



PFAS i frugt – Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Niklas, Agnieszka A.

Geertsen, Gitte;

Mueller, Viktoria;

Feldmann, Jörg;

Olesen, Pelle Thonning

Vinggaard, Anne Marie;

Sloth, Jens J

The Danish Environmental Protection Agency publishes reports and papers about research and development projects within the environmental sector, financed by the Agency. The contents of this publication do not necessarily represent the official views of the Danish Environmental Protection Agency. By publishing this report, the Danish Environmental Protection Agency expresses that the content represents an important contribution to the related discourse on Danish environmental policy.

Sources must be acknowledged.

Forord

Denne rapport afrapporterer ét ud af syv vidensopbygningsprojekter, som i 2024 blev igangsat i umiddelbar forlængelse af Videnstaskforcen for PFAS' rapport "Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del 1: Identifikation af videnshuller" (Baun et al., 2024). I rapporten identificerede Videnstaskforcen eksisterende videnshuller inden for PFAS området og foreslog tolv vidensopbygningsprojekter, som adresserer nogle af videnshullerne. Det blev besluttet at igangsætte syv af disse projekter i 2024. En oversigt er vist nedenfor.

Oprindelige projektnumre og projekttitler

Projekt 3: PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse

Projekt 4: Screening af forskellige typer af fødevarer og foder for indhold af PFAS

Projekt 5: Plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning

Projekt 6: Vurdering af forskellige eksponeringsvejes bidrag til den samlede humane eksponering

Projekt 8: Videreudvikling af PFAS-analysemetoder til overvågningsformål (miljøprøver, fødevarerprøver og humane prøver)

Projekt 9: Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde

Projekt 10: Diffus forurening og i forvejen forekommende koncentrationer af PFAS

Videnstaskforcen for PFAS blev nedsat i august 2023 med det formål at foretage en opsamling på den viden, som findes om PFAS både nationalt og internationalt. På baggrund af den tilgængelige viden, Videnstaskforcens ekspertvurderinger samt resultaterne fra ovenstående vidensopbygningsprojekter har Videnstaskforcen afslutningsvist udarbejdet en rapport med handlemuligheder, som skal danne grundlag for myndighedernes fremtidige fokus og indsats mod PFAS-forurening.

Videnstaskforcen er en uafhængig ekspertgruppe med Miljøstyrelsen som sekretariat. Videnstaskforcen har følgende sammensætning: Professor Anders Baun, Danmarks Tekniske Universitet (forperson); Cheflæge Ann Lyngberg, Arbejds- og Socialmedicinsk Afdeling, Holbæk Sygehus; Professor Anne Marie Vinggaard, Danmarks Tekniske Universitet; Lektor Bjarne W. Strobel, Københavns Universitet; Viceinstituteder John Jensen, Aarhus Universitet; Professor Katrin Vorkamp, Aarhus Universitet; Professor Poul L. Bjerg, Danmarks Tekniske Universitet; Professor Tina Kold Jensen, Syddansk Universitet; Lektor Xenia Trier, Københavns Universitet.

Nærværende projekt PFAS i frugt er beskrevet som projekt nr.4 i Baun et al. (2024). Projektet er udført i perioden 23. april 2024 – 20. december 2024.

Projektet er udført af Niklas, Agnieszka A.; Geertsen, Gitte; Mueller, Viktoria; Feldmann, Jörg; Olesen, Pelle Thonning; Vinggaard, Anne Marie; Sloth, Jens J.

En følgegruppe med nedenstående sammensætning har fulgt projektet:

Fødevarestyrelsen er følgegruppe i dette projekt repræsenteret af Charlotte Legind og Lulu Krüger.

Indhold

Forord	3
1. Indledning	5
1.1 Baggrund	5
1.2 Formål	6
2. Metoder	7
2.1 Prøver (FVST)	7
2.2 Target analyser af PFAS (FVST og DTU)	7
2.3 Total fluor (TF) og ekstraherbart organisk fluor (EOF) (DTU og Graz Universitet)	10
3. Resultater og diskussion	11
3.1 Target analyser af PFAS	11
3.2 Total fluor (TF) og ekstraherbart organisk fluor (EOF)	15
4. Konklusioner	17
5. Referencer	18

1. Indledning

1.1 Baggrund

Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) er menneskeskabte kemikalier, der omfatter over 10.000 forbindelser (ECHA, Annex XV restriction report). PFAS har fået stigende opmærksomhed på grund af deres skadelige sundhedseffekter og allestedsnærværende tilstedeværelse i miljøet (EFSA, 2020; Munoz et al., 2023). I 2020 offentliggjorde Den Europæiske Fødevarerikkerhedsautoritet (EFSA) en risikovurdering, som fremhævede, at langkædede PFAS, såsom perfluoroktansyre (PFOA), perfluorononansyre (PFNA), perfluordekansyre (PFDA), perfluorhexansulfonsyre (PFHxS) og perfluoroktansulfonsyre (PFOS), kun dårligt metaboliseres og har humane halveringstider på flere år. Derudover metaboliseres andre PFAS, såsom fluorotelomerforbindelser og polyfluoralkylfosfatester (PAP'er), i leveren til de tilsvarende persistente syrer (EFSA, 2020). Med udgangspunkt i et reduceret vaccinationsrespons hos børn som den kritiske effekt, fastsatte EFSA et tolerabelt ugentlig indtag (TWI) på 4,4 ng/kg legemsvægt for summen af fire PFAS (PFOA, PFNA, PFHxS, PFOS) (EFSA, 2020).

EFSA konkluderede, at kosten er den primære kilde til PFAS-eksponering for flertallet af den europæiske befolkning (EFSA, 2020). Der er stor forskel på, hvor meget de forskellige fødevarer bidrager til danskernes PFAS-eksponering. For at give et overblik over den af EFSA estimerede eksponering for danskere, er der i Tabel 1 oplistet data udtrukket fra EFSA (2020).

