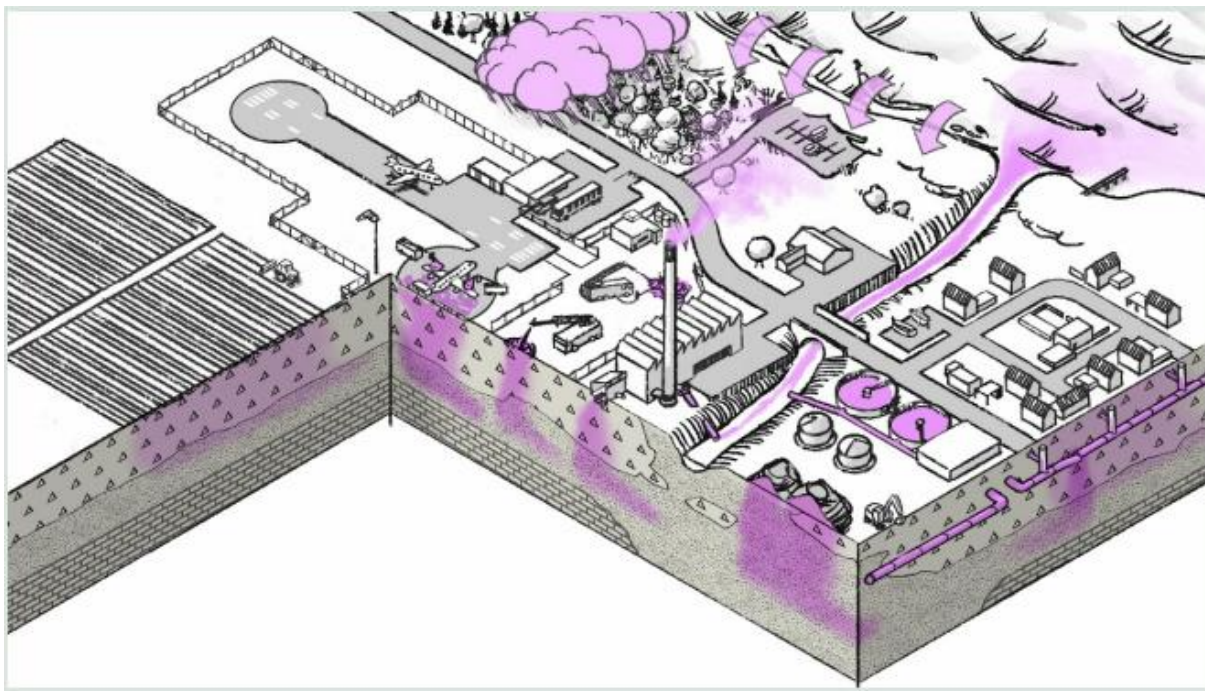


PROJEKT OM PFAS I NYE OG EKSISTERENDE BYGGEMATERIALER VED RENOVERING

KONSEKVENSANALYSE FOR BRUG AF PFAS I BYGGERIET

Dato: 2025-09-01



PFAS i nye og eksisterende byggematerialer ved renovering

Konsekvensanalyse for brug af PFAS i byggeriet

Projektteamet

Projektteamet består af eksperter fra Teknologisk Institut, WSP Danmark A/S, Henning Larsen Architects, Søren Jensen Rådgivende Ingeniørfirma A/S og Rådet for Grøn Omstilling



Finansieret af

Projektet "PFAS i nye og eksisterende byggematerialer ved renovering" er et projekt, som er finansieret af Grundejernes Investeringsfond og Realdania.

Projektnavn: Konsekvensanalyse for brug af PFAS i byggeriet

WSP projektnr.: 22005639

Udarbejdet af: Katrine Hauge Smith, WSP
Rikke Juel Lyng, Teknologisk Institut
Anke Oberencer, Teknologisk Institut

Kvalitetssikret af: Julie Katrine Jensen, WSP

Forsidebillede stammer fra denne publikation:

Morsing, L., Tsitonaki, K., Dyreborg, S., Mosthaf, K., Fjordbøge, A.K., Hjort, R., Badsberg Jensen, B., Baun, A. Bjerg, P.L. (2025). Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde. Miljøprojekt nr. 2286, 2025.
Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde

INDHOLD

1	INDLEDNING	5
2	INTRODUKTION TIL PFAS	6
2.1	DE PLANETÆRE GRÆNSER.....	7
3	EMISSIONER FRA BYGGERIET	9
4	KONSEKVENSER VED BRUG AF PFAS I BYGGEMATERIALER I ET LIVSCYKLUSPERSPEKTIV	10
4.1	PRODUKTION AF PFAS.....	12
4.2	ANVENDELSE AF PFAS I PRODUKTION AF BYGGEMATERIALER.....	13
4.2.1	Jord- og vandmiljø:.....	13
4.2.2	Luft	14
4.2.3	Arbejdsmiljø	14
4.3	ANVENDELSE AF BYGGEMATERIALER MED PFAS PÅ BYGGEPLADSEN - BYGGEFASEN	14
4.4	ANVENDELSE AF BYGGEMATERIALER MED PFAS I ET BYGGERI - DRIFTFASEN	15
4.4.1	Støv	15
4.4.2	Indeklima.....	15
4.4.3	Frigivelse til eksternt miljø	16
4.5	NEDRIVNING OG RENOVERING	17
4.6	AFFALDSBEHANDLING.....	18
4.6.1	Genbrug og Genanvendelse.....	18
4.6.2	Nyttiggørelse	18
4.6.3	Forbrænding.....	18
4.6.4	Deponering.....	20
4.6.5	Oplag af affald	20
4.6.6	Spildevand.....	21
5	DISKUSSION OG VURDERING	22
6	REFERENCER.....	23

1 INDLEDNING

Formålet med denne rapport er at beskrive og frembringe viden om konsekvenserne ved brug af PFAS i byggeriet. Der er derfor udført en konsekvensanalyse i forhold til påvirkninger på miljø og sundhed, der følger af brugen af PFAS i byggematerialer. Der er i analysen taget udgangspunkt i hele byggematerialets livscyklus, som beskrives i forskellige faser. Litteratur omkring undersøgelser for PFAS i de forskellige faser er frembragt og beskrevet ift. at vurdere konsekvenserne af brugen.

Rapporten er udarbejdet af WSP Danmark A/S og Teknologisk Institut, som en del af projektet "PFAS i nye og eksisterende byggematerialer ved renovering". Projektet gennemføres af et team af eksperter fra Teknologisk Institut, WSP Danmark A/S, Henning Larsen Architects, Søren Jensen Rådgivende Ingeniørfirma A/S og Rådet for Grøn Omstilling. Formålet med projektet er at belyse, hvor stort et problem PFAS udgør i byggematerialer til renovering. Viden fra projektet skal videreformidles til byggeriets aktører samt på et strategisk niveau til beslutningstagere, så der kan sikres et PFAS-frit byggeri. Projektet er finansieret af Grundejernes Investeringsfond og Realdania.

2 INTRODUKTION TIL PFAS

PFAS er en gruppe på op imod 12.000 menneskeskabte kemiske forbindelser, der er ekstremt persistente i miljøet og kan være skadelige for mennesker og miljø. De har været anvendt bredt i byggematerialer pga. deres vand-, fedt- og smudsafvisende egenskaber.

PFAS kan inddeles i 4 overordnede stofgrupper. Grænsefladen mellem stofgrupperne er ikke skarp og forskellige publikationer arbejder med forskellige måder at gruppere stofferne på. Inddelingen, der anvendes i denne rapport, tager udgangspunkt i blandt andet inddeling i ITRC, 2021 og Baun et al., 2023, men er yderligere forenklet.

1. Perfluoralkylsyre. Alle brintatomer på kulstofkæden er erstattet med fluoratomer. Består af undergrupper som fx. PFSA (perfluoralkyl sulfonsyre) og PFCA (perfluorcarboxylsyre). PFOS og PFHxS tilhører PFSA og PFOA tilhører PFCA.
2. Polyfluoralkylsyre. Har både fluor og brint bundet til kulstofkæden og kan omdannes til PFAA, hvilket kaldes precursorer. Består af undergrupper som fx telomere (fx 6:2 FTS).
3. Fluorerede polymerer. Fluorpolymerer, hvor hele kulstofkæden er fluoreret. Fluorerede sidekæde polymerer. Vigtige forbindelser er PTFE, PVDF, PFPEs
4. F - gasser

Ad 1: Perfluoralkylsyre (PFAA)

De stoffer som er mest fundet i miljøet tilhører perfluoralkylsyre. Stoffer som PFOS, PFOA og PFHxS er stoffer, der har vakt så stor bekymring i forhold deres persistens og giftighed, at de er optaget på Stockholm konventionen og i POP-forordningen. Hovedparten af de 22 PFAS stoffer, der indgår i fx jord og grundvandskvalitetskriterierne – og som man typisk analyserer for - tilhører denne stofgruppe. Perfluoralkylsyrene er også kendetegnet ved til en vis grad at være mobile i vandmiljøet - jo længere kulstofkæden er, jo mindre mobilt er stoffet.

Ad 2: Polyfluoralkylsyre

Polyfluorstoffer er ikke fuldt fluorerede og i miljøet kan de omdannes til perfluoralkylsyre – derfor kaldes de også precursorer. Precursorne 6:2 dipap og 8:2 dipap er fundet i maling i bygninger og med høje koncentrationer i en undersøgelse udført for Miljøstyrelsen (Thomsen et al., 2024). Stofferne i FTOH-gruppen (Fluortelomer alkoholer) kalder desuden på opmærksomhed, da de tilsyneladende er anvendt i maling og er flygtige. Der er ikke prøvetaget for FTOH i maling i Miljøstyrelsens undersøgelse (Thomsen et al., 2024).

Ad 3: Fluorerede polymerer

En stor del af anvendelse af PFAS i byggeriet er i form af fluorerede polymerer, dvs. fluoreret plast og gummi (elastomerer). I denne stofgruppe skelner man blandt andet mellem fluorpolymerer, hvor hele kulstofkæden er fluoreret og som anses for at være stabile og fluorerede sidekæde polymerer ('fluorinated sidechain polymers'), som er bygget på almindelige hydrocarbonkæder, hvorpå der er vedhæftet fluorerede sidekæder. Disse fluorerede sidekæder kan 'falde af/blive slidt af' og derved kan Perfluoralkylsyre (PFAA) blive frigivet (Baun et al., 2023), (Lohman et al., 2020).

Fluorpolymerer er fx:

- Polytetrafluorethylen (PTFE) også kendt som Teflon®
- Polyvinyliden fluorid (PVDF),
- Polyvinyl fluorid (PVF),
- Tetrafluorethylen (TFE)
- Hexafluorpropylen (HFP)

Der har været en del diskussion om fluorpolymerers skadelighed, da de meget forskellige fra andre PFAS, idet de er stabile, de bioakkumulerer ikke og har andre toksiske egenskaber. Der har dog været en række udslip af per- og polyfluoralkylsyre under produktionen af fluorpolymerer, og det er ukendt hvad der sker med fluorpolymererne i affaldsbehandlingen. Dette gennemgås yderligere senere i analysen.

Ad.4: F-gasser anvendes i varme- og kølesystemer, som fx varmepumper, køleskabe og airconditions.

Emissioner af F-gasser er ansvarlige for over halvdelen af PFAS-emissioner. Dette skyldes udslip af gasserne under transport, installation og vedligehold. F-gasser omdannes til trifluoreddikesyre (TFA), som er en ultrakortkædet, persistent og giftig PFAS, som er meget mobil i miljøet. TFA findes overalt i miljøet, men er ikke inkluderet i jord-, grundvands- og drikkevandskriterierne (Chemsec, webpage).

2.1 De planetære grænser

PFAS udgør en risiko for mennesker og miljø. Dette betyder, at nogle af stofferne er underlagt forbud og begrænsninger, og at der er fastlagt grænseværdier for forekomst i miljøet for nogle af stofferne. En måde at betragte denne risiko på er også ved at beskrive forekomster af PFAS i miljøet ud fra de planetære grænser.

De planetære grænser er et koncept, der beskriver ni grænser, der regulerer jordens stabilitet og modstanddygtighed. Disse grænser blev først foreslået i 2009 af Johan Rockström og 28 forskere (Stockholm Resilience Center, webpage). De planetære grænser er sikre grænser for menneskeligt pres på ni kritiske processer, som opretholder en stabil jord. I 2023 blev det vist, at seks af de ni grænser er blevet overskredet, hvilket øger risikoen for store, irreversible miljøændringer. Grænserne er indbyrdes afhængige, så overskridelse af en grænse kan påvirke andre. Den planetære grænse "Nye stoffer" (på engelsk "Novel Intities") omfatter blandt andet syntetiske kemikalier og organisk forurenende stoffer, som fx PFAS. Denne grænse blev i 2023 kvantificeret og fundet overskredet (Stockholm Resilience Center, webpage).

I Cousins et al. (2022) konkluderes det, at den globale spredning af 4 PFAS-forbindelser (PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS) i atmosfæren har ført til at den planetære grænse for kemisk forurening er overskredet, og at det derfor er vigtigt, at brugen og udledningen af PFAS hurtigt begrænses. Konklusionen er opnået på baggrund af en sammenligning af niveauerne af fire udvalgte perfluoralkylsyre (PFAAs) i forskellige globale miljømedier (dvs. regnvand, jord og overfladevand) med nyligt foreslåede grænseværdier i forskellige lande, herunder drikkevandskvalitetskriteriet i Danmark.

I Arp et al. (2024) beskrives at TFA, som er en ultrakortkædet PFAS og som blandt andet stammer fra omdannelse af F-gasser, er vidt udbredt i miljøet i størrelsesordener højere end andre per- og polyfluoralkylstoffer. TFA er fundet i regn, jord, mennesker, planter, plantebaseret mad og drikkevand. TFA er både persistent og meget mobilt i miljøet. Da TFA er persistent og da det tilføres miljøet via emissioner fra mange forskellige kilder, vil koncentrationerne øges over tid. Denne tendens er irreversibel, da TFA er persistent.

Arp et al. (2024) arbejder med at beskrive overskridelsen af de planetære grænser ud fra en vurdering af 3 tilstande:

- Tilstand 1 (C1) – forureningen har en forstyrrende effekt på en vital proces for Jorden, som vi er uvidende om.
- Tilstand 2 (C2) – den forstyrrende effekt opdages først, når de tilknyttede påvirkninger er, eller vil blive, manifesteret på global skala.
- Tilstand 3 (C3) – påvirkningerne er dårligt reversible, fordi niveauet af forurening i det globale miljø ikke kan reduceres let.

Forfatterne argumenter for, at TFA opfylder de tre tilstande, da en række grænseværdier kan være overskredet, dog uden at vi har den fulde viden om omfanget. Derudover er TFA tilstede i en række medier i miljøet, fx planter, grundvand og iskerner, ligesom stoffet er persistent og mobilt og udledes fra adskillige forskellige kilder. Dette tyder på, at TFA også opfylder kriterierne for, at den planetære grænse er overskredet.

3 EMISSIONER FRA BYGGERIET

Lassen et al. (2024) har gennemgået brug og emissioner fra byggematerialer i deres massestrømsanalyse for PFAS i Danmark. Der er i analysen ikke fundet oplysninger om produktion af specifikke byggematerialer med PFAS i den nuværende produktion i Danmark, men der er viden om at metal coating med PFAS foregår i Danmark.

Lassen et al. (2024) har anvendt oplysninger fra restriktionsforslaget (ECHA, 2023) omkring anvendelse af PFAS i byggematerialer, og estimerer forbruget i Danmark til at være 90 ton pr år for fluorpolymerer og 22 tons pr år for per- og polyfluor-alkylsyre. Der regnes med en 5 % stigning i forbruget af fluorpolymerer fra 2020 til 2030.

Lassen et al. (2024) har beregnet output fra byggematerialer til det danske samfund på baggrund af restriktionsforslagets opgørelser. Der er en høj grad af usikkerhed på tallene. De opgjorte tal fra Lassen et al. (2024) ses i nedenstående tabel.

Tabel 3.1 Estimerede PFAS flows til det danske samfund fra bygge- og anlægsmaterialer i 2021. Outputs er opgjort i tons pr år. Data stammer fra Lassen et al. (2024).

Gruppe af PFAS	Luft	Jord	Overfladevand	Spildevand	Affalds-behandling	Total output
Fluorpolymerer	7	0	0	7	60	74
TFA relaterede PFAS	0	0	0	0	0	0
Per- og polyfluoralkylsyre	1	0	0	1	20	22
Total PFASs	8	0	0	8	80	96

For henholdsvis fluorpolymerer og per- og polyfluoralkylsyre udgør bidraget fra byggematerialer henholdsvis 5 % og 7 % af det estimerede samlede input til samfundet. En del af bidraget fra byggematerialer kan dog være gemt i andre produktkategorier, som fx tekstiler og metalprodukter (Lassen et al., 2024 – tabel 72).

Arcadis (2021) har beregnet hvor stor masse, der frigives til miljøet, fra forskellige produktgrupper og har rangeret deres relevans i forhold til hinanden. Her angives fluorelastomerer (fx gummiringe) til at være moderat relevant med udslip på mellem 10-100 kg/år, mens fluorpolymer produkter blev angivet til lav relevans med udslip under 10 kg/år (beregningen var ikke baseret på fluorpolymeren selv, men på tilstedeværelsen af andre PFAS'er, der kan frigives). Der er ikke beregnet en masse for gulvbeskyttelse og maling, men analyseresultater i undersøgelsen viste et højt indhold af PFAS i disse produktgrupper.

4 KONSEKVENSER VED BRUG AF PFAS I BYGGEMATERIALER I ET LIVSCYKLUSPERSPEKTIV

I nedenstående tabel er et byggematerialers livscyklus gennemgået med fokus på de emissioner af PFAS, der kan være. Hver fase i livscyklus er desuden gennemgået i et afsnit for sig efter tabellen.

Tabel 4.1 Overordnet vurdering af konsekvenser og risiko ved brug af PFAS i et byggematerialers livscyklus.

Kildehenvisninger findes i teksten, der kommer efter tabellen.

Fase i byggematerialers livscyklus	Problemstilling	Overordnet vurdering af konsekvenser og risiko
Produktion af PFAS	Produktion af PFAS kan lede til frigivelse af PFAS til det omkring liggende miljø enten via udledning til luft eller via jord- og vandmiljøet. Befolkninger i områder med PFAS forurening kan eksponeres for PFAS via indtag af forurenede afgrøder eller forurenede vand. Arbejdere i industrien kan eksponeres for PFAS.	Risiko for forurening af omgivelserne fra produktion af PFAS. Der har ikke været produktion af PFAS i Danmark. Eksempler fra andre lande viser historisk set omfattende forurening af omgivelserne, som følge af produktion af PFAS, herunder også produktion af fluorpolymerer. Regulering og mere kontrol har ført til nedsættelse af udslip, men der mangler stadig viden. Der er øget risiko for PFAS eksponering for personer, der arbejder med PFAS, herunder risiko for Teflon feber.
Anvendelse af PFAS i produktion af byggematerialer	Anvendelse af PFAS i fremstillingen af et byggemateriale kan føre til forurening af omgivelserne enten via udledning til luft, spildevand eller via jord- og vandmiljøet. Befolkninger i områder med PFAS forurening kan eksponeres for PFAS via indtag af forurenede fødevarer eller forurenede vand. Arbejdere i industrierne kan eksponeres for PFAS.	Risiko for forurening af omgivelserne fra fremstilling af materialer til byggeriet, der anvender PFAS i produktionen. <u>Jord og vandmiljø:</u> Tidligere anvendelse af PFAS er årsag til mange jord- og grundvandsforureninger i Danmark, hvilket håndteres af regionerne i Danmark. Nyere forurening håndteres via påbud af kommunerne eller Miljøstyrelsen. Brancher der undersøges for PFAS forurening med relevans for byggeriet er: Malingsindustrien, Jern og metalvareindustrien samt Forkromningsindustri, Gummi og plastindustrien, Træ og møbelindustri, Tekstil og læderindustri/Tæppeindustri, Elektronikindustri, Betonvarefabrikker. <u>Luft:</u> Omfanget af PFAS der udledes til luften gennem industrirøg er ukendt og bliver pt. undersøgt af Miljøstyrelsen.

		<u>Arbejdsmiljø:</u> Der er øget risiko for PFAS eksponering for personer, der arbejder med PFAS, herunder risiko for Teflon feber.
Anvendelse af byggematerialer med PFAS på byggepladsen - Byggefase	Anvendelse af PFAS i byggeprodukter kan i nogle tilfælde medføre en øget risiko for eksponering af arbejdere, fx påførsel af maling, brug af sprayprodukter eller ved støvdannelse. Bearbejdning af byggematerialer med PFAS på byggepladsen kan medføre støvdannelse med risiko for forurening af eksternt miljø.	Potentiel risiko for arbejdsmiljø og eksternt miljø, men begrænset viden. Særligt fokus på arbejdsmiljø og opvarmning, som følge af risiko for Teflon feber. Derudover særligt fokus på afdampning fra maling, brug af sprayprodukter og støvdannelse.
Anvendelse af byggematerialer med PFAS i et byggeri - Driftsfase	Når der er anvendt byggematerialer med PFAS indvendigt i et byggeri kan det medføre en risiko for indeklima i form af afdampning til indeluft eller afsætning i støv. Det er forventeligt svært at skelne mellem bidrag fra byggematerialer og interiør. Når der er anvendt byggematerialer med PFAS udvendigt i et byggeri kan det medføre en risiko for udvaskning fra byggematerialerne til det omkringliggende miljø. Enten direkte til jord og vandmiljø eller via spildevandssystemet. Det er forventeligt svært at skelne imellem bidrag fra byggematerialer og andre kilder, fx nedbør. PFAS kan desuden påføres i driftsfase af byggeriet, fx ved gulvpolish eller andre vedligehold.	Potentiel risiko for eksponering af brugere af byggeriet samt spredning til miljø, men begrænset viden. <u>Støv:</u> PFAS i støv er fundet i udenlandske studier, men det kan være svært at bestemme kilden til PFAS. <u>Indeklima:</u> PFAS er målt i indeluft i udenlandske studier. Et Udenlandsk studie viser fx, at maling kan være en kilde til PFAS i indeluft. <u>Frigivelse til eksternt miljø:</u> PFAS forbindelser kan potentielt udvaske fra facader, hvor især malede facader og hegn vurderes at kunne være en kilde. Forekomst af PFAS i maling er bekræftet, men det er ikke undersøgt om det fører til udvaskning. Forekomst af FTOHer i byggematerialer, der anvendes udendørs, indikerer en risiko for afdampning af PFAS stofferne til atmosfæren, hvorved de kan omdannes til andre stoffer.
Nedrivning og Renovering	Ved nedrivning og renovering skal bygningen miljøkortlægges og miljøsaneres med det formål at fjerne skadelige stoffer. Nedrivning af byggeri med PFAS kan potentielt medføre en øget risiko for eksponering af arbejdere med PFAS, fx ved støvdannelse. Bearbejdning af byggematerialer med PFAS på byggepladsen kan medføre støv dannelse med risiko for forurening af eksternt miljø. Nedtagning af varmepumper og andre kølesystemer medfører en risiko for frigivelse af fluorgasser, som kan omdannes til TFA, der findes i grundvandet.	Potentiel risiko for spredning via renovering og nedrivning, men begrænset viden. Praksis i forhold til andre miljøfremmede stoffer håndterer PFAS til en vis grad. PFAS vil sjældent optræde i koncentrationer som farligt affald. Der foretages ikke normalt undersøgelser for PFAS i miljøkortlægning, men praksis for håndtering af andre miljøskadelige stoffer vil i et vidst omfang også håndtere PFAS forurening. Der mangler dog fortsat viden om dette. Der er ikke fundet viden om påvirkning af arbejdsmiljø ved renovering eller nedrivning. Vigtigt med opmærksomhed på destruktion af f-gasser ved nedtagning af aircondition-systemer, varmepumper, køleskabe eller lignende, hvor f-gasser anvendes.

Affaldsbehandling	I affaldsbehandlingen kan byggematerialer med PFAS undergå forskellige behandlinger. Ved genbrug og genanvendelse bliver PFAS potentielt holdt i kredsløbet med risiko for genindbygning. Ved nyttiggørelse, dvs. nedknusning og udlægning på jord, er der muligvis risiko for spredning af PFAS til miljøet. Ved forbrænding og deponering er der muligvis risiko for spredning af PFAS til miljøet. Ved oplag af affaldsmaterialer med PFAS er der muligvis risiko for udvaskning og dermed spredning til miljøet. Ved overfladeafstrømning fra bygningsflader med PFAS og oplag af affaldsmaterialer er der muligvis risiko for at et bidrag af PFAS ender i spildevand.	Risiko for spredning til miljøet via affaldsstrømmen, men der mangler viden om især konsekvenser ved genbrug, genanvendelse og nyttiggørelse. <u>Genbrug og Genanvendelse:</u> Der er ikke fundet data eller informationer. <u>Nyttiggørelse:</u> Beton og tegl, der er overfladebehandlet med PFAS, kan frigive PFAS til miljøet, men der er ikke data om omfang. Undersøgelser af ren beton og tegl har ikke påvist PFAS, men maling på beton og tegl kan indeholder PFAS. <u>Forbrænding:</u> Der er fortsat diskussion om, hvorvidt forbrænding på almindelige danske forbrændingsanlæg destruerer PFAS i tilstrækkelig grad. Der findes en del undersøgelser for danske forbrændingsanlæg, men der er ikke fundet en sikker konklusion omkring risiko. Destruktion af fluorpolymerer er ikke undersøgt i høj grad. <u>Deponering:</u> Undersøgelser fra Danmark viser, at perkolat, der opsamles ved deponier, i vid udstrækning indeholder PFAS. En del af dette PFAS kan stamme fra deponerede byggematerialer. Ligeledes kan der komme udvaskning fra gamle, ukontrollerede lossepladser. <u>Oplag af affald:</u> Undersøgelser fra Danmark, viser at PFAS kan udvaskes fra affald, der er oplagret. <u>Spildevand:</u> Undersøgelser fra Danmark viser, at spildevand indeholder PFAS.
--------------------------	---	---

4.1 Produktion af PFAS

PFAS er produceret siden 1949, men er ikke blevet produceret i Danmark. Erfaringer fra andre lande viser, at produktion af PFAS historisk har medført store forureninger af omgivelserne. Dalmijn et al. (2024) skriver, at fluorpolymer-industrien historisk har forurennet omgivelserne i høj grad, men at der i Europa er introduceret en strengere lovgivning og bedre kontrol de senere år.

I Flandern i Belgien har industrivirksomheden 3M haft produktion af PFAS i Zwijndrecht nær Antwerpen med stor forurening af grunden og omgivelser til følge. Forureningen blev opdaget i 2021 i forbindelse med en udgravning, og det viste sig, at området var forurennet i en radius af 5 km fra PFAS fabrikken (Kofoed, 2024). Staten har holdt 3M ansvarlig for deres forurening (The Brussel Times, 2022), og 3M har indvilliget i at betale

for oprensning af deres forurening (Chemanager, 2023). Derudover er det påvist at halvdelen af beboerne i området har for meget PFAS i blodet (VRT nws, 2025).

I Nederlandene har staten holdt industrivirksomhederne 3M og Chemours ansvarlig for deres forureninger med PFAS som følge af produktion (Reuter, 2023a), (Reuter, 2023b). Chemours (tidligere Dupont, producent af teflon) har en fabrik i Dordrecht, hvor der er blevet fundet forurening med PFAS i vandområder i en radius af 15 km fra fabrikken (NL times, 2023a), (NL times, 2023b). I Arcadis (2021) er gengivet at eksempelvis PFOA og GenX har været anvendt og har været årsag til forhøjede koncentrationer i området som følge af udslip til luft og efterfølgende nedfald samt udslip til jord, grundvand og overfladevand.

Lohman et al. (2020) nævner flere eksempler på, at PFAS forbindelser er blevet frigivet til miljøet som følge af produktionen af fluorpolymerer. En problemstilling er, at der har været anvendt stoffer som PFOA og PFNA som hjælpemidler i produktionen af fluorpolymerer med konstateret forurening af omgivelserne til følge. PFOA og PFNA har været anvendt i høj grad, og disse stoffer er sidenhen blevet substitueret med andre PFAS forbindelser, som fx GenX og ADONA, som ligeledes vækker bekymring og er fundet i miljøet.

Dalmijn et al. (2024) har gennemgået emissioner fra 6 produktionssteder, der har produceret fluorpolymerer ved at gennemgå deres tilladelser samt databaser over emissioner. Udslip af f-gasser til luft og fluorosurfactants (fx PFCA og deres precursorer) til vand og luft er faldet mellem 2007 og 2021. Der er dog usikkerhed omkring emissioner fra andre typer af PFAS-forbindelser, fx i forbindelse med produktionsprocesser uden brug af fluorosurfactants.

4.2 Anvendelse af PFAS i produktion af byggematerialer

4.2.1 Jord- og vandmiljø:

Anvendelse af PFAS i fremstillingen af produkter kan have forårsaget forurening af omgivelserne. Siden 2014 har regionerne i Danmark undersøgt for PFAS som led i deres forureningsundersøgelser. Der var i 2023 data fra PFAS undersøgelser i jord og grundvand på 1500 lokaliteter (Morsing et al. 2025)

Nicolajsen og Tsitonaki (2016) har udpeget virksomhedstyper/brancher som anvender eller har anvendt PFAS forbindelser, som kan være potentielle forureningskilder over for jord og grundvand. Studiet er baseret på søgninger i litteratur, opsamling på tidligere udførte interviews og data fra produktregisteret. Regionernes Videnscenter for Miljø og Ressourcer (2021a, 2021b, 2022a-f) har desuden udgivet en række branchevejledninger, der beskriver brug og risiko for PFAS forurening ved forskellige brancher. Brancher, der er relevante for byggeriet, og som kan have forårsaget PFAS forurening er:

- Malingsindustrien (Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022a)
- Jern og metalvareindustrien (overfladebehandling) samt Forkromningsindustri (Forkromning anvendt til metalprodukter i byggeriet) (Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022b), (Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2021a)

- Gummi og plastindustrien (Regionernes Videntcenter for Miljø og Ressourcer, 2022c)
- Træ og møbelindustri (Regionernes Videntcenter for Miljø og Ressourcer, 2022d), (Regionernes Videntcenter for Miljø og Ressourcer, 2021b)
- Tekstil og læderindustri/Tæppeindustri (Regionernes Videntcenter for Miljø og Ressourcer, 2022e)
- Elektronikindustri (Regionernes Videntcenter for Miljø og Ressourcer, 2022f)

Derudover nævnes betonvarefabrikker også som en branche, der kan give anledning til jord og grundvandsforurening (Danske Regioner, 2024).

I Morsing et al. (2025) er angivet, at overfladebehandling af metal, elektronikfremstilling og møbelindustri er nogle af de brancher, hvor der er fundet de højeste koncentrationer af PFAS i jord og grundvand.

4.2.2 Luft

Omfanget af PFAS, der udledes til luften gennem industrirøg, er ukendt og bliver pt. undersøgt af Miljøstyrelsen. Kortlægningen skal være med til at sikre det nødvendige vidensgrundlag for, at Miljøstyrelsen kan udarbejde grænseværdier for PFAS i røg, og den forventes færdig i 2026. Der er endnu ikke andre lande, der har fastsat grænseværdier for PFAS i røg (Miljøstyrelsen, 2025).

4.2.3 Arbejdsmiljø

Ift. arbejdsmiljø beskriver CDC (2024), at arbejdere i den kemiske industri med PFAS vil være mere eksponeret for PFAS end den øvrige befolkning. Dette vil afhænge af, hvilke typer PFAS de er eksponeret for, hvor meget de bliver eksponeret for og hvordan de er eksponeret. Teflon feber eller fluorpolymer feber kan opstå, når Teflon, PTFE, bliver opvarmet (Johnston et al., 2000), (Shusterman, D.J., 1993).

4.3 Anvendelse af byggematerialer med PFAS på byggepladsen - Byggefasen

Rojello et al. (2021) peger på, at arbejdere i byggeindustrien har en øget risiko for eksponering, og at spray produkter til tegl og beton har været årsag til skader på lungerne. I publikationen refereres der til 2 artikler om dette: (Bruzzi et al., 2006) og (Lazor Blanchet et al., 2004). Der er herudover ikke fundet litteratur, der beskriver problemstillingen nærmere.

4.4 Anvendelse af byggematerialer med PFAS i et byggeri - Driftfasen

4.4.1 Støv

I Young et al. (2022) undersøges niveauerne af per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) i støv fra bygninger med "sundere" materialer sammenlignet med bygninger med konventionelle materialer. Formålet med studiet var at evaluere, om "sundere" byggematerialer, der rapporteres at være fri for PFAS, reducerer niveauet af PFAS i støv fra indendørs miljøer. Der blev analyserede støvprøver fra 24 rum fordelt på "sundere" og konventionelle bygninger på et universitet i USA. Rummene med "sundere" materialer havde en 66% lavere median koncentration af målrettede PFAS i støv sammenlignet med konventionelle rum.

I Schildroth et al. (2022) undersøges forekomsten af persistente organiske miljøgifte, herunder PFAS, PBDE'er, PCB'er og OCP'er, i støvprøver fra 43 ikke-beboelsesrum på fire universitetscampusser i New England, USA. Forskerne ville undersøge, om der var en sammenhæng mellem mængden af kemikalier i støvet og forskellige karakteristika ved rummene, hvor støvet blev indsamlet. Specifikt kiggede de på, om tilstedeværelsen af tæpper, mængden af polstrede møbler, og hvor lang tid siden rummene sidst var blevet møbleret, havde en indflydelse på koncentrationen af kemikalier i støvet.

PFAS blev påvist over den anvendte detektionsgrænse i stor udstrækning i støvet. Procentdelen af prøver over detektionsgrænsen varierede fra 23% til 87%, med de højeste procenter for PFOA (87%), PFNA (85%) og PFHxA (77%). Rum med væg-til-væg-tæppe havde højere koncentrationer af flere PFAS sammenlignet med rum uden væg-til-væg-tæppe.

Savvaides et al. (2022) er et litteraturstudie, dergennemgår forekomsten og fordelingen af per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) i støv. I artiklen diskuteres forskellige kilder til PFAS i støv, herunder byggematerialer, møbler og forbrugerprodukter. Der lægges vægt på daginstitutioner og arbejdspladser som steder med udbredt eksponering på grund af forekomsten af behandlet tæppebelægning og rengøringsmidler.

Forfatterne fandt, at på grund af PFAS's udbredte anvendelse i adskillige forbrugsvarer og byggematerialer er det udfordrende at bestemme alle kilder til PFAS i støv og deres relative bidrag. Derudover kompliceres sammenligning af resultater på tværs af studier af de forskellige måder, hvorpå PFAS screenes og understreger behovet for harmoniserede analysemetoder.

4.4.2 Indeklima

I indeklimaet kan PFAS frigives fra kilder som møbelstoffer, tekstiler, tæpper, maling og elektronik. Disse stoffer kan ophobe sig i indendørs luft og støv, hvilket fører til eksponering gennem inhalation, dermal absorption og indtagelse af støv. Særligt flygtige PFAS, som fluorotelomeralkoholer (FTOHs), kan fordampe fra produkter og bidrage til forureningen af indendørs miljøer.

I Morales-McDevitt et al. (2021) undersøges forekomsten af neutrale og flygtige PFAS-forbindelser i indeluft. Forfatterne brugte polyethylen (PE)-ark som passive prøveudtagningsværktøjer til at måle koncentrationerne af disse forbindelser i forskellige indendørs miljøer, herunder børnehaver, kontorer, laboratorier og en butik med udendørstøj. Resultaterne viste, at flygtige PFAS, især fluortelomeralkoholer (FTOH'er), var allestedsnærværende i indeluften. I børnehaver med tæpper var 6:2 FTOH den dominerende forbindelse i indeluften, efterfulgt af 8:2 FTOH. Der blev fundet en stærk sammenhæng mellem koncentrationerne af PFAS i luft, tæpper og støv, hvilket tyder på, at tæpper og støv er væsentlige kilder til FTOH'er i luften.

I Cahuas et al. (2022) undersøges det, hvordan maling kan være en kilde til flygtige PFAS (per- og polyfluoralkylstoffer) i indendørs luft, samt de potentielle konsekvenser for menneskelig eksponering gennem inhalation. Gennem en række analyser blev koncentrationer af flygtige og ikke-flygtige PFAS i indendørs og udendørs malinger undersøgt, og eksponeringsvurderinger blev udført for at vurdere sundhedsrisici.

51 malinger blev indsamlet fra butikker i USA og analyseret, hvoraf 27 forskellige prøver (14 mærker) blev udvalgt til detaljeret analyse. 6:2 FTOH blev fundet i 14 af de 27 malinger med koncentrationer på op til 0,083 µg/kg i udendørs maling og op til 0,034 µg/kg i indendørs maling. Konklusionen i artiklen er maling kan være en kilde til flygtige PFAS i indendørs luft og udgøre en potentiel sundhedsrisiko, især ved inhalation. Resultaterne fremhæver, at flygtige PFAS som 6:2 FTOH frigives betydeligt under malingsens tørring og kan føre til inhalationseksponering.

I Kissel et al. (2023) undersøges potentiel hudoptagelse af neutrale PFAS-forbindelser fra luften.

Forfatterne har anvendt en modificeret version af en eksisterende protokol til at estimere den transdermale permeabilitetskoefficient og forholdet mellem dermal og inhalationsmæssig eksponering (D/I) for 34 neutrale PFAS-forbindelser. Resultaterne viser, at 11 af disse PFAS har en D/I-ratio større end 5, hvilket indikerer, at hudoptagelse fra luften kan være en betydelig eksponeringsvej, der potentielt er større end indånding. Forfatterne skriver, at disse 11 PFAS bør prioriteres i fremtidig forskning, herunder biomonitorering og målinger i forbrugerprodukter og indeklima.

Studiet konkluderer, at hudoptagelse af neutrale PFAS fra luften kan være en vigtig eksponeringskilde, især for arbejdere i produktionsfaciliteter. Yderligere forskning er nødvendig for at bekræfte disse estimater eksperimentelt og for at vurdere konsekvenserne for PFAS-eksponeringsretningslinjer.

4.4.3 Frigivelse til eksternt miljø

Udvaskning af PFAS kan potentielt forekomme fra malede overflader i byggeriet, da PFAS er anvendt i maling (Gluge et al., 2020), (Rojello et al., 2021), (Thomsen et al., 2024), (OECD, 2022), (ECHA, 2023). Derudover vil udvaskning potentielt kunne ske fra andre udvendige overflader med belægninger eller indhold af PFAS. Udvaskning fra facader og tag kan ske direkte til jorden eller via spildevandssystemet. Der er ikke fundet undersøgelser, der har undersøgt udvaskningen, ligesom det også er begrænset med oplysninger om, hvad der findes af PFAS i udendørs maling og træbeskyttelse. Meermann et al. (2024) har undersøgt 8 forskellige udendørs overfladebehandlinger i form af gør-det-selv produkter med EOF, og fandt indhold af EOF i 5 produkter.

Problemstillingen kan ses som en parallel til udvaskning af biocider anvendt i maling og træbeskyttelsesmidler, selv om PFAS-forbindelser og biocider adskiller sig kemisk. Albers et al. (2023) har undersøgt udvaskningen af fungicider anvendt i udendørs maling og træbeskyttelse. Her er undersøgt forekomst af N,N-DMS og 1,2,4-triazole i det terrænnære grundvand i et byområde, hvor også udvaskning fra facader og jorden ved facaderne blev undersøgt. Resultaterne viste en sandsynlig udvaskning fra facaderne.

I en undersøgelse af Knepper et al. (2020) blev der påvist høje indhold af FTOHer for coatings, som har en udendørs anvendelse. FTOHer er flygtige og kan derved evaporere og undergå en atmosfærisk transformation, hvorved de omdannes til andre PFASer.

4.5 Nedrivning og Renovering

Miljøkortlægning og efterfølgende miljøsanering foregår i forbindelse med nedrivning og renovering. I Dalvang et al. (2024) er metoder og tilgange til identificering og prøvetagning af bygningsdele, der er forurenede med miljøproblematisk stoffer, beskrevet. Her fremgår det, at der ikke normalt analyseres for PFAS ved en miljøkortlægning. Som en del af Dalvang et al. (2024) indgår et bygningsatlas, hvor det angives at PFAS kan forekomme i facader (fuger og maling), fundament (sokkelmaling og membran), terrændæk (membran), vinduer og døre (maling), lofter og etageadskillelser (overfladebehandling), indvendige vægge (maling og vinyl), gