



Photo Illustration: Jonathan Hurtarte/Bloomberg Law; Photos: Getty Images

Vibeke Dorf Nørgaard – Procesingeniør, Krüger

Agenda

- Hvem er jeg?
- Hvad er PFAS?
- Sundhedsmæssige aspekter
- Grænseværdier for PFAS
- Rensemetoder

Hvem er jeg?

Blå bog:

- Kemiingeniør (2012)
 - Speciale i samarbejde med Ultraaqua
- Praktik hos Alfa Laval, Nakskov (2013)
- Vandansvarlig hos Novo Nordisk (2013-2014)
- Proces- og spildevandssepcialist hos Aquarden Technologies (2014-2019)
- Procesingeniør hos Krüger, Drikkevand (2019 -)



Vibeke Dorf Nørgaard
Cand. Polyt.

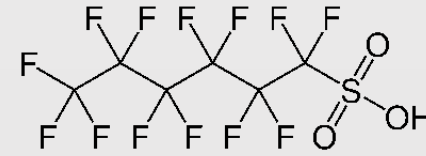
Tlf: 60 39 35 92

Mail: vdn@kruger.dk

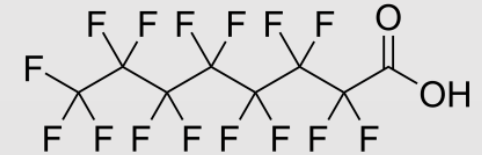
Hvad er PFAS?

Definition:

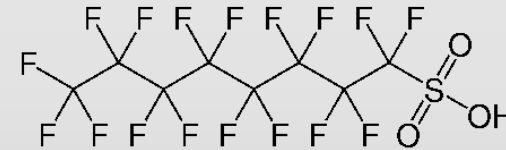
- Fluorinerede forbindelser, som indeholder mindst en fuldt fluorineret methyl- (-CF₃) eller methylengruppe (-CF₂-)
- PFAS bliver kaldt evighedskemikaler ("Forever Chemicals") grundet den meget stærke (og svært nedbrydelige) C–F binding
- C–F bindingen kræver meget energi at bryde, derfor er det svært for naturen at nedbryde disse stoffer. Destruktion på fx forbrændingsanlæg kræver høje temperaturer



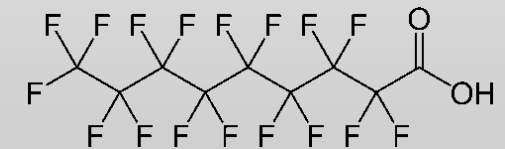
PFHxS - C6 - Perfluorhexansulfonsyre



PFOA - C8 - Perfluorooctansyre



PFOS - C8 - Perfluorooctansulfonsyre



PFNA - C9 - Perfluorononansyre

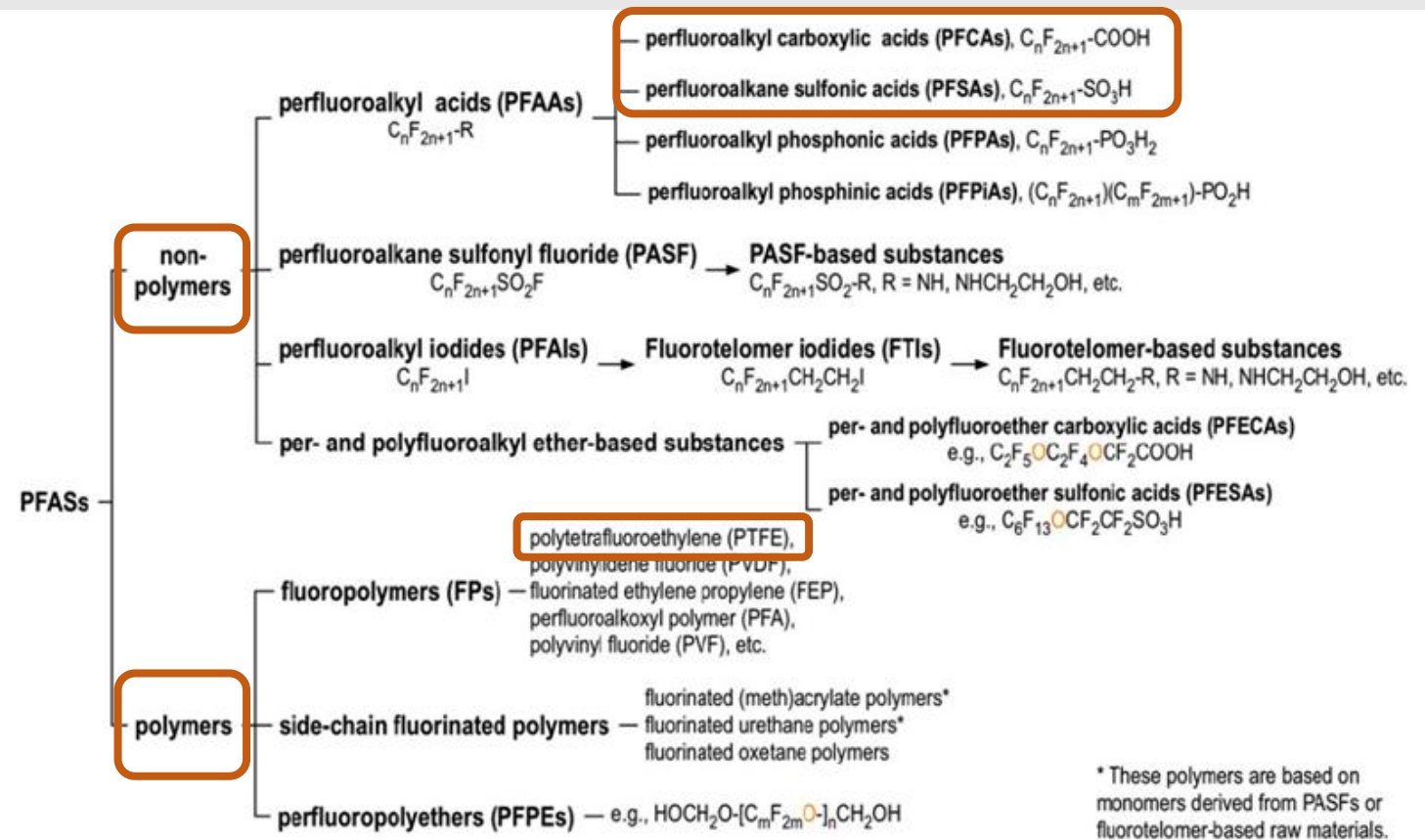
Hvad er PFAS?



- Per- og polyfluoroalkylforbindelser

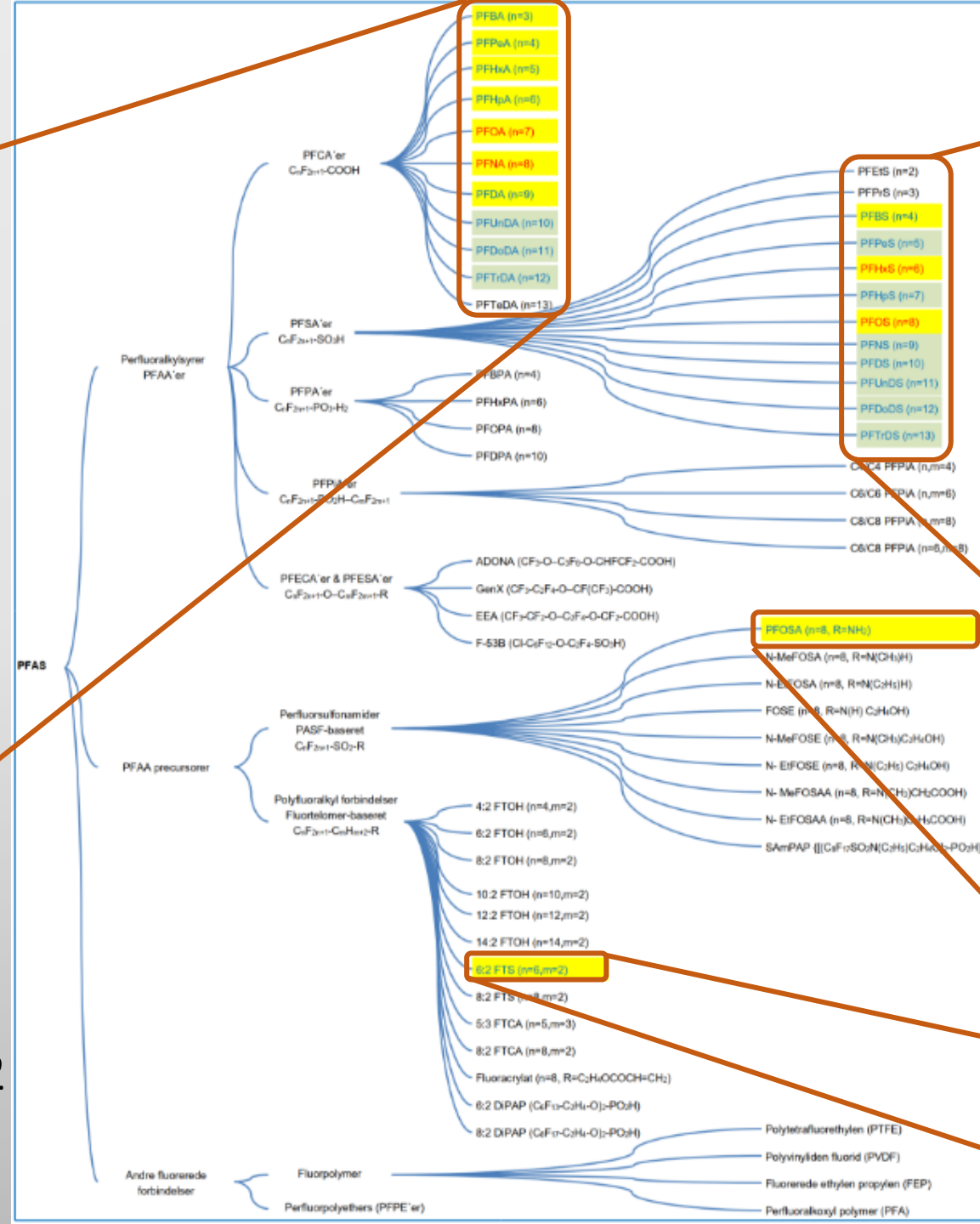
Fra engelsk: (Per- and PolyFluoroAlkyl Substances)

- PFAS-forbindelser er en stor "familie" af stoffer som tæller >> 4.000 forskellige kemiske stoffer



Hvad er PFAS?

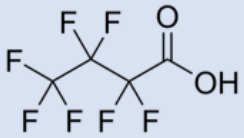
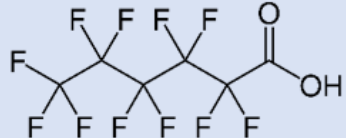
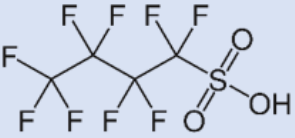
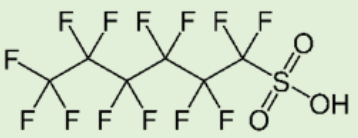
PFBA (n=3)
PFPeA (n=4)
PFHxA (n=5)
PFHpA (n=6)
PFOA (n=7)
PFNA (n=8)
PFDA (n=9)
PFUnDA (n=10)
PFDODA (n=11)
PFTeDA (n=12)
PFTeDA (n=13)



PFETs (n=2)
PFPrS (n=3)
PFBS (n=4)
PFPeS (n=5)
PFHxS (n=6)
PFHpS (n=7)
PFOS (n=8)
PFNS (n=9)
PFDS (n=10)
PFUnDS (n=11)
PFDOS (n=12)
PFTDS (n=13)

- Gul baggrund = Sum 12
- Gul+Grøn baggrund = Sum 22
- Rød tekst = Sum 4

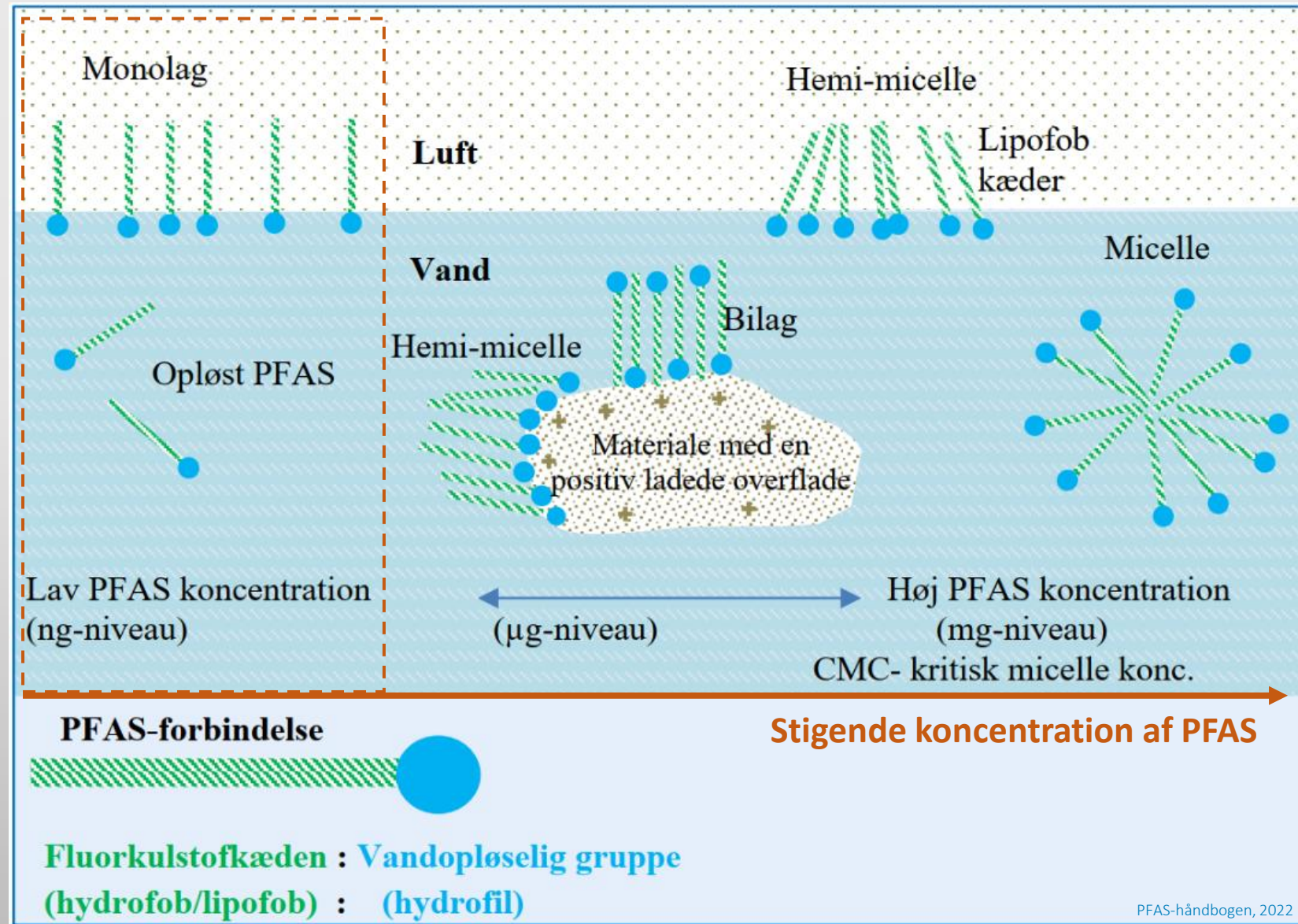
Hvad er PFAS?

	C4	C6	C8	C9	C10
Carboxyl- syre					
	PFBA Perfluorbutansyre	PFHxA Perfluorohexansyre	PFOA Perfluoroctansyre	PFNA Perfluornonansyre	PFDA Perfluorodecansyre
Sulfon- syre					
	PFBS Perfluorbutansulfonsyre	PFHxS Perfluorhexansulfonsyre	PFOS Perfluoroctansulfonsyre		

Blå baggrund = Kortkædede PFAS-forbindelser
 Grøn baggrund = Langkædede PFAS-forbindelser

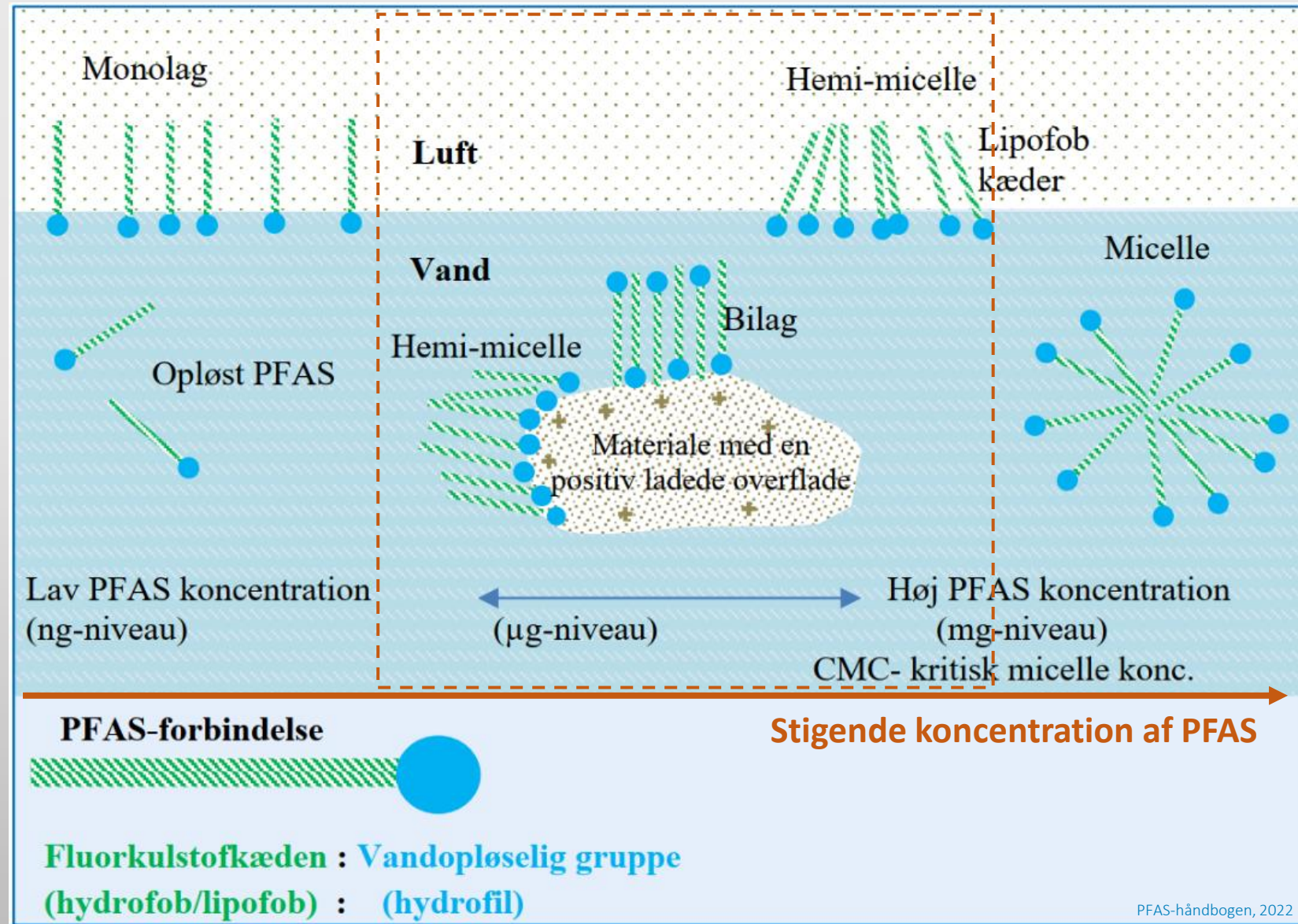
Hvad er PFAS?

- Lav koncentration (ng/l)
- Jævn fordeling i vandfasen
- Monolag i overfladen mellem vand og luft



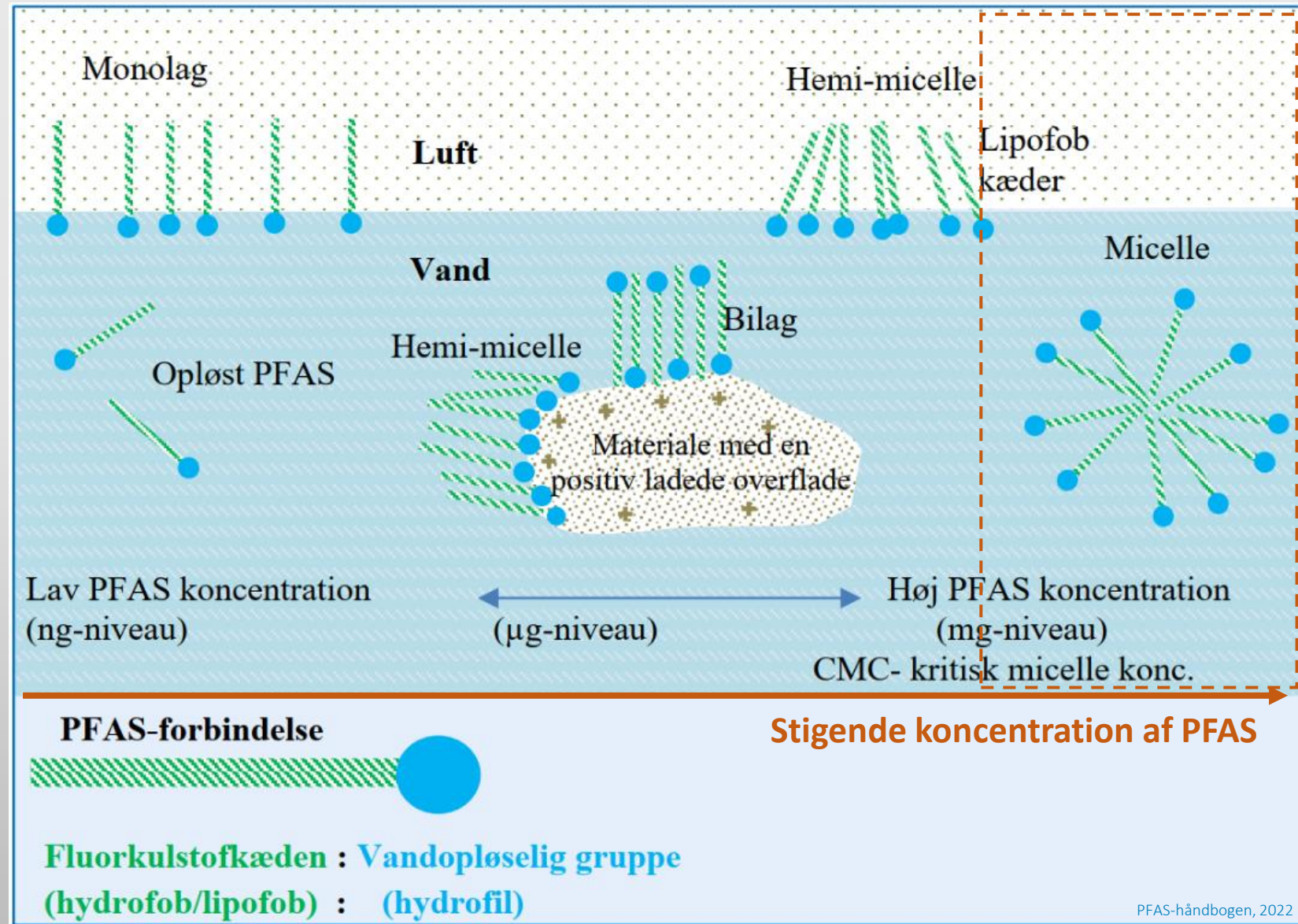
Hvad er PFAS?

- "Mellem" koncentration ($\mu\text{g/l}$)
- Hemi-micelle på positive overflader
- Hemi-micelle i overfladen mellem vand og luft



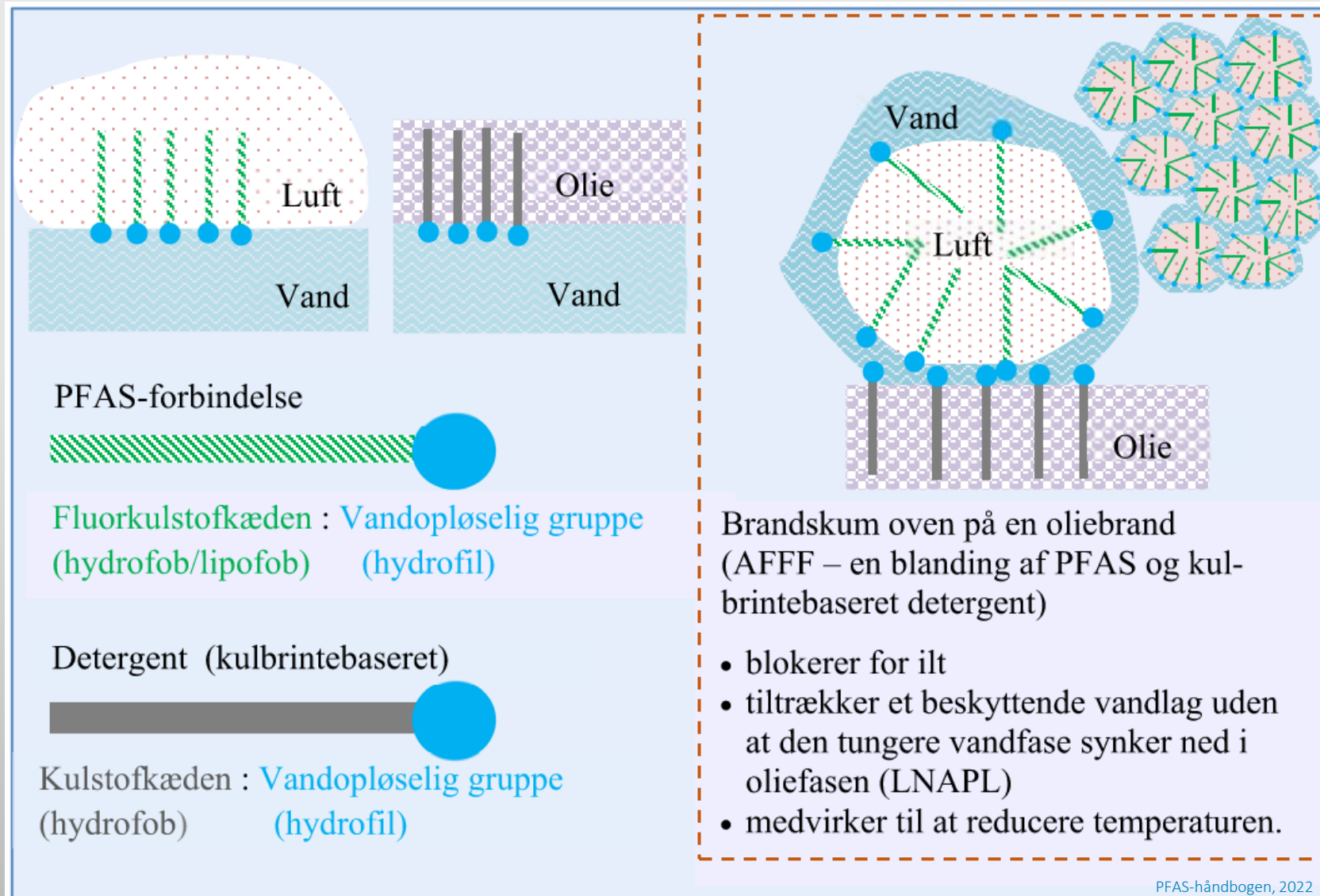
Hvad er PFAS?

- Høj koncentration (mg/l)
- Micelle-dannelse
 - CMC PFOS = 4.000 mg/l
 - CMC PFOA = 10.350 mg/l



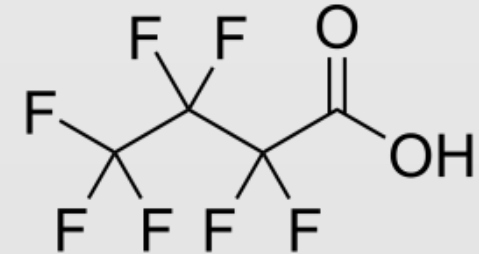
Hvad er PFAS?

- Eksempel:
PFOS i
brandslukningsskum



Sundhedsmæssige aspekter

- I slut 90'erne opdages det, at der findes PFOS i blodplasma hos mennesker
- PFOS og PFOA er reproduktionstoksiske og akut giftige samt mistænkte for at være hormonforstyrrende
- PFOA er mistænkt for at være kræftfremkaldende
- Der findes ikke meget data for andre PFAS-forbindelser ift. sundhedsmæssige og miljømæssige effekter
- Forbud mod PFOS og PFOA har ført til brug af andre kortkædede forbindelser (C4-C6)



PFBS – C4 - Perfluorbutansyre



PFBA – C4 - Perfluorbutansulfonsyre

Sundhedsmæssige aspekter

Stof	Halveringstid i mennesker
PFBA	2-4 dage
PFBS	1 måned
PFOA	3,8 år
PFOS	5,4 år
PFHxS	8,5 år

Grænseværdier for PFAS

Medie/matrice	Stof	Værdi	Enhed	Bemærkning	Bekendtgørelse
Drikkevand	Sum 4	0,002	µg/l	Drikkevandsbekendtgørelsen	BEK nr 972 af 21/06/2022
	Sum 12	0,1	µg/l	Drikkevandsbekendtgørelsen	BEK nr 972 af 21/06/2022
Jord	Sum 4	0,01	mg/kg TS	Vejledende iht §14 i Miljøbeskyttelsesloven	LBK nr 100 af 19/01/2022
	Sum 22	0,4	mg/kg TS	Vejledende iht §14 i Miljøbeskyttelsesloven	LBK nr 100 af 19/01/2022
Grundvand	Sum 4	0,002	µg/l	Vejledende iht §14 i Miljøbeskyttelsesloven	LBK nr 100 af 19/01/2022
	Sum 22	0,1	µg/l	Vejledende iht §14 i Miljøbeskyttelsesloven	LBK nr 100 af 19/01/2022
Overfladevand	PFOS	*	µg/l	Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand	BEK nr. 1625 af 19/12/2017
Badevand	-	-	-	Pt. ikke fastsat et kriterie	-
Fødevarer	PFAS	-	-	Administreres af Fødevarestyrelsen	Fødevarestyrelsen.dk
Slam	-	-	-	MST arbejder på en vejledende grænseværdi	-

* Flere forskellige kvalitetskrav

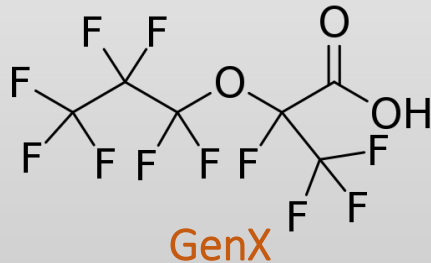
Grænseværdier for PFAS

Overflade- vand	Generelt kvalitets- krav	Indlands- vand	µg/l	0,00065
		Andet overflade- vand	µg/l	0,00013
	Maksi- mum-kon- centration	Indlands- vand	µg/l	36
		Andet overflade- vand	µg/l	7,2

Grænseværdier for PFAS - USA

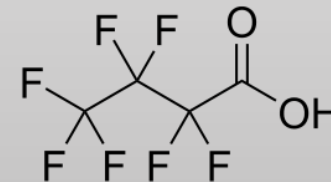
US EPA Interim Lifetime Drinking Water Health Advisory	ng/l
PFOA	0,004
PFOS	0,02
GenX	10
PFBS	2000

PFAS-håndbogen, 2022



Ammoniumssalt af:
Hexafluoropropylene oxid dimer carboxylsyre,
HFPO-DA

- Kan vi forvente lignende grænseværdier i fremtiden?



PFBS – C4 - Perfluorbutansyre

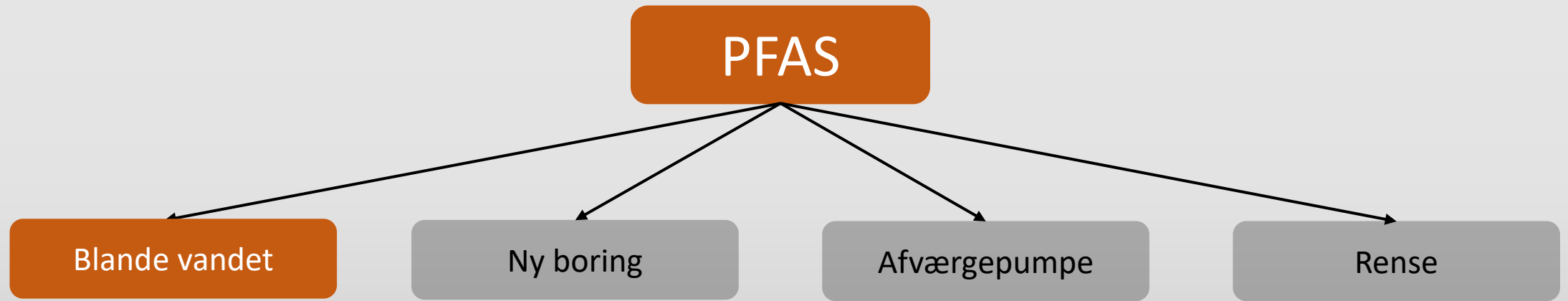
Fund af PFAS

	Antal analyser	% med mindst ét stof over detektionsgrænsen	% over kriterium for $\sum 4$ MST PFAS	% 10 gange over kriterium for $\sum 4$ MST PFAS
Region Hovedstaden (2014-2021)	3.860	65%	46%	23%
Region Sjælland (2016-2021)	284	55%	38%	12%
Region Syddanmark (2013-2021)	968	59%	42%	12%
Region Midtjylland (2014-2021)	1.032	57%	43%	17%
Region Nordjylland (2015-2021)	711	53%	38%	15%

Regionsanalyser for PFAS-forbindelser i grundvand

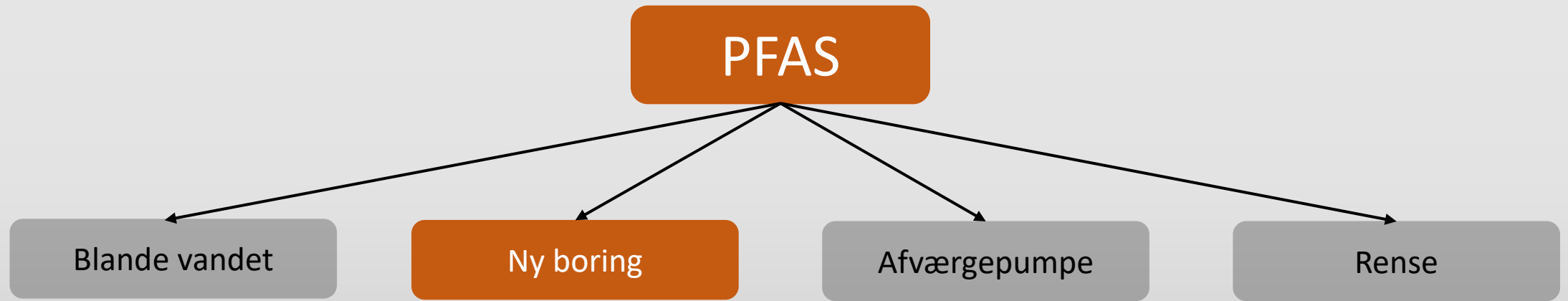
PFAS-håndbogen, 2022

PFAS - rensemetoder



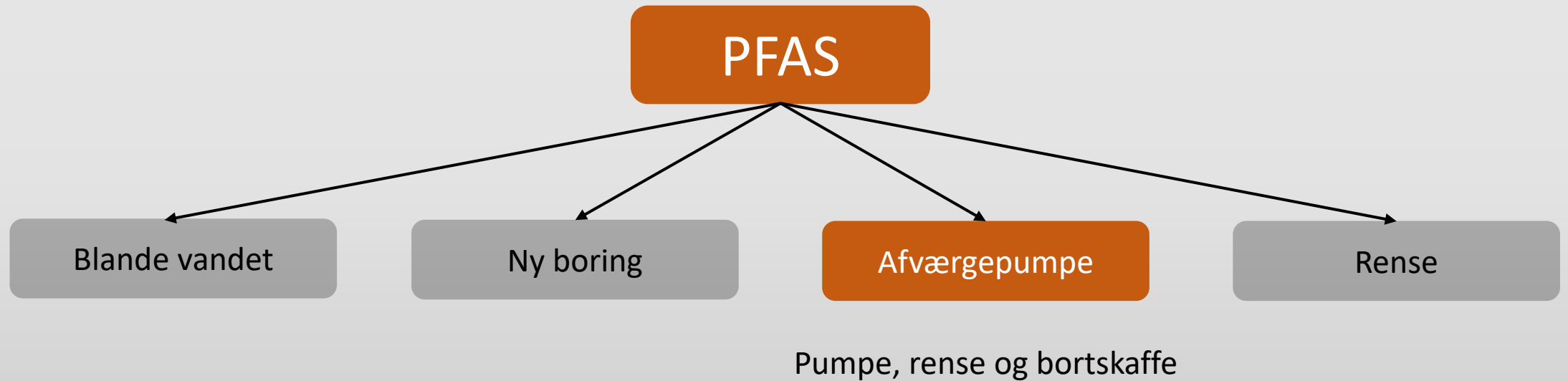
Fortynde med ikke forurennet vand for at opnå koncentrationer under grænseværdien

PFAS - rensemetoder

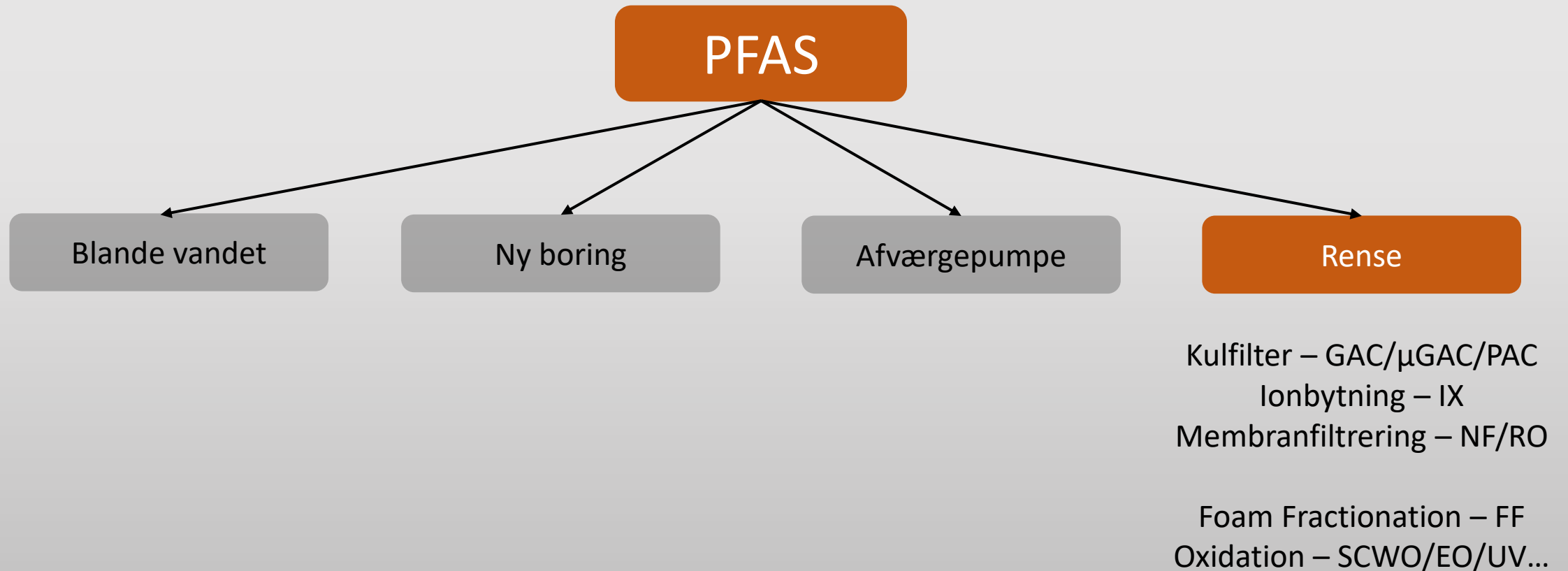


Undersøge muligheden for
en ny boring
OBS på at der kan være risiko
for forurening af denne

PFAS - rensemetoder



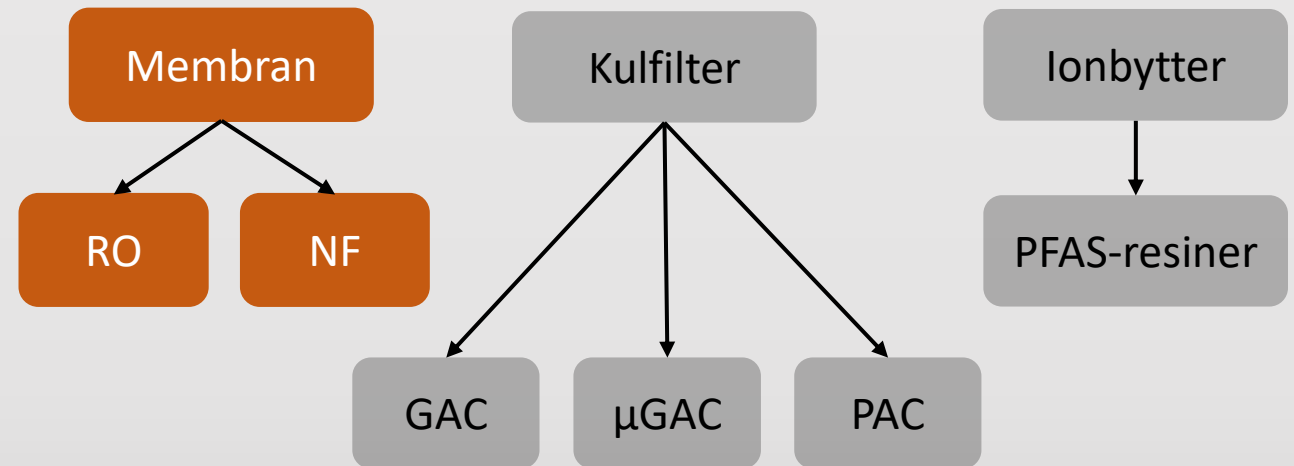
PFAS - rensemetoder



PFAS - rensemetoder

- Hvordan kan det løses?

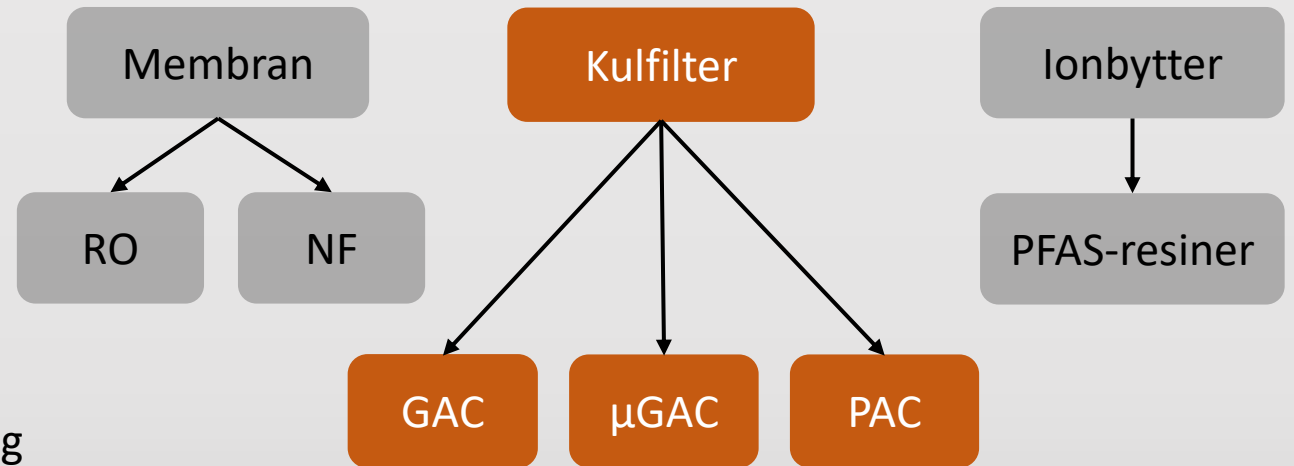
- Membrananlæg - Tilbageholder stoffer ud fra molekylestørrelse
 - Effektiv til både kort- og langkædede PFAS-forbindelser
- Deler vandet i to fraktioner (rent vand og spildevand)
- PFAS-holdigt spildevand skal håndteres!
- Andre stoffer tilbageholdes også → kræver opblanding for at opnå drikkevandskvalitet
- Blødgør vandet, da kalk også tilbageholdes



PFAS i drikkevandet

- Hvordan kan det løses?

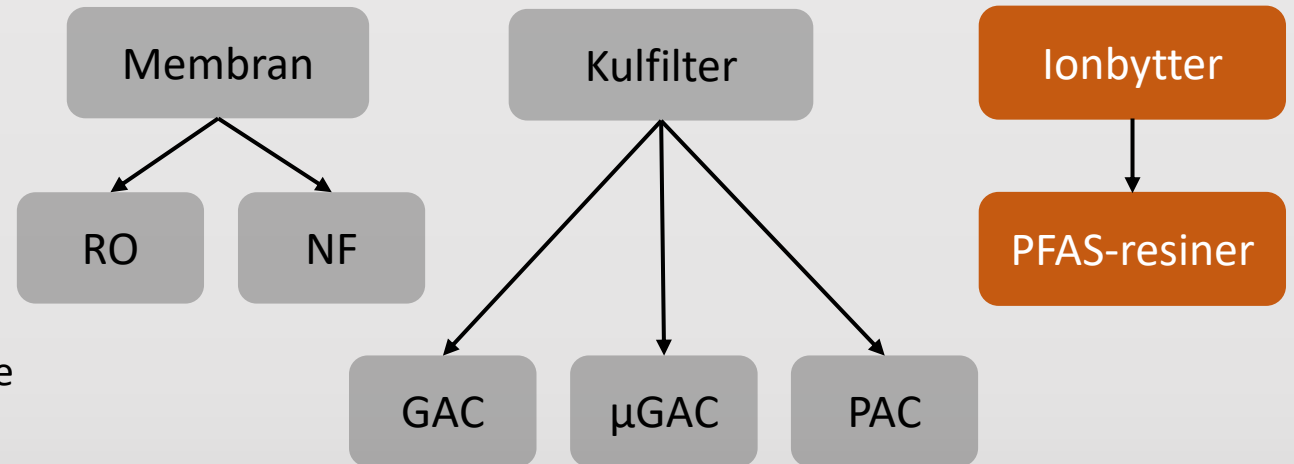
- Kulfilter (GAC, μ GAC eller PAC)
- Adsorberer stoffer til aktivt kul
 - Effektiv til langkædede PFAS-forbindelser, begrænset effekt på kortkædede
- Adsorberer også andre miljøfremmede stoffer og NVOC, som kan påvirke effektiviteten ift. PFAS
- Kræver efterfølgende UV-behandling
- Brugte kul skal bortskaffes (afbrændes eller muligvis regenereres).



PFAS i drikkevandet

- Hvordan kan det løses?

- Specifikke resiner til PFAS-fjernelse
- Ionbytter og adsorberer PFAS-forbindelser til resiner
 - Effektiv til langkædede PFAS-forbindelser, mindre effektiv på kortkædede
- Større kapacitet end aktivt kul (GAC)
- God til stor volumen og lave koncentrationer af PFAS
- Brugte resiner skal bortskaffes (fx. afbrændes)
- Mulighed kontaminering af drikkevand??



Spørgsmål?



Vibeke Dorf Nørgaard
Cand. Polyt.

Tlf: 60 39 35 92

Mail: vdn@kruger.dk