhus Universitet

Institut for Ecoscience (ECOS)
Aarhus Universitet

Redaktør: Nora Badawi
Forsidefoto af Henning Carlo Thomsen: Fremspiring af afgrøde
Layout og grafisk produktion: Forfattere
Trykt: Juni 2022

ISSN (print): 2446-4244
ISSN (online): 2446-4252
ISBN (print) 978-87-7871-549-4
ISBN (online) 978-87-7871-550-0

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland
Øster Voldgade 10, 1350 København K, Danmark
Telefon: +45 3814 2000
E-mail: geus@geus.dk
Hjemmeside: www.geus.dk

Nærværende sammendrag samt alle engelsksprogede rapporter er tilgængelige i pdf-format på www.vap-grundvand.dk

© De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, 2022

Indhold

Hvad er VAP?	3
Hvad viser resultaterne for juli 2018 – juni 2020?.....	6
Hvad har vi lært af VAP gennem tiden?	9
Referencer	9

Alle monitoringsresultater er detaljeret beskrevet i de årlige engelsksprogede VAP-rapporter, som kan findes på hjemmesiden: www.vap-grundvand.dk.

Forfattergruppen bag det danske sammendrag og den engelske rapport er: Nora Badawi (red., GEUS), Sachin Karan (GEUS), Eline B. Haarder (GEUS), Annette E. Rosenbom (GEUS), Preben Olsen (AGRO) og Kirsten Kørup (AGRO) med bidrag fra Lasse Gudmundsson (GEUS), Carl H. Hansen (GEUS), Carsten B. Nielsen (ECOS) og Finn Plauborg (AGRO).

Hvad er VAP?

I 1990'erne blev der i det landsdækkende grundvandsovervågningsprogram (GRUMO) registreret en stigning i antallet af fund af pesticider i grundvandet.

For at bidrage til at grundvandet ikke forurenes i forbindelse med landbrugets anvendelse af godkendte pesticider, blev "VArslingsystemet for udvaskning af Pesticider til grundvandet" (VAP; www.vap-grundvand.dk) initieret af Folketinget i 1998. VAP har været i drift lige siden under ledelse af en styregruppe bestående af medlemmer fra Miljøstyrelsen (formandskab), GEUS (projektledelse) samt Aarhus Universitet (AGRO og ECOS). VAP er siden 2018 blevet finansieret som en del af Pesticidstrategien gældende for 2017-21 (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017), og med den nyligt vedtagne pesticidstrategi for 2022-2026 (Miljøministeriet, 2022) understøttes arbejdet i VAP frem til 2026.

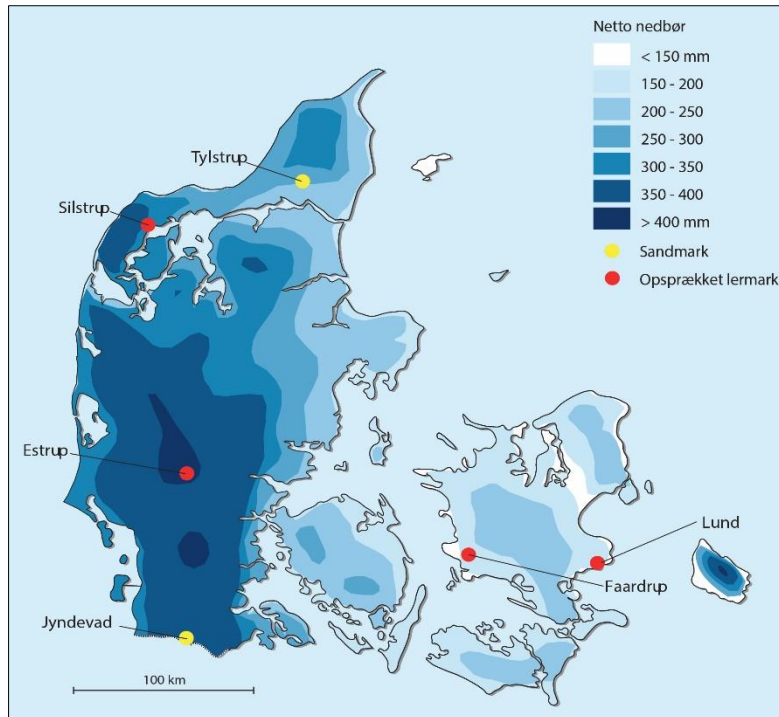
VAP er et monitoringsprogram, der ved hjælp af forsøgsmarker har følgende formål:

