Pesticider i grundvand i Danmark

Status og ny viden om TFA

Lærke Thorling & Christian N. Albers

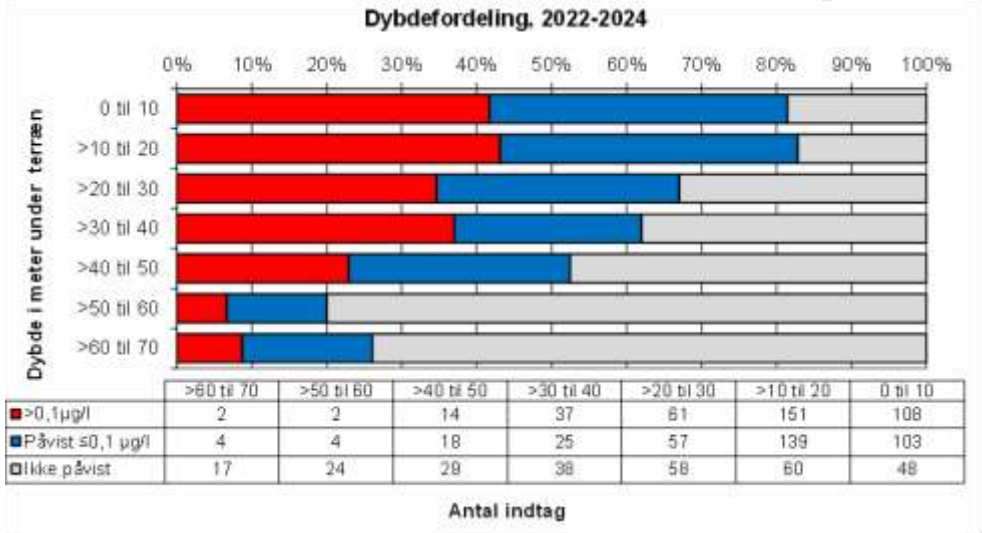
Chefkonsulent Seniorforsker

Pesticidudvaskning fra landbrugsmarker – hvad viser de nyeste resultater?
8. januar 2026

AARHUS UNIVERSITY
DEPARTMENT OF AGROECOLOGY

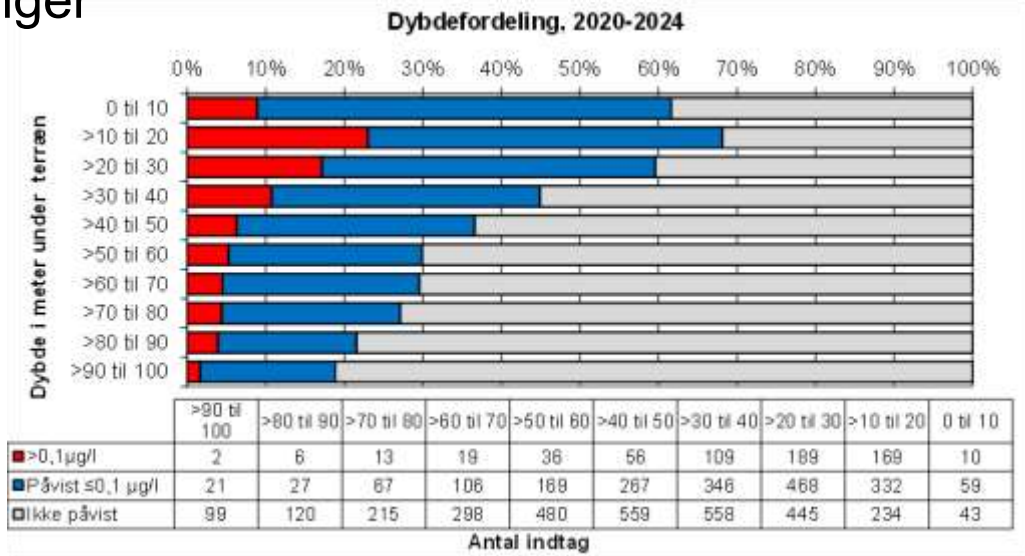
Pesticider status 2024 i DK dybdeforhold

GRUMO



	>60 til 70	>50 til 60	>40 til 50	>30 til 40	>20 til 30	>10 til 20	0 til 10
>0,1µg/l	2	2	14	37	61	151	108
Påvist ≤0,1 µg/l	4	4	18	25	57	139	103
Ikke påvist	17	24	29	38	58	60	48

Vandforsyningsboringer

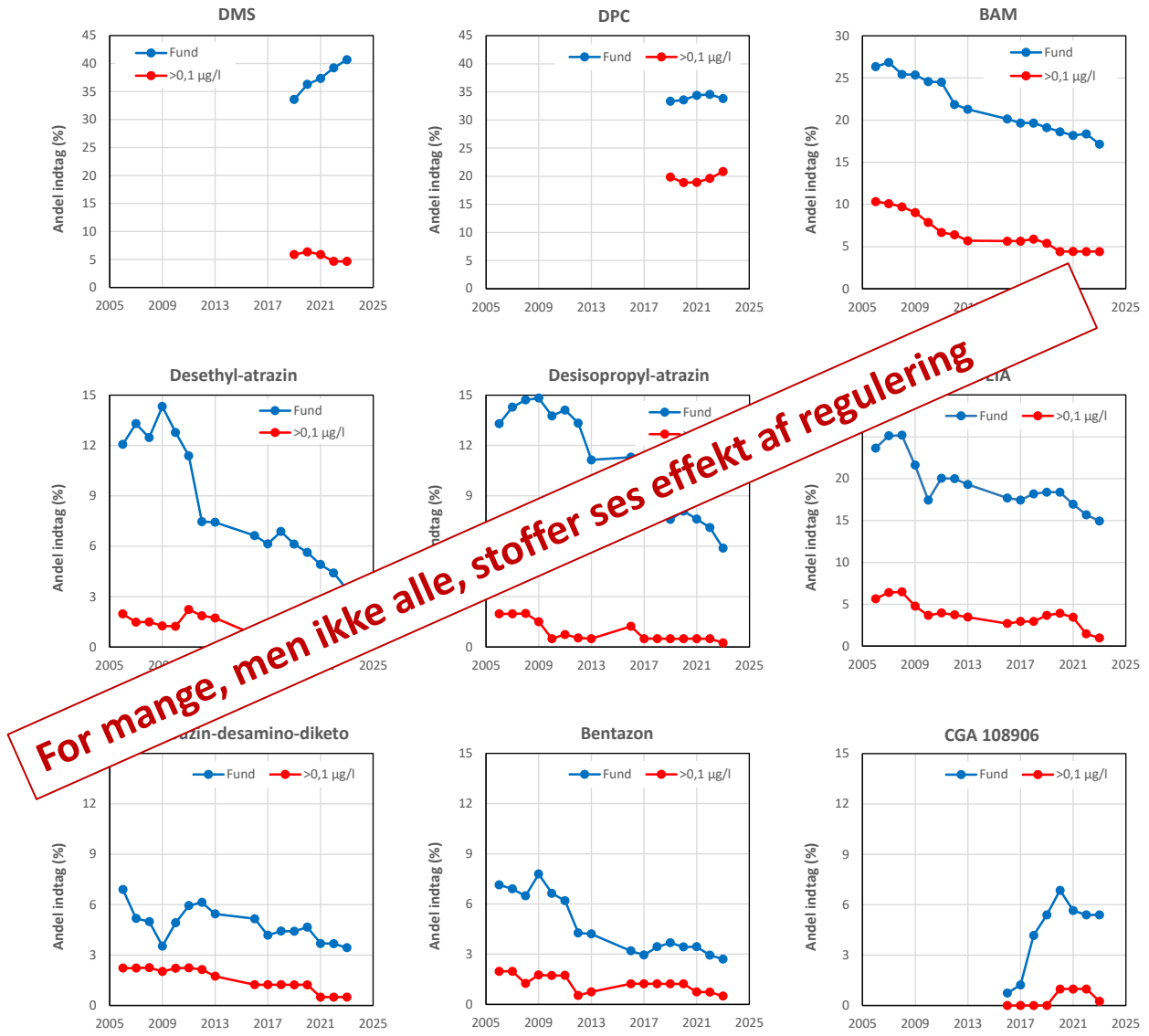


	>90 til 100	>80 til 90	>70 til 80	>60 til 70	>50 til 60	>40 til 50	>30 til 40	>20 til 30	>10 til 20	0 til 10
>0,1µg/l	2	6	13	19	36	56	109	189	169	10
Påvist ≤0,1 µg/l	21	27	67	106	169	267	346	468	332	59
Ikke påvist	99	120	215	298	480	559	558	445	234	43

AARHUS UNIVERSITY
DEPARTMENT OF AGROECO
SOLIDUM PETIT IN PROFUNDIS UNIVERSITAS ARHUSIENSIS

Pesticider og Trends

409 faste indtag, gamle stoffer, tre års glidende middel (2005-2023)



Bemærk skala forskellig for stofferne

NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

Specifikke stoffer

10 hyppigste stoffer i GRUMO og Vandforsyningsboringer, Ingen aktivstoffer

GRUMO-indtag 2015-2024			Vandforsyningsindtag 2015-2024		
Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)	Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)
DMS (N,N-dimethylsulfamid)	35,6	5,8	DMS (N,N-dimethylsulfamid)	24,9	5,5
1,2,4-Triazol	34,8	9,2	DPC (desphenyl chloridazon)	16,3	4,4
DPC (desphenyl chloridazon)	30,9	17,8	R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzenesulfonat)	16,2	1,4
R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzenesulfonat)	29,1	4,2	BAM (2,6-dichlorbenzamid)	12,7	1,5
LM3 (6-hydroxy-7,7-dimethyl-6,8-dihydroimidazo[1,2-a][1,3,5]triazin-2,4-dion)[a]	21,7	2,0	LM3 (6-hydroxy-7,7-dimethyl-6,8-dihydroimidazo[1,2-a][1,3,5]triazin-2,4-dion)	6,1	0,5
MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	17,8	6,0	MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon	4,1	0,6
LM6 (4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one)[c]	17,8	3,8	DEET (N,N-diethyl-m-toluamid)	4,0	0,6
BAM (2,6-dichlorbenzamid)	15,8	4,5	LM5 (6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazin-2,4-diol)	3,4	0,4
LM5 (6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazin-2,4-diol)	15,7	3,0	LM6 (4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one)	3,2	0,4
DEIA (desethyldesisopropyl-atrazin)	14,6	2,3	2,6-dimethylphenylcarbamoyl)methansulfonsyre	3,1	0,2

Glyphosat i 2024: Få fund og alle fund < 0,1µg/l GRUMO 3 fund & Vandforsyning 1 fund

NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIOR FORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

TFA har trukket overskrifter det sidste år

Kortkædet PFAS ender i vores drikkevand: Nyt studie fastholder sprøjtegifte i søgelyset

Landmænds brug af PFAS-pesticid går amok: Frygter forurening af drikkevand i hundreder af år

Geus bestemmer grundvands alder ved hjælp af PFAS

Nyt studie illustrerer en billig og hurtig metode til datering af grundvand. Det kan gavne indsatser for drikkevandsbeskyttelse.

Image by Mahel Ardat, from Pixabay

Researchers Find Growing Levels of TFA in Danish Groundwater Over 60 Years

The study looked at concentrations of TFA – linked to F-gas degradation – in 113 Danish groundwater-monitoring wells.

Feature

Rainwater contains rising levels of a human-made chemical called trifluoroacetic acid (TFA).

THERE'S A NEW ACID IN OUR RAIN — SHOULD WE BE WORRIED?

Scientists and regulators are divided over the threat posed by rising levels of a chemical called TFA. By XiaoZhi Lim

Wherever rain or snow falls from the skies, chemist-made chemical called trifluoroacetic acid (TFA) falls with it. Across the world, this chemical has shown up in lakes and rivers; bottled water and beer; cereal crops and animal livers; and even in human blood and urine[1]. And wherever researchers measure changes in TFA levels, they find that concentrations are rising.

Over the past four decades, TFA levels have risen five- to ten-fold in the leaves and needles of tree species in Germany[2,3]. Researchers have also documented rising levels of TFA in Canadian Arctic ice cores[4] and in groundwater in Denmark[5].

TFA accumulates partly because natural processes can't break its strong carbon–fluorine bonds. By some definitions, TFA is the smallest example of per- and poly-fluoroalkyl substances (PFASs), which persist for so long that scientists have coined them forever chemicals (see 'TFA: a controversial molecule' and 'Rising levels of TFA').

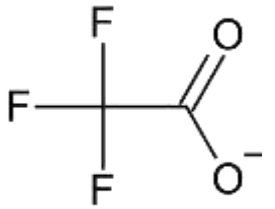
Some PFASs are already linked to higher risks of health harms and are banned internationally. Many countries are restricting the levels of certain PFASs in drinking water and embarking on costly clean-up operations.

But the health impacts of TFA are less clear. The few animal studies that exist suggest that current levels are thousands of times lower

894 | Nature | Vol 644 | 14 July 2025

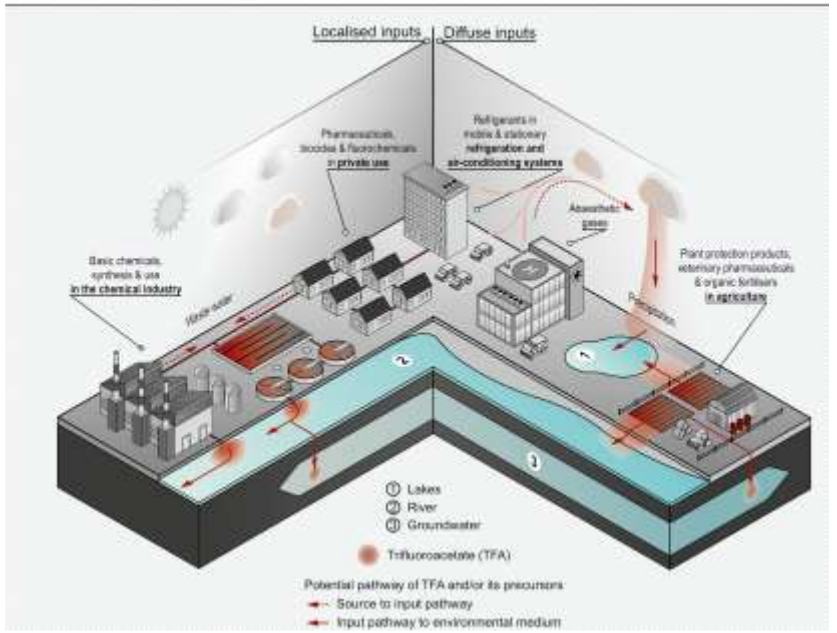
Trifluoreddikesyre (TFA)

Mobilt og Persistent



- Ultra-kort-kædet PFAS-forbindelser: kun ét fuldt fluorineret kulstof.
- Kraftig organisk syre - *meget* polært
- Vanskelig at analysere
- **Binder meget dårligt til fx aktiv kul, meget vandopløseligt**
- Ingen målt tilbageholdelse i jorden
- Kan optages i planter opløst i vandet
- **Stort set unedbrydeligt i miljøet.**
- Grænseværdi i drikkevand fastsat til 9 µg/l

The most important sources and input pathways leading to TFA contamination in surface waters and groundwater

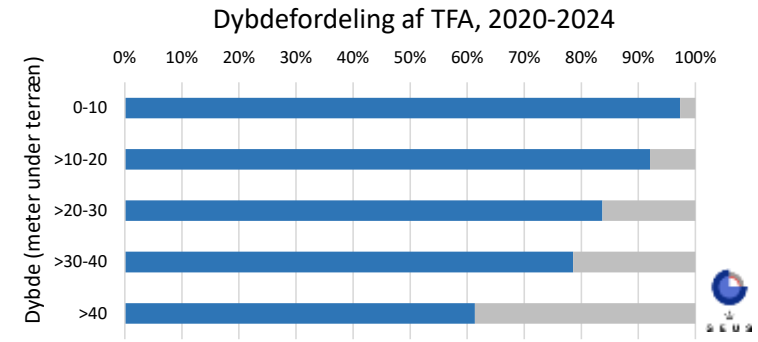


UBA, 2021. Sources, input pathways, environmental contamination of TFA and regulatory approaches.

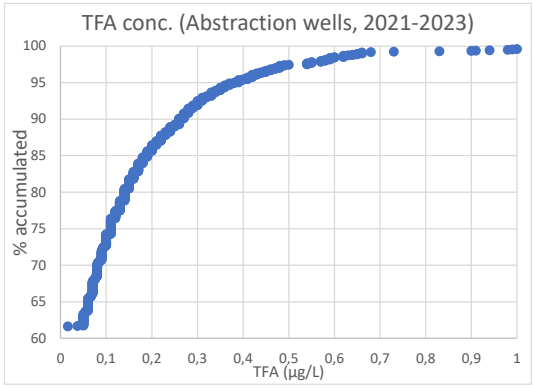
NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

Hvordan ser det ud med TFA GRUMO

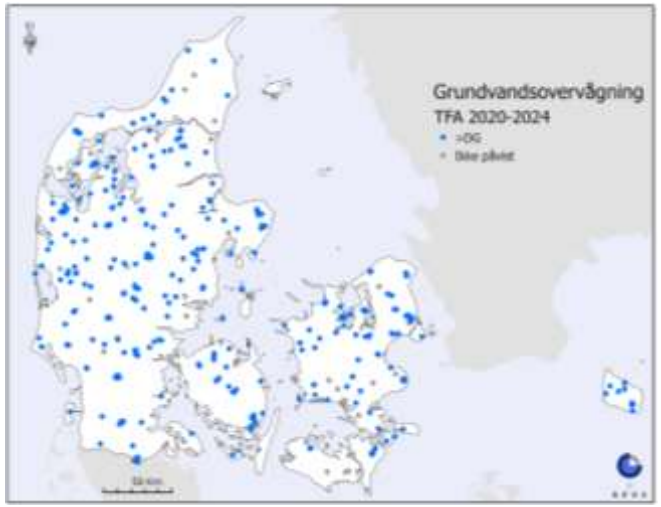
529 indtag undersøgt. Kravværdien 9 µg/l: INGEN overskridelser



	>40	>30-40	>20-30	>10-20	0-10
> KV	0	0	0	0	0
≤ KV	27	44	77	174	144
Ikke påvist	17	12	15	15	4



	>50	>40-50	>30-40	>20-30	>10-20	0-10
> KV	0	0	0	0	0	0
≤ KV	11	14	26	30	42	95
Ikke påvist	15	3	1	0	0	0



NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

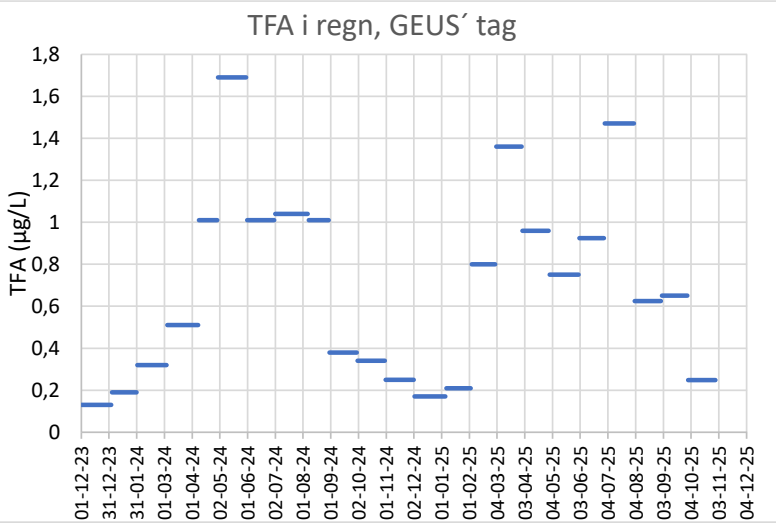
Kilder til TFA
1. Nedbrydning af fluorerede gasser i atmosfæren

Tre hovedgrupper af F-gasser kan omdannes til TFA;

HCFC´er (hydrochlorofluorocarbons)

HFC´er (hydrofluorocarbons)

HFO´er (hydrofluoroolefins =”umættede HFC´er”).

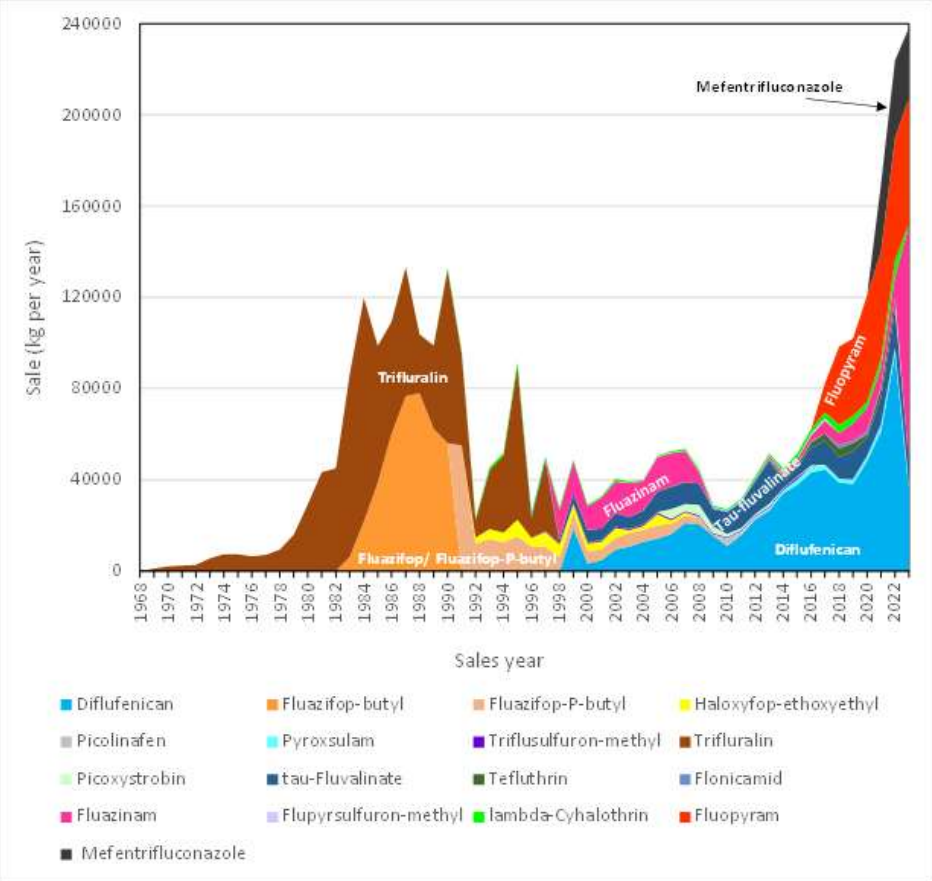


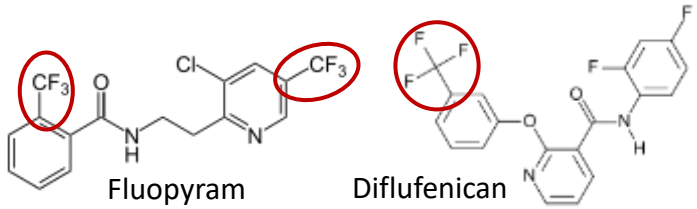
Månedsvægtet årsmiddel for 2024: 0,66 µg/L

Nedbørsvægtet: 0,60 µg/L.

Nuværende TFA-niveau i nedbør i Nordeuropa (SE; DK; DE): **0,1-0,6 µg/L** som årligt gennemsnit

Kilder til TFA
2. Pesticider med en C-CF_3-gruppe



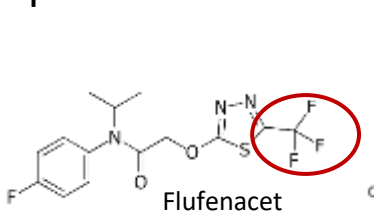


Fluopyram Diflufenican

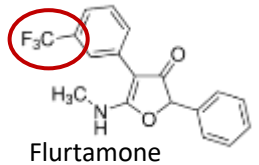
>50 aktivstoffer indeholder en C-CF_3-gruppe, 23 solgt i Danmark

TFA ikke nævnt som jord-metabolit i "assessment reports" for disse 23 stoffer, dog for flufenacet, flurtamone og haloxyfop

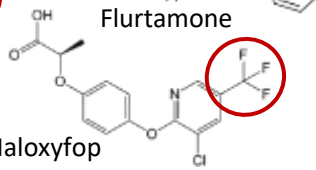
TFA fra Fluopyram efterfølgende vist af producenten



Flufenacet



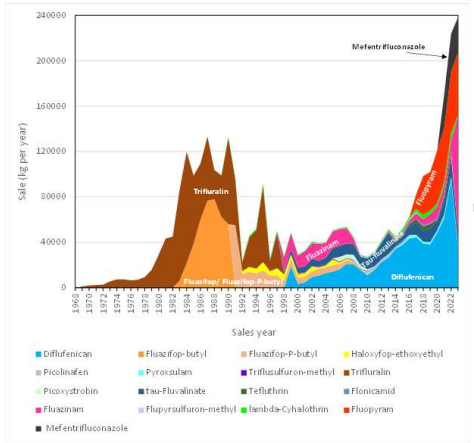
Flurtamone



Haloxyfop

NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

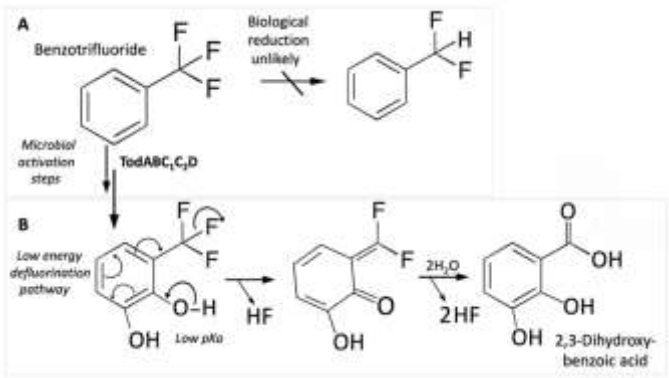
Vil alle C-CF_3-pesticider nedbrydes til TFA?



Worst case:
Alt omsættes til TFA:
10 µg/l i grundvand
(400 mm nettonedbør)

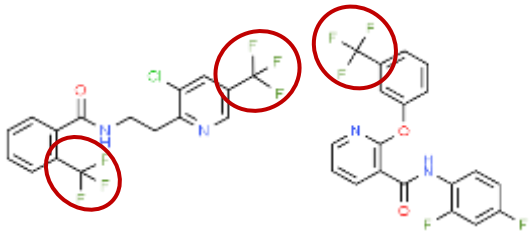
”Heldigvis” er der andre nedbrydningsveje:
(dioxygenase-medieret)

Wackett LP, 2022. Strategies for the Biodegradation of Polyfluorinated Compounds. Microorganisms, 10:1664.



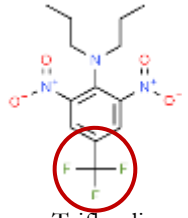
NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

Lab-inkubationer med syv C-CF_3-pesticider

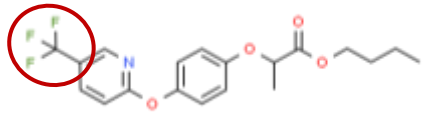


Fluopyram

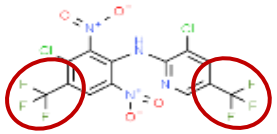
Diflufenican



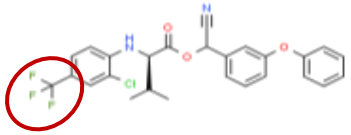
Trifluralin



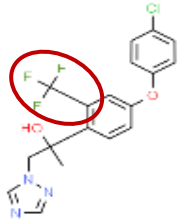
Fluazifop-butyl



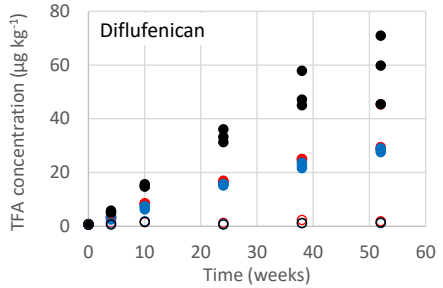
Fluazinam

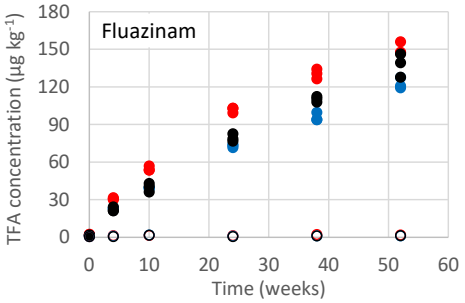


tau-Fluvalinat



Mefentrifluconazol





Tre landbrugsjorde (sandet, leret, permanent græs)
alle økologiske i >30 år
3 g jord, 20°C i mørke i et år, 20% fugtighed, 10 µmol/kg aktivstof

NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

Lab-inkubationer med syv C-CF_3-pesticider

TFA-dannelse fra alle modelstoffer

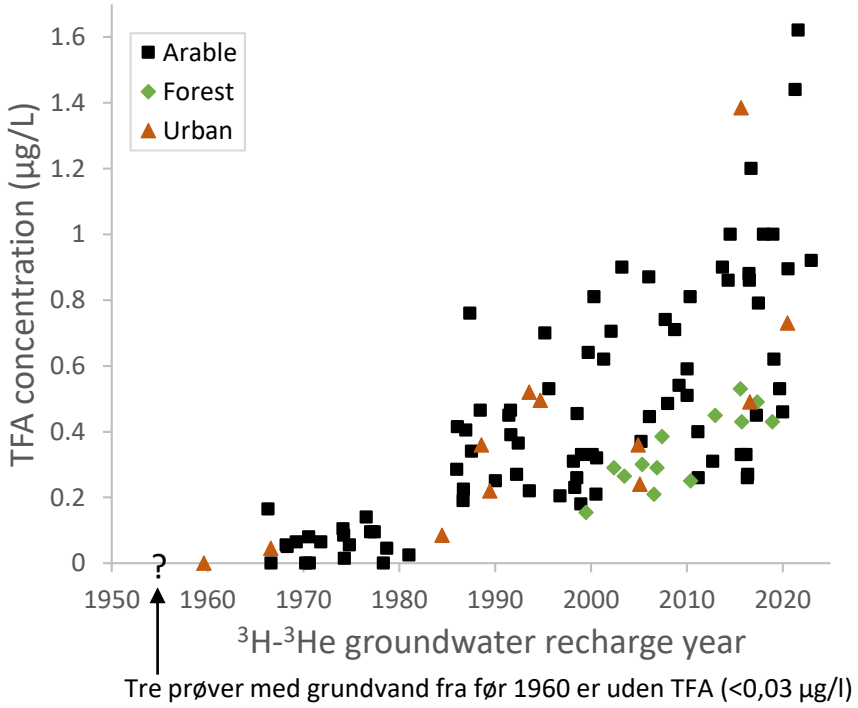
	TFA-dannelse (mol-% af tilsat)				Grove konservative skøn for nedsivende middel-konc. (µg/L)
	Sandet	Leret	Græsland	**Geometrisk middel**	
Fluopyram	7.9	3.3	10.7	**6.5 (13)**	0,06-0,30
Fluazinam	6.5	5.3	6.0	**6.0 (12)**	0,06-1,68
Diflufenican	2.9	2.4	5.2	**3.3**	0,05-0,12
Fluazifop-p-butyl	3.0	3.1	5.3	**3.7**	0,05-0,53
Trifluralin	1.7	1.1	2.2	**1.6**	0,34-0,60
Mefentrifluconazol	2.6	0.8	3.3	**1.9**	0,01-0,02
tau-Fluvalinate	1.1	0.4	1.0	**0.7**	0,01-0,02

NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

TFA-konc. i grundvand afhænger af grundvandets alder

- og arealanvendelse?

TFA er i grundvandsovervågningen fundet overalt
TFA og grundvandsalder estimeret for 113 GRUMO-boringer.
De fleste har landbrug i oplandet, få data natur og by.



Albers & Sültenfuss, 2024. A 60-Year Increase in the Ultrashort-Chain PFAS Trifluoroacetate and Its Suitability as a Tracer for Groundwater Age, ES&T Letters

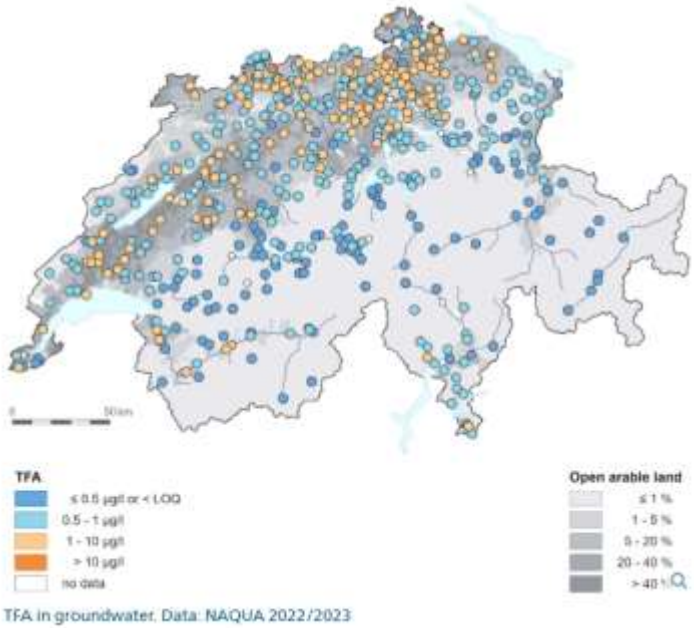
NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

Passer godt med tyske og schweiziske data

Tabelle 7: Mittlerer Median der gemessenen TFA-Gehalte in Landkreisen mit dem jeweils gleichen dominierendem Eintragspfad (Grund- und Oberflächenwasser).

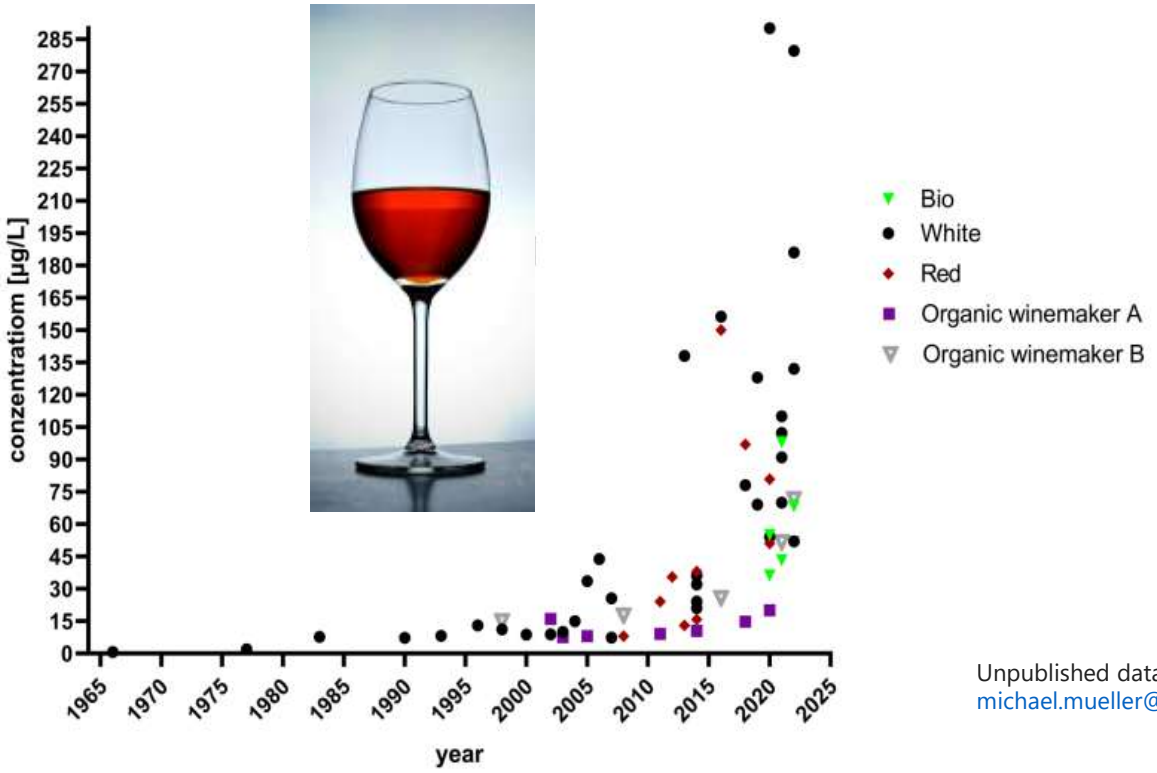
Dominierender Pfad je LKR	Mittelwert von Median je LKR (in µg/L) (Oberflächengew.)	Mittelwert von Median je LKR (in µg/L) (Grundwasser)
Industrie	2,28	1,82
Kläranlagen	1,06	0,90
Niederschlag	0,67	0,44
Landwirtschaft (PSM)	1,66	1,12
Gesamt	**1,65**	**1,09**

Sturm, S., F. Freeling, F. Brauer, T. Vollmer, and U. Karges. 2023. Trifluoracetat (TFA): Grundlagen für eine effektive Minimierung schaffen - Räumliche Analyse der Eintragspfade in den Wasserkreislauf.



TFA in groundwater. Data: NAQUA 2022/2023

Dog stadig fint at holde sig til vand...
Tyske erfaringer med TFA i rødvin!
Bemærk skala!!



Unpublished data: Michael Müller. Uni. Freiburg
michael.mueller@pharmazie.uni-freiburg.de

Konklusioner - TFA

TFA er et meget udbredt – findes i alt grundvand <40 år gammelt, men ikke i grundvand >60 år gammelt

Atmosfærisk deposition bidrager pt. op til ca. 0,5 µg/L

Syv af syv testede C-CF_3-pesticider kan nedbrydes til TFA

Disse pesticider er sandsynligvis vigtige bidragsydere lokalt i grundvand og fødevarer

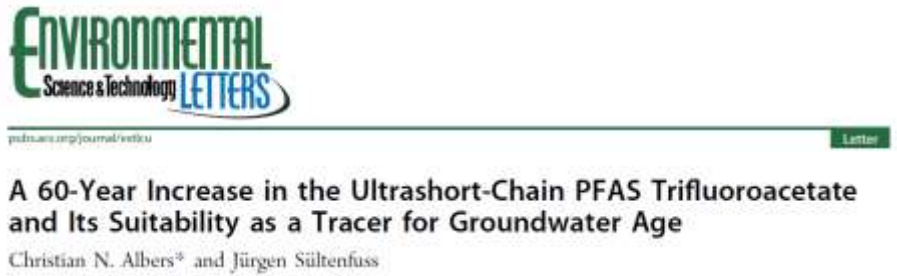
Stor usikkerhed på fremtidige kravværdier i miljø og drikkevand (PFAS?, pesticid (relevant/ikke relevant)?, nye tox-data?)

Tak for opmærksomheden
-
Spørgsmål eller kommentarer?

Christian Nyrop Albers
cal@geus.dk

Læs mere om TFA:

Hent på *pub.geus.dk*



Varslingssystem for udvaskning af pesticider til grundvand (VAP)

Hvad er det - og de nyeste resultater

Foto: Henning Carlo Thomsen

AARHUS UNIVERSITY
DEPARTMENT OF AGROECOLOGY

GEUS

NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

VAP

Varslingssystem for udvaskning af pesticider til grundvand (VAP)

Hvad er det - og de nyeste resultater

AARHUS UNIVERSITY
DEPARTMENT OF AGROECOLOGY

GEUS

NORA BADAWI, PROJEKT LEDER OG SENIORFORSKER, GEUS
KIRSTEN KØRUP, CHEFKONSULENT, PHD, AU

VAP

VAP

Er finansieret af **Sprøjtemiddelstrategi 2022-2026**

Mål: At evaluere risikoen for udvaskning af

- godkendte pesticider brugt på marker i omdrift
- til det øvre grundvand
- **grænseværdi 0.1 µg/L i grundvand**

Formål: At forbedre det videnskabelige grundlag for de danske myndigheders godkendelses- og reguleringsprocedurer for pesticider

Forebygge fremtidig forurening af det dybe grundvand

Miljø- og Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

GEUS
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland

AARHUS UNIVERSITET

VAP

VAP marker

Repræsenterer forskellige typer klima og geologi

Jordtyper

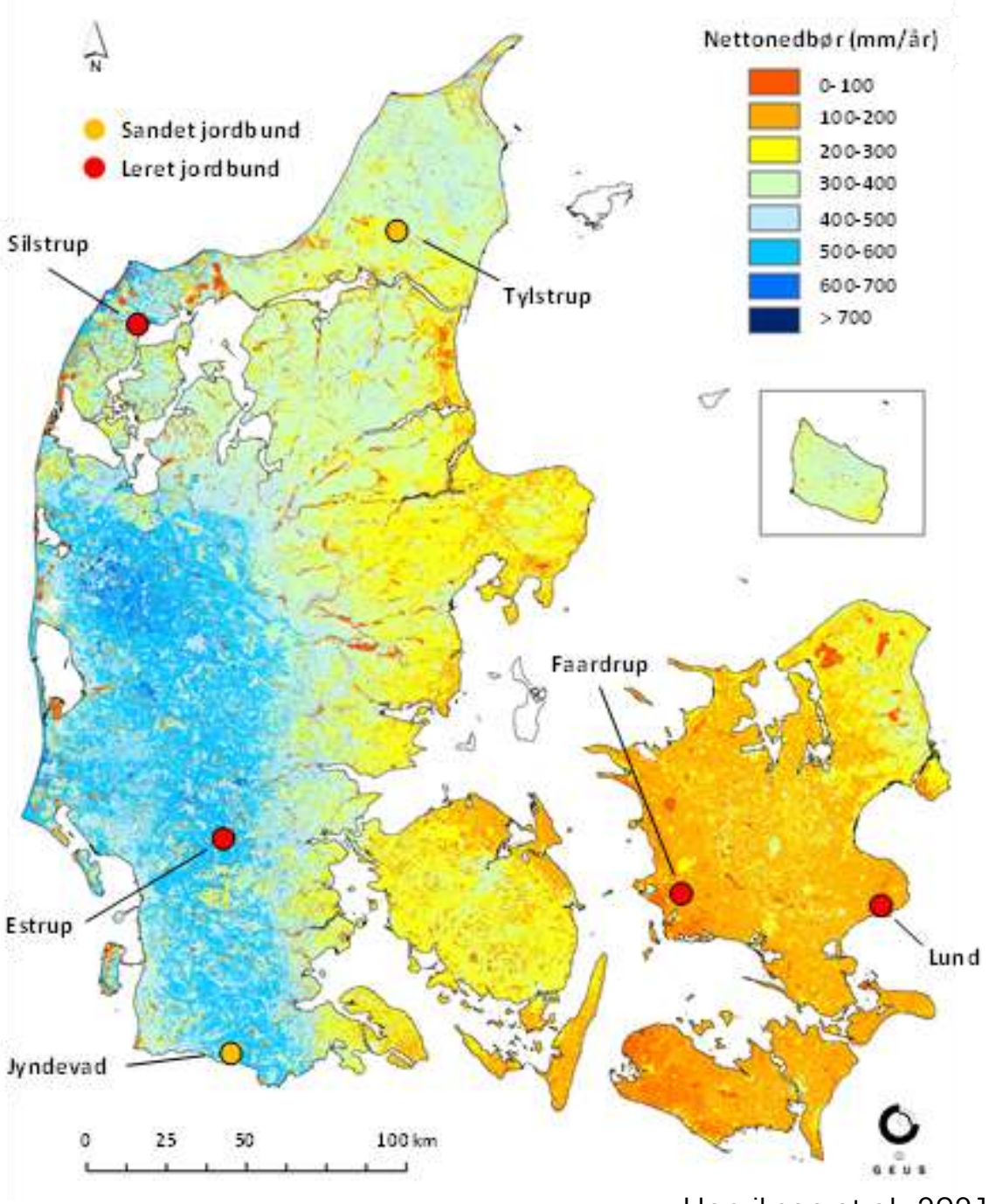
- 4 lerjord, JB 5-7 (2 på standby)
- 2 sandjord, JB 1-2 (1 på standby)

Mark størrelser

- 1,1 – 2,4 ha

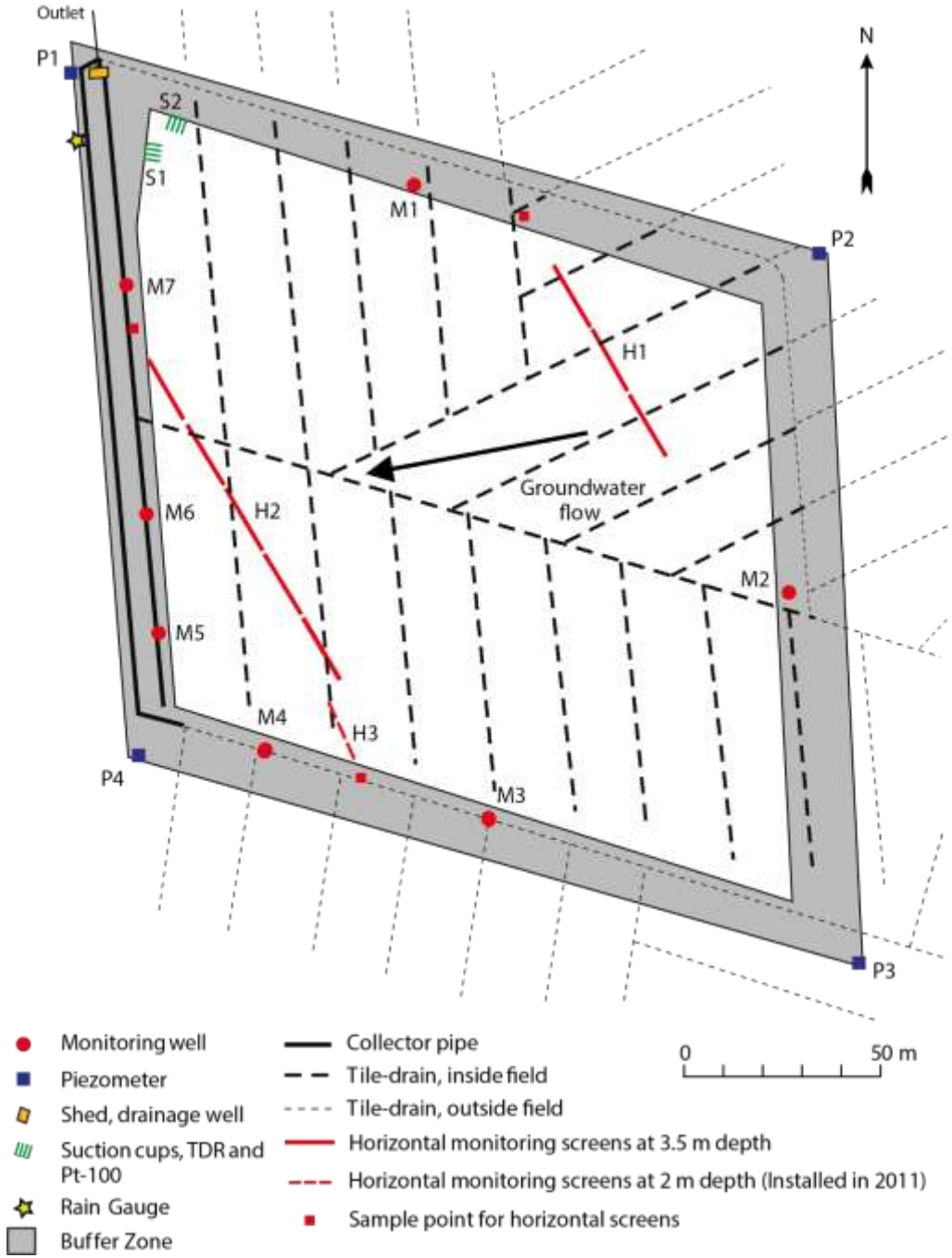
Dyrkning

- Konventionel
- Pesticider
- Næringsstoffer



Henriksen et al., 2021

VAP-mark oversigt



VAP

VAP marker, installationer

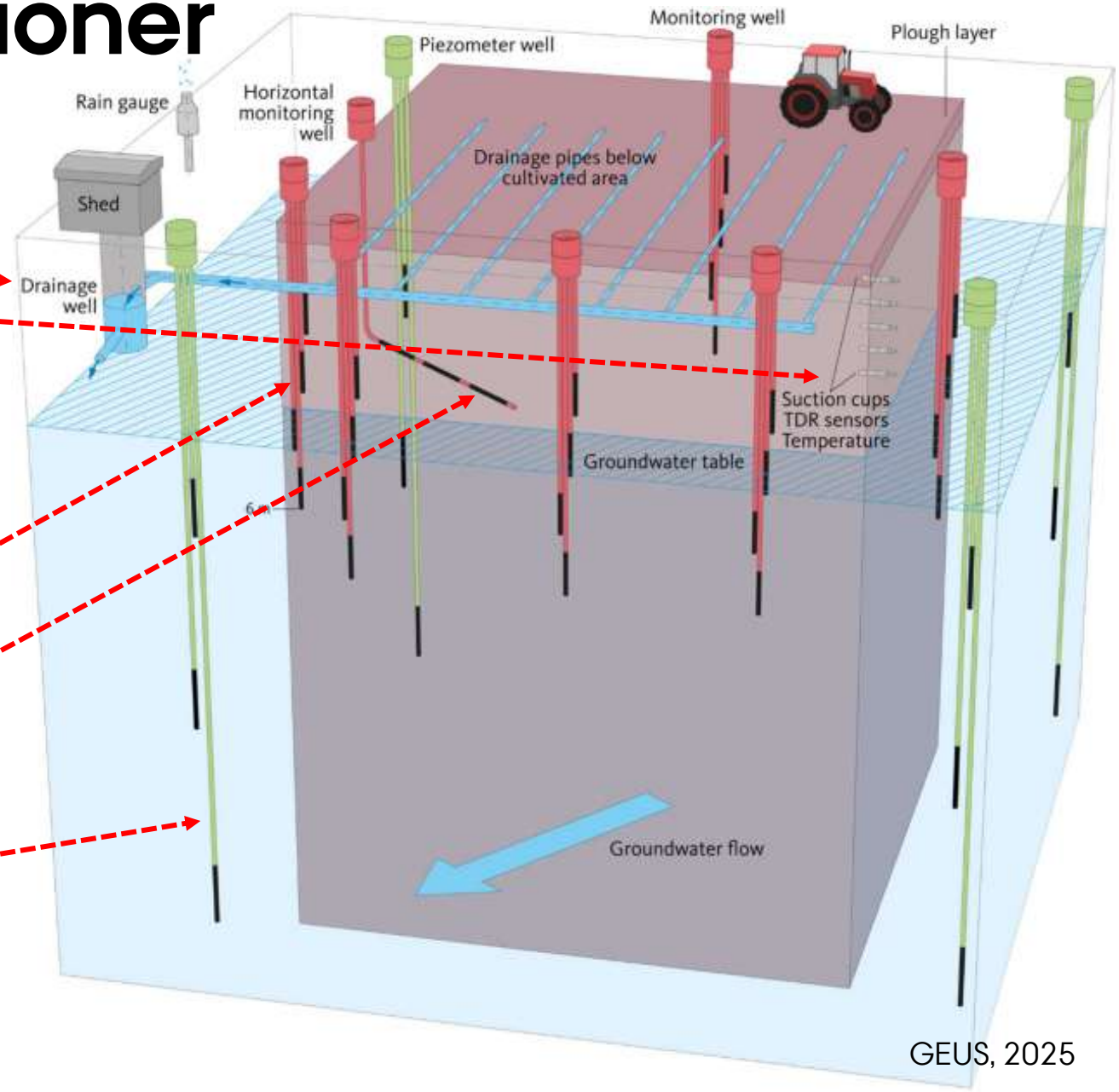
Variabelt umættede zone

- Dræn (1 m dybde, ler)
- S1 og S2 sugeceller (1 m dybde, sand)

Mættede zone

- M1-7 – vertikale grundvandsboringer (4 dybder, 1,5 - 5,5 m dybde)
- H1-3 – horisontale grundvandsboringer (2,0/3,5 m dybde)

- P1-4 – grundvandsboringer, måling af grundvandshøjden (2 -12 m dybde)



GEUS, 2025

VAP

Monitering, vandprøver og prøvetagning

Dræn (ler)

- 1/mark, 1/uge i dræningssæsonen

Sugeceller (sand)

- 2/mark, 1/måned*

Moniteringsboringer

- Vertikal, 3/mark, 1/måned*
- Horisontal, 1 dybde, 1/måned*

Analyseres for

- godkendte pesticider
- nedbrydningsprodukter
- nitrat

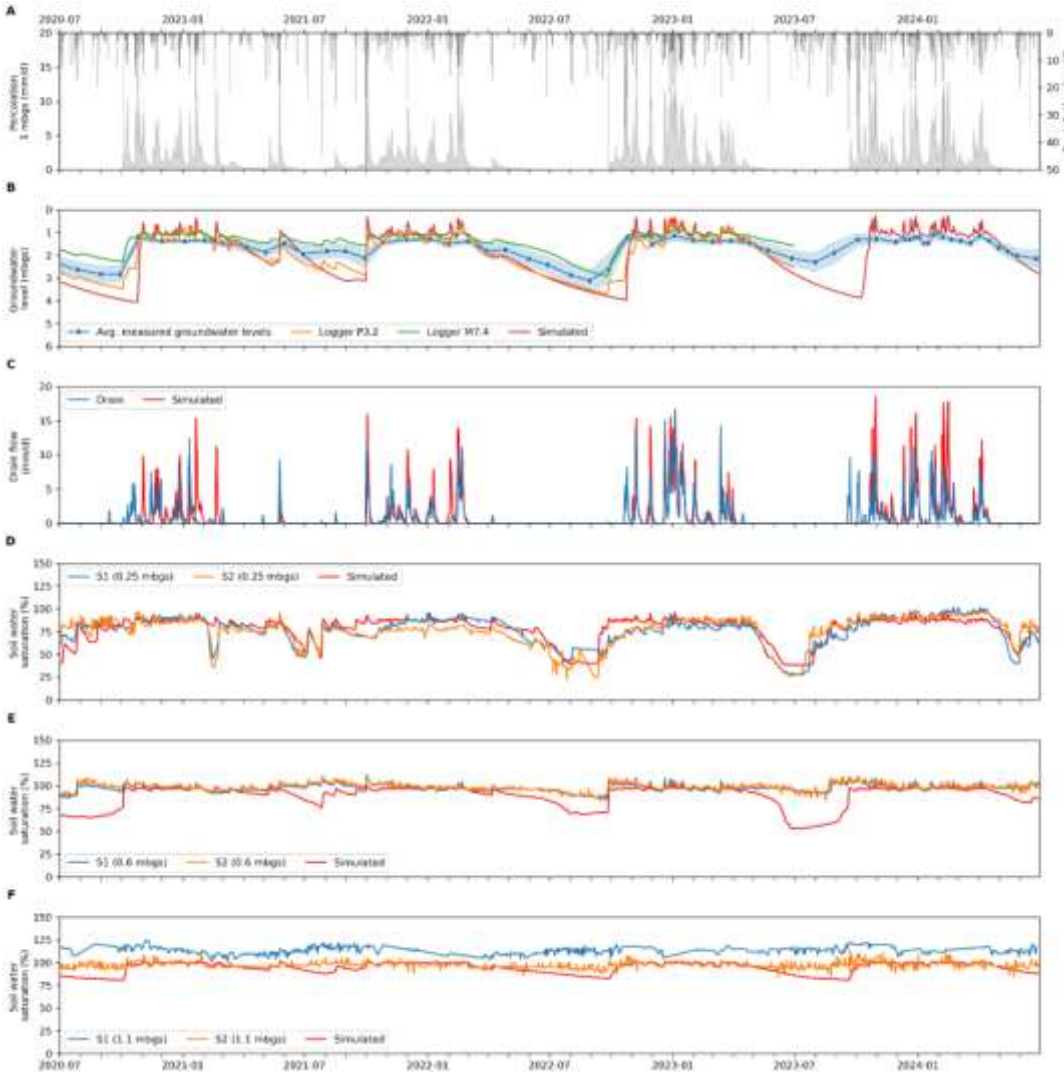
*ændret prøvetagningsfrekvens

Foto: Henning Carlo Thomsen

VAP

Hydrologiske parametre og klimadata

- Nedbør
- Grundvandsniveau
- Dræn flow
- Jordvandsindhold (TDR)
- Jordtemperatur



Badawi et al., 2025

VAP

Eks 1: cyazofamid, test i kartofler i 2020

Jyndevad, sandjord

Stivelseskartofler

Sprøjteskema 2020

- **Produkt**: Ranman Top (kartoffelskimmel)
- **Sprøjtninger**: Seks gange, Juni-September

Foto: Henning Carlo Thomsen

Dato	Skadevolder	Pesticid
20/05/2020	Ukrudt	Glyphomax HL (glyphosate) og Centium 36 CS (clomazon)
14/06/2020	Svampe	Ranman Top (cyazofamid)
23/06/2020	Svampe	Ranman Top (cyazofamid)
23/06/2020	Insekter	Mospilan SG (acetamiprid)
03/07/2020	Svampe	Dithane NT (mancozeb)
09/07/2020	Svampe	Dithane NT (mancozeb)
17/07/2020	Svampe	Ranman Top (cyazofamid)
17/07/2020	Insekter	Mospilan SG (acetamiprid)
27/07/2020	Svampe	Dithane NT (mancozeb)
03/08/2020	Svampe	Dithane NT (mancozeb)
06/08/2020	Svampe	Proxanil (propamocarb + cymoxanil)
12/08/2020	Insekter	NeemAzal-T/S (azadirachtin)
12/08/2020	Svampe	Ranman Top (cyazofamid)
19/08/2020	Svampe	Proxanil (propamocarb + cymoxanil)
27/08/2020	Svampe	Dithane NT (mancozeb)
01/09/2020	Insekter	NeemAzal-T/S (azadirachtin)
01/09/2020	Svampe	Ranman Top (cyazofamid)
10/09/2020	Svampe	Ranman Top (cyazofamid)
16/09/2020	Svampe	Dithane NT (mancozeb)

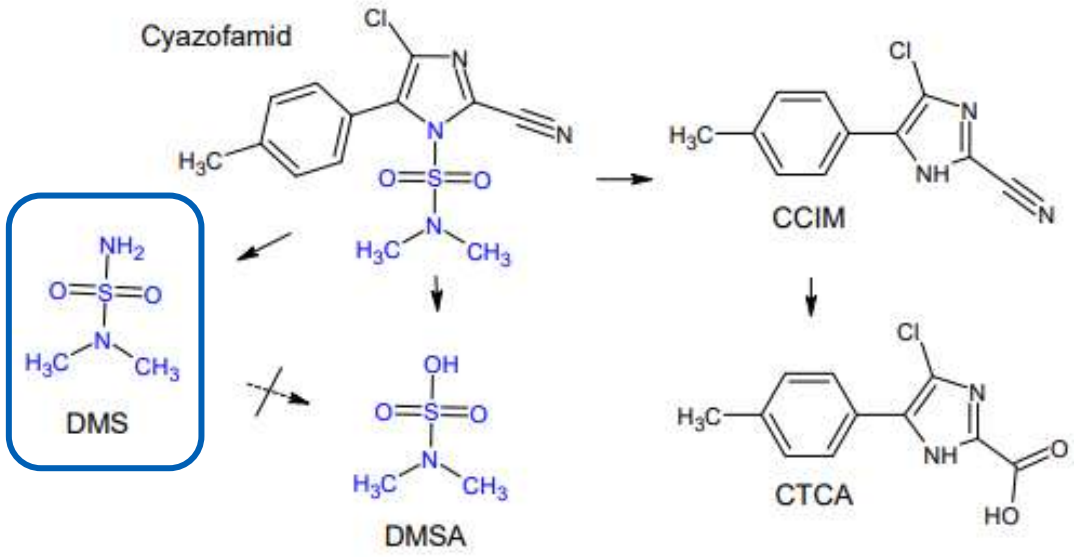
VAP

Eks 1: cyazofamid, test i kartofler

Aktivstof: Cyazofamid

Nedbrydningsprodukter i moniteringen:

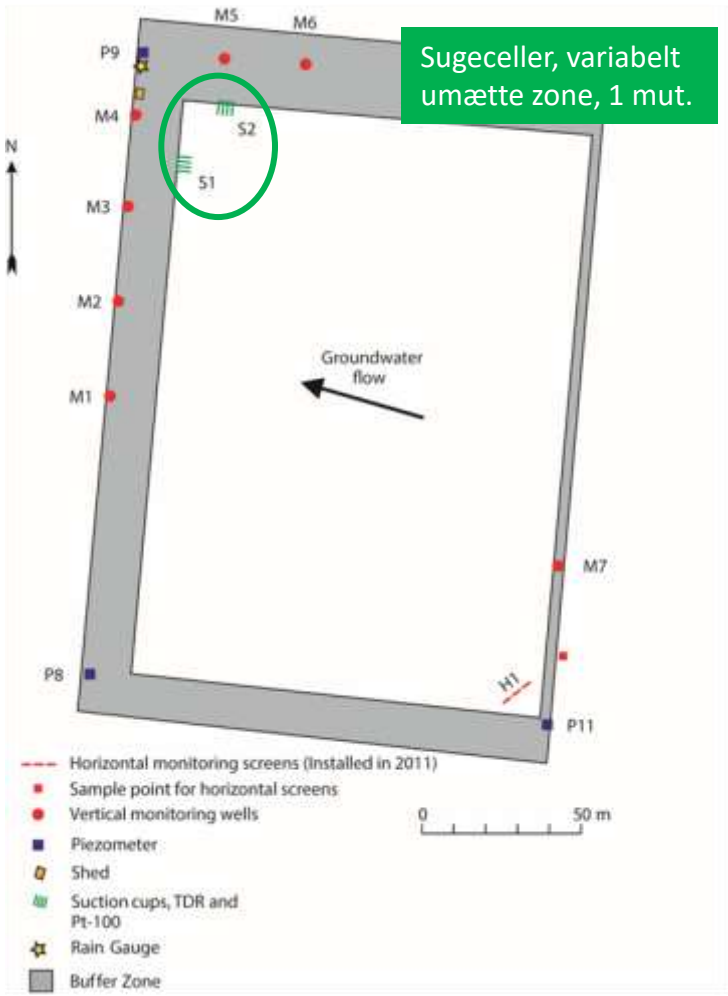
CCIM, CTCA, **DMS**, DMSA



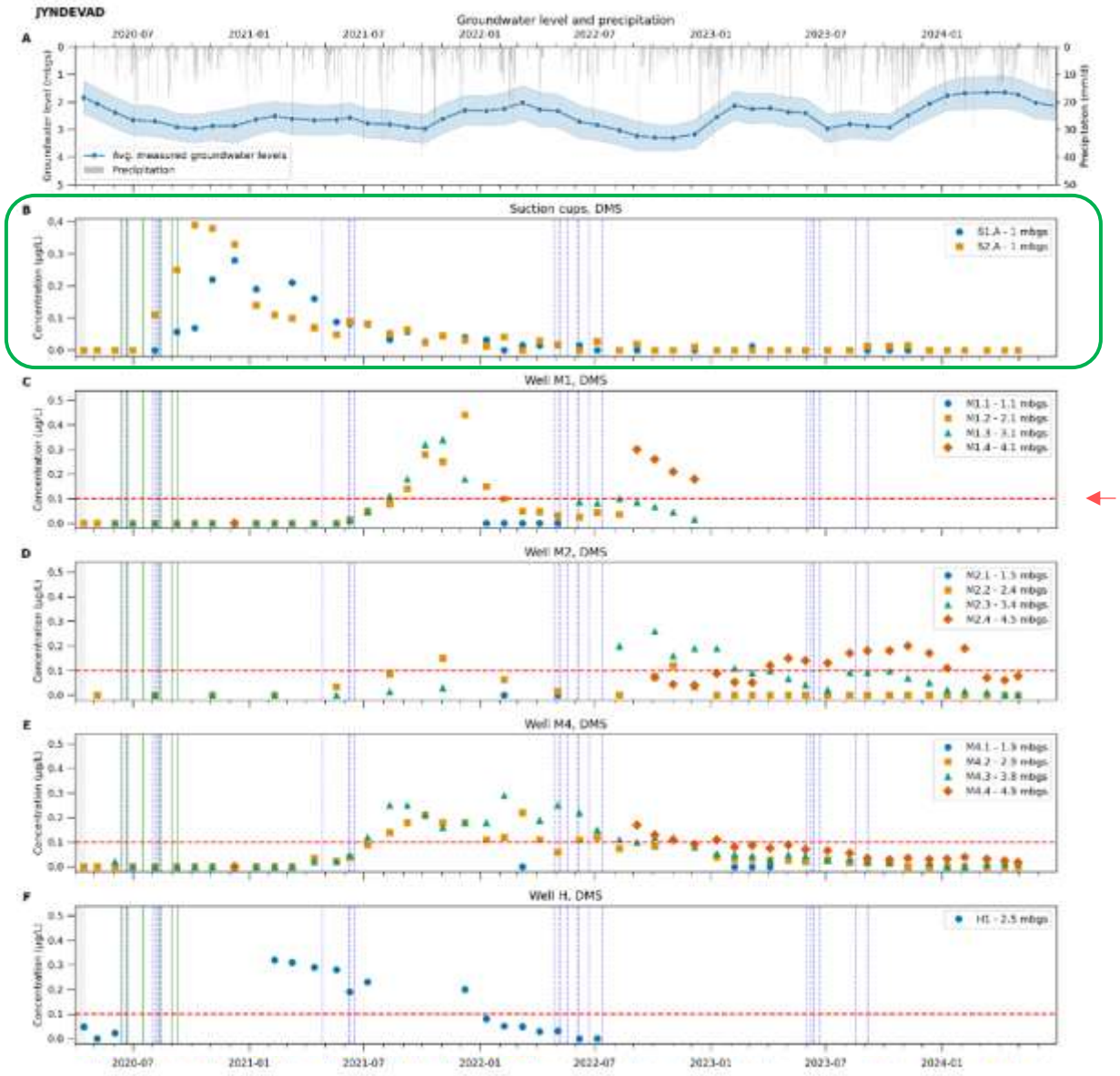
VAP

Cyazofamid – DMS udvaskning

Jyndevad



Sugeceller, variabelt umætte zone, 1 mut.



0.1 µg/L, grænseværdi i grundvand

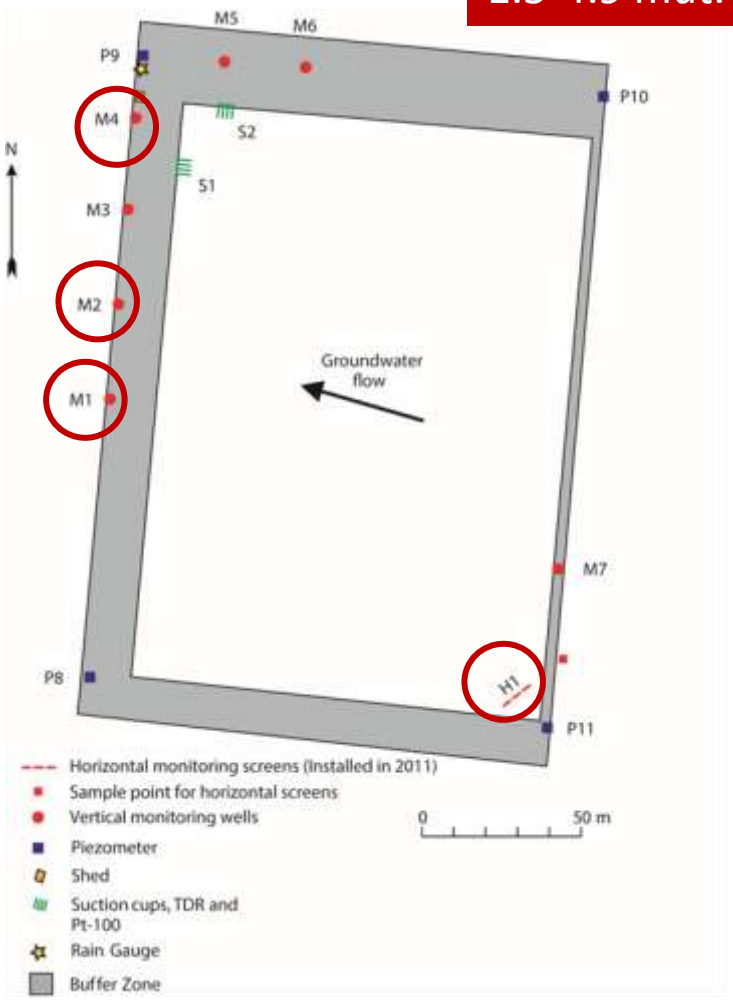
Badawi et al. 2025, kan hentes på www.vap.dk

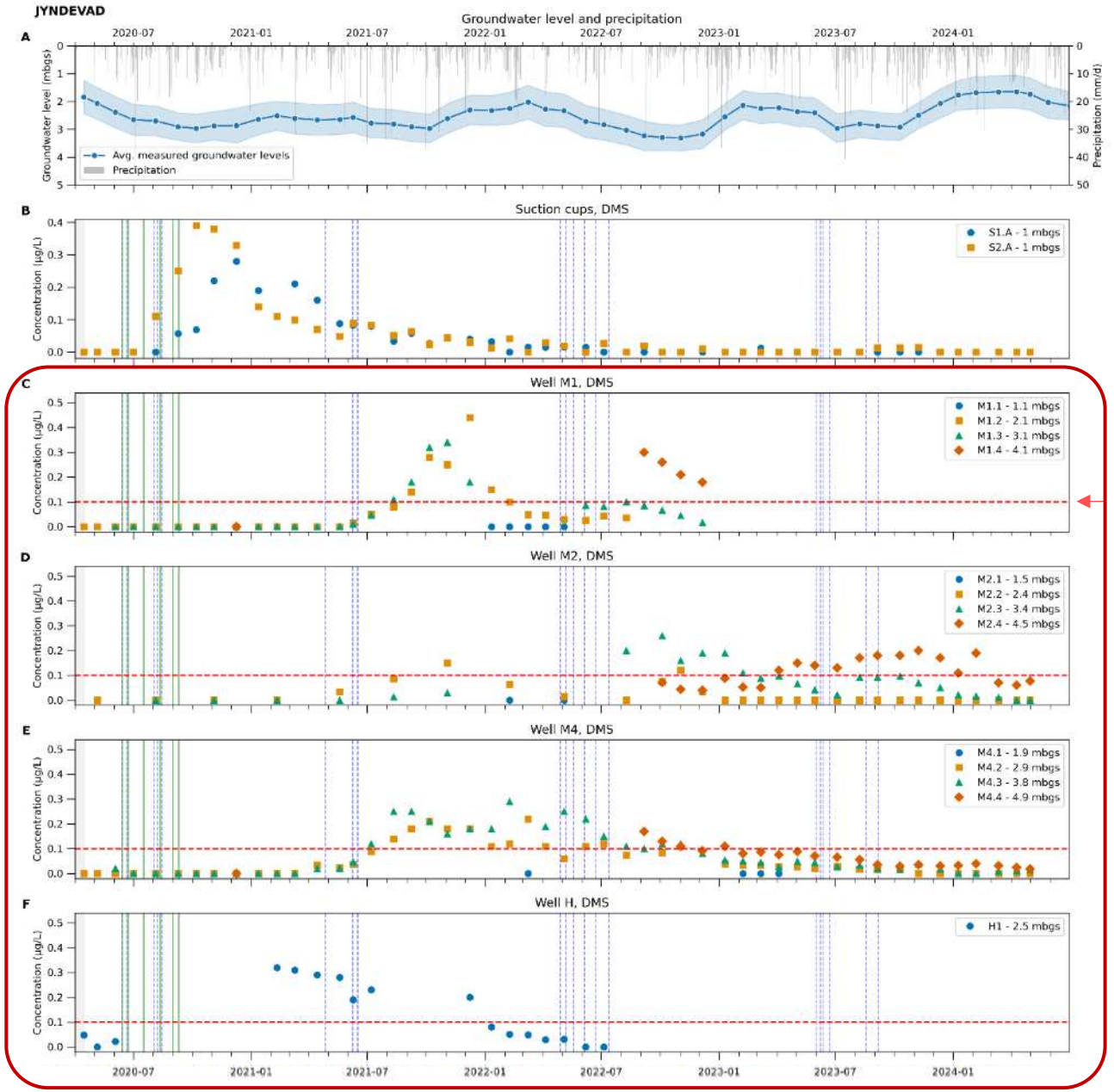
VAP

Cyazofamid – DMS udvaskning

Jyndevad

Grundvand, 1.5-4.9 mut.





0,1 µg/L, grænseværdi i grundvand

Badawi et al. 2025, kan hentes på www.vap.dk

Eks 2: propyzamid, test i vinterraps i 2023

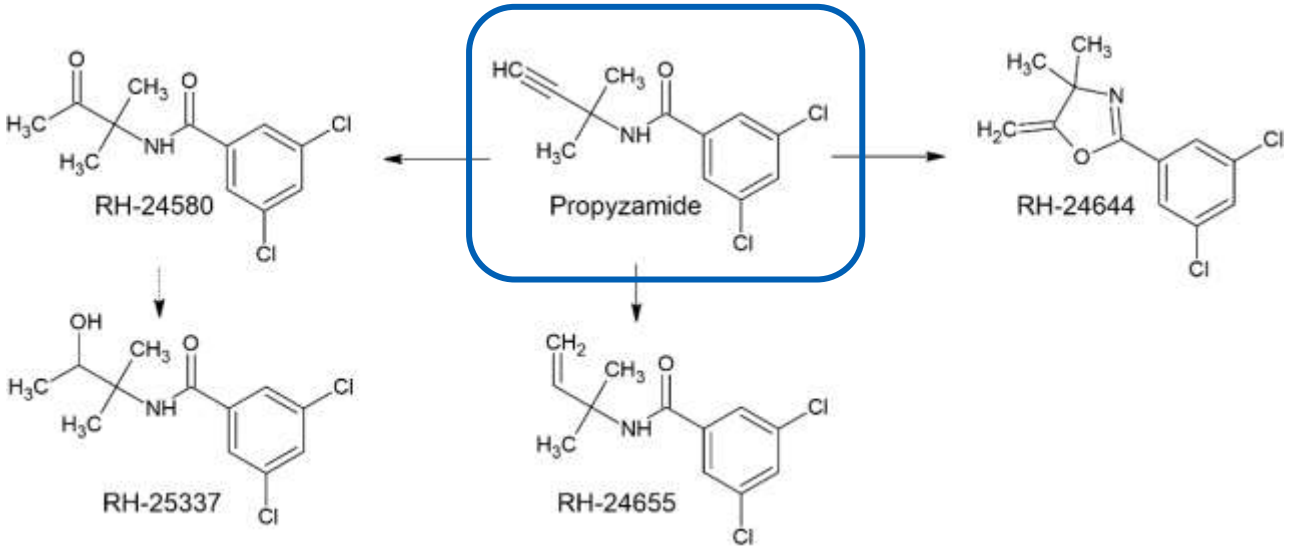
Silstrup, lerjord

Produkt: Kerb 400 SC (herbicid)

Sprøjtning: November 2023

Aktivstof: propyzamid

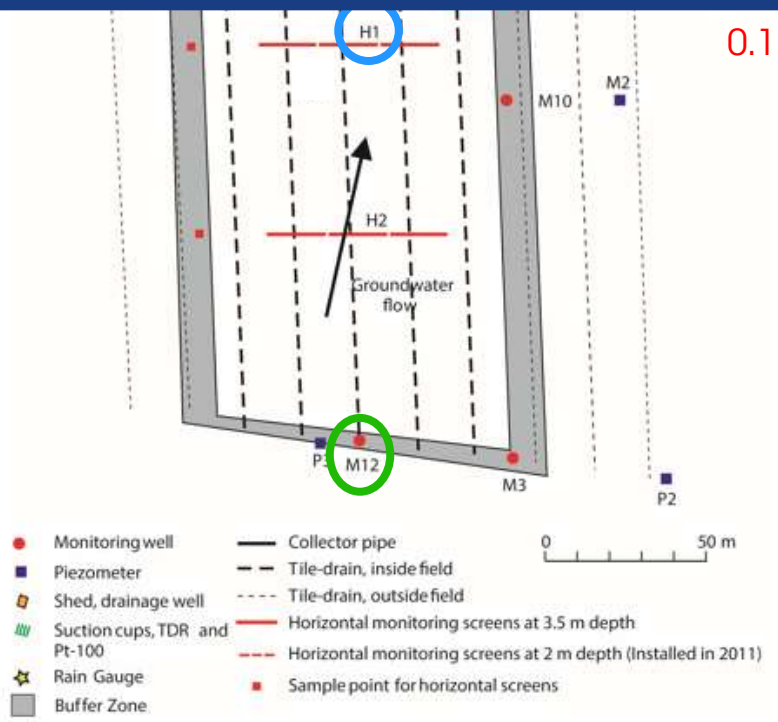
Stoffer i moniteringen: **propyzamid,** RH-24580, RH-24644, RH-24655, RH-25337



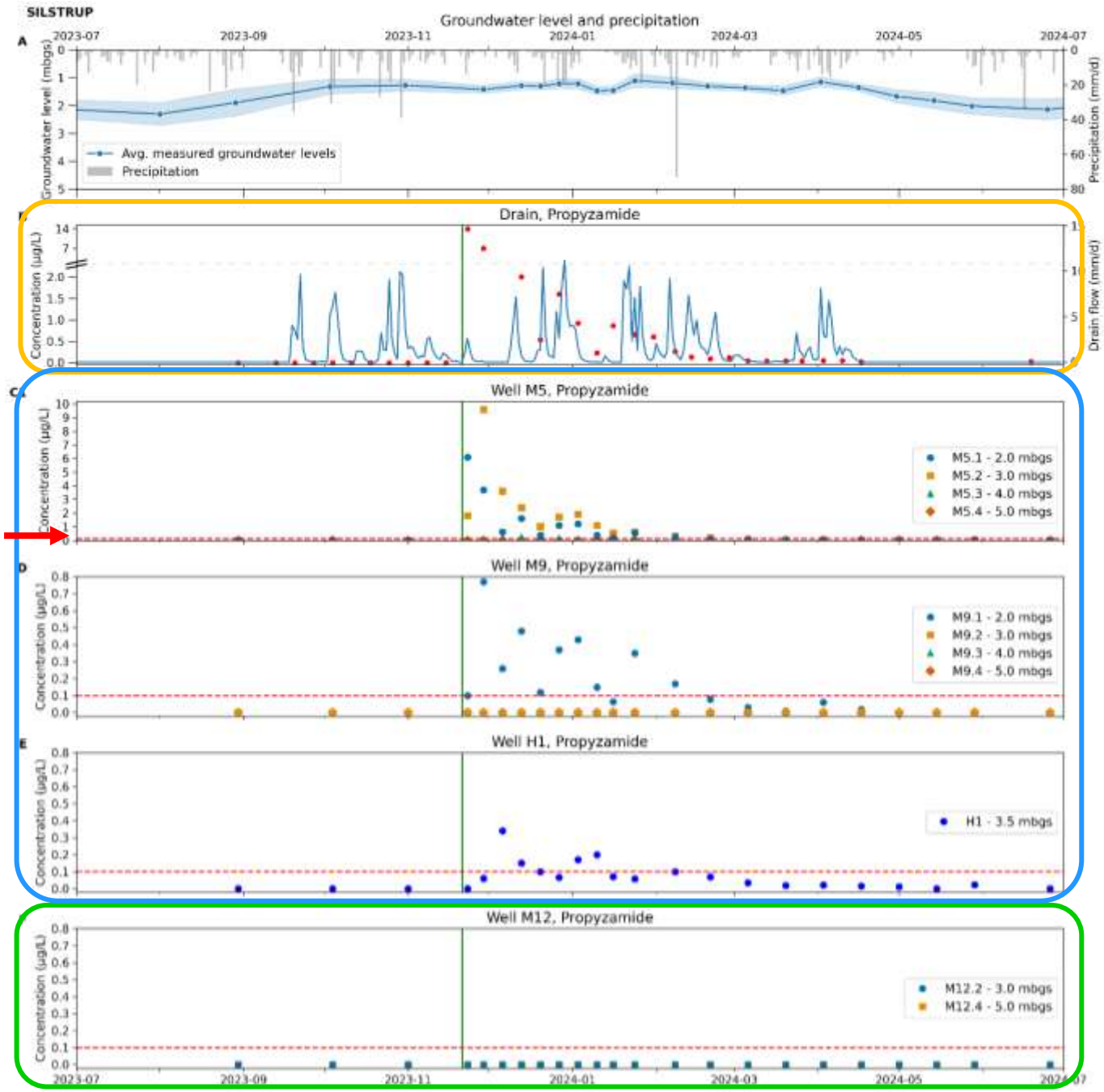
VAP

Propyzamid udvaskning

Prøvetagning hver uge i de første måneder efter sprøjtning afslører udvaskning over 0,1 µg/L til grundvandet



0.1 µg/L



VAP

Badawi et al., 2025, kan hentes på www.vap.dk

Resultater af moniteringen (eksempler)

Stoffer i monitering 1999 - 2025

- 53 pesticider
- 107 nedbrydningsprodukter

Tilladelse tilbagekaldt i DK

- **Cyazofamid (2023)**
- Metribuzin
- Rimsulfuron
- Bifenox
- Metalaxyl-M
- Terbuthylazin
- Fluazifop-P-butyl

Reduceret dosis/ændringer i anvendelse

- Bentazon
- Azoxystrobin
- Clomazon
- Triazoler (eks. tebuconazol)

Sendt i høring

- **Propyzamid (2025)**

https://mim.dk/nyheder/pressemeddelelser/2025/april/nyt-fund-kan-lede-til-forbud-mod-ukrudtsmiddel

VAP

Hvad har vi lært af VAP gennem tiden?

- Prøvetagningsstrategien kan være afgørende for om den reelle udvaskning opdages (eks. propyzamid)
- Pesticider og nedbrydningsprodukter påvises under både ler- og sandmarker
- Udvaskning til dræn og sugeceller er et forvarsel om potentiel udvaskning til grundvand
- Kraftigt sorberende pesticider kan udvaske ved partikeltransport igennem opsprækkede lermarker (eks. propyzamid)
- Alle grundvandsrelevante nedbrydningsprodukter er ikke altid en del af risikovurderingerne fra de Europæiske myndigheder (eks. DMS)

VAP

Foto: Henning Carlo Thomsen

Foto: Henning Carlo Thomsen

Foto: Kaj Madsen

Foto: Helle Baadsgaard Sørensen

Tak for opmærksomheden
- og tid til spørgsmål ☺

Foto: Henning Carlo Thomsen

Kontaktoplysninger

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland

GEUS

Nora Badawi

Projektleder og seniorforsker
De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)
Telefon 91 33 35 74
E-mail: nba@geus.dk

AARHUS UNIVERSITET

Kirsten Kørup

Chefkonsulent, PhD
Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet
Telefon: 93 52 21 31
E-mail: kirstenkoerup@agro.au.dk

VAP

Find resultater fra VAP på www.vap.dk