

Ældede triazolfungicider er persistente i landbrugsjord og påvises mange år efter sprøjtning – hvorfor?

Anders R. Johnsen

Christian N. Albers

Nora Badawi

Ulla E. Bollmann

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)

Geokemisk Afdeling



Received: 29 April 2025 | Accepted: 18 November 2025

DOI: 10.1002/jeq2.70129

Journal of Environmental Quality

TECHNICAL REPORT

Organic Compounds in the Environment

Persistence of triazole fungicides in agricultural topsoil is driven by reduced bioaccessibility with aging

Anders R. Johnsen  | Christian N. Albers  | Nora Badawi  | Ulla E. Bollmann 

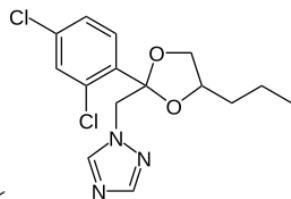
<https://doi.org/10.1002/jeq2.70129>

TRIAFUNG

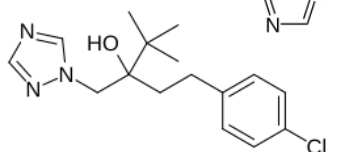
Forskningsprojekt under Miljøstyrelsens Bekæmpelsesmiddelpulje
(Bekæmpelsesmiddelforskning nr. 230, december 2024)

Triazolfungicider

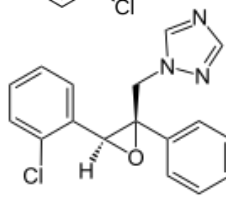
Propiconazol*



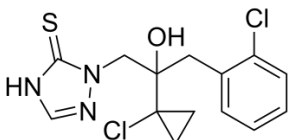
Tebuconazol*



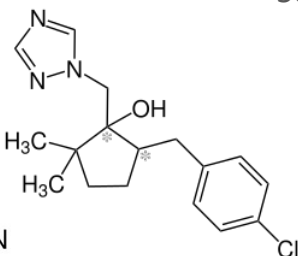
Epoxiconazol



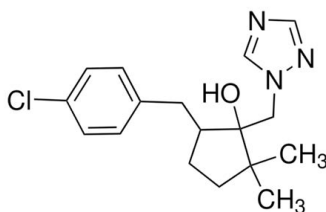
Prothioconazol



Difenoconazol

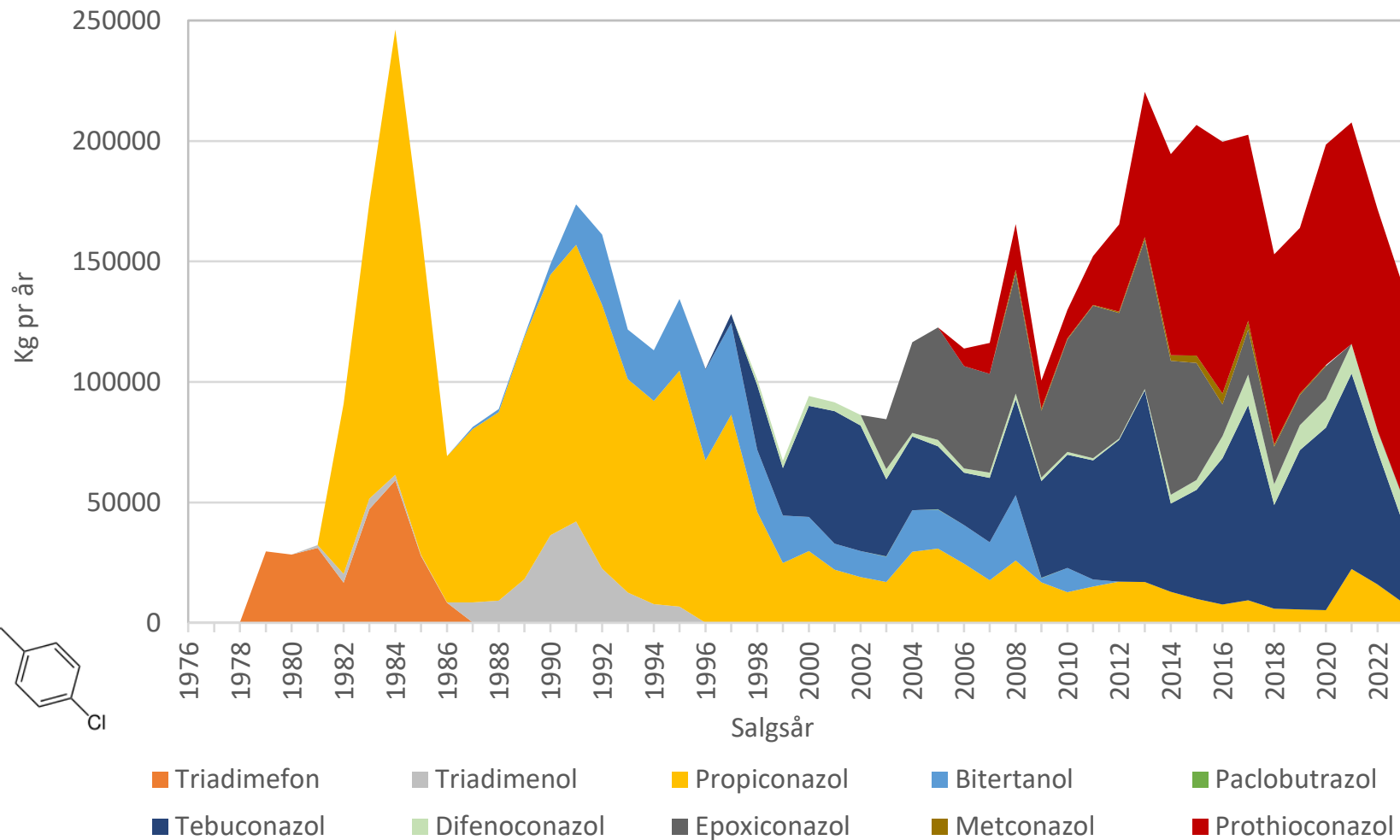


Metconazol



* Også biocidanvendelse

Salg i DK ifølge Miljøstyrelsens salgsstatistikker



Hvad sker der med triazolfungicider i jorden?

4 VAP marker.

Kendt sprøjtehistorik.

Indsamling af jordprøver over 2-2,5 år.

Analyse for triazolmoderstoffer.

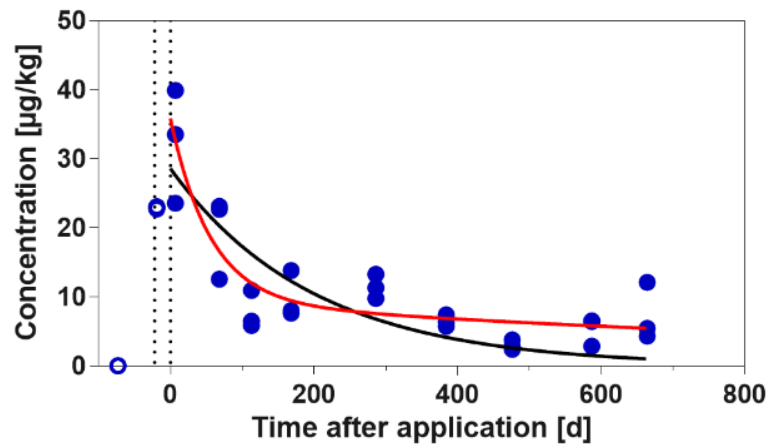
Analyse for aging (Kd) og biotilgængelighed (HPCD).

Nedbrydning – ”friske” triazolfungicider

Simpel første-orden

Dobbelt første-orden i parallel

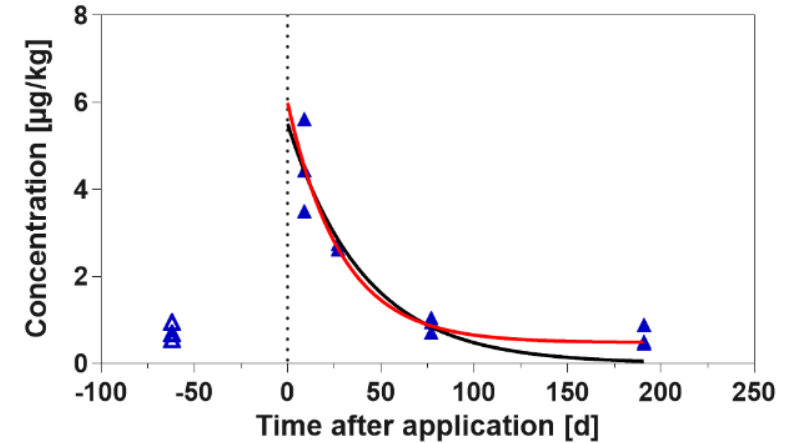
(a) Metconazole-Estrup



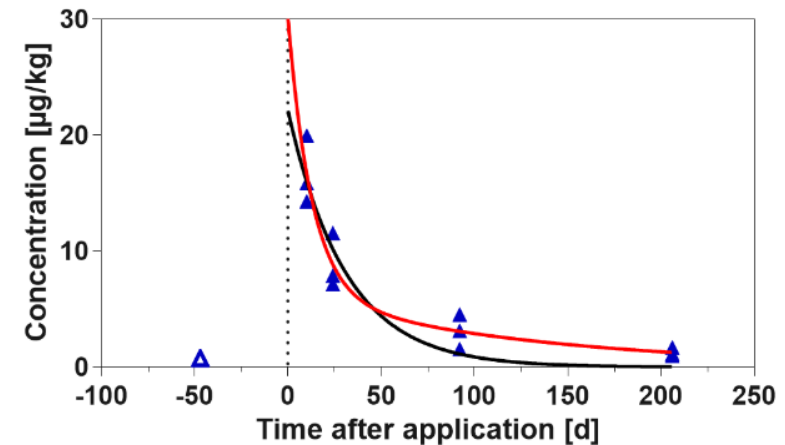
K_{fast} : 0,018 per dag.

K_{slow} : 0,00082 per dag

(b) Prothioconazole-desthio - Lund

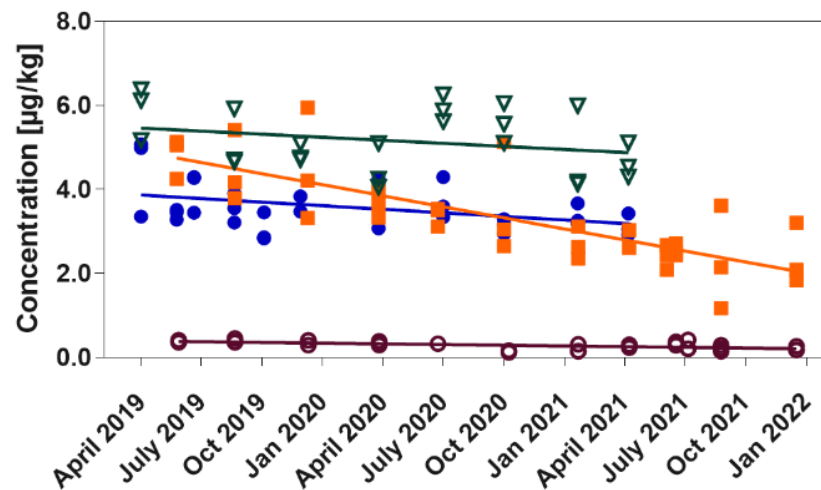


(c) Prothioconazole-desthio - Fårdrup

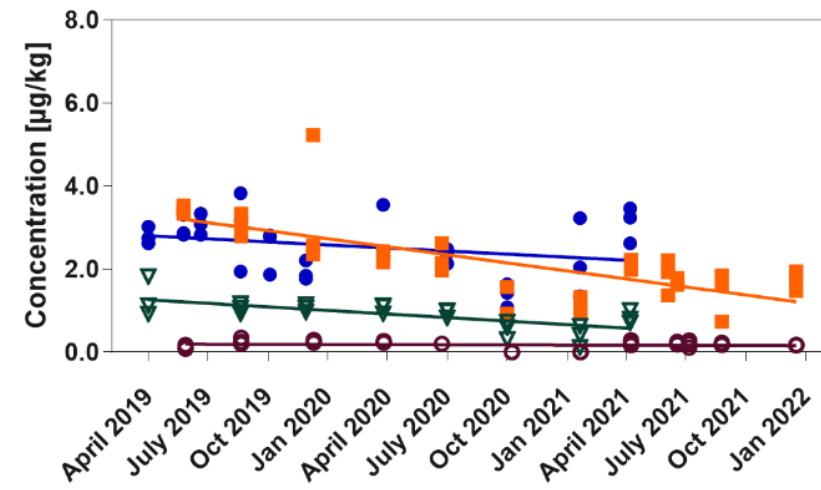


Nedbrydning – ældede triazolfungicider

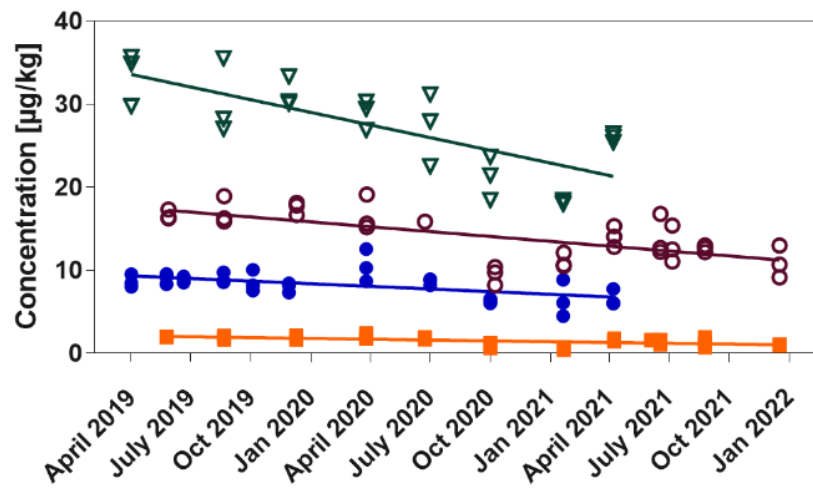
(a) Tebuconazole



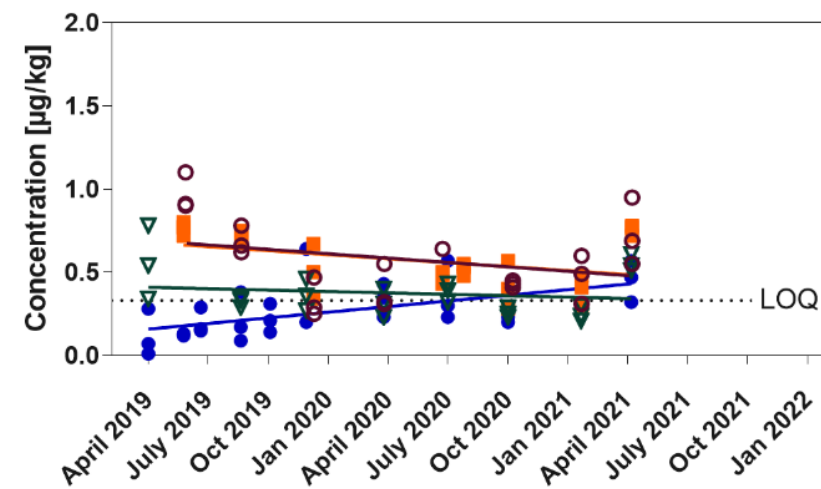
(b) Propiconazole



(c) Epoxiconazole



(d) Prothioconazole-desthio



● Estrup

■ Fårdrup

● Lund

▼ Jyndeved

Persistens

Mark	Triazolfungicid	Koncentration [µg/kg]	Tid siden sidste sprøjtning [år]
Estrup	Tebuconazol*	3.1 ± 0.3	7
	Propiconazol	3.1 ± 0.4	19
	Metconazol	7.3 ± 4.2	2
	Epoxiconazol	6.6 ± 1.0	14
	Prothioconazol-desthio*	0.5 ± 0.1	-
Fårdrup	Tebuconazol*	2.4 ± 0.7	7
	Propiconazol	1.7 ± 0.2	4
	Epoxiconazol	0.9 ± 0.1	15
	Prothioconazol-desthio*	0.8 ± 0.0	6
Jyndevad	Tebuconazol*	4.6 ± 0.4	6
	Propiconazol	0.8 ± 0.2	5
	Epoxiconazol	26.0 ± 0.5	6
	Prothioconazol-desthio*	0.6 ± 0.0	6

* Også brugt som bejdsemiddel

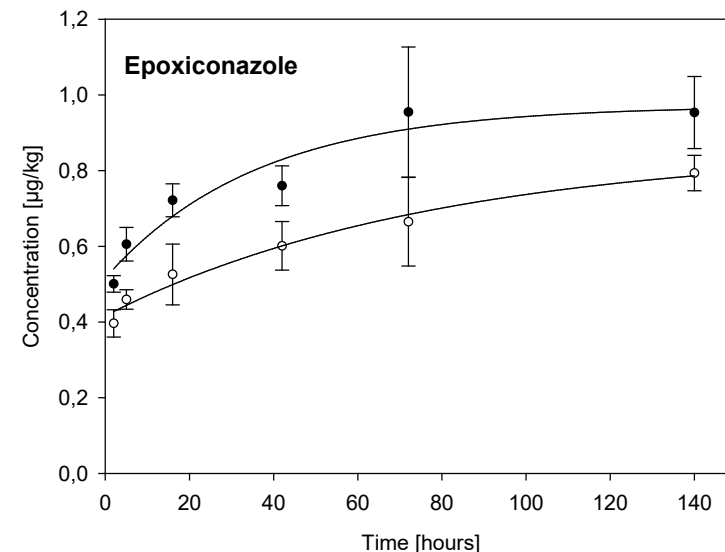
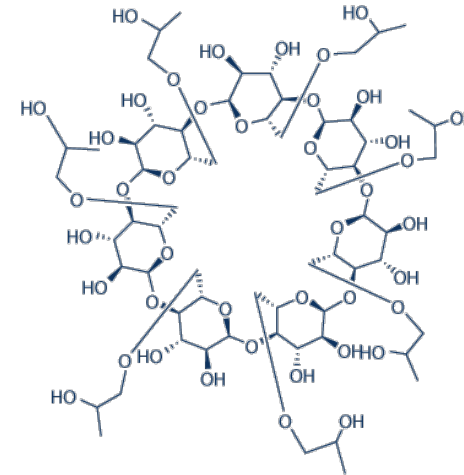
Aging og biotilgængelighed

Biotilgængelighed:

Mængden af stof, som er tilgængelig for diffusiv udveksling og som mikroorganismerne derfor vil kunne "trække" ud af jorden ved konstant at nedbryde den opløste, vandige mængde.

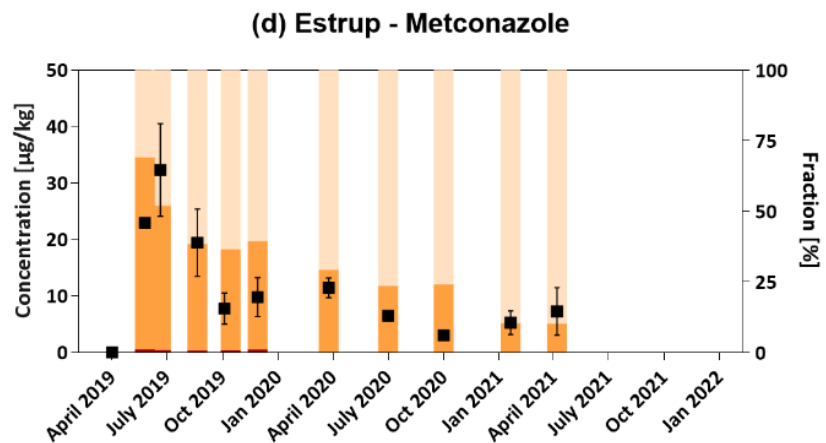
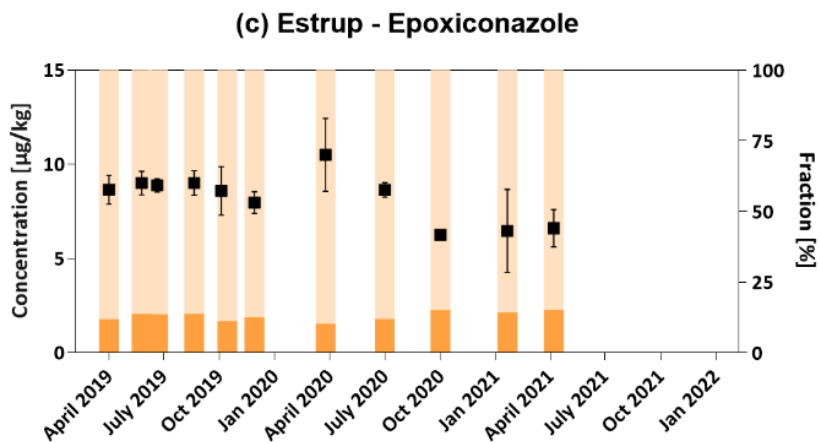
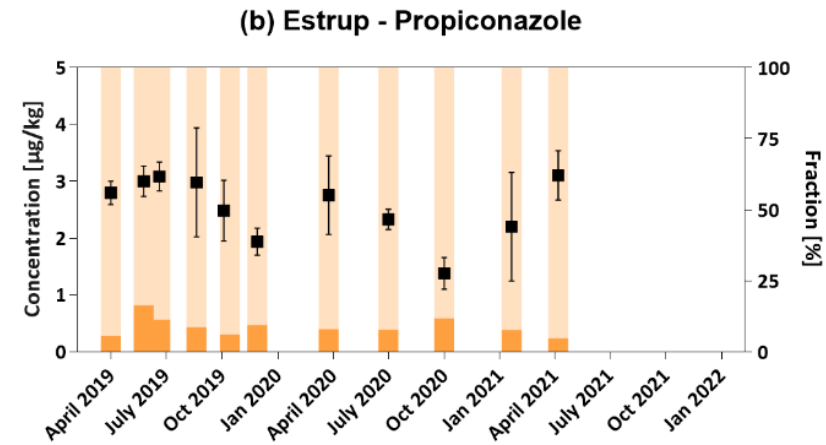
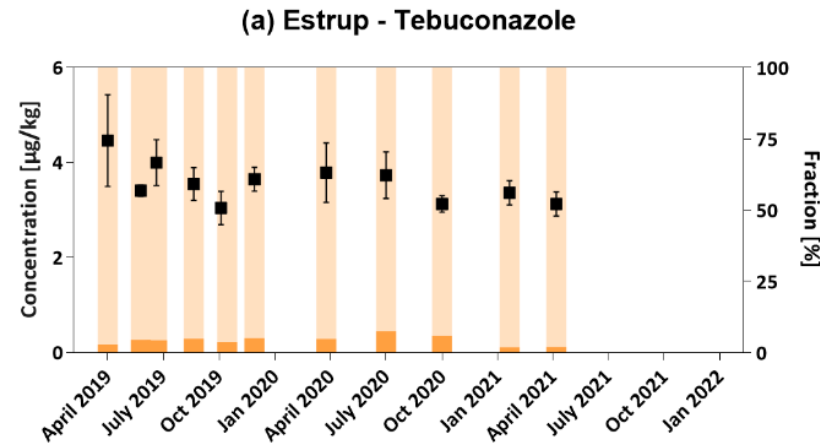
Men: Sorption til både soft organic matter og black carbon.

Biotilgængelig koncentration:
Ekstraktion med HPCD



GEUS

Aging og biotilgængelighed - Estrup

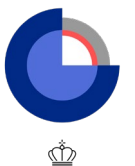


■ total concentration

■ CaCl₂

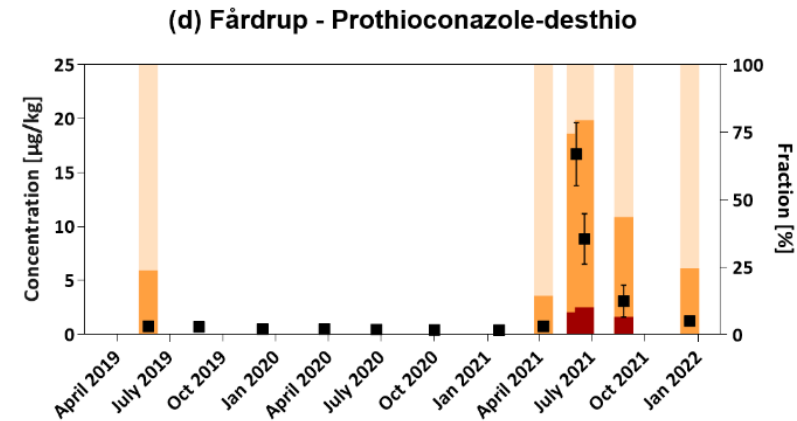
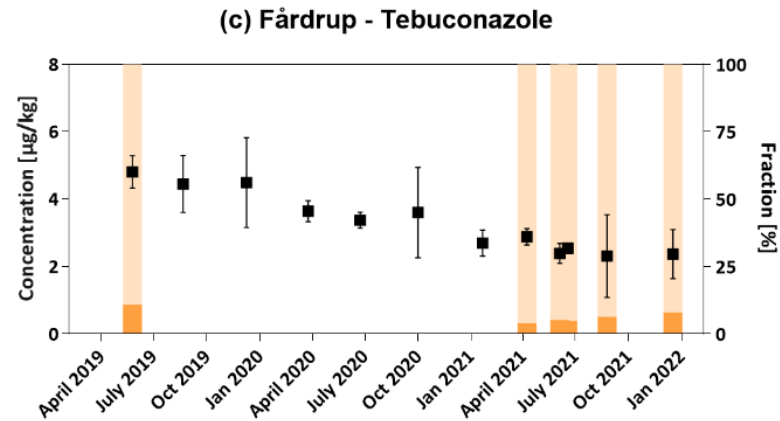
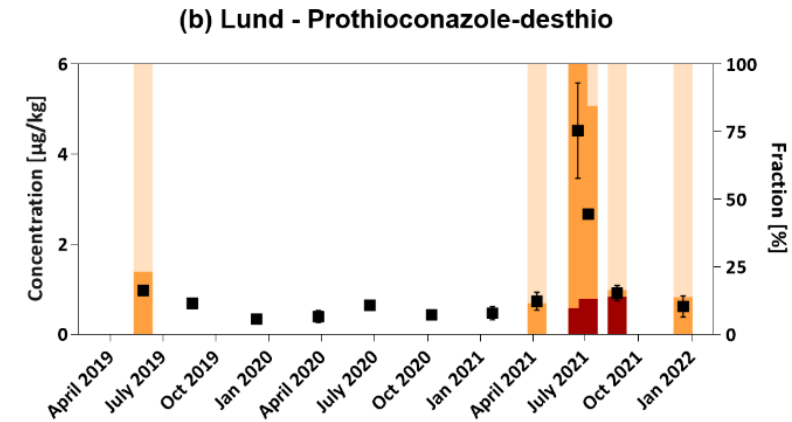
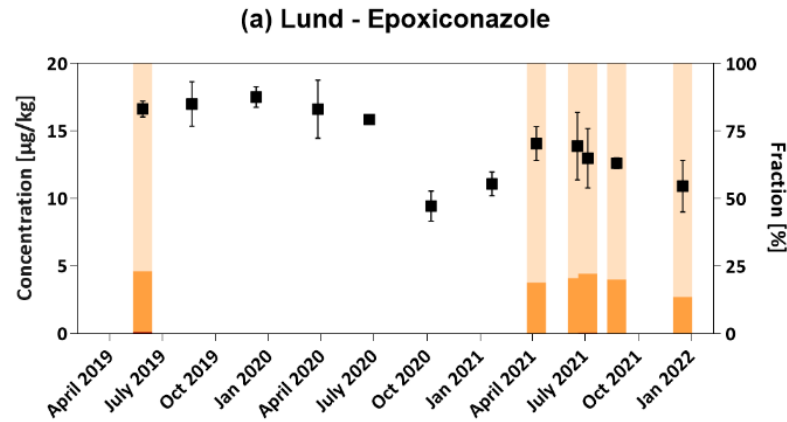
■ HPCD

■ ACN



GEUS

Aging og biotilgængelighed – Lund og Fårdrup



■ total concentration

■ CaCl2

■ HPCD

■ ACN



GEUS

Biotilgængelighedsestimat vs. faktisk fjernelse

Mark	Stof	Første prøver, total [µg/kg]	Første prøver, biotilgængelig [µg/kg]	Faktisk fjernelse [µg/kg]
Estrup	Tebuconazol	4.5 ± 1.0	0.1 ± 0.1	1.3
	Propiconazol	2.8 ± 0.2	0.2 ± 0.0	-0.3
	Epoxiconazol	8.7 ± 0.8	1.0 ± 0.1	2.0
Fårdrup	Tebuconazol	4.8 ± 0.5	0.5 ± 0.1	2.4
	Propiconazol	3.4 ± 0.1	0.9 ± 0.1	1.7
	Epoxiconazol	2.0 ± 0.1	0.3 ± 0.0	1.1
Jyndevad	Tebuconazol	5.9 ± 0.6	0.5 ± 0.0	1.2
	Propiconazol	1.3 ± 0.5	0.3 ± 0.0	0.4
	Epoxiconazol	33.4 ± 3.2	6.6 ± 0.3	7.5
Lund	Epoxiconazol	16.6 ± 0.6	3.9 ± 0.4	5.7

- Måleusikkerhed.
- For kort ekstraktion af biotilgængelig pulje.
- Langsom intra-partikulær diffusion.
- Ændring i ikke-biotilgængelig pulje.



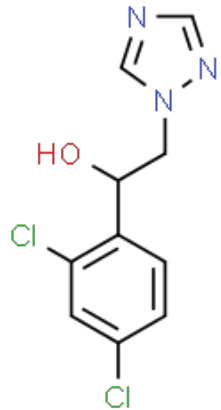
HRMS screening af jordprøverne

Essramycin (*Streptomyces*)



triadimenol
triadimefon
bitertanol,
penconazol
paclobutrazol
cyproconazol
flusilazol
fluquinconazol
(essramycin)

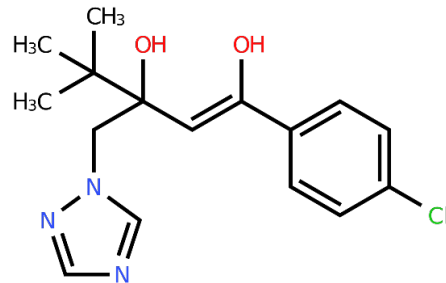
Andre moderstoffer
(ikke påvist)



$C_{10}H_9Cl_2N_3O$

CGA 91305

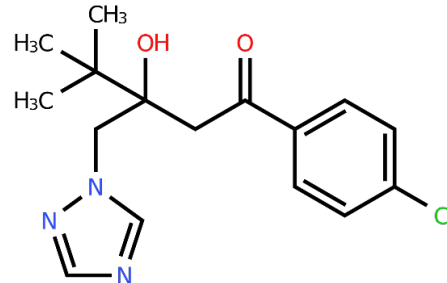
Moderstof: propiconazol



$C_{16}H_{20}O_2N_3Cl$

HWG 1608-5-enol (M09)

Moderstof: tebuconazol

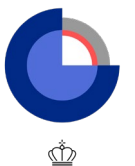


$C_{16}H_{20}O_2N_3Cl$

HWG 1608-5-keto (M08)

Moderstof: tebuconazol

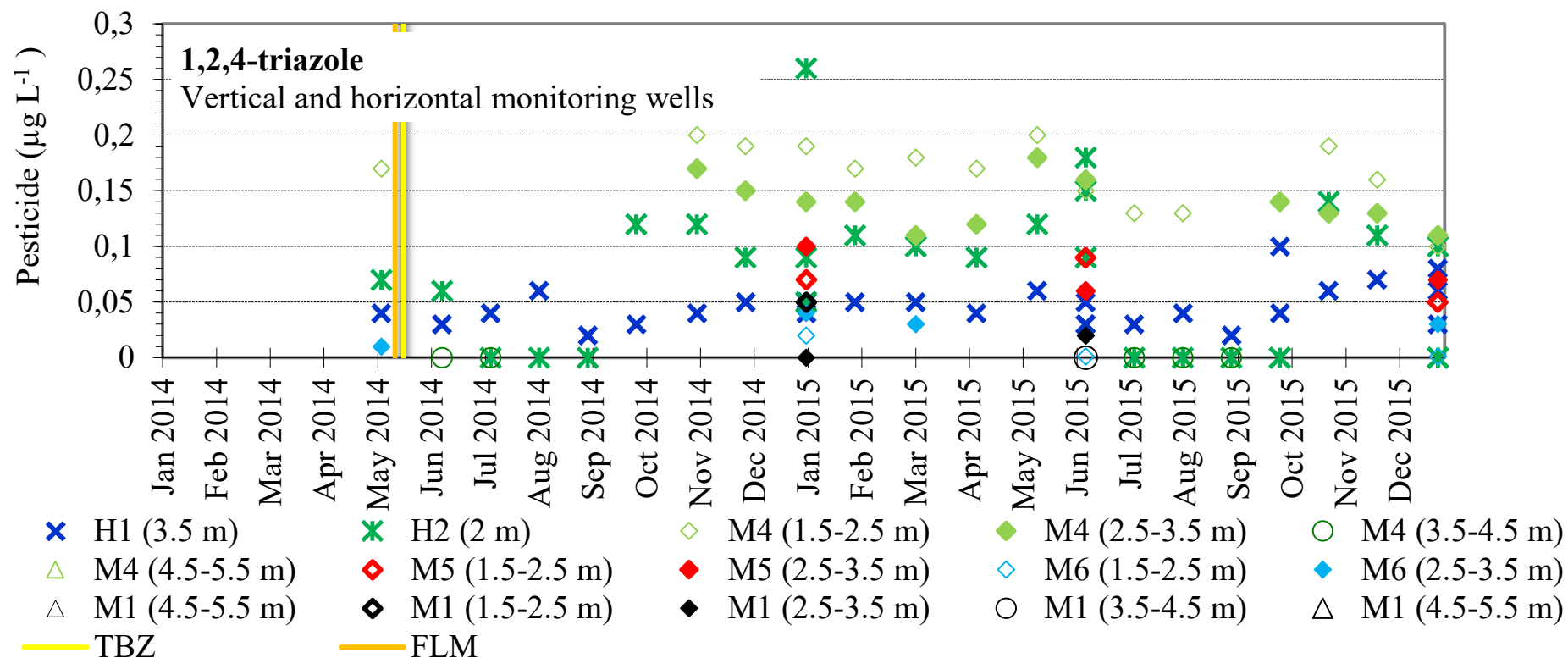
Nedbrydningsprodukter
(påvist)



GEUS

1,2,4-triazol udvaskning

Sprøjtning med tebuconazol på Pesticidvarslingsprogrammets mark i Estrup



Konklusioner

Efter sprøjtning vil det meste triazolfungicid sandsynligvis nedbrydes i overjorden.

En lille andel kan bindes meget hårdt med lav biotilgængelighed og kan derfor ophobes efter gentagne sprøjtninger.

Ældet triazolfungicid nedbrydes kun ganske langsomt.

Ældet triazolmoderstof kunne påvises lang tid efter sprøjtning, for propiconazol op til 19 år.

Langsom, men kontinuert nedbrydning af det ældede triazol-fungicid kan forklare "uforklarlige" fund af 1,2,4-triazol i dræn- og grundvand under VAP-marker.