- at undersøge hvorvidt regelret sprøjtning af udvalgte, godkendte pesticider på marker i omdrift kan resultere i udvaskning af pesticiderne og/eller udvalgte nedbrydningsprodukter til grundvandet i koncentrationer over de gældende kravværdier for grundvand og drikkevand.
- at forbedre det videnskabelige grundlag for de danske myndigheders (Miljøstyrelsen) godkendelses- og reguleringsprocedurer af pesticider.

VAP driver 6 forsøgsmarker, hvoraf fem aktivt monitoreres og én er på standby. Markerne varierer i areal fra 1,2 til 2,4 hektar og repræsenterer forskellige typer af klima, geologi og jordbund i Danmark – herunder både sandede marker og opsprækkede lermarker (Figur 1).

De pesticider, der er udvalgt til evaluering i VAP testes med maksimalt tilladte doseringer under reelle danske markforhold og monitoreres typisk i en testperiode på to år efter udbringning. En vurdering af den direkte relation mellem den specifikke pesticidanvendelse på en forsøgsmark og fund i grundvandet opnås ved analyse af vandprøver fra én meters dybde (indhentet via dræn og sugeceller), samt fra grundvandet (udtaget i 1,5-7 m dybde) både nedstrøms og opstrøms for forsøgsmarken.

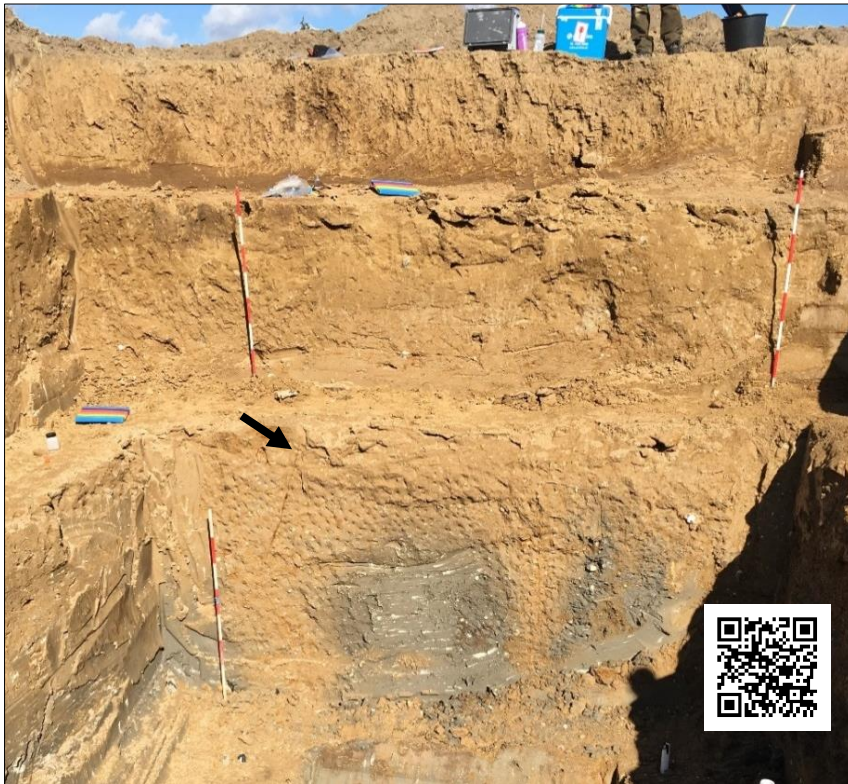
På baggrund af fund og koncentrationsbestemmelse af pesticider og/eller udvalgte nedbrydningsprodukter i grundvandet (i kombination med den testede pesticidanvendelse, afgrødedata, dyrkningspraksis, klima, og jordens vandbalance) leverer VAP en mulighed for tidligt at opdage potentielle grundvandsforurenende pesticider og/eller udvalgte nedbrydningsprodukter.



Figur 1. VAP-markernes placering i forhold til nettonedbør (andelen af nedbør, som når grundvandet). Markerne, der indgår i VAP, repræsenterer de mest udbredte danske klima- og jordtyper, hvori sandjorde og opsprækkede lerjorde indgår (Miljøstyrelsen, 1992). Tylstrup-marken blev sat på standby per 1. januar 2019. Lund-marken blev etableret i 2016-2017 på en lokalitet med et relativt tyndt, opsprækket lerlag oven på opsprækket kalk. Denne jordtype var ikke tidligere repræsenteret i VAP.

For at øge repræsentativiteten af VAP i forhold til geologi blev der i forbindelse med finansloven for 2015 (Finansministeriet, 2014) indgået en tillægskontrakt til VAP i juni 2015 med finansiering frem til og med 2018 til etablering og drift af en ny VAP-mark med et relativt tyndt lag af opsprækket ler ovenpå opsprækket kalk. Denne mark repræsenterer en geologi, hvorfra cirka en tredjedel af Danmarks drikkevand indvindes (Vangkilde-Pedersen *et al.* 2011). Denne lagdelte jordtype forekommer især i de sydøstlige dele af Danmark og det nordlige Jylland. Den forventes at være relativt gennemtrængelig for pesticider og deres nedbrydningsprodukter grundet sprækkerne (Figur 2) og er ikke repræsenteret af de fem andre marker i VAP (Figur 1). Marken er etableret ved Lund på Stevns og blev sat i drift i juli 2017. Nærmere information om marken kan læses i etableringsrapporten (Haarder *et al.* 2021). Resultaterne af monitoringen vedrørende vandbalancen af marken er fortsat under evaluering, hvorfor resultaterne fra marken kan være behæftet med usikkerhed.

Da tillægsbevillingen til Lund-marken udløb med udgangen af 2018, var det ikke længere muligt at opretholde monitoringen på alle seks marker. For at kunne fastholde driften af Lund-marken, blev det besluttet at sætte marken ved Tylstrup på standby fra 1. januar 2019. I indeværende afrapporteringsperiode, juli 2018 til juni 2020, er der derfor kun monitoringsdata fra Tylstrup for perioden juli 2018 til og med december 2018.



Figur 2. Markante sprækker i lerjorden ved Lund-marken. Bunden af udgravningen er i ca. 5 m dybde. Sprækkerne muliggør transport af iltet vand fra jordoverfladen ned i stor dybde. Dette forhold ses især i den dybe del af udgravningen, hvor den ellers grå, ilt-fri lerjord omkring disse sprækker fremstår okkerfarvet (iltet). Den sorte pil angiver en af de markante istektoniske sprækker dannet pga. gletchernes belastning under istiden. Foto: Eline Bojsen Haarder, 2016.
QR-kode: Film om VAP-mark i Lund.

Hvad viser resultaterne for juli 2018 – juni 2020?

I perioden juli 2018 til juni 2020 er udvaskningen af 7 pesticider og 41 nedbrydningsprodukter undersøgt efter udsprøjtning af pesticiderne i maksimal tilladt dosering i henhold til den specifikke anvendelse (afgrødetyper, tid på året, mm.). I alt blev udvaskningen af 48 stoffer monitoreret (Tabel 1). I perioden er fire pesticider (azoxystrobin, bentazon, metamitron og metconazol) og 35 nedbrydningsprodukter hverken fundet i grundvand, vand fra dræn eller sugeceller i en meters dybde. Dog skal det understreges, at for 14 af de 35 nedbrydningsprodukter påbegyndtes monitoreringen i foråret 2020 (se tabel 1 for de specifikke nedbrydningsprodukter). Således er monitoreringen af nedbrydningsprodukterne endnu på så tidligt et stadie, at datagrundlaget ikke er tilstrækkeligt til en egentlig evaluering, som derfor først vil indgå fra og med næste monitoringsrapport.

I alt er ni ud af de 48 monitorerede stoffer målt i vand fra markerne. Tre af disse stoffer er kun fundet i drænprøver og seks af dem er fundet i både dræn- og grundvandsprøver (glyphosat og N,N-DMS er kun fundet i grundvand). Ud af de seks, der er fundet i grundvand, er to af stofferne, propyzamid og 1,2,4-triazol, fundet i koncentrationer højere end kravværdien for grundvand på 0,1 µg/L (Tabel 1). Propyzamid er aktivstoffet i et plan-tebeskyttelsesmiddel, mens 1,2,4-triazol er et nedbrydningsprodukt, der stammer fra flere forskellige azol-svampemidler. I vandprøver fra 1 meters dybde (udtaget fra drænvand og sugeceller) er der fundet syv stoffer, hvoraf tre af disse (propyzamid, E/Z BH 517-TSO og RH-24644) er fundet i koncentrationer større end 0,1 µg/L (Tabel 1).

Generelt underbygger de nyeste resultater sidste års konklusioner og er opsummeret i det følgende:

Azol-svampemidler og nedbrydningsproduktet 1,2,4-triazol

Nedbrydningsproduktet 1,2,4-triazol, der stammer fra forskellige azol-svampemidler, anvendt både til sprøjtning af afgrøder og som bejdsning af såsæd, bliver fundet i grundvandet under alle de fem monitorerede marker. På fire af markerne findes stoffet desuden i koncentrationer over kravværdien på 0,1 µg L⁻¹, men kun på Estrup (opsprækket ler) ses en overskridelse i grundvandet over hele perioden i de øverste filtre i en nedstrømsboring. I vand fra den umættede zone (dræn og sugeceller) ses generelt et bidrag af 1,2,4-triazol i prøver fra alle markerne, hvilket tyder på at udvaskningen af 1,2,4-triazol primært stammer fra nedbrydningen af azoler anvendt på markerne.

Det overordnede billede for denne monitoringsperiode af 1,2,4-triazol på alle markerne er, at 1,2,4-triazol detekteres stort set alle steder i vand fra den umættede zone og i de mest overfladenære grundvandsfiltre. Koncentrationen af 1,2,4-triazol i prøverne er generelt lavere end 0,1 µg L⁻¹ på alle marker bortset fra Estrup, hvor der ses kontinuerte overskridelser af kravværdien ned til 3,5 m. Udsvingene i koncentrationsniveau korrelerer ikke med anvendelsen af azoler på markerne, men derimod ser udvaskningen ud til at være relateret til perkolering af vand gennem markerne (nedbørsstyret). Fundene af 1,2,4-triazol kan derfor ikke tilskrives én specifik azol-anvendelse. Det skyldes formentlig, at azol-midlerne har været anvendt mange gange på markerne (både som sprøjte- og bejdssemidler), inden 1,2,4-triazol monitoreringen startede, samt at det forventes at azol-stofferne ophobes i pløjelaget og derfra kontinuerligt kan nedbrydes til 1,2,4-triazol. I forskningsprojektet TRIAFUNG, bliver det nu undersøgt om azol-stofferne, der gennem tiden er anvendt på markerne, er ophobet i pløjelaget og derfra kontinuerligt kan nedbrydes til 1,2,4-triazol.

Herbicidet propyzamid og nedbrydningsprodukterne RH-24644 og RH-24580

Propyzamid er i perioden testet på en lermark (Silstrup) i forbindelse med sprøjtning af vinterraps. Stoffet udvasker til både dræn og grundvand i koncentrationer over kravværdien på 0,1 µg L⁻¹ i en periode på fire måneder efter sprøjtning. Grundet disse observationer blev endnu en efterårsanvendelse af propyzamid testet på lermarken Lund, hvor også to nedbrydningsprodukter (RH-24644 og RH-24580) blev medtaget i monitoreringen. Her blev propyzamid og nedbrydningsproduktet, RH-24644 observeret i hhv. tre og én drænprøve i koncentrationer over 0,1 µg L⁻¹. Kun propyzamid blev detekteret i grundvandsprøver fra Lund, men udelukkende i boringen opstrøms for marken og i koncentrationer mindre end 0,1 µg L⁻¹. Monitoreringen af propyzamid og nedbrydningsprodukterne fortsættes på begge marker.

Sulfonylureaherbicider (flupyr-sulfuron-methyl og mesosulfuron-methyl) og deres nedbrydningsprodukter

To sulfonylureaherbicider, flupyr-sulfuron-methyl og mesosulfuron-methyl blev testet på både sand- og lermarker. Der blev i den forbindelse monitoreret for flupyr-sulfuron-methyl nedbrydningsproduktet, IN-KF311 og mesosulfuron-methyls nedbrydningsprodukter AE-F099095, AE-F160459 og AE-F147447. Efter to års monitoring var kun AE-F147447 blevet detekteret. Dette nedbrydningsprodukt blev fundet i to grundvandsprøver fra Jydevad (sandmark) i koncentrationer under kravværdien på $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$. Aktivstoffet flupyr-sulfuron-methyl blev forbudt at anvende i Danmark i december 2018 og monitoreringen stoppede på den sidste mark i marts 2020. Monitoreringen af mesosulfuron-methyl stoppede på alle inkluderede marker i marts 2020.

Cycloxydim og dets to nedbrydningsprodukter, E/Z BH 517-TSO og BH 517-T2SO2

De to nedbrydningsprodukter E/Z BH 517-TSO og BH 517-T2SO2 blev monitoreret efter anvendelse af herbicidet cycloxydim på lermarken Silstrup. Kun nedbrydningsproduktet E/Z BH 517-TSO udvaskes til dræn og til grundvand, men blev ikke observeret i koncentrationer over kravværdien på $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$ i grundvandet. Udvasningen af E/Z BH 517-TSO til grundvandet blev observeret inden for få måneder efter udbringning. Til sammenligning med tidligere monitoring af nedbrydningsproduktet efter anvendelse af cycloxydim på en sandmark (Jydevad), var den maksimale udvaskningskoncentration på lermarken Silstrup næsten to gange højere omend stadig under kravværdien på $0,1 \mu\text{g L}^{-1}$. Monitoreringen af E/Z BH 517-TSO og BH 517-T2SO2 fortsættes på Silstrup.

Foruden de ovenfor beskrevne stoffer blev der i perioden også monitoreret for andre nedbrydningsprodukter, men disse var alle enten uden fund i vand fra både den umættede zone (dræn og sugeceller) og grundvandet, eller fundet i få prøver i meget lave koncentrationer. Alle stoffer monitoreret i perioden er listet i Tabel 1.

Tabel 1. Resultater for perioden juli 2018-juni 2020. Antal vandprøver fra den umættede zone (dræn og sugeceller i ca. 1 m dybde), grundvandsfiltre og vandingsvand (oppumpet fra borerer uden for de sandede VAP-marker) er præsenteret med tilhørende analyse-resultater: Total antal detektioner for alle marker (Det.), detektioner > 0,1 µg L⁻¹ og den maksimale detekterede koncentration (Maks. konc.). For vandingsvandet er analyseresultater angivet i parenteser (µg L⁻¹). Koncentrationer i grundvand, der overstiger kravværdien på 0,1 µg L⁻¹ er markeret med fed skrift. Syv pesticider og 41 nedbrydningsprodukter var inkluderet i analyseprogrammet for samtlige marker i perioden juli 2018-juni 2020. Af disse 48 stoffer er 22 ikke tidligere monitoreret i VAP (markeret med rødt) og 7 af disse er evalueret i årets rapport og én er udgået (amitrol). De resterende 14 stoffer blev inkluderet i monitoreringen i slutningen af afrapportingsperioden, hvorfor monitoringsperioden er for kort til en evaluering. De vil blive evalueret i næste rapport.

Udbragt aktivstof	Stof inkluderet i monite-ringen	Antal prøver			Analyseresultater					
		1 m's dybde	Grundvands filtre	Vandings vand (µg L ⁻¹)	1 m's dybde			Grundvandsfiltre		
					Det.	>0,1 µg L ⁻¹	Maks. konc. (µg L ⁻¹)	Det.	>0,1 µg L ⁻¹	Maks. konc. (µg L ⁻¹)
n	n	n	n	n	n					
Acetamiprid	IM-1-4 ^{IV}	6	25	1 (-)	0	0	-	0	0	-
	IM-1-5 ^{IV}	6	25	1 (-)	0	0	-	0	0	-
Azoxystrobin	Azoxystrobin	5	72		0	0	-	0	0	-
	CyPM	5	80		1	0	0,02	0	0	-
Bentazon	Bentazon	5	72		0	0	-	0	0	-
Cyazofamid	CCIM ^{IV}	6	25	1 (-)	0	0	-	0	0	-
	CTCA ^{IV}	6	25	1 (-)	0	0	-	0	0	-
	DMSA ^{IV}	6	25	1 (-)	0	0	-	0	0	-
	N,N-DMS ^{IV}	6	25	1 (0,011)	0	0	-	3	0	0,05
Cycloxydim	BH 517-T2SO2	57	189		0	0	-	0	0	-
	EZ BH 517-TSO	57	189		10	1	0,11	29	0	0,05
Florasulam	TSA	62	311		0	0	-	0	0	-
	5-OH-florasulam ^{IV}	2	30		0	0	-	0	0	-
	DFP-ASTCA ^{IV}	2	30		0	0	-	0	0	-
	DFP-TSA ^{IV}	2	30		0	0	-	0	0	-
Flupyr-sulfuron-methyl	IN-JE127 ^{II}	36	118		0	0	-	0	0	-
	IN-KF311	64	176		0	0	-	0	0	-
Foramsulfuron ^I Amidosulfuron ^I Mesosulfuron-methyl Flupyr-sulfuron-methyl Rimsulfuron ^I	IN-J0290/AE-F092944	2	12		0	0	-	0	0	-
Glyphosat	Glyphosat	7	107		0	0	-	2	0	0,02
	AMPA	7	106		3	0	0,03	2	0	0,02
Haluxifen-methyl	X-729 ^V	53	146		0	0	-	0	0	-
	X-757	27	110		0	0	-	0	0	-
Mesosulfuron-methyl	AE-F099095	149	379	6 (-)	0	0	-	0	0	-
	AE-F147447	106	285	6 (-)	0	0	-	2	0	0,04
	AE-F160459	149	379	6 (-)	0	0	-	0	0	-
Metamitron	Metamitron	33	94		0	0	-	0	0	-
	Desamino-metamitron	33	94		0	0	-	0	0	-
	MTM-126-AMT ^V	31	90		0	0	-	0	0	-
Metconazol	Metconazol ^V	30	62		0	0	-	0	0	-
Picloram	Picloram	21	46		1	0	0,01	0	0	-
Propaquizafop	CGA287422 ^V	32	84		0	0	-	0	0	-
	CGA290291 ^V	32	84		0	0	-	0	0	-
	CGA294972 ^V	32	84		0	0	-	0	0	-
	PPA ^V	32	84		0	0	-	0	0	-
Propyzamid	Propyzamid	75	178		24	9	5,1	20	4	0,22
	RH-24580	22	51		0	0	-	0	0	-
	RH-24644	22	51		2	1	0,11	0	0	-
Proquinazid	IN-MM671 ^V	70	195	7(-)	0	0	-	0	0	-
	IN-MM991 ^V	70	195	7(-)	0	0	-	0	0	-
Pyroxsulam	5-OH-XDE-742 ^{IV}	2	30		0	0	-	0	0	-
	6-Cl-7-OH-XDE-742 ^{IV}	2	30		0	0	-	0	0	-
	7-OH-XDE-742 ^{IV}	2	30		0	0	-	0	0	-
	Amitrol ^{III}	3	35		0	0	-	0	0	-
	PSA ^{IV}	2	30		0	0	-	0	0	-
	Pyridin sulfonamid ^{IV}	2	30		0	0	-	0	0	-
Tebuconazol Epoconazol ^I Propiconazol ^I Prothioconazol Metconazol	1,2,4-triazol	215	672	7(-)	186	46	0,33	397	18	0,20
Thiencarbazon-methyl	AE1394083 ^V	33	93		0	0	-	0	0	-
Thiophanat-methyl	Carbendazim ^V	96	251	7(-)	0	0	-	0	0	-
Subtotal	48 (7 aktivstoffer, 41 nedbrydningsprodukter)	1725	5564	48	227	57		455	22	
Procent		24%	76%	0,7%	13%	3%		8%	0,4%	
Total			7337							