TABEL 1. Gennemsnitlige procentuelle bidrag fra forskellige fødevarergrupper til danskernes eksponering for de fire PFAS: PFHxS, PFNA, PFOA og PFOS. Data er baserede på målte europæiske PFAS-niveauer i de forskellige fødevarer typer (lower bound data), som opgivet af EFSA (2020, Annex A) og det gennemsnitlige kostindtag for den danske befolkning i de to aldersgrupper. Fødevarer, der estimeres at bidrage med mere end 5 %, er fremhævet. * summen af de fire PFAS.

Fødevarergrupper	Alkoholiske drikkevarer	Drikkevand	Æggeprodukter	Fiskeprodukter	Småbørnsnæder	Frugt (produkter)	Kød (produkter)	Mælkeprodukter	Øvrige fødevarer	Stivelseshold. knolde/rødder	Grøntsager (inkl. svampe)
PFAS											
Voksne											
PFHxS	17,9%	24,4%	0,0%	0,9%	0,0%	56,2%	0,3%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%
PFNA	0,0%	2,7%	0,0%	23,2%	0,0%	67,9%	2,8%	0,5%	0,0%	0,5%	2,5%
PFOA	18,4%	10,2%	13,1%	15,7%	0,0%	12,4%	16,3%	2,0%	1,3%	2,7%	7,9%
PFOS	0,0%	1,6%	11,0%	61,7%	0,0%	12,8%	9,7%	0,7%	0,4%	0,8%	1,3%
Total *	6,0%	6,2%	9,6%	43,0%	0,0%	20,6%	9,6%	0,9%	0,5%	1,1%	2,6%
Småbørn (1-3 år)											
PFHxS	0,0%	21,2%	0,0%	1,6%	0,0%	76,8%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%
PFNA	0,0%	1,0%	0,0%	6,0%	52,1%	39,3%	0,4%	0,2%	0,0%	0,1%	0,8%
PFOA	0,0%	11,5%	16,2%	23,1%	0,0%	22,1%	12,4%	2,1%	2,0%	2,6%	8,1%
PFOS	0,0%	1,1%	8,5%	65,2%	0,0%	14,3%	7,7%	1,5%	0,4%	0,5%	0,8%
Total*	0,0%	4,6%	7,8%	47,0%	5,2%	24,3%	6,9%	1,3%	0,6%	0,7%	1,7%

Det skal bemærkes, at de fire PFAS, der indgår i opgørelsen i Tabel 1 ikke bidrager ligeligt til eksponeringen. PFOS giver det største bidrag til summen af de fire stoffer (over halvdelen), herefter følger PFOA efterfulgt af PFHxS og PFNA. EFSA's (2020) opgørelse over PFAS-kontamineringen af fødevarer udgør for nuværende det bedste estimat for PFAS-indhold i de fødevarer som danske forbrugere indtager, men datagrundlaget er ofte ubalanceret mht. fødevarernes geografiske oprindelse (mange tyske data) og er ikke lige gode for de forskellige fødevarergrupper. Den primære kilde til eksponering for de fire PFAS, særligt PFOS, er ifølge disse beregninger fisk og andre marine produkter.

EFSA's database peger på, at en betydelig del af PFAS-eksponeringen kan stamme fra frugt og frugtprodukter. Det er dog en vurdering, der bygger på et begrænset antal analyser ($n = 144, 143, 98$ eller 94 , afhængig af om der er tale om PFOA, PFOS, PFNA eller PFHxS), når det tages i betragtning, at der er tale om en meget forskelligartet fødevarergruppe. For eksempel er det ikke klart ud fra datagrundlaget, hvilke typer frugter, der primært er kontaminerede. For at kunne fremkomme med et pålideligt estimat for eksponeringen er det nødvendigt, at der er gode data for i hvert fald de primære typer af frugt, der indgår i danskernes kost.

Videnshul

For PFAS-indholdet i frugt er flere og mere udspecificerede data derfor nødvendige for at få et mere pålideligt estimat af bidraget til danskernes eksponering.

1.2 Formål

Formålet med dette projekt er at indsamle flere og mere udspecificerede PFAS-data for almindelige frugttyper, der spises i Danmark, for at få et mere pålideligt estimat af bidraget fra frugt til danskernes samlede PFAS eksponering. Projektet vil bidrage med information om indholdet af en række PFAS-forbindelser som tidligere kun har været sparsomt undersøgt i frugt. Det forventes, at de opnåede screenings-data kan give et bedre vidensgrundlag for, i hvor høj grad danskernes indtag af frugt bidrager til den samlede PFAS eksponering. Resultatet vil således enten bestyrke eller svække EFSA's estimat, der peger på, at frugt er en væsentlig kilde til danske borgers eksponering for PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS. Det skal understreges, at 60 prøver af frugt er helt utilstrækkeligt til at genere et robust estimat for danske borgers PFAS-eksponering fra frugt. Det vil kræve væsentligt flere analyser, der også dækker flere typer af frugt end der indgår i denne undersøgelse. Men de 60 prøver vil være et godt udgangspunkt for mere tilbundsående analyser.

2. Metoder

I dette projekt blev forekomsten af PFAS i forskellige frugter undersøgt. Forskningsaktiviteterne blev udført i samarbejde mellem Fødevarestyrelsen (FVST), DTU Fødevareinstituttet (DTU) og Universitetet i Graz, Østrig (Graz).

2.1 Prøver (FVST)

Tres stykker frugt (20 æbler, 10 pærer, 10 bananer, 10 vindruer og 10 jordbær) blev indsamlet som en del af Fødevarestyrelsens indsamling af frugt til pesticidundersøgelser. Information om sort, oprindelsesland og dyrkningsmetode (økologi eller ej, friland eller drivhus) blev noteret (om muligt). En oversigt er præsenteret i Tabel 2.

TABEL 2. Oversigt over indsamlede prøver. Øko. – økologisk, konv. – konventionel

Frugt	Oprindelsesland	Øko.	Konv.	Kultivar	Total
Æbler	Danmark	1	8	Wiltons star, Ingrid Marie, Elstar, Gala Galaxy, Rød Elstar, Rød Ingrid, Gala Must, Junami	20
	Udlandet	3	8	Red Pop, Cripps Pink, Braeburn, Red Delicious/Red Chief, Gala, Pink Lady, Granny Smith, Belle de Boskoop, Golden Delicious, Ambrosia	
Pærer	Danmark	0	2	Clara Frijs	10
	Udlandet	0	8	Conference, Lucas	
Bananer	Udlandet	5	5	Cavendish	10
Vindruer	Udlandet	3	7	Grønne: Flame Seedless, Sugraone, Sweet Globe, Itum 17 Blå: Starlight, Maula, IFG Seventeen (Sweet Jay)	10
Jordbær	Danmark	1	6	Lady Emma	10
	Udlandet	0	3	Palmerita	

Valget af frugttyper er begrundet i, at det er typer af frugt, som danskerne spiser meget af. Det var også prioriteret at vælge frugter der dyrkes i Danmark, og det blev også prioriteret at udvælge typer af frugt, hvor EFSA havde fundet indhold af PFAS (se afsnit 3.1). Med hensyn til udvælgelsesstrategi blev det tilstræbt, at cirka halvdelen af frugterne for hver type frugt skulle være danske og halvdelen udenlandske, for de frugter hvor det giver mening (bananer og vindruer undtaget). Derudover blev det tilstræbt at udtage både konventionelle og økologisk dyrkede frugter. Ti prøver af en frugt er et absolut minimum, hvis prøverne skal give en indikation omkring kontamineringsniveauet for den pågældende type frugt. Med i alt tres prøver var det derfor nødvendigt at fravælge adskillige frugttyper så som mandariner, ferskner, blommer, ananas, kiwi m.fl. som det ideelt set også havde været relevant at inkludere i studiet. Det er en begrænsning i studiet som det er vigtigt at betone.

2.2 Target analyser af PFAS (FVST og DTU)

Frugtprøverne blev homogeniseret og ekstraheret på Fødevarestyrelsens laboratorium (FVST) i Ringsted og derefter analyseret for PFAS-indhold både i Ringsted og på DTU. Analysepakken i Ringsted omfattede 23 'legacy PFAS-forbindelser' (forskellige kædelængder af perfluorcarboxylsyrer og perfluorsulfonsyrer), som ifølge EU-kommissions anbefaling (EU) 2022/1431 om

overvågning af perfluoralkylstoffer i fødevarer er af stor overvågningsinteresse samt 4 "legacy PFAS" substitutter (GenX, DONA samt minor og major komponent af F-53B). En detaljeret liste over de analyserede forbindelser er præsenteret i Tabel 3.

TABEL 3. Oversigt over PFAS-forbindelser inkluderet i FVST-pakken

<i>Forkortelse</i>	<i>Kemisk navn</i>	<i>Klassenavn</i>
PFBA	Perfluorbutansyre	Perfluoreret Carboxylsyre (PFCA)
PFPeA	Perfluorpentansyre	
PFHxA	Perfluorhexansyre	
PFHpA	Perfluorheptansyre	
PFOA	Perfluoroktansyre	
PFNA	Perfluornonansyre	
PFDeA	Perfluordekansyre	
PFUnA	Perfluorundekansyre	
PFDoA	Perfluordodekansyre	
PFTTrDA	Perfluortridekansyre	
PFTeDA	Perfluortetradekansyre	
PFHxDA	Perfluorhexadekansyre	
PFODA	Perfluoroktadekansyre	
PFBS	Perfluorbutansulfonsyre	Perfluoreret Sulfonsyre (PFSA)
PFPeS	Perfluorpentansulfonsyre	
PFHxS	Perfluorhexansulfonsyre	
PFHpS	Perfluorheptansulfonsyre	
PFOS	Perfluoroktansulfonsyre	
Br-PFOS	Bromeret Perfluoroktansulfonsyre	
PFNS	Perfluornonansulfonsyre	
PFDS	Perfluordekansulfonsyre	
PFDoS	Perfluordodekansulfonsyre	
PFOSA	Perfluoroktansulfonamid	Perfluoreret Sulfonamid
GenX	Hexafluorpropylenoxid Dimer Syre (HFPO-DA)	Fluoreret Alternativ
DONA	4, 8-Dioxa-3H-Perfluornonansyre	
9CI-PF3ONS	9-Chlorhexadecafluor-3-oxanonan-1-sulfonsyre	Kloreret Fluorkemikalie
11CI-PF3OUdS	11-Chloricosafluor-3-oxaundekan-1-sulfonsyre	

Derudover blev der udført supplerende analyser på DTU, hvor yderligere PFAS forbindelser anbefalet i Kommissionens henstilling (EU) 2022/1431 blev analyseret. DTU-pakken omfattede "emerging" PFAS fluortelomer-sulfonsyrer (FTS), fluortelomer-carboxylsyre (FTCA) og fluortelomer-umættede carboxylsyre (FTUCA). En detaljeret liste over de analyserede forbindelser er præsenteret i Tabel 4.

TABEL 4. Oversigt over PFAS-forbindelse inkluderet i DTU-pakken

<i>Forkortelse</i>	<i>Kemisk Navn</i>	<i>Klassenavn</i>
4:2 FTS	4:2 Fluortelomer Sulfonsyre	Fluortelomer Sulfonsyre (FTS)
6:2 FTS	6:2 Fluortelomer Sulfonsyre	
8:2 FTS	8:2 Fluortelomer Sulfonsyre	
10:2 FTS	10:2 Fluortelomer Sulfonsyre	
6:2 FTCA	6:2 Fluortelomer Carboxylsyre	Fluortelomer Carboxylsyre (FTCA)
8:2 FTCA	8:2 Fluortelomer Carboxylsyre	
10:2 FTCA	10:2 Fluortelomer Carboxylsyre	

<i>Forkortelse</i>	<i>Kemisk Navn</i>	<i>Klassenavn</i>
6:2 FTUCA	6:2 Fluortelomer Uumættet Carboxylsyre	Fluortelomer Uumættet Carboxylsyre (FTUCA)
8:2 FTUCA	8:2 Fluortelomer Uumættet Carboxylsyre	
10:2 FTUCA	10:2 Fluortelomer Uumættet Carboxylsyre	

PFAS-forbindelserne blev ekstraheret ved hjælp af en QuEChERS-baseret metode anbefalet af EURL-POPs (EU reference laboratory for halogenated POPs in food (Freiburg, Tyskland)). Acetonitril blev anvendt som ekstraktionsmiddel, og en dispersiv fastfase ekstraktion (d-SPE) oprensning blev udført ved brug af C18 og GCB sorbenter for at fjerne matrixinterferenser. Prøveforberedelsesprotokollen er opsummeret nedenfor:

Fem gram af prøven blev vejlet af i et 50 mL rør, og 80 µL af den interne standardblanding (MPFAC-MXA, MFTS, MFTCA, MTUCA) med en koncentration på 0,25 ng/g blev tilsat prøven. Derefter blev solventekstraktion udført ved at ryste med 10 mL acetonitril ved maksimal hastighed i 10 minutter i en Genogrinder® fra SPEX Sample prep® (Metuchen, NJ-US), efterfulgt af centrifugering i 10 minutter ved 5000 g, 5 °C i en Heraeus Multifugex3FR centrifuge, Thermo Scientific (Waltham, MA, USA). Supernatanten blev overført til et 15 mL rør, og ekstraktionen blev gentaget. Det kombinerede ekstrakt blev overført til et 50 mL rør indeholdende salte og dispersivt fastfaseekstraktionsmateriale (dSPE): Supel Que QUECHERS salte (6.0 g MgSO₄, 1,5 g NaCl) og Bond Elut QUECHERS dSPE (1200 MgSO₄, 400 mg PSA, 400 mg C18 og 200 mg GCB), og rystet i 2 minutter og centrifugeret i 20 minutter ved 4000 rpm, 5 °C. Supernatanten blev overført til et 15 mL rør og fordampet, 0,1 mL ultrapure vand blev tilsat, og ekstraktet blev fordampet til ca. 0,1 mL (N₂, 40 °C Turpovap, Biotage, Uppsala, Sverige). Efter fordampning blev 0,4 mL 75% methanol tilsat, og ekstrakterne blev overført til 1,5 mL centrifugerør, og lige før LC-MS/MS-detektion centrifugeret i 10 minutter ved 5 °C, 15.000 rpm, og overført til autosampler-hætteglas. Påvisning og kvantificering af PFAS blev udført ved hjælp af væskechromatografi-tandem massespektrometri (LC-MS/MS).

LC-MS/MS analyse af 23 'legacy PFAS-forbindelser' (forskellige kædelængder af perfluorcarboxylsyre og perfluorosulfonsyre), samt 4 PFAS substitutter (GenX, DONA samt minor og major komponent af F-53B) blev udført på Fødevarestyrelsens laboratorium på en Waters Acquity Premier UPLC med Waters XEVO TQ Absolute Triple Quad massespektrometer med separation på en Waters Acquity UPLC kolonne BEH C-18, 130 Å, 1,7 µm, 2,1 x 100 mm samt Waters Atlantis Premier BEH C18 AX 2,1 x 50 mm, 5 µm som isolator kolonne. Injektionsvolumen var 2 µL, kolonneovnsens temperatur 35 °C, autosamplersens temperatur 10 °C. Eluenterne var A) 2 mM ammoniumacetat i Milli-Q vand (95:5) og B) Methanol. Eluentflow startede ved 0,30 mL/min; Eluentprogram (lineær): 0–1,0 min. 0% B; 6,0 min. 45% B, 13 min. 80% B, 14 min. til 18 min. 100% B ved 0,4 mL/min; 18 min. – 22 min. 100% B ved 0,3 mL/min. MS/MS-detektionen blev udført i MRM-mode, hvor to overgange blev bestemt for hver forbindelse. Kvantificeringen blev udført ud fra 9-punkts kalibreringskurver af standarder i forhold til mærkede interne standarder (vægtet 1/x, origin exclude). Kvantificeringsgrænser (LOQ) for hver forbindelse er vist i Tabel 5.

LC-MS/MS analyse af "emerging" PFAS fluortelomer-sulfonsyre (FTS), fluortelomer-carboxylsyre (FTCA) og fluortelomer-umættede carboxylsyre (FTUCA) blev udført på en Acquity UPLC CSH C18 (130 Å, 1,7 µm, 100 x 2,1 mm) kolonne (Waters Corp., Milford, MA, USA) (DTU). En forsinkelseskolonne (Acquity UPLC® BEH C18, 130 Å, 2,1 x 50 mm, 1,7 µm partikelstørrelse) blev brugt til at adskille enhver PFAS-forurening fra eluenterne eller LC-systemet. Injektionsvolumen var 5 µL, kolonneovnsens temperatur 50 °C, autosamplersens temperatur 10 °C. Eluenterne var A) 2 mM ammoniumacetat i Milli-Q vand (90:10), justeret med 25% ammoniakopløsning til pH 8,5, og B) methanol. Eluentflow startede ved 0,15 mL/min; Eluentprogram: 0 – 0,5 min. 10% B; 5,5 min. 60% B, 12 min. 95% B ved 0,2 mL/min; 16 min. 95% B ved 0,2 mL/min, 16,1 min. 10% B ved 0,15 mL/min indtil 23 min. MS/MS-detektionen blev udført i MRM-mode, hvor to overgange blev bestemt for hver forbindelse. Kvantificeringen blev udført ud fra en 6-

punkts kalibreringskurve af standarder i forhold til mærkede interne standarder (vægtet 1/x, tvunget igennem nul). Kvantificeringsgrænser (LOQ) for hver forbindelse er vist i Tabel 5.

2.3 Total fluor (TF) og ekstraherbart organisk fluor (EOF) (DTU og Graz Universitet)

Total fluor (TF) og ekstraherbart organisk fluor (EOF) blev analyseret i frysetørrede frugtprøver af Graz Universitet. Prøveforberedelsen blev udført på DTU, hvor homogeniserede prøver blev overført til petriskåle, vejret og frosset ned natten over ved -20 °C. De frosne prøver blev derefter frysetørret i 5 dage. Herefter blev prøverne formalet.

TF-analyse blev udført på individuelle prøver ved hjælp af en Thermo-Mitsubishi Analytech forbrændingsionkromatograf (CIC). Til dette formål blev 2.0 g frysetørret homogeniseret prøve sendt til Uni Graz. På Uni Graz blev cirka 30 mg af den rene faste prøve placeret i forvarmede keramiske prøvebåde. Prøverne blev derefter sat i en forbrændingsovn (HF-210, Mitsubishi Analytech) og opvarmet til 1100 °C ved brug af en gasstrøm af argon (200 mL/min), argon med vand (100 mL/min) og oxygen (400 mL/min). Alle forbrændingsgasser blev opsamlet i ultrapure vand (GA-210, Mitsubishi Analytech), og absorptionsopløsningen (ultrapure vand) blev justeret til et slutvolumen på 10 mL. En 100 µL prøve blev injiceret på en Dionex IonPac AS19-søjle (2 × 250 mm) udstyret med en beskyttelsessøjle (Dionex IonPac AG19 (2 × 50 mm)) (Schultes et al., 2018; Schroeder et al., 2024). Kromatografisk separation blev opnået ved hjælp af gradientelution med kaliumhydroxid (4 – 50 mM/L).

Ekstraherbart organisk fluorid (EOF) blev målt i poolede prøver, der repræsenterer hver frugttype: jordbær, æble, pære, drue og banan. De poolede prøver blev forberedt ved at kombinere frysetørret pulver i en repræsentativ prøve (f.eks. 0,2 g af hver bananprøve blev vejret ind i et Falcon-rør til en slutvægt på 2.0 g). Derefter blev QuEChERS-ekstraktionsproceduren beskrevet i kapitel 2.2 for ekstraktion af mål-PFAS anvendt med mindre modifikationer. Da masse-mærkede interne standarder er PFAS-molekyler, blev ekstrakterne forberedt uden deres tilsætning. Efter afdampningen af opløsningsmidlet, blev ekstraktet efterladt i ren methanol. De resterende trin fulgte den oprindelige protokol. Ekstrakterne blev sendt til Uni Graz, hvor 200 µL af ekstrakterne blev pipetteret i opvarmede keramiske prøvebåde indeholdende kvartsvat og analyseret på en Thermo-Mitsubishi Analytech forbrændingsionkromatograf (CIC) under de samme betingelser, der blev brugt til TF-analyse.

Til kvantificering blev der udarbejdet en kalibreringskurve fra 0,1 til 10 mg F/L i ultrapure vand (Milli-Pore, 18 MΩ cm) ved hjælp af en fluoridstandard (ROTI Star, 1000 mg/L F⁻ i vand). 200 µL blev injiceret i en forvarmet keramisk prøvebåd indeholdende glasuld for bedre dispersion af væskerne. Ultrapure vand blev brugt som kalibreringsblank, og tomme keramiske både blev brugt som metodeblank. Kalibreringsstandarderne og de blanke kontrolprøver blev udsat for det samme forbrændings- og ionkromatografiske program som prøverne. Den laveste synlige standard (0,1 mg/L) blev fastsat som instrumentets grænse for påvisning (LOD). Metode LOD'er (MLD) blev beregnet ud fra instrumentets LOD og den højeste prøvevægt. For TF-analyse blev MLD fundet til at være 240 ng F/g, mens det for EOF blev fundet til at være 10 ng F/g.

3. Resultater og diskussion

3.1 Target analyser af PFAS

De samlede resultater for målrettede PFAS analyser er opsummeret i Tabel 5. Primært blev kortkædede perfluorcarboxylsyrer (PFCA) påvist (LOD<resultat<LOQ) i visse af de analyserede frugtprøver. Dog blev kvantificerbare mængder af PFAS kun fundet i to frugtprøver—druer og jordbær—ud af de 60, der blev testet. Specifikt blev PFBA bestemt i druematerialet (Vindruer, grønne, Sweet Globe, fra Sydafrika) med en koncentration på 0,259 ng/g, mens PFPeA (0,061 ng/g) og PFHxA (0,028 ng/g) blev bestemt i jordbærprøven (Denmark).

Disse fund tyder på, at niveauerne af målrettet PFAS-forurening i frugter, der er tilgængelige på det danske marked, er meget lave. Resultaterne står i kontrast til de europæiske resultater der er opgjort af EFSA (2020, Annex A). I EFSA's målinger er gennemsnitsindholdet i kategorien "frugt og frugtprodukter" henholdsvis: PFHxS 0,022 ng/g, PFNA 0,011 ng/g, PFOA 0,009 ng/g, PFOS 0,027 ng/g og PFOA-PFOS-PFHxS-PFNA (4PFAS) 0,069 ng/g (lower bound). Hyppigheden af fund af PFAS er ligeledes langt højere hos EFSA: PFHxS 16 %, PFNA 27 %, PFOA 38 % og PFOS 23 %. EFSA gennemsnitsindhold (lower bound) kan, med forbehold (beskrevet senere i afsnittet), sammenlignes med dette studies resultater som opført i tabel 6. I modsætning til EFSA blev der i dette studie ikke fundet 4PFAS, hvilket betyder, at dette studie ikke peger på frugt som en kilde til forbrugernes eksponering for disse stoffer. Hvis vi ser på gennemsnitsindholdet af alle PFAS der indgik i denne analyse (sum af PFAS i tabel 6), så ligger indholdet stadig langt under, hvad EFSA finder for 4PFAS. I tabel 7 er der beregnet et øvre grænseestimat for 4PFAS på 0,04 ng/g, og selv dette indhold ligger under EFSA's lower bound estimat. De 0,04 ng/g bør dog sammenlignes med EFSA's upper bound estimat for 4PFAS i frugt og frugtprodukter på 0,84 ng/g.

Hvis resultaterne fra den her udførte undersøgelse er retvisende for danske forbrugeres PFAS eksponering, så tyder det på, at frugt er en langt mindre kilde til PFAS-eksponeringen fra fødevarer, end EFSA's data indikerer. Der skal dog tages de forbehold, at dels kan der være forskelle i PFAS-kontamineringen af frugter i de forskellige EU-lande, som den danske undersøgelse ikke afdækker, og dels er 60 målinger et ret begrænset antal i forhold til at dække en så varieret produktkategori. EFSA's data dækker flere typer frugt end denne undersøgelse. EFSA beskriver, at der i deres data er fund af PFOS og/eller PFOA i æbler, pære, jordbær og vindruer som denne undersøgelse ser på, men også fersken som denne undersøgelse ikke inkluderer.

Selv om denne undersøgelse peger på en lav eksponering af de her analyserede PFAS, så kan et enkelt kontamineret parti frugt godt være kontamineret med PFAS, så det vurderes til at medføre en sundhedsmæssig risiko for forbrugerne eller bidrage uforholdsmæssigt meget til forbrugernes indtag af PFAS, der allerede ligger på et niveau der giver anledning til en vurderet sundhedsmæssig risiko. Dette studie viser fund af de relativt kortkædede forbindelser; PFBA, PFPeA og PFHxA. Der er således et behov for, at DTU fødevarerinstitutionen afklarer det risiko-vurderingsmæssige grundlag for disse PFAS forbindelser.

Forhåbentligt kan denne undersøgelses resultater anspore til udførelsen af flere analyser både i Danmark og i udlandet, så EFSA i sidste ende kan få tilført de data, der gør det muligt at beregne et mere pålideligt estimat for PFAS-indholdet i frugt. En væsentlig begrænsning af resultaterne fra denne undersøgelse er, at den kun dækker fem typer frugt. Data fra DTU's kost-database viser at frugttyper der bidrager væsentligt til danskerne samlede indtag af frugt (> 10g/dag for gennemsnittet) ud over de fem her udvalgte, inkluderer: Appelsin, mandarin, fersken, nektarin, netmelon, vandmelon, blomme, avocado, kiwi, ananas og mango. Så det ville

som minimum kræve yderligere 110 analyserede frugtprøver, før man med nogen rimelighed kunne hævde, at det danske marked for frugter var blevet screenet for indhold af PFAS.

Fremtidige studier kunne sigte mod at forbedre de analytiske metoder, der anvendes, for at opnå lavere rapporteringsgrænser, hvilket ville muliggøre kvantificering af PFAS indholdet i et bredere udvalg af frugtprøver. Det er vigtigt at bemærke, at PFBA udviste en relativt høj LOQ (0,2 ng/g) sammenlignet med de andre forbindelser, sandsynligvis på grund af potentielle kontamineringsproblemer. Selvom PFBA blev påvist i 31 af de testede prøver, gør baggrundsforurening det vanskeligt at afgøre, om de påviste niveauer stammer fra selve prøverne eller fra ekstern kontaminering. Som følge heraf blev værdier under LOQ udelukket.

TABEL 5. Resultater PFAS-kvantificering (ng/g) i fem frugtkategorier udført på FVST og DTU. n.d. - not detected,
<LOQ - under kvantificeringsgrænsen

	LOQ (ng/g)	Æble	Bananer	Jordbær	Pærer	Vindruer
PFBA	0.2	<LOQ (20)	<LOQ (5)	<LOQ (1)	<LOQ (5)	0.259 (1)
PFPeA	0.05	n.d.	n.d.	0.061 (1)	n.d.	n.d.
PFHxA	0.01	n.d.	n.d.	0.028 (1)	n.d.	n.d.
PFHpA	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFOA	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFNA	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFDeA	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFUnA	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFDaA	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFTTrDA	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFTeDA	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFHxDA	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFODA	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFBS	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFPeS	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFHxS	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFHpS	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFOS	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Br-PFOS	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFNS	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFDS	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFDoS	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
PFOSA	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GenX	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<LOQ (1)
DONA	0.01	n.d.	n.d.	<LOQ (5)	n.d.	n.d.
9Cl- PF3ONS	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
11Cl- PF3OUdS	0.01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4:2 FTS	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
6:2 FTS	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

	LOQ (ng/g)	Æble	Bananer	Jordbær	Pærer	Vindruer
8:2 FTS	0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
10:2 FTS	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
6:2 FTCA	0.1	<LOQ (3)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
8:2 FTCA	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
10:2 FTCA	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
6:2 FTUCA	0.01	<LOQ (2)	<LOQ (1)	<LOQ (1)	<LOQ (3)	n.d.
8:2 FTUCA	0.005	<LOQ (1)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
10:2 FTUCA	0.01	n.d.	n.d.	<LOQ (2)	<LOQ (2)	<LOQ (2)

TABEL 6. Nedre grænseestimat. De værdier, der præsenteres i tabellen, repræsenterer det gennemsnitlige indhold og summen af PFAS, beregnet på baggrund af de analytiske data vist i Tabel 5. For værdier, der ikke blev detekteret, blev der indsat nulle, og for værdier under LOQ blev halvdelen af LOQ anvendt som en tilnærmelse.

	LOQ (ng/g)	Æble	Bananer	Jordbær	Pærer	Vindruer
PFBA	0.2	-	-	-	-	0.0259
PFPeA	0.05	0	0	0.0061	0	0
PFHxA	0.01	0	0	0.0028	0	0
PFHpA	0.01	0	0	0	0	0
PFOA	0.01	0	0	0	0	0
PFNA	0.01	0	0	0	0	0
PFDeA	0.01	0	0	0	0	0
PFUnA	0.05	0	0	0	0	0
PFDoA	0.01	0	0	0	0	0
PFTTrDA	0.05	0	0	0	0	0
PFTeDA	0.05	0	0	0	0	0
PFHxDA	0.05	0	0	0	0	0
PFODA	0.05	0	0	0	0	0
PFBS	0.01	0	0	0	0	0
PFPeS	0.01	0	0	0	0	0
PFHxS	0.01	0	0	0	0	0
PFHpS	0.01	0	0	0	0	0
PFOS	0.01	0	0	0	0	0
Br-PFOS	0.01	0	0	0	0	0
PFNS	0.01	0	0	0	0	0
PFDS	0.05	0	0	0	0	0
PFDoS	0.05	0	0	0	0	0
PFOSA	0.01	0	0	0	0	0
GenX	0.05	0	0	0	0	0.0025
DONA	0.01	0	0	0.0025	0	0
9Cl- PF3ONS	0.01	0	0	0	0	0
11Cl-PF3OUdS	0.01	0	0	0	0	0
4:2 FTS	0.1	0	0	0	0	0
6:2 FTS	1	0	0	0	0	0
8:2 FTS	0.05	0	0	0	0	0
10:2 FTS	0.1	0	0	0	0	0

	LOQ (ng/g)	Æble	Bananer	Jordbær	Pærer	Vindruer
6:2 FTCA	0.1	0.0075	0	0	0	0
8:2 FTCA	0.1	0	0	0	0	0
10:2 FTCA	0.1	0	0	0	0	0
6:2 FTUCA	0.01	0.0005	0.0005	0.0005	0.0015	0
8:2 FTUCA	0.005	0.00013	0	0	0	0
10:2 FTUCA	0.01	0	0	0.001	0.001	0.001
Sum of PFAS	-	0.008	0.001	0.013	0.003	0.004
Sum of 4PFAS	-	0	0	0	0	0

TABEL 7. Øvre grænseestimat. De værdier, der præsenteres i tabellen, repræsenterer det gennemsnitlige indhold og summen af PFAS, beregnet på baggrund af de analytiske data vist i Tabel 5. For værdier, der ikke blev detekteret, og dem under LOQ, blev LOQ anvendt som erstatning. For et toksisk kemikalie giver denne tilgang det mest konservative (pessimistiske) estimat af eksponering, hvilket betyder, at det faktiske eksponeringsniveau altid vil være lavere end det øvre grænseestimat.

	LOQ (ng/g)	Æble	Bananer	Jordbær	Pærer	Vindruer
PFBA	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2059
PFPeA	0.05	0.05	0.05	0.106	0.05	0.05
PFHxA	0.01	0.01	0.01	0.0118	0.01	0.01
PFHpA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFOA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFNA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFDeA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFUnA	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
PFDaA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFTTrDA	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
PFTeDA	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
PFHxDA	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
PFODA	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
PFBS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFPeS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFHxS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFHpS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFOS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Br-PFOS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFNS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PFDS	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
PFDoS	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
PFOSA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
GenX	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
DONA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
9Cl- PF3ONS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
11Cl-PF3OUdS	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4:2 FTS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6:2 FTS	1	1	1	1	1	1
8:2 FTS	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

10:2 FTS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6:2 FTCA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8:2 FTCA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10:2 FTCA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6:2 FTUCA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
8:2 FTUCA	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10:2 FTUCA	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Sum of PFAS	-	2.195	2.195	2.253	2.195	2.195
Sum of 4PFAS	-	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

3.2 Total fluor (TF) og ekstraherbart organisk fluor (EOF)

Resultater opnået ved TF-bestemmelse præsenteres i Tabel 8. Blandt de 60 analyserede prøver udviste kun 12 prøver (4 æbler, 6 vindruer og 2 bananer) TF-værdier over detektionsgrænsen. Koncentrationerne varierede fra 817 ng F/g (vindruer) til 2950 ng F/g (æble). Median TF-koncentrationen for vindruer var 736 ng F/g, mens mediankoncentrationerne for andre frugter lå under detektionsgrænsen. De maksimale TF-koncentrationer blev observeret i bananer (4430 ng F/g), æbler (2950 ng F/g) og vindruer (2150 ng F/g).

TABEL 8. Resultater for TF-kvantificering (ng F/g) i 60 analyserede prøver, der repræsenterer fem frugttyper.
LOD = 240 ng F/g.

	Æble (n=20)	Bananer (n=10)	Jordbær (n=10)	Pærer (n=10)	Vindruer (n=10)
TF	<LOD(16) 1000; 1780; 2870; 2950;	<LOD(8) 1890; 4430	<LOD(10)	<LOD(10)	<LOD(5) 817; 1140; 1220; 1320; 2150
median	<LOD	<LOD	-	-	<LOD
maks	2950	4430	-	-	2150

TF-måling repræsenterer summen af uorganisk fluorid (IF) og total organisk fluorid (TOF) i prøven. Det høje TF-indhold, der blev observeret i druer, æbler og bananer, kan indikere en betydelig andel fra uorganisk fluorid, muligvis med oprindelse i jorden. Da der dog ikke foreligger specifik information om jordtyperne, hvor disse frugter blev dyrket, forbliver kilden uklar. Denne type analyse giver ikke strukturel information og kan heller ikke skelne mellem uorganisk og organisk bundet fluor. Yderligere undersøgelser, såsom analyser ved hjælp af ICP-MS/MS eller ionselektive elektroder til fluoridanalyse, er nødvendige for præcist at bestemme naturen af og kilden til fluorid. Derudover kan TF-indholdet afspejle tilstedeværelsen af potentielt ikke-ekstraherbare organofluorforbindelser, såsom partikler deponeret fra atmosfæriske kilder.

For at undersøge tilstedeværelsen af organiske fluor forbindelser i prøverne blev EOF-analyse udført på fem samleprøver, hvor hver repræsenterede en specifik frugttype. Disse samleprøver blev forberedt ved at kombinere individuelle prøver inden for hver frugttype, og resultaterne er præsenteret i Tabel 9. Ud af de 5 sammensatte ekstrakter viste 3 EOF-niveauer over detektionsgrænsen (LOD). Disse var jordbær (40 ng F/g), æble (18 ng F/g) og pære (69 ng F/g). Efter forfatternes bedste viden er dette de første resultater for EOF-indhold i frugter, og derfor har vi ikke været i stand til at sammenligne dem med andre.

TABEL 9. Resultater for EOF-kvantificering (ng/g) i poolede prøver, der repræsenterer fem frugttyper. LOD = 10 ng F/g

	Æble	Bananer	Jordbær	Pærer	Vindruer
EOF	18	<LOD	40	69	<LOD

I EOF-analysen ekstraheres prøven først, og ekstraktet forbrændes ved høje temperaturer for at måle den frigivne fluor. Da ekstraktionsprotokollen, der blev anvendt, er identisk med den, der anvendes til målrettet PFAS-analyse, kan resultaterne fra begge målinger sammenlignes direkte. Dette gør det muligt at få en indikation af, om prøven indeholder ikke-identificerede PFAS. Det er dog vigtigt at understrege, at EOF-målingen også indfanger andre organofluorforbindelser, som ikke er klassificeret som PFAS, og som kan bidrage til den samlede fluor, der detekteres. De mængder af EOF, der blev detekteret i jordbær-, æble- og pæreprøverne, er højere end summen af target PFAS. Kun æbleprøver havde både EOF- og TF-koncentrationer over LOD. Dette kan indikere tilstedeværelsen af andre organofluorforbindelser, potentielt herunder fluorholdige pesticider og andre PFAS der ikke analyseres for i target analyser. For at identificere disse forbindelser vil yderligere studier, herunder "suspect" og "nontarget screening", være nyttige. Disse tilgange kan hjælpe med at identificere ukendte organofluorforbindelser og give en klarere forståelse af kilderne og typerne af fluor, der er til stede i prøverne.

I de øvrige prøvegrupper viste druer og bananer EOF-koncentrationer < LOD. De detekterede mængder af EOF stemmer overens med de meget lave niveauer af identificerede PFAS, der blev fundet i banan- og drueprøver. Kvantificeringsgrænsen for EOF-analyse (op til 40 ng F/g) er utilstrækkelig til at detektere PFAS ved lave eller sub-parts-per-billion (ng/g eller pg/g) koncentrationer.

4. Konklusioner

I denne undersøgelse blev der kun fundet kvantificerbare mængder af 37 target PFAS i to prøver ud af de 60 prøver., her i blandt PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA der slet ikke blev fundet, og som EFSA's TWI er fastsat for. De stoffer der blev fundet i kvantificerbare mængder, var de relativt kortkædede forbindelser PFPeA og PFHxA i jordbær og PFBA i vindruer. Resultatet står i modsætning til EFSA's seneste estimat fra 2020, hvor indholdet af PFOA, PFOS, PFHxS og PFNA i frugt og frugtprodukter, udgjorde en betydelig kilde til forbrugerens samlede eksponering for disse PFAS. Det her udførte studie er dog begrænset af sin størrelse, så yderligere undersøgelser er nødvendige for at kunne fremkomme med et velfunderet estimat for danskernes indtag af PFAS fra frugt. Studiet er dog et vigtigt første skridt i at kortlægge PFAS fra frugt og giver håb om, at frugt ikke er en væsentlig kilde til danske forbrugeres eksponering for de 37 undersøgte PFAS. Resultaterne vil også indgå, når EFSA fremadrettet opdaterer deres eksponeringsestimater.

Resultaterne fra analysen af ekstraherbart organisk fluor i æbler, jordbær og pære i de undersøgte frugter giver dog anledning til en mistanke om, at der kan være andre ikke identificerede organiske fluor forbindelser i frugterne. I så fald vil det være værdifuldt, hvis disse stoffer kunne identificeres, hvilket er nødvendigt, hvis der skal kunne foretages en risikovurdering.

5. Referencer

- Munoz, G., Liu, M., Vo Duy, S., Liu, J., & Sauvé, S. (2023). Target and nontarget screening of PFAS in drinking water for a large-scale survey of urban and rural communities in Québec, Canada. *Water Research*, 233(November 2022). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119750>
- Schröder, T., Müller, V., Preihs, M., Borovička, J., Gonzalez de Vega, R., Kindness, A., Feldmann, J. (2024). Fluorine mass balance analysis in wild boar organs from the Bohemian Forest National Park, *Science of The Total Environment*, 922, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171187>
- Schultes, L., Peaslee, G. F., Brockman, J. D., Majumdar, A., McGuinness, S. R., Wilkinson, J. T., Sandblom, O., Ngwenyama, R. A., & Benskin, J. P. (2019). Total Fluorine Measurements in Food Packaging: How Do Current Methods Perform? *Environmental Science and Technology Letters*, 6(2), 73–78. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.8b00700>
- Schrenk, D., Bignami, M., Bodin, L., Chipman, J. K., del Mazo, J., Grasl-Kraupp, B., Hogstrand, C., Hoo-genboom, L., Leblanc, J. C., Nebbia, C. S., Nielsen, E., Ntzani, E., Petersen, A., Sand, S., Vleminckx, C., Wallace, H., Barregård, L., Ceccatelli, S., Cravedi, J. P., ... Schwerdtle, T. (2020). Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal*, 18(9). [Link to EFSA](#)

PFAS i frugt

Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) har fået stigende opmærksomhed på grund af deres skadelige sundhedseffekter og udbredte tilstedeværelse i miljøet. Ifølge EFSA er kosten den primære kilde til PFAS-eksponering for størstedelen af den europæiske befolkning. EFSA's database antyder, at en væsentlig del af denne eksponering muligvis stammer fra frugt og frugtprodukter. Denne vurdering er dog baseret på et relativt begrænset antal analyser.

Formålet med dette projekt er at indsamle mere omfattende og specifikke data om forekomsten af PFAS i almindeligt spist frugt i Danmark, som kan bruges til en mere pålidelig vurdering af frugts bidrag til danskernes samlede PFAS-eksponering. I alt blev 60 frugtprøver indsamlet, herunder 20 æbler, 10 pærer, 10 bananer, 10 druer og 10 jordbær. Prøverne blev analyseret for både legacy PFAS-forbindelser, legacy PFAS-substitutter, fluorotelomerforbindelser, totalfluor og ekstraherbart organisk fluor.

I denne undersøgelse blev der kun fundet kvantificerbare mængder af 37 target PFAS i to prøver ud af de 60 prøver. De kvantificerede PFAS var relativt kortkædede forbindelser, nemlig PFPeA og PFHxA i jordbær og PFBA i druer. Resultatet står i kontrast til EFSA's seneste vurdering fra 2020, hvor indholdet af PFOA, PFOS, PFHxS og PFNA i frugt og frugtprodukter udgjorde en væsentlig kilde til forbrugernes samlede eksponering for disse PFAS.

Resultaterne fra analysen af ekstraherbart organisk fluor i æbler, jordbær og pærer i de undersøgte frugter giver dog anledning til mistanke om, at der kan være andre uidentificerede organiske fluorforbindelser i frugterne.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk