



Vurdering af Optag af PFAS fra Vand og Foder i Høns og Æg

Granby, Kit; Boisen, Anne Mette Zenner; Vinggaard, Anne Marie

Publication date:
2022

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Granby, K., Boisen, A. M. Z., & Vinggaard, A. M., (2022). *Vurdering af Optag af PFAS fra Vand og Foder i Høns og Æg*, Nr. 22/1012700, 6 s., nov. 01, 2022.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Vurdering af Optag af PFAS fra Vand og Foder i Høns og Æg

Forespørgsel

FVST ønsker en vurdering af optaget af fluorstoffer (PFAS) i høns – kød og overførsel til æg? FVST får en del henvendelser omkring hold af høns og indhold af fluorstoffer – særligt i vandet - der overskrider Miljøstyrelsen kvalitetskriterier for drikkevand. Hidtil har de frarådet, at høns drikker PFAS forurenede vand. I hvilke niveauer går PFAS stoffer over i kødet og æg fra hønsene?

Konklusion

Æg og produkter indeholdende æg er blandt de vigtigste kilder til PFAS kontaminering. PFAS optages næsten fuldstændigt fra mavetarmkanalen⁴). Der er en lineær sammenhæng mellem høns' PFOS, PFHxS og PFOA indtag og indhold i æggeblomme (koncentrations-uafhængighed over 3 størrelsesordener, eksponering per høne fra <20-1500 ng/dag). Næsten al PFAS i æg findes i æggeblommen. Sulfonsyrerne (PFOS, PFHxS) overføres i højere grad til æg end karboxylsyrer (f.eks. PFOA); og de mindre karboxylsyrer f.eks. C6: PFHxA og derunder overføres næsten ikke.

Ekstrapoleret fra studie med drikkevand vurderes det, at høns der udsættes for drikkevand med 2 ng/L ikke vil kunne overføre PFOS, PFHxS eller PFOA til æg, i koncentrationer >0.1 ng/g æggeblomme (~>0.03 ng/g æg).

Overførsel af PFOS fra foder til æggeblomme vil med en forventet transferfaktor på 1 være for foderindhold på f.eks. 10 ng/g, 10 ng/g i æggeblomme. Et tysk studie viste dog en faktisk transferfaktor på 3,5 pga PFOS precursorer i det forurenede foder, så f.eks. 10 ng/g PFOS i foder måske kan resultere i 35 ng/g i æggeblomme. Filletten indeholdt 40-90 gange lavere koncentration end en æggeblomme.

Ud over drikkevand og foder menes jord og smådyr som regnorme i jord, som høns indtager at være kilder til generel og punktkilde PFAS-forurening af høns og æg.

Analyse af 12 æggeprøver fra Danmark viser fra indhold i æggeblomme op til 10.7 ng/g for $\Sigma 17$ PFAS. PFOS udgør hovedparten af PFAS i de fleste prøver.

Usikkerhedsvurdering

Studie af overførsel af PFAS fra drikkevand til æg viste linearitet over 3 størrelsesordener. Det til trods vurderes der at være en betydelig usikkerhed ved at ekstrapolere yderligere flere størrelsesordener ned, som gjort her. De anvendte 2 studier er grundige, så det er det bedste estimat der kan estimeret for nuværende.

Baggrund

Æg og produkter indeholdende æg er blandt de 3 vigtigste kilder til PFAS kontaminering gennem kosten¹⁾. PFAS findes i jorden fra atmosfærisk deposition (nedfald) og både overfladejord, grundvand, overfladevand og afgrøder/foder og husdyr kan blive forurenet fra baggrundsforurening, eller fra punktkilder for PFAS forurening, så som brandøvelsespladser, flypladser, lossepladser, forbrændingsanlæg, rensningsanlæg.

I denne forespørgsel skal overførsel fra PFAS forurenede vand eller foder til æg og hønsekød vurderes. Det er gjort ved brug af to relevante eksponeringsforsøg fra litteraturen. Dels et studie over overførsel fra PFAS forurenede foder til æg, hønsekød og organer (Kowalczyk et al 2020)²⁾ og dels et studie af overførsel fra drikkevand tilsat PFAS til æg (Wilson et al 2021)³⁾. Begge studier er kontrollerede eksponeringsforsøg efter samme model. Hønsene fik først 'ikke kontamineret' kontrolfoder. Derefter startede eksponering med henholdsvis PFAS kontamineret foder eller PFAS tilsat til drikkevand. Æg opsamles og analyseres kontinuerligt. Efter en periode med stigende PFAS koncentrationer i æg opnåedes konstant koncentration (steady state) af PFAS indtil dag 25 henholdsvis dag 61, hvor overførsel til æg beregnedes. Herefter fik de kontrolfoder, så elimineringen kunne måles, hvilket blev brugt til at beregne elimineringskoefficient og halveringstid for individuelle PFAS-stoffer i æg. Kowalczyk et al 2020)²⁾ analyserede også PFAS overførsel fra høns til fillet og organer.

PFAS i æg efter eksponering af æglæggende høns for PFAS-holdigt drikkevand

Et studie fra Australien (Wilson et al 2021)³⁾ undersøgte sammenhængen mellem PFAS indtag for høns og PFAS koncentrationen i æggeblomme og æggehvite. Æglægningen var 0,96 ~ 1,0 æg/høne/dag. Grupper af 25 høns fik indsamlet æg hver anden dag mens de blev eksponeret for PFAS stofferne PFHxA, PFOA, PFHxS, PFOS i koncentrationer i drikkevand på henholdsvis <0,02; 0,3; 3; 30; 300 µg/L i 61 dage og derefter fulgte man PFAS koncentrationen i yderligere 30 dage uden PFAS eksponering. Høns drikker ca 0,2 L vand per dag. Æg indeholdt ca 17 g blomme og det dobbelte hvite, i alt ca 50 g.

Der var en stærk lineær korrelation mellem PFAS koncentration i vandet og indhold i æggeblommen ($p < 0.0001$) for alle stoffer (PFHxA, PFOA, PFHxS, PFOS) og over 3 størrelsesordeners eksponering af høns fra <20-1500 ng/høne/dag. 99.7-100% af de 4 PFAS-stoffer blev fundet i blommen, mens æggehviten indeholdt <0.3%. Efter 24 dages eksponering var indholdet af PFAS stabilt (steady state) indtil dag 61, hvor PFAS eksponering blev seponeret. PFAS koncentrationer i æggeblomme efter eksponering via drikkevand fremgår af tabel 1.

For drikkevand uden tilsat PFAS (som havde baggrundsniveau $< 0.02 \mu\text{g/L}$) kunne generelt ikke detekteres nogle af de 4 PFAS i æggeblommen ($< 0.5 \text{ ng/g}$).

Indholdet af PFHxA i æg var under detektionsgrænsen ($< 0,5 \text{ ng/g}$) ved den lave koncentration i drikkevand ($0,3 \mu\text{g/L} \sim 300 \text{ ng/L}$, og med lav overførsel ved de højere koncentrationer i drikkevand ($2,9\text{-}14 \text{ ng/g}$ æggeblomme).

Drikkevand med $0,3 \mu\text{g/L} \sim 300 \text{ ng/L}$ gav koncentrationer i æggeblomme på estimeret 4 ng/g PFOS og 2 ng/g PFHxS og PFOA. De ligger på niveau med indhold fundet i æggeblommer indsamlet fra æggeproducenter med fritgående < 500 høns rundt om i Danmark (figur 1).

Drikkevand med $3 \mu\text{g/L} \sim 3000 \text{ ng/L}$ gav koncentrationer i æggeblomme på rapporteret 167 ng/g PFOS og 147 ng/g PFHxS og 81 ng/g PFOA.

Transfer faktoren (andel der overføres til æg) er højere for PFOS og PFHxS sammenlignet med PFOA og det er med til at forklare at sulfonsyrerne findes i højere koncentrationer i dette forsøg (tabel 1), men også i f.eks. danske æg (figur 1).

Baseret på studiet³⁾ vurderes det, at høns der udsættes for drikkevand med 2 ng/L ikke vil kunne overføre PFOS, PFHxS eller PFOA til æg, i koncentrationer $> 0.1 \text{ ng/g}$ æggeblomme ($\sim > 0.03 \text{ ng/g}$ æg). Denne antagelse er ekstrapoleret fra æg fra høns der udsættes for drikkevand med 3000 ng/L PFOS, PFHxS eller PFOA. Hvis det formodes at man kan ekstrapolere den lineære sammenhæng mellem indhold i drikkevand og i æggeblomme fra indhold på 3000 ng/L til 2 ng/L i drikkevand vil indhold i æg være ca. PFOS $0,03 \text{ ng/g}$; PFHxS, $0,03$ og PFOA $0,02 \text{ ng/g}$ (Der er dog kun vist linearitet fra $100\text{-}300000 \text{ ng/L}$).

PFAS i æg, hønsekød og hønselever efter eksponering af æglæggende høns for PFAS-forurenede foder.

BfR i Tyskland studerede overførsel af PFAS fra forurenede foder til æg, hønsekød og organer i et 25 dages eksponerings- 42 dages eliminerings-studie (Kowalczyk et al 2020)²⁾.

Hønsene (12) var i et 16 m^2 bur. Foderet var iblandet 37% lavkontamineret byg og 8% kontamineret hør. 14 PFAS var detekteret, herunder 4 PFOS-precursorer.

Koncentrationer af 4 PFAS for æggeblomme, hønse-lever og -fillet fremgår af tabel 2. Det ses at stofferne koncentrerer mest i æggeblomme, dernæst lever, og mindre i fillet. PFOS, der findes i højest koncentration i foder (133 ng/g), har de højeste koncentrationer i æggeblomme (561 ng/g) lever (72 ng/g) og hønsekød ($6,2 \text{ ng/g}$). PFOS eksponering via foder $\sim 133 \text{ ng/g} * 117 \sim 16 \mu\text{g/høne/dag}$

I foderstudiet estimerede de halveringstiden for PFOS i æg efter seponering af forurenede foder til 4,3 dage og for PFOA til 4,5 dage, dvs ca samme halveringstider som ved eksponering gennem drikkevand. Halveringstiden for PFHxS i foderstudiet var højere (7,6 dage) og også højere i studiet med vand (5,4-9,4 dage).

De toksikokinetiske parametre er sammenlignelige for de to studier, hvilket (Kowalczyk et al 2020)²⁾ også konkluderer. Kilden til eksponeringen (her drikkevand eller foder) påvirker ikke overførsel til æg (transfer faktor) eller halveringstid. Dog var der i foderstudiet, i foderet PFOS-precursorer, som ved eksponering af høns metaboliseres til PFOS og derfor give en relativ større

forurening af æggene (dette er der korrigeret for i de estimerede halveringstider og transfer faktorer). Kowalczyk et al (2020)²⁾ vurderer også, at PFHxS var tilstede i betydelige mængder i æggeblommen i deres studie, hvilket de ligeledes formoder skyldes evt. C6-precursorer i foder der metaboliseres til PFHxS i hønsene.

I tabel 5 er forsøgt at estimere/ekstrapolere indhold af PFOS i æggeblomme ud fra koncentrationer på 1-10 ng/g i foder. Med en transferfaktor på 1 vil der være samme koncentration, som i foder, men hvis forurenede foder også indeholder PFOS precursorer, som i det nævnte studie, kan det resultere i op til 3-4 gange så høje indhold i æggeblomme.

Høns filleten indeholder 36-90 gange lavere koncentration end æggeblomme²⁾.

PFAS i æggeblommer fra danske fritgående (<500) høns

PFOS 3 ng/g i ovenstående foderstudie vil uden PFOS precursorer, ekstrapoleret give en koncentration på 3 ng/g i æggeblomme ~ 1 ng/g i æg, hvilket er den gældende grænseværdi for PFOS fra januar 2023. Flere af æggeblommer fra de danske fritgående æglæggende høns fra hønseshold<500 høns i figur 1 vurderes at ville overskride grænseværdien på 1 ng/g PFOS i æg. PFOS 3 ng/g i foder uden precursorer vil ekstrapoleret give en koncentration på 3 ng/g i æggeblomme ~ 1 ng/g i æg, hvilket er den gældende grænseværdi for PFOS fra januar 2023. Flere af æggeblommer fra de danske fritgående æglæggende høns fra hønseshold<500 høns i figur 1 vurderes at ville overskride grænseværdien på 1 ng/g PFOS i æg.

Tabel 1. PFAS indhold ng/g i æggeblomme efter eksponering (steady state) gennem PFAS tilsat drikkevand³⁾

	PFOS	PFHxS	PFOA	PFHxA
<0,02µg/L (20 ng/L vand)	<0,3 ng/g	<0,5 ng/g	<0,3 ng/g	<0,5 ng/g
3 µg/L (3000 ng/L vand)	167 ng/g	147 ng/g	81 ng/g	2,9 ng/g
300 µg/L (300000 ng/L)	2683 ng/g	2733 ng/g	1567 ng/g	14 ng/g

Tabel 2. PFAS indhold ng/g i æggeblomme, hønssekød og lever efter 25 dages eksponering (steady state) gennem forurenede foder²⁾.

PFAS konc. i foder	PFOS	PFHxS	PFOA	PFHxA
Foderindtag 117 g/dag	2,8µg/høne/d	2,1µg/høne/d	0,6µg/høne/d	1,7µg/høne/d
Æggeblomme	561 ng/g	215 ng/g	18,6 ng/g	-
Lever	72 ng/g	28 ng/g	3,7 ng/g	<0,2
Høns fillet	6,2 ng/g	6,0 ng/g	0,3 ng/g	<0,2
koncentrationsforhold:				
lever/fillet	12	5	12	-
æggeblomme/lever	8	8	5	-
æggeblomme/fillet	90	36	62	

Tabel 3. PFAS halveringstid ($t_{1/2}$) (dage) for PFAS i æggeblomme efter seponering

PFAS kilde	PFOS	PFHxS	PFOA	PFHxA
3 µg/L (3000 ng/L)vand ³⁾	3,8	9,4	3,7	Ikke beregnet
30 µg/L (30000ng/L) ³⁾	3,3	6,3	4,7	Ikke beregnet
300 µg/L (300000ng/L) ³⁾	3,4	5,4	7,9	2
Foder PFOS 133, PFHxS 72, PFOA 23, PFHxA 31 ng/g ²⁾	4,3	7,6	4,5	-

Tabel 4. PFAS transfer faktor fra vand/foder til æg (Konc. af PFAS i æg/ konc. af PFAS i foder ved steady state).

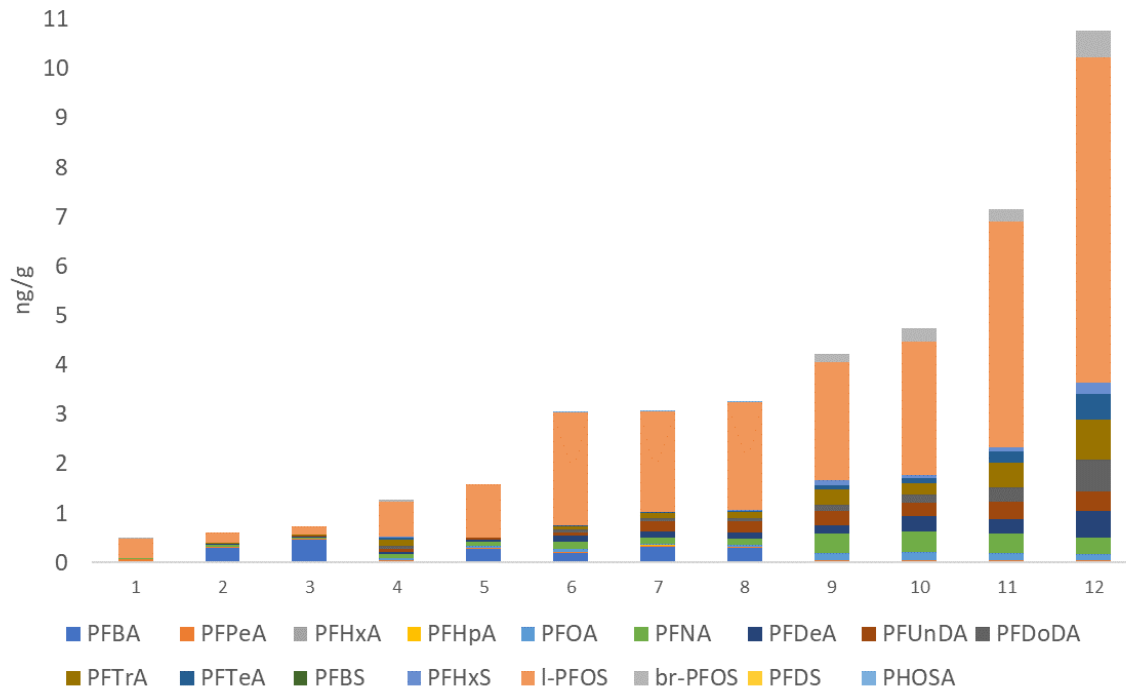
	PFOS	PFHxS	PFOA	PFHxA
0,3 µg/L (300 ng/L) ⁶⁾	1,1	0,9	0,5	Ikke beregnet
3 µg/L (3000 ng/L) ⁶⁾	1,1	0,6	0,5	Ikke beregnet
30 µg/L (30000ng/L) ⁶⁾	1,1	0,7	0,5	Ikke beregnet
300 µg/L (300000ng/L) ⁶⁾	1,1	0,7	0,5	0,005
Foder PFOS 133, PFHxS 72, PFOA 23, PFHxA 31 ng/g ¹⁾	0,99		0,49	-

Tabel 5. PFAS koncentrationer i foder beregnet fra PFAS konc. i ingredienser(byg,hø)²⁾, transferfaktorer og estimerede og målte koncentrationer i æggeblomme

	byg i foder ng/g	hø i foder ng/g	Foder ng/g	Transferfaktor	konc. æggeblomme estimeret ng/g	konc. æggeblomme målt ng/g	
% i foder	37%	8%	100%				
PFOA	0.8	287	23	0.5	12	19	Kowalczyk2020
PFHxS	2.3	890	72	1.8	130	215	Kowalczyk2020
PFOS	2.5	1654	133	3.5	466	561	Kowalczyk2020
PFOS			10	1*	10		ekstrapoleret
PFOS			3	1	3		ekstrapoleret
PFOS			1	3.5	3.5		ekstrapoleret

*den korrigerede transferfaktor er 1, men i studie af Kowalczyk et al. 2020 reelt højere fordi PFOS precursorer i det forurenede foder omdannes til PFOS.

PFAS in egg yolk organic farms <500 hens



Figur 1. PFAS i æggeblomme (ng/g) fra mindre danske æggeproducenter fra fritgående høns indsamlet af Fødevarestyrelsen i 2021.

Referencer:

- 1) Schrenk D. et al 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA J.18, 725-733.
Part 1: Analytical Results Including a Modified Total Oxidizable Precursor Assay J. Agric. Food Chem. 68, 45, 12527–12538.
- 2) Kowalczyk J., Göckener B., Eichhorn M., Kotthoff M., Bücking, M., Schafft, H.,Lahrssen-Wiederholt, M, Numata, J., 2020. Transfer of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Feed into the Eggs of Laying Hens. Part 2: Toxicokinetic Results Including the Role of Precursors J. Agric. Food Chem. 2020, 68, 45, 12539–12548.
- 3) Wilson, TB, Stevenson, G., Crough, R., de Araujo, J, Fernando,N, Anwar,A, Scott,T, Quinteros, J.A., Scott,P.C., Archer, M.J.G., 2021. Evaluation of Residues in Hen Eggs After Exposure of Laying Hens to Water Containing Per- and Polyfluoroalkyl Substances. Environmental Toxicology and Chemistry 40, (3) 735–743.
- 4) Göckener, B., Eichhorn, M., Lämmer,R., Kotthoff M, Eichhorn M. Lämmer, R, Kowalczyk M; Numata, J., Schafft H., Lahrssen-Wiederholt M, Bücking M, 2020. Transfer of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) from Feed into the Eggs of Laying Hens.