^I Aktivstof ikke udbragt i indeværende afrapportingsperiode, men det monitorerede stof kan muligvis dannes ud fra tidligere anvendelser.

^{II} IN-JE127 blev ekskluderet fra analyseprogrammet, da det blev fundet til at være ustabil i vandige opløsninger.

^{III} Amitrol blev inkluderet i VAP, da det var blevet fundet i massescreeningen i 2019 og stoffet teoretisk set kunne stamme fra pyroxsulam. Da det senere viste sig at fundene i massescreeningen ikke var amitrol men en interferens i analysen, blev amitrol ekskluderet fra analyseprogrammet.

^{IV} Disse stoffer blev inkluderet i monitoringsprogrammet for VAP i foråret 2020, hvorfor analyseresultaterne først evalueres i næste VAP-rapport.

^V Prøverne har været nedfrosset, hvorfor resultaterne kan være usikre. Der arbejdes på at udrede dette.

Hvad har vi lært af VAP gennem tiden?

I VAP er der gennem de seneste 21 år (1999 – 2020) monitoreret for udvaskningen af 151 stoffer, hvoraf 52 er pesticider (aktivstoffer) og 99 er udvalgte pesticidnedbrydningsprodukter. Testene gennem tiden har bl.a. resulteret i og/eller påvist at:

- flere pesticider og/eller udvalgte nedbrydningsprodukter påvises i grundvandet under de opsprækkede lermarker end under de sandede marker.
- for nogle pesticider sker der langtidsudvaskning af nedbrydningsprodukter på sandjord med kartoffel dyrkning.
- kraftigt sorberende pesticider kan udvaskes ved partikeltransport igennem de opsprækkede lermarker.
- bejdsemidler kan muligvis være kilde til udvaskning og information om bejdset såsæd er derfor inkluderet i monitoreringen.

Resultaterne anvendes ikke blot i den danske regulering af pesticider, men også i visse tilfælde i den europæiske regulering.

Referencer

Finansministeriet. 2014. Finanslov for finansåret 2015, Lovtidende B (LTB nr. 2 af 23/12/2014).

Haarder, E.B., Olsen, P., Jakobsen, P.R., Albers, C.N., Iversen, B.V., Greve, M.H., Plauborg, F., Kørup, K., Skov, M., Gudmundsson, L., Rosenbom, A.E. 2021. The Danish Pesticide Leaching Assessment Programme: Site characterization and Monitoring Design for the Lund Test Field. Geological Survey of Denmark and Greenland, Copenhagen. Tilgængelig online: <http://pesticidvarsling.dk/wp-content/uploads/2021/01/Lund-Test-Field.pdf>

Miljø- og Fødevareministeriet. 2017. Pesticidstrategi 2017-2021. Tilgængelig online: <https://mst.dk/media/141516/pesticidstrategi2017-2021.pdf>

Miljøministeriet. 2022. Politisk aftale om sprøjtemiddelstrategi 2022-2026. Tilgængelig online: <https://mim.dk/media/227922/politisk-aftale-om-sproejtemiddelstrategi-2022-2026.pdf>

Miljøstyrelsen, 1992. Danmarks fremtidige vandforsyning. Betænkning fra Miljøstyrelsen, nr. 1 1992. ISBN 87-503-9581-5.

Vangkilde-Pedersen, T., S. Mielby, P.R. Jakobsen, B. Hansen, C.H. Iversen, A. M. Nielsen. 2011. Kortlægning af kalkmagasiner. Geo-vejledning 8. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS.