



PFAS: Anvendelser, reguleringer, effekter og muligheder i byggeriet?

*PFAS i Byggevarer til renovering og nybyggeri
Debatmøde arrangeret af Rådet for Grøn Omstilling*

Christiansborg, 9. September 2025

*Xenia Trier, Lektor i analytisk miljøkemi
Sektion for miljøkemi og fysik
Institut for plante- og miljøvidenskab (PLEN), Københavns
Universitet
PFAS videnstaskforce og ARAGORN projekt koordinator*

UNIVERSITY OF COPENHAGEN



Opmærksomhed omkring PFAS i Danmark – siden starten af 2010'erne



Ingeniøren, 19. Januar 2022

Miljøgiften PFOS fundet i køer hos kogræsserlaug i Odense - for giftigt til at spise



MIDT- OG VESTJYLLAND, 4. NOV 2022

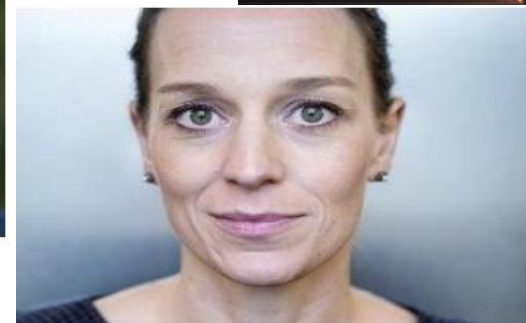
Havskum med skadelige stoffer blæser ind over land:

'Vi er jo stive af skræk'

60 forskellige steder i landet skal det nu undersøges, om PFAS-stoffer fra havskum føres videre til kvæg, ænder og anden natur.



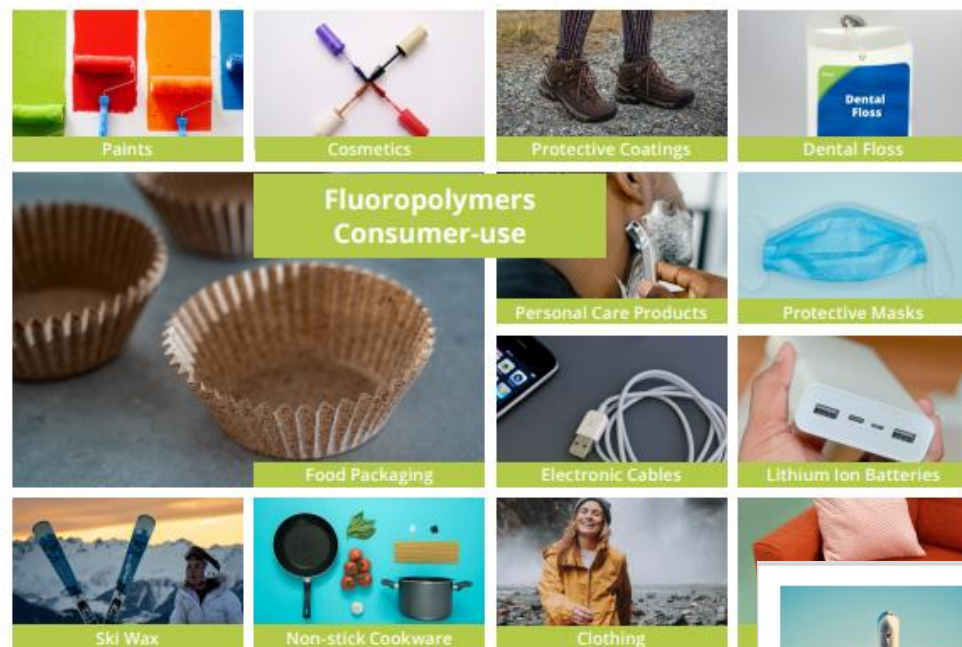
vil forbyde farlige stoffer i bagepapir ...
dr.dk



Minister urges Danish EPA: You have to ensure drinking water without PFAS => sum-criteria for 12 PFAS (0.1 ug/L = 100 ng/L)



Anvendelser af Per- og polyfluorerede alkyl forbindelser (PFAS)

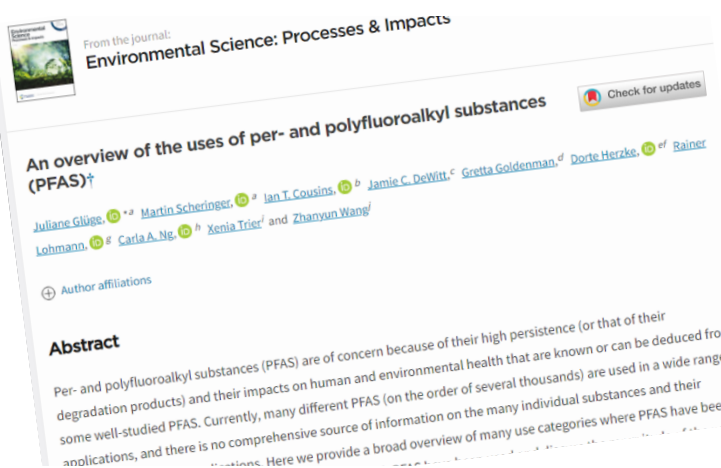


Fluoropolymers Consumer-use

> 10.000 stoffer i >200 typer anvendelser



EEA-ETC report on 'Systemic view on fluorinated polymers in a circular, low carbon and non-toxic economy' (2021)

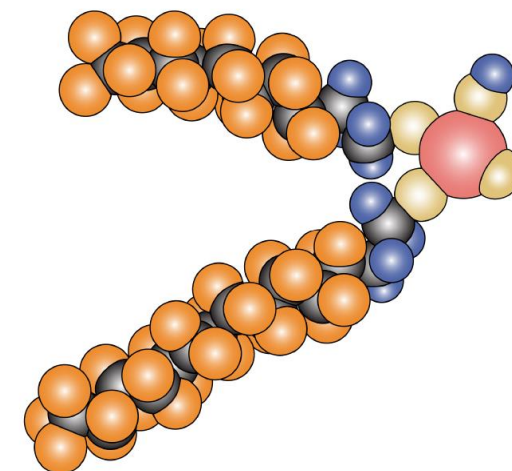


Fluoropolymers Industrial use

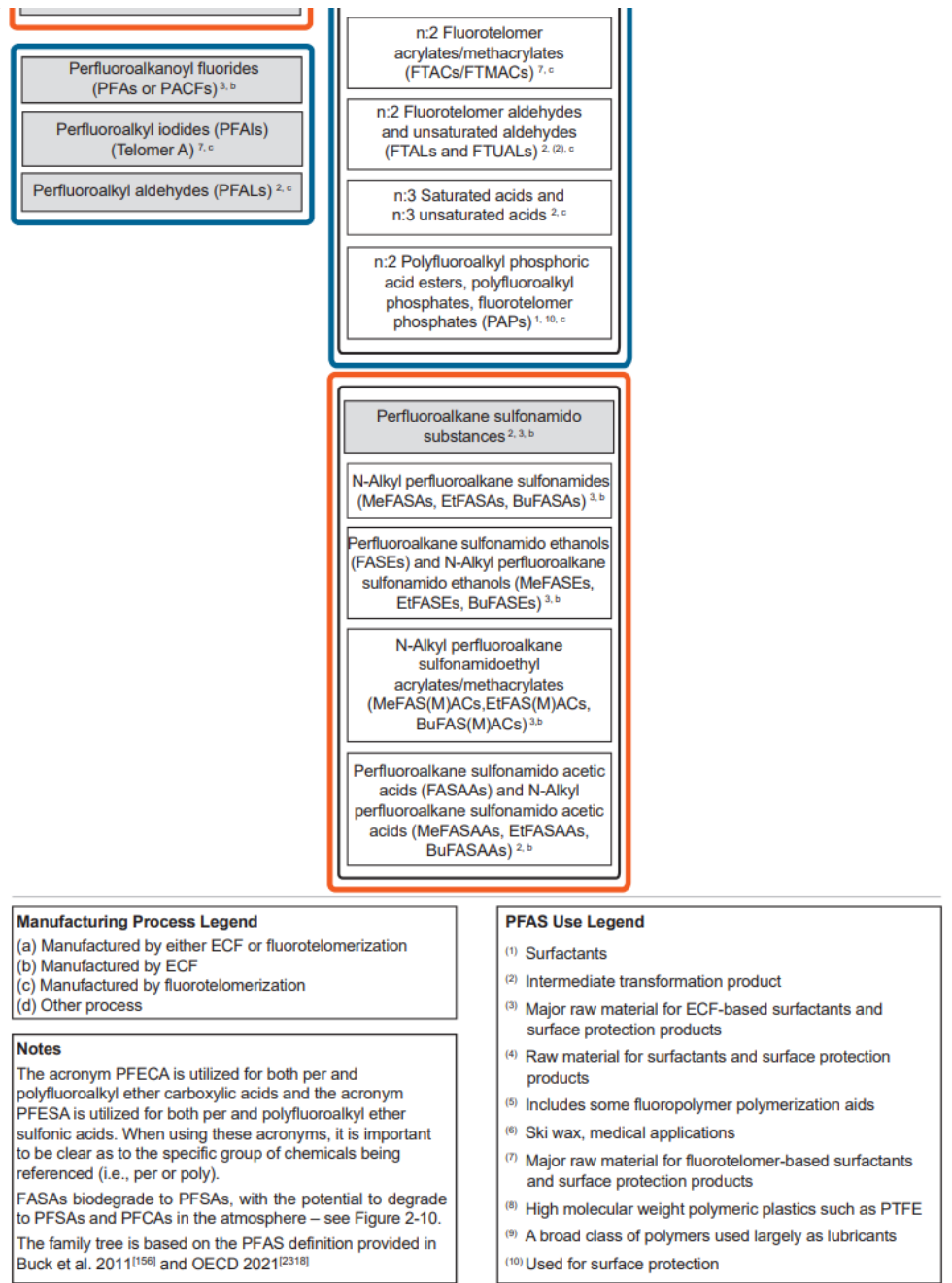
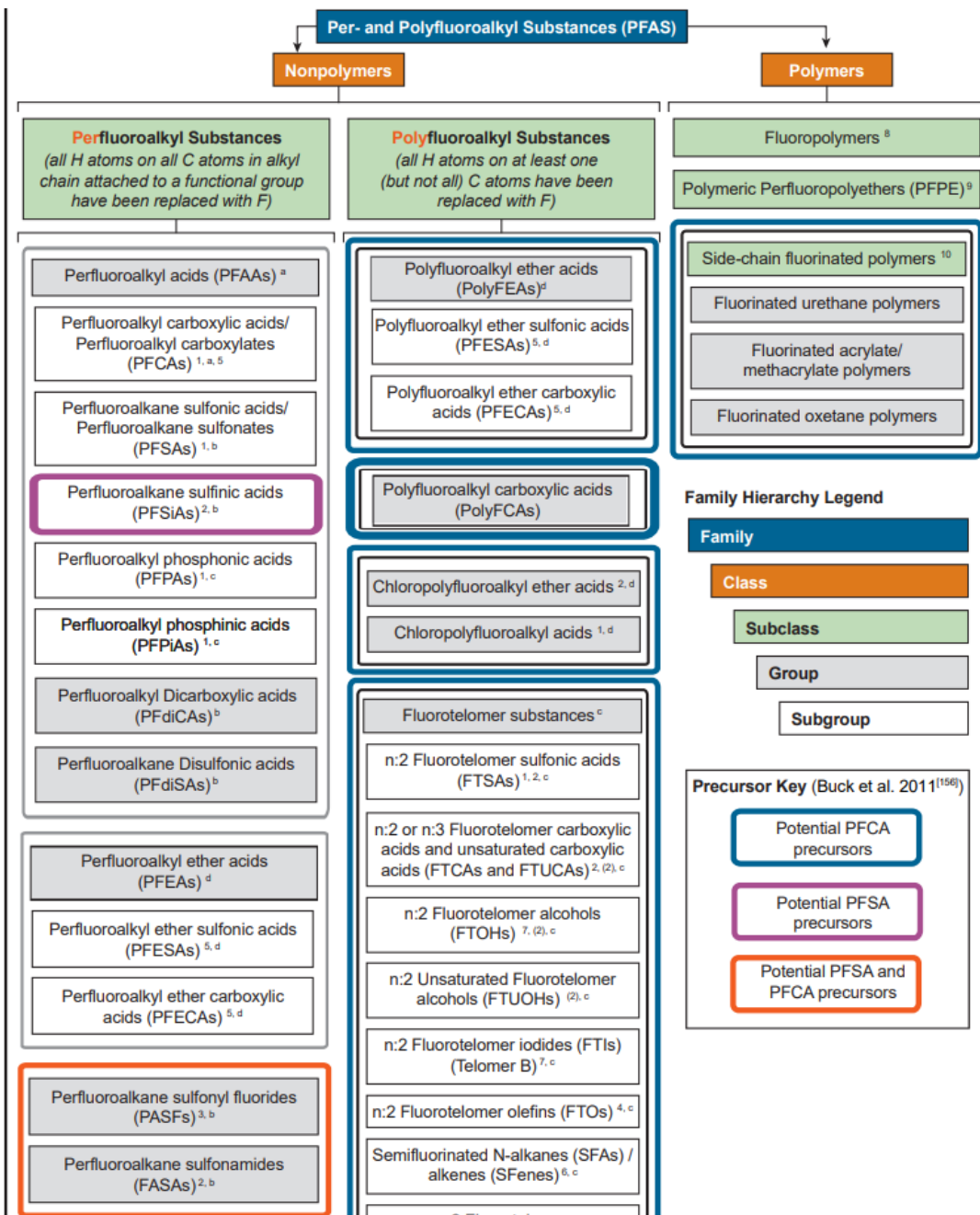
Hvad er specielt ved **Poly** og **per**-fluorerede alkyl forbindelser (PFAS)?

- PFAS er *persistente* og *skyer olie/vand*, fordi C-F er den stærkeste organiske binding, F er mest elektronegative og ret lille atom
- Polyfluorede alkylforbindelser -----> perfluorerede syrer
- Lange fluorkæder ($\geq C_F6$): ophober sig i jord, mennesker og dyr
- Korte fluorkæder ($< C_F6$): ophober sig i vand (og luft)

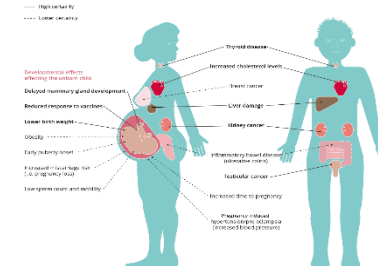
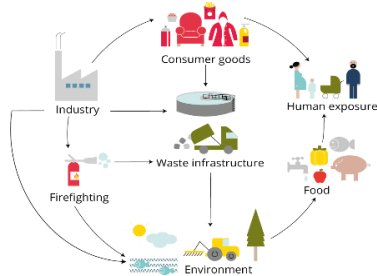
$F(CF_2)_xCOOH$ PFCA (fx. PFOA)	$F(CF_2)_xSO_3H$ PFSA (fx. PFOS)	$F(CF_2)_xSO_2NH_2$ PFSAA	$F(CF_2)_xCH_2OH$ FTOH
$F(CF_2)_xCH_2OCH_2P(=O)(OH)_2$ monoPAPS	$F(CF_2)_xCH_2OCH_2P(=O)(OH)_2$ $F(CF_2)_yCH_2OCH_2P(=O)(OH)_2$ diPAPS	$F(CF_2)_xCH_2SCH_2SCH_2OCH_2P(=O)(OH)_2$ $F(CF_2)_yCH_2SCH_2SCH_2OCH_2P(=O)(OH)_2$ S-diPAPS	$F(CF_2)_x(CH_2CH_2O)_yH$ Fluoroethoxylate
$R-O(CF_2CF_2O)_p(CF_2O)_qR$ linear PFPE unit			
$R^1-\overset{CF_3}{\underset{F}{C}}-CF_2O-R^2$ branched PFPE unit			
$HO-P(=O)(OH)-O-(CH_2CH_2O)_nCH_2CF_2O-(CF_2CF_2O)_p(CF_2O)_qCF_2CH_2-(OCH_2CH_2)_n-O-P(=O)(OH)_2$ FomblinHC/P2-1000			



PFAS familier (IRTC 2023)



Forskellige beviser for PFAS' skadesvirkninger



- **PFAS forurening findes overalt på kloden, i alle mennesker**
- **I praksis umuligt at analysere og karakterisere toksiciteten af flere tusinde PFAS** ^{1,2}
- **Emissioner langs livscyklene** ^{1,3,4}: produktionsfasen (fx. fluorpolymerer), brugsfasen (fx. PFOS i brandslukningsskum, fødevarekontaktmaterialer), affalds/genanvendelsesfasen (fx. F-gaser, tekstiler)
- **PFAS og deres nedbrydningsprodukter er persistente => PFAS ophobes i mennesker og miljø**¹
- **Toksiske** – forskellige effekter (fx. immunotox/kræft/kolesterol/hormonforstyrrende), cocktail effekter ^{1,3}
- **Forurening og skader fra PFAS er irreversibel**
- **Koster dyrt** – sundhedseffekter, beskadigede økosystemer og services, rensning af vand/jord, hus priser ^{1,3}

¹ Kwiatkowski et al.(2020): [Scientific basis for managing PFAS as a chemical class](#)

² Glüge et al. (2020): [An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances \(PFAS\)](#)

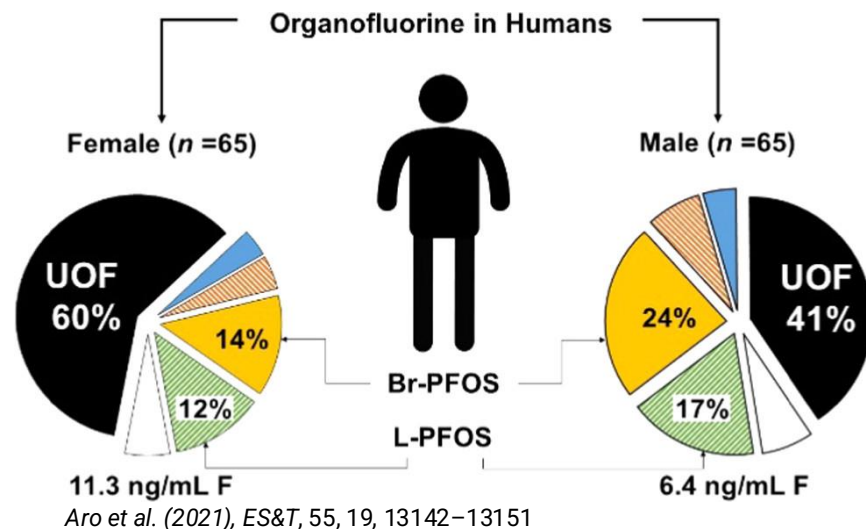
³ EEA (2019): [Emerging risks in Europe – PFAS.](#)

⁴ ETC/WMGE report (2021): [Fluorinated polymers in a low carbon, circular and toxic-free economy.](#)

⁵ 2019, Nordic Council of Ministers (2019). [The cost of inaction: A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS](#)

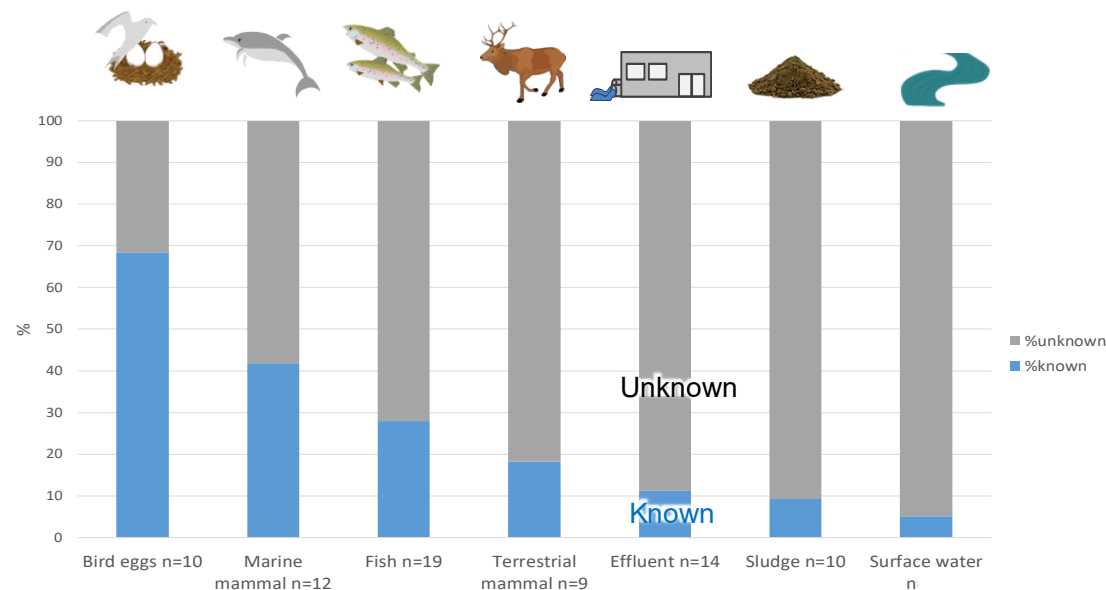
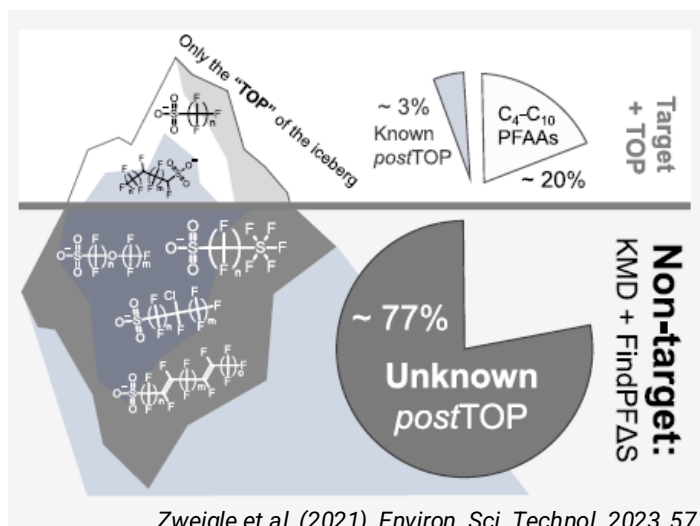
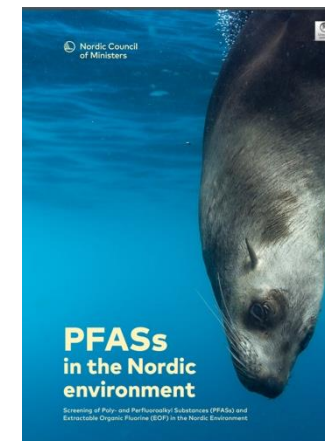
⁶ MacLeod et al. (2014): [Identifying chemicals that are planetary boundary threats](#)

Vi har kun data for en lille andel af PFAS



Stor andel af ukendte fluorstoffer (UOF) – ‘PFAS Dark Matter’

PFAS Total metoder kombineret med target analyser => overblik over masse balancen



Risikovurderingerne kan ikke følge med mængden og diversiteten af kemikalier

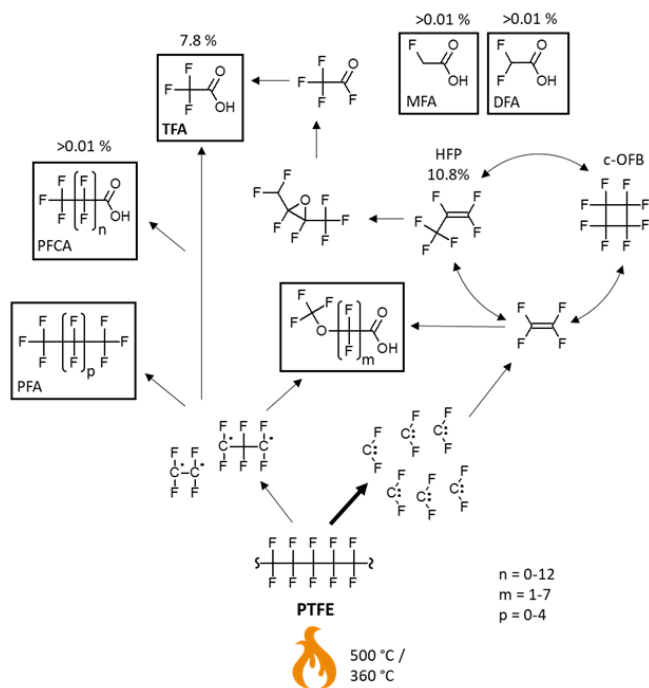
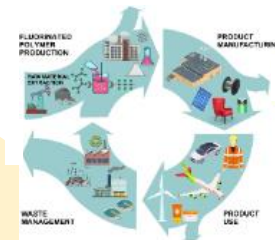
Risici  ~ Hazard  * Exponering 

- Umuligt at risikovurdere >10,000 PFAS
- PFAS og andre persistente kemikalier akkumulerer, som øger eksponeringen og dermed risiciene
- Giftighederne er muligvis ukendte – men aldrig nul
 - og er før blevet underestimerede, fx bly, bisphenol A, PFOS, ...
- **Fortsat brug af PFAS => Stigende risici til sundheden**



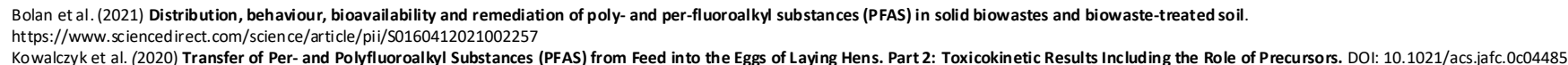
PFAS i den cirkulære økonomi og affald

- **PFAS forurening begrænser den cirkulære økonomi af ved tab af ressourcer**, fx bio-baserede produkter, jord, fødevarer, vand, tekstiler, plast mm
- **Dyrt at kontrollere** når der er bred anvendelse af PFAS
- **Lav andel af PFAS kan genanvendes**: Praktisk og økonomisk umuligt at indsamle mange forskellige og små PFAS affaldsfraktioner, fx. fluoropolymerer i maling og coatninger
- **Afbrænding** ved $T < 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ danner flygtige PFAS (F-gasser, TFA og andre perfluoralkylsyrer) => forurening



Er det realistisk at sikre en sikker genanvendelse udenfor EU?







PFAS – Klima forandringer og Ozonlag

Klimaforandringer fører til større risiko for oversvømmelser og mere regn, der kan remobilisere forurenede jord og forurening fra lossepladser

Irreversible skader – kan forureneren betale?

PFAS production - a source of un-reported greenhouse gases and ODPs?

Chlorodifluoromethane (HCFC-22) major feedstock for tetrafluoroethylene (TFE) monomer

- HCFC-22: GWP 1,760, ozone depleting potential (ODP) 0.024-0.034 (0.55 in ODS Regulation)
- HCFC-22 production in EU in 2018: 94,000 metric tonnes
- **Trifluoromethane (HFC-23) major by-product in HCFC-22 production**
 - HFC-23: GWP 12,400
 - ca. 2 % of HCFC-22 production volume => 1,880 t HFC-23 (23 Mt CO₂-eq) – thermally destroyed?
- **Many other high-GWP/-ODP substances involved in polymerization of PTFE and PVDF and in the production of PFPEs : emitted quantities unknown**
 - Tetrachloromethane (CTC): GWP 1,730, ODP 0.89
 - Cyclo-octafluorobutane (PFC-318): GWP 9,540
 - Tetrafluoromethane (PFC-114): GWP 6,630
 - Hexafluoroethane (PFC-116): GWP 11,100
 - 1,2-Dichloro-1,1-difluoroethane (HCFC-132b): GWP 320, ODP 0.062
 - 1-Chloro-1,1-difluoroethane (HCFC-142b): GWP 1,980, ODP 0.023-0.057

Regulering af kemikalier: 42 reguleringer af kemikalier i Europa

Horizontale reguleringer

- Europæiske og internationale reguleringer, der går på tværs af anvendelser
- Vurdering af kemikaliernes iboende egenskaber (giftighed, nedbrydelighed, flygtighed, bioakkumulerbarhed, mobilitet mm)
- REACH er 'gap-filler': Hvis sektor lovgivningen ikke har reguleret fx miljø /hormonforstyrrende effekter, persistens, så gælder REACH's regler

Eksempler:

- REACH - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals; EU's kemikalie regulering
- CLP – Classification, Labelling, Packaging
- GHS – Global Harmonised System
- Stockholm konventionen/POPs (Persistent Organic Pollutants)
- Montreal Protokollen (drivhus- og ozonnedbrydende gasser, fx F-gasser)

Sektor specifikke reguleringer

- Europæiske og nationale, samt frivillige ordninger der er specifikke i fht den kendte anvendelse og mulig eksponering
- Risikovurderingerne dækker typisk ikke alle dele af et produkts/kemikalies livscyklus

Eksempler:

- Miljø: Vandrammedirektivet (drikkevand, grundvand, overfladevand), Jord, Emissioner til luft, Spildevand mm
- Arbejdsmiljø
- Fødevarer, Fødevarekontakt materialer,
- Pesticider og Lægemidler
- Produkter: fx legetøj, kosmetik, elektronik, byggematerialer mm

Universelle PFAS restriktion (uPFAS)

- **Restriktion: begrænser anvendelser af kemikalier, i EU og i importerede produkter**
- Diskussion om forurening udenfor EU skal medregnes i risiciene => **hele livscyklusen ikke omfattet**
- **5 lande (Danmark, Norge, Sverige, Holland, Tyskland) – dossier submitters (DS) – afleverede i 2023 et forslag om at lave en universel PFAS restriktion (uPFAS)**
 - Baggrundsdocumentet (BD) + Annexes gennemgår for en række sektorer, alle kendte anvendelser, risici, omkostninger, alternativer, analysemetoder mm
 - Følger OECD 2021 PFAS definitionen
 - Baseret på at alle PFAS er persistente og det er i praksis umuligt at vurdere og kontrollere hver eneste PFAS
- **ECHA kører processen**
i RAC: Risk assessment committee, og SEAC: Socioeconomic assessment committee
- **I høringsfaserne er modtaget >4600 kommentarer (!)**, primært fra industri, også udenfor EU
- Stor modstand mod begræsning af fluorpolymerer, F-gasser, og i medicin produktion
=> **diskussion af en lang række undtagelser for 'kritiske' anvendelser**

Universelle PFAS restriktion (uPFAS)

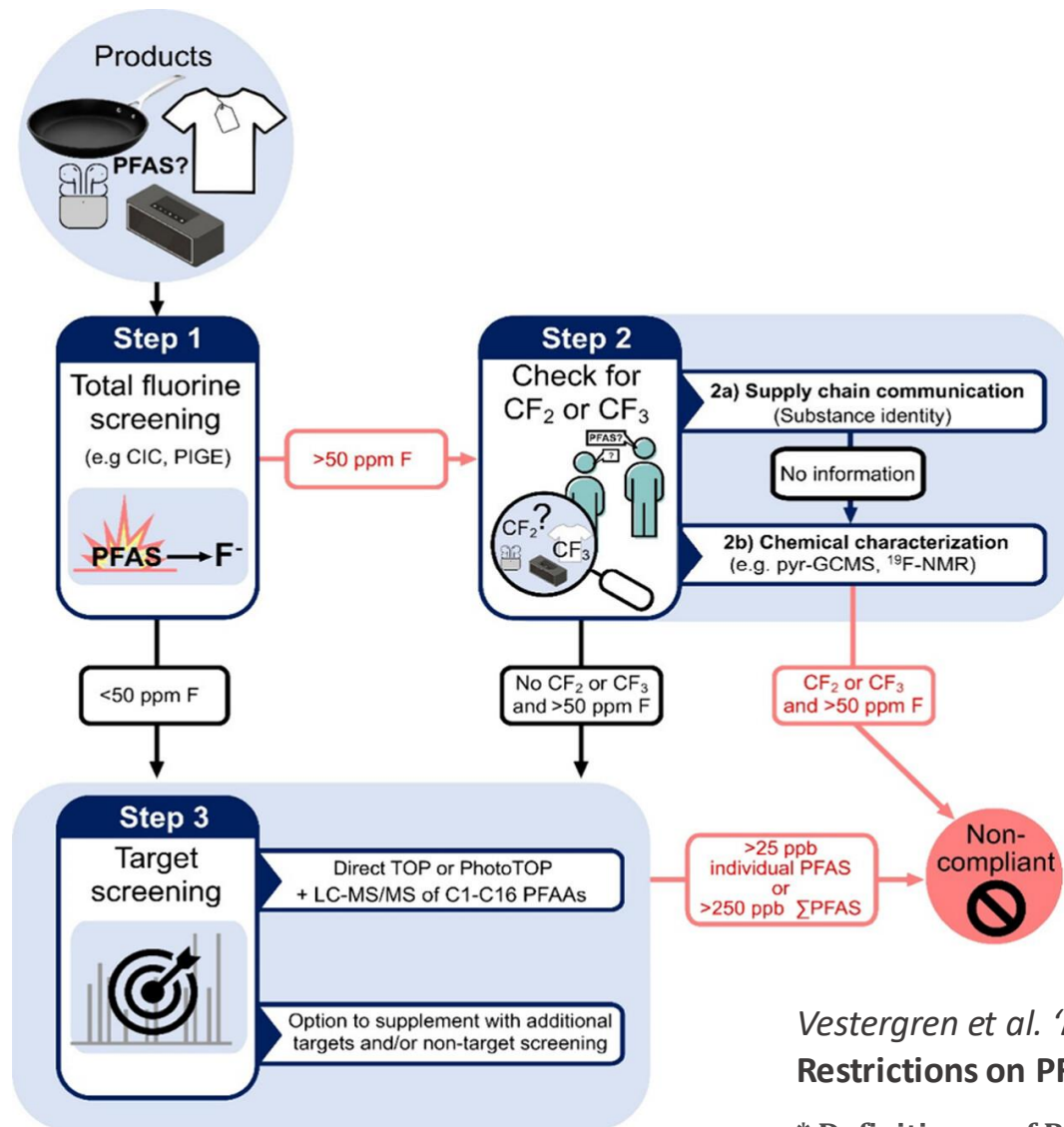
- ECHA netop publiceret draft-BD for uPFAS [Per- og polyfluoralkylstoffer \(PFAS\) – ECHA](#) – dvs at høringssvar fra ECHAs høring nu er indarbejdet.
Tidsvinduer på 1.5/ 5/12 år (+1.5 år til indfasning) fra 2027
- For byggematerialer er de relevante afsnit:
Annex A.3.14, Annex B.9.14, Annex E.2.13
Se også lovteksten i rapporten (fra side 4) [86488ab5-30c9-f7b9-547d-84db15535d9a](#). Eneste direkte (tidsbegrænsede) undtagelse for byggeprodukter er punkt 5 z
- Byggematerialer (Construction products) ligger i top 3 af anvendelser af PFAS
- Fluorpolymerer og PFAA precursors anvendt i maling, coatings, 'sealant tapes', skum mm bidrager mest

Table 4. Tonnages and emissions of major use sectors and manufacture for 2020 (sorted by tonnage range)^a

Application	Tonnage range	Emission range [%] emitted in manufacturing and use phase	Contribution to total emission		
Applications of fluorinated gases	5	3	4		
Transport	5	3	4		
Construction products	5	3	2		
TULAC	5	2	3		
Food contact materials and packaging	5	2	1		
Manufacture	5	1	1		
Sealing applications	5	1	1		
Electronics and semiconductors	5	1	1		
Other medical applications	4	4	2		
Medical devices	4	3	3		
Lubricants	4	2	2		
Technical textiles	4	2	1		
Military applications	4	2	1		
Broader industrial uses	4	2	1		
Energy sector	4	1	1		
Cosmetics	3	2	1		
Explosives	3	2	1		
Metal plating and manufacture of metal products	3	1	1		
Machinery applications	3	1	1		
Printing applications	3	1	1		
Consumer mixtures and miscellaneous consumer articles	2	3	1		
Ski wax	1	3	1		
Petroleum and mining	1	2	1		
Table legend					
Tonnage range [t/y]		Emission range [%]		Emission contribution [%]	
1	0 – 10	1	0 – 5	1	0 – 1
2	10 – 100	2	5 – 25	2	1 – 5
3	100 – 1 000	3	25 – 75	3	5 – 10
4	1 000 – 10 000	4	75 – 95	4	10 – 50
5	>10 000	5	>95	5	>10 – 50

^a Military applications reported for the sake of completeness, but not included when calculating totals to avoid double counting as the uses are already covered in other sectors.

PFAS i produkter – vi har analysemetoder til at kontrollere PFAS restriktionen



- **Analysemetoder findes til kontrol** (dog begrænset for neutrale PFAS og FPs)
- **Analysestrategi:** kombination af screeningsmetoder og præcise analyser for kendte stoffer
- **Prøvetagning af byggematerialer og prøveforberedelse skal videreudvikles**
- **Standardisering:** først efter fastsættelse af lovkrav/anbefalinger
- **PFAS har cocktail effekter => Grænseværdier for Sum af enkelt stoffer + hele PFAS Klassen***

Vestergren et al. 'A Systematic Workflow for Compliance Testing of Emerging International Classwide Restrictions on PFAS.' *Environ. Sci. Technol.* 2024, 58, 34, 14968-1497, DOI: (10.1021/acs.est.4c06570)

* Definitionen af PFAS (OECD 2021: -CF₂-, -CF₃) afgørende for valg af egnet kontrol analysemetode

Eksempler på dansk succesfuld regulering af PFAS!

Winner of the 2023
Future Policy Award!

PFAS i papir og pap i fødevareemballage

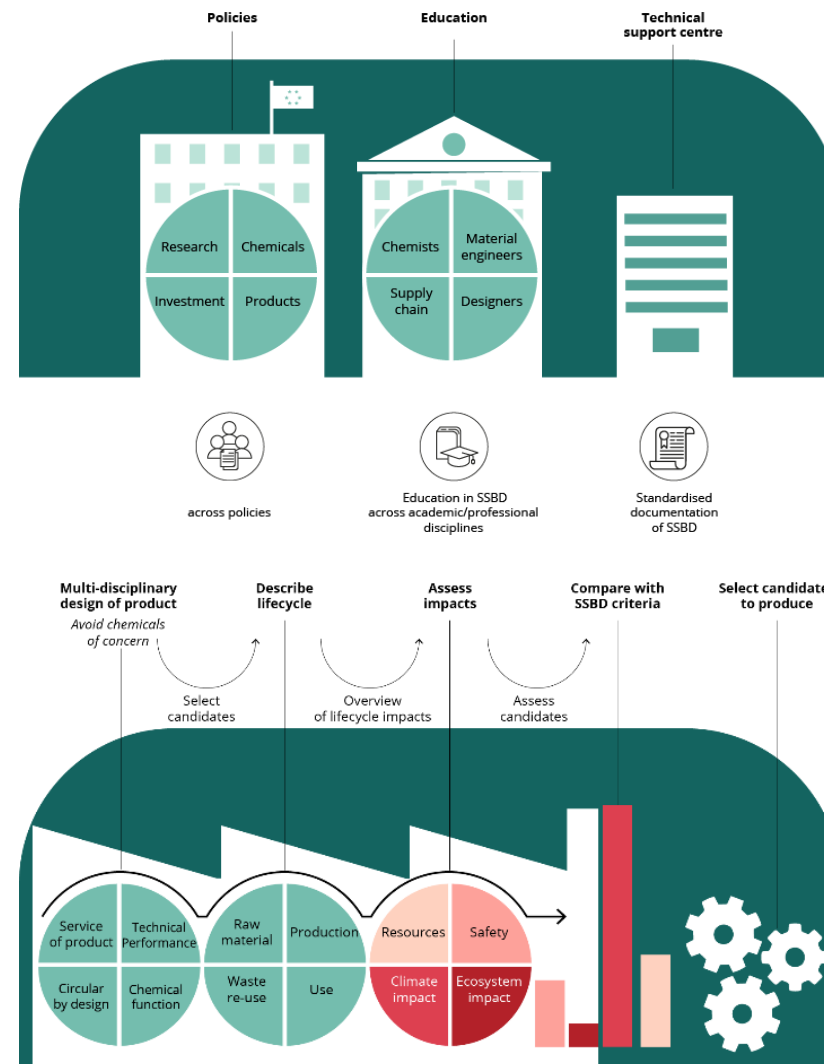
- **Total PFAS (hele PFAS klassen)**
- **Hvor:** Bevidst tilsat PFAS i papir og pap i kontakt med fødevarer.
- **Beskyttelsesmål:** Forsigtighed, nedbring PFAS i papir og genanvendt papir; ikke en sundhedsbaseret grænseværdi
- **Indikator værdi:** 20 ug organisk fluorid/g papir
Metode: fx Extractable organic fluorine– Combustion ion chromatography (EOF-CIC)
- **Hvornår:** **Anbefaling 2015 – ‘test periode’** ; Lov 2019/2020
- **Kontrollen virker:** PFAS niveau lavt i FKM i DK (ikke i Frankrig)
- **Effekt:** Danmark har sat standarden for resten af verden (Stater/byer i USA, Europæiske lande, EU)





PFAS frie alternativer er mulige – og en mere robust måde at opnå flere miljømål samtidig

- **Bindende reguleringer** er mest effektive
- **Tekniske support centre**
- industri partnerskaber/forskning sætter fart på transitionen
- **Safe and Sustainable by Design tilgang**
- sikrer sammenhæng mellem politikker for kemikalier, forurening, sustainable products initiative, cirkulære og klima politikker
- **Financielle redskaber** – Eu's finansielle taxonomy, (fordelagtig) adgang til markedet, højere forskingspræmie for risikofylde aktiviteter, forureneren betaler – *men oprensning af forurening rt ineffektivt og omkostningstungt*
- **Reduktion of total produktion af PFAS virker**
=> uPFAS restriktionen uden undtagelser er nødvendig



Konklusioner

- **>10.000 PFAS**, med mange forskellige sundheds- og miljøskadelige effekter, med store **økonomiske omkostninger** for mennesker og samfundt
 - *Høj eksponering af arbejdere under forarbejdning og genanvendelse?*
- Brug af **PFAS** er mange og **besværliggør den cirkulære økonomi**, og **belaster klimaet**
- **Reguleringer af PFAS/kemikalier** sker **horisontalt** (fx i REACH) og i **sektor reguleringer**, men er der pt ikke for byggematerialer
- **uPFAS** (universelle PFAS restriktion foreslået under REACH) **omfatter byggematerialer med få undtagelser**
- **Analyse (detektions-) metoder til kontrol findes for PFAS i produkter:**
Kombination af screeningsmetoder og måling for enkelte stoffer. Prøvetagning, og -prøveforberedelse skal videreudvikles til byggematerialer; standardisering en fordel
- **Danske anbefalinger og kontrol allerede nu kan være en fordel:**
En sådan 'test-periode' kan hjælpe værdikæden med at få dokumentationen og analysemetoderne på plads
– samt sætte fokus på arbejdsmiljø, og reducerede emissioner!
- **Fokus på sikre alternativer:** Safe and Sustainable by Design!



Tak for opmærksomheden!

Funding:

Det Danske PFAS Center
ARAGORN - EU Soil Mission projekt
Global PFAS Science Panel
PARC - EU Horizon projekt

PFAS Centerledelsen:

DTU: Anders Baun, Anne-Marie Vinggaard, Poul Bjerg,
KU: Bjarne Strobel, Xenia Trier
SDU: Tina Kold
AAU: Katrin Vorkamp, John Jensen



UNIVERSITY OF
COPENHAGEN

Xenia Trier
Associate Professor

aragorn

University of Copenhagen

Department of Plant and Environmental Sciences
Section for Environmental Chemistry and Physics
Thorvaldsensvej 40
Frederiksberg C
DIR +45 35 33 51 63
xt@plen.ku.dk

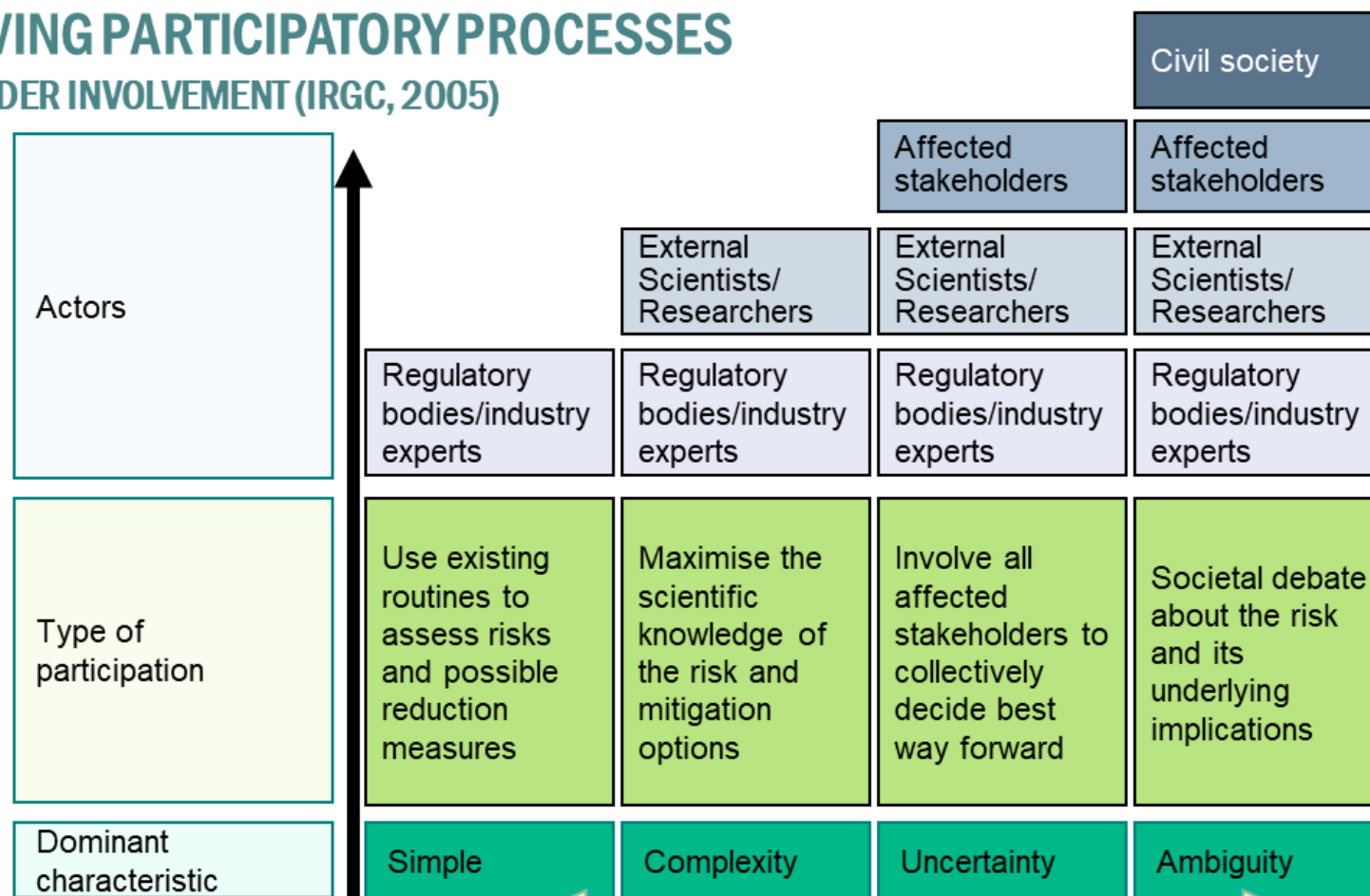
Hvilke aktører bør inddrages i hvilke processer, hvornår?

Grænseværdier af PFAS på tværs af produkter og livscykler har uklare ('ambiguous') konsekvenser

=> nødvendigt at inddrage mange flere aktører i udformningen af grænseværdier

- For at undgå spild og sikre langtidsholdbare løsninger

IMPROVING PARTICIPATORY PROCESSES STAKEHOLDER INVOLVEMENT (IRGC, 2005)



As the dominant characteristic changes, so also will the type of stakeholder involvement need to change

Credit: Dietmar Müller-Grabherr, Austrian UBA
Lead of Common Forum on Soil, ARAGORN Scientific advisor

Figur fra 'International Risk Governance Framework', IRGC 2017