

DTU



# Kvantificering af PFAS frigivelse og afvaskning fra solceller

Lars Michael Skjolding, Philipp Mayer, Charlotte Scheutz, Anders Baun

DTU Sustain  
Department of Environmental and Resource Engineering

# Hvem er jeg?

- Lars Michael Skjolding
  - Senior forsker ved DTU Sustain
    - PhD med fokus på effekter af nanomaterialer i økosystemer
- Forskningsfelter/interesser:
  - Udbredelse og effekter af kemikalier i miljøet
    - Nanopartikler/avancerede materialer
    - Industrielle udledninger af spildevand til marine-og ferske vandmiljøer
    - **Miljørisikovurdering af teknologier til at facilitere Den Grønne Omstilling**
- Email: [lams@dtu.dk](mailto:lams@dtu.dk)



# Eksempler på PFAS i det danske nyhedsbillede



## Miljøministeren ser med "stor alvor" på PFAS-forurening, men kan ikke blive konkret på løsning

30. aug 2022 kl. 15:41



Miljøminister Lea Wermelin (S) kunne ikke svare på, hvornår handlingsplanen er klar, og hvad den konkret skal indeholde. Foto: Mads Claus Rasmussen / Ritzau Scanpix

af Ida Marie Lomholt Wismann

### Venstre-ordfører kalder samrådet "dødirriterende".

Tirsdag var miljøminister Lea Wermelin (S) kaldt i samråd om de sundhedsskadelige stoffer PFAS.

Her blev hun blandt andet bedt redegøre for, hvad den nationale handlingsplan, som ministeren for to uger siden meddelte, at regeringen vil have, skal indeholde.

Mest sette på tv2.4

- TV 2 Echo  
31-årig I med hes vidste ik jeg ville
- Politik  
Live F beder or Elleman
- Krigen i U  
Live B efterfors dronean
- Tennis  
Forarget Djokovic



INDLAND

## Partier vil have regeringen op i tempo og ind i kampen mod PFAS: Heunicke bør rydde alt andet af skrivebordet

Regionerne efterlyser flere penge til opgaven, hvis vi for alvor skal rykke på PFAS.



# Eksempler på PFAS i det danske nyhedsbillede



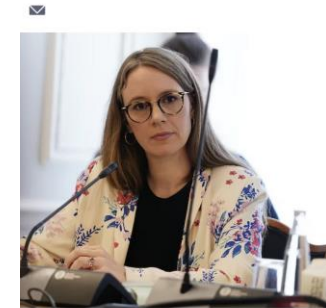
INDLAND

## Tonsvis af jord fra en af landets mest forurenede grunde endte hos Nordic Waste

Ekspert frygter, at PFOS-forurenet jord hos Nordic Waste kan ødelægge vandmiljø.



## Miljøministeren ser med "stor alvor" på rening, men kan ikke blive i løsning



Jeg kunne ikke svare på, hvornår handlingsplanen er klar, og hvad foto: Mads Claus Rasmussen / Ritzau Scanpix

Mest set på tv2.4



alder samrådet "dødirriterende".

er Lea Wermelin (S) kaldt i samråd om de fer PFAS.

Det bedt redegøre for, hvad den nationale listeren for to uger siden meddelte, at regeringen



og S:

alvor

Der kan være jord med PFOS blandet ind i jordskredet ved Nordic Waste, lyder bekymringen. (Foto: © Morten Lerkenfeldt Sørensen, DR)

**Tabel 1. Gældende grænseværdier for PFAS i miljøet (2023)**

Forkortelser: Årligt gennemsnit (AA); Maksimalt tilladt koncentration (MAC); tør vægt (dwt); våd vægt (ww).

Compartment	Unit	Compound		
		PFOS	Sum of 4 PFAS <sup>1</sup>	Sum of 22 PFAS <sup>2</sup>
Waste water sludge	µg/kg (dwt)		10	400
Soil	µg/kg (dwt)		10	400
Groundwater	ng/L		2	100
Drinking water	ng/L		2	100
Surface water (fresh)	ng/L	0.65 (AA) 36000 (MAC)		
Surface water (marine)	ng/L	0.13 (AA) 7200 (MAC)		
Biota	µg/kg (ww)	9.1		

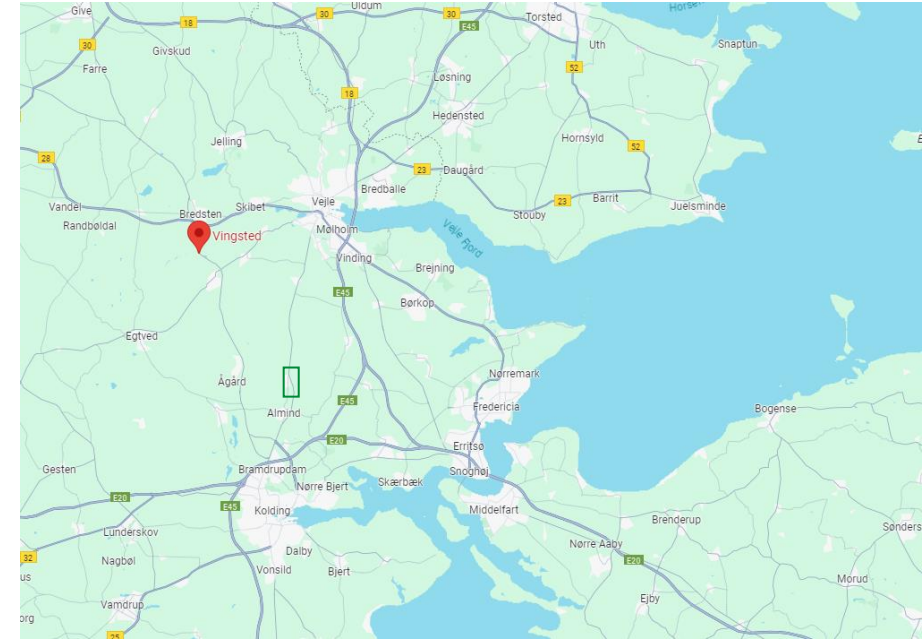
<sup>1</sup>PFOA, PFOS, PFNA and PFHxS.

<sup>2</sup>PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnS, PFDoS, PFTrS, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA and PFTrDA.



## Case study

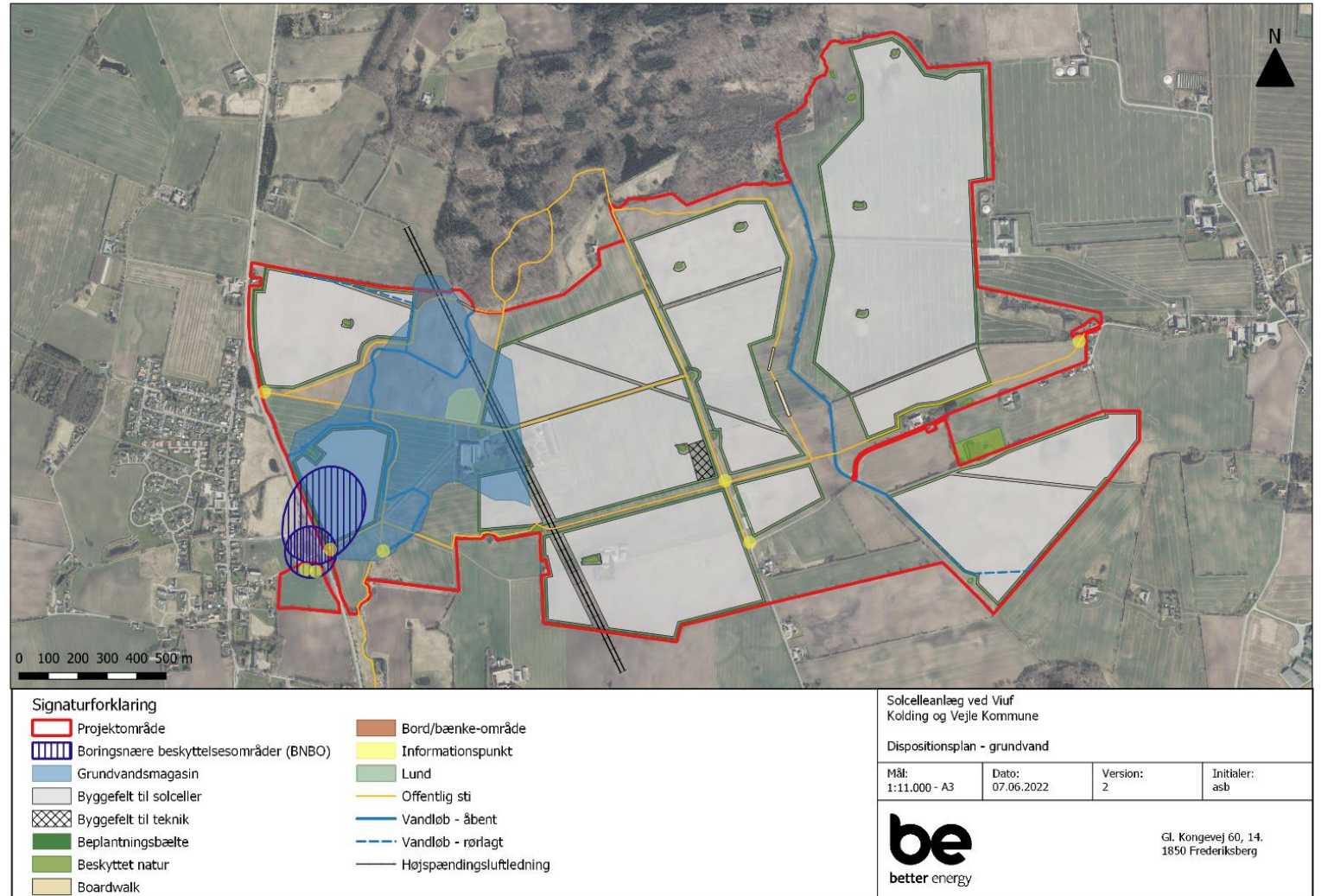
- Den Grønne Omstilling – Solceller til elektricitet
- Import af solceller fra Kina
  - Ingen fuld beskrivelse af materialer og kemikalier
- Kolding Kommune
  - Beskyttelsesområder i forbindelse med drikkevandsboringer, anvendelse til VE projekter fremfor landbrug
  - Viuf området planlagt solceller på cirka 110 hektar svarende til 257.000 moduler
    - Forventet udvidelse for at opnå mål om 50% vedvarende energi frem mod 2030 (per 2023, cirka 15% vedvarende energi)





## Case study

# Projektbeskrivelse og formål



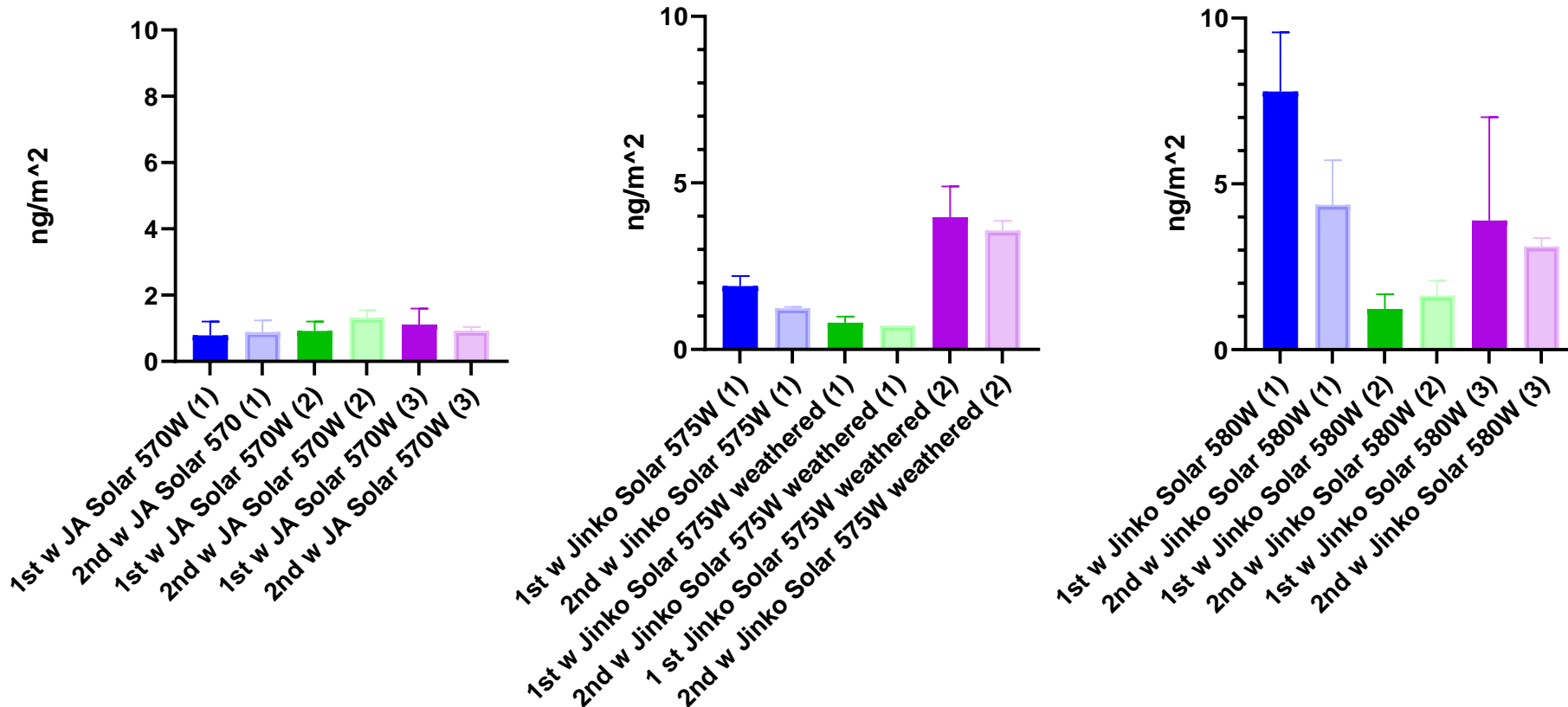




## Case study

Gennemsnitlig genfindelse med ekstraheringsmetoden for 17 PFAS stoffer  $95 \pm 17\%$  (tilføjelse af 10 ng/serviet af 17 PFAS standarder).

Frigivelse af PFHxA ved første og anden aftørring (screening)



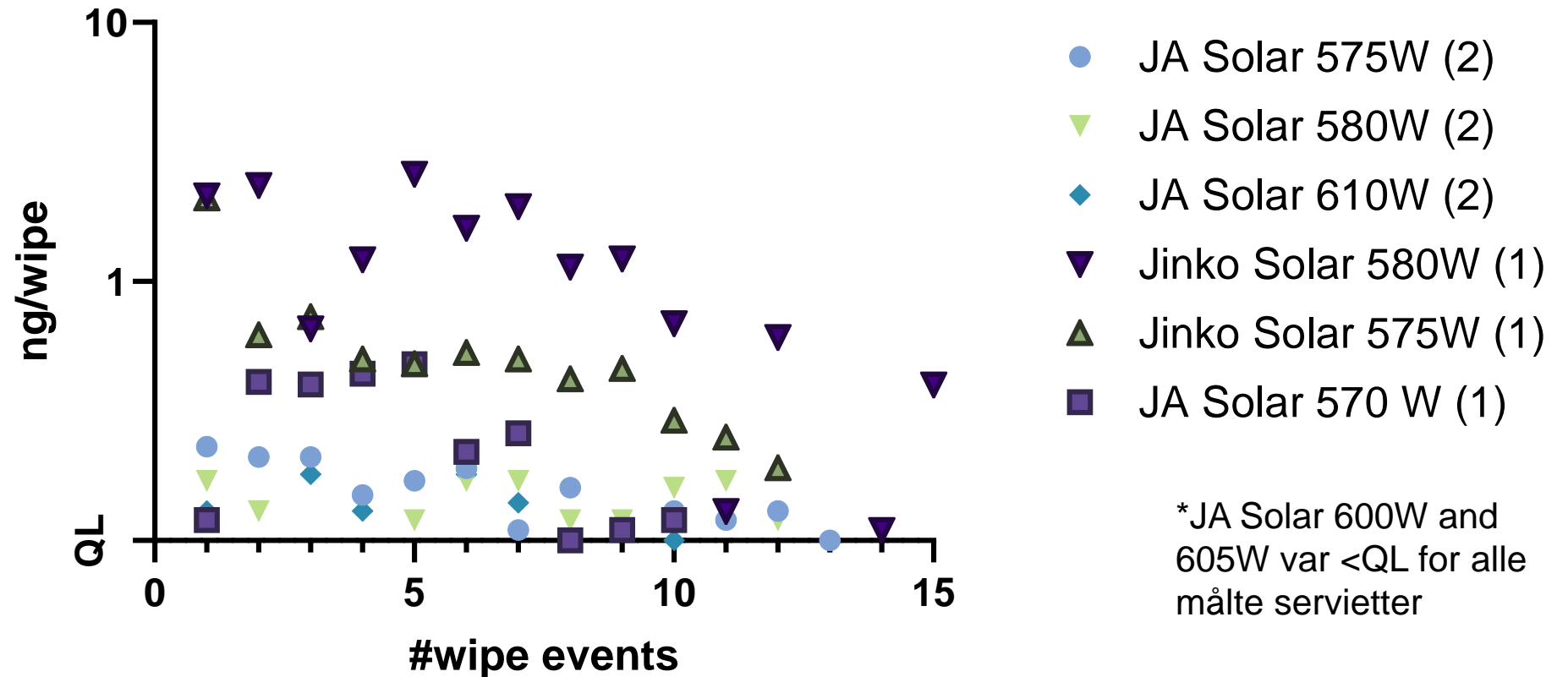
# Opsummering – metode udvikling og screening

- Succesfuld udvikling og implementering af en metode for aftørring og ekstrahering af PFAS fra solceller med tilfredsstillende genfindelse
- Målbar deposition (tør og våd) fra miljøet i tilfælde af længere perioder uden regn – 2 måneder uden regn vs tilbagevendende regn
- Signifikante forskelle i afgivelse fra forskellige typer/modeller af solceller
  - Første og anden aftørring var signifikant forskellige fra baggrunden for 2 ud af 17 PFAS stoffer (PFPeA, PFHxA)
    - Hvor meget PFAS blive frigivet per solcelle i des levetid?
- Udgør den forventede frigivne masse af PFAS en risiko for overskridelse af jord og grundvands kriterierne?



## Case study

# Total frigivne masse af PFAS i solcellens levetid

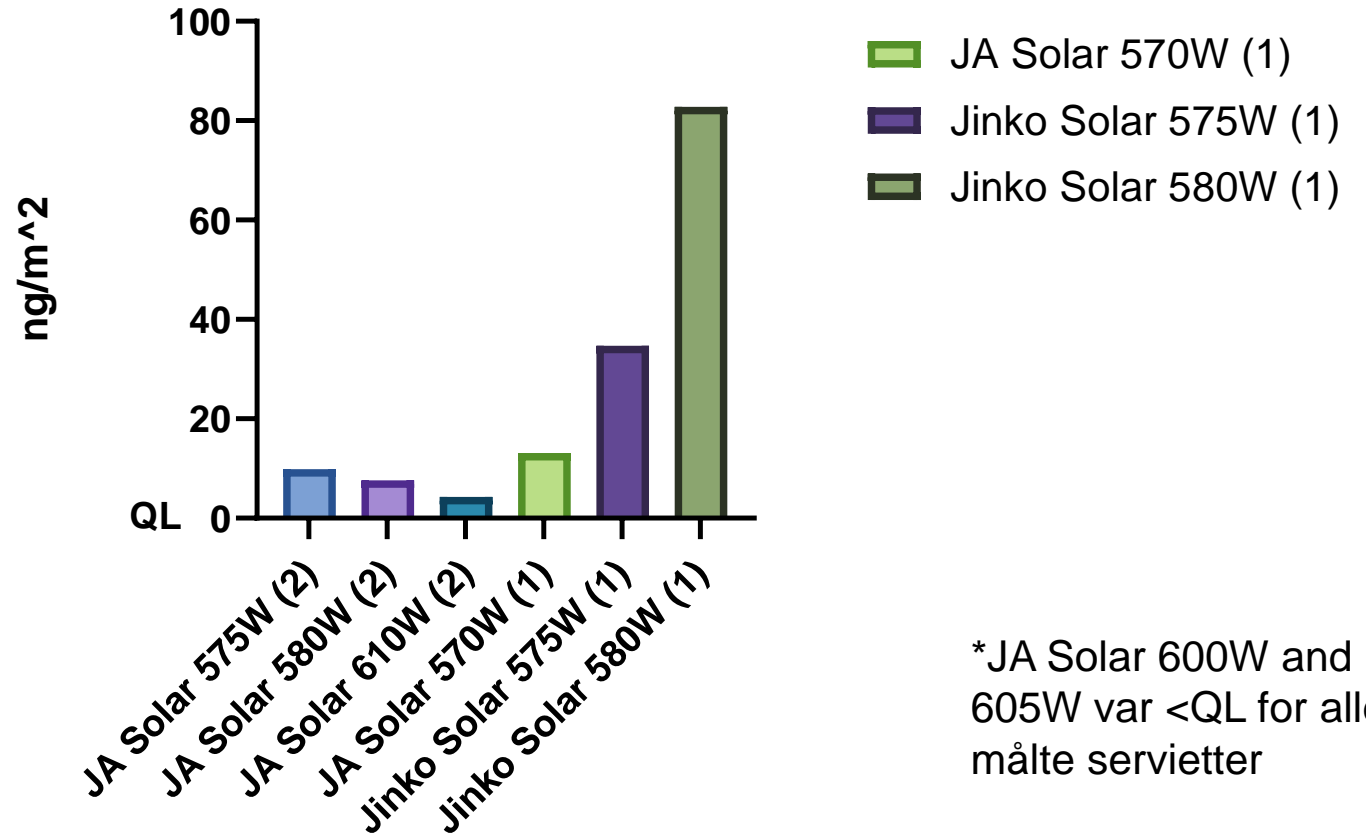


# Total frigivne masse af PFAS i solcellens levetid



Case study

Total release (PFHxA)



\*JA Solar 600W and 605W var <QL for alle målte servietter



## Case study

# Scenarier for frigivelse til jord og grundvand

- Antagelser for frigivelse og udbredelses scenarier
  - Samlet masse frigivet i er baseret på målinger over kvantificeringsgrænsen (0.1 ng/serviet)
  - Udbredelses scenarier
    - Alt frigivet PFAS transporteres direkte til grundvandsmagasinet og fordeles jævnt her i
    - Alt frigivet PFAS forbliver i de øverste jordlag
  - Koncentration i drikkevand er baseret på et årligt gennemsnit af de seneste 6 års indvundne vand mængde fra Viuf vandværk
    - Alt frigivet PFAS fortyndes jævnt i den samlede indvundne vand mængde



## Case study

	Grundvand der potentielt kan forurenes til grænseværdien [100 ng/L] m <sup>3</sup>	Koncentration i drikkevand ng/L	Antal gange lavere end grund/drikkevands kriteriet	Højden af ovenstående vand forurenet til grænseværdien mm	Fortyndingsfaktor af den ovenstående vandmængde med årligt nedbør
JA Solar 570W	6.8	0.018	5500	0.010	50000
Jinko Solar 575W	18	0.048	2100	0.027	19000
Jinko Solar 580W	43	0.11	880	0.065	8000



## Case study

	Grundvand der potentielt kan forurenes til grænseværdien [100 ng/L]	Koncentration i drikkevand	Antal gange lavere end grund/drikkevands kriteriet	Højden af ovenstående vand forurenet til grænseværdien	Fortyndingsfaktor af den ovenstående vandmængde med årligt nedbør
	m <sup>3</sup>	ng/L		mm	
JA Solar 570W	6.8	0.0018	5500	0.010	50000
Jinko Solar 575W	18	0.048	2100	0.027	19000
Jinko Solar 580W	4	0.11	880	0.065	8000

Koncentrationen i regnvand i Danmark er i cirka 1-2 ng/L

# Opsummering - screening

- Af de målte 17 PFAS forbindelser blev der fundet 4 forbindelser i koncentrationer højere end kvantificeringsgrænsen for 2 ud af 6 miljøbaggrundsprøver for perioden på cirka 2 måneder uden regn
  - PFHxS, PFOA, PFNA, PFOS
  - Miljøbaggrundsprøverne i de øvrige måle kampagner viste ingen prøver med koncentrationer af de 17 PFAS forbindelser over kvantificeringsgrænsen
- Af de målte 17 PFAS forbindelser blev der fundet en PFAS forbindelse over kvantificeringsgrænsen i alle tre solcelle typer (første batch)
  - PFHxA (36 ud af 45 servietter) og PFPeA (7 ud af 45 servietter, kun fundet over kvantificeringsgrænsen i Jinko Solar 580W)
- "Naturlig" deposition (våd og tør) af de 17 PFAS forbindelser i Lyngby området estimeres til at være i størrelsesordenen 100-500 gange højere end det samlede bidrag fra de testede solceller
  - Relativ stor usikkerhed da det kun var muligt at kvantificere den miljømæssige baggrund i en af måle kampagnerne
  - Udvidelse af data grundlag iværksat



# Opsummering – masse estimering

- Total masse estimering af PFHxA muligt indenfor 15 aftørringer af samme overflade
  - Første batch, JA Solar 570W (10 aftørringer) < Jinko Solar 575W (12 aftørringer) < Jinko Solar 580W (14-15 aftørringer)
  - Anden batch, JA Solar 600 & 605 W (<QL) < JA Solar 610W (7 aftørringer) < JA Solar 580W (12 aftørringer) < JA Solar 575W (13 aftørringer)
- Markant forskel i frigivelsen af PFHxA fra forskellige typer af solceller
  - Første batch, JA Solar 570W (13.1 ng/m<sup>2</sup>) < Jinko Solar 575W (34.7 ng/m<sup>2</sup>) < Jinko Solar 580 W (82.8 ng/m<sup>2</sup>)
  - Anden batch, JA Solar 600 & 605 W (< QL) < JA Solar 610W (ng/m<sup>2</sup> ) < JA Solar 580W (7.6 ng/m<sup>2</sup> ) < JA Solar 575W (9.9 ng/m<sup>2</sup>)
- Frigivelse af PFPeA blev kvantificeret i 7 ud af 15 aftørringer for første batch af typen Jinko Solar 580W (første batch)
  - Niveau under kvantificeringsgrænsen efter 9 aftørringer

# Opsummering – jord/grundvandsscenarioer

- Alle udbredelses scenarier for grund/drikkevand (100 ng/L) resulterede i 880 – 5500 gange lavere koncentrationer end de gældende grænseværdier for grund/drikkevand (første batch)
  - Skærpede vejledende grænseværdi for PFAS i overfladevand på 4.4 ng/L (MST 15 december, 2023)
- Usikkerhed i forhold til varierende mængde af PFAS fra batch til batch
  - Batch 1, 5 til 10 gange højere niveau end batch 2
- Udvikling af realistiske scenarier og antagelser
  - Acceleret udvasking i forhold til udvaskning med regnvand/forsøgsfacilitet etableret
  - Rate af nedsivning fra jord til grundvand
    - Adsorption til jord ved forskellige jordprofiler
- Usikkerhed i forhold til kommende teknologier og anvendelse af ”ioniske væsker”
  - Generation III & IV



Kolding  
Kommune



Tak for opmærksomheden og  
tak til Better Energy A/S og Kolding  
Kommune for samarbejde og  
projektmidler

For opfølgende spørgsmål og kontakt  
Lars Michael Skjolding  
lams@dtu.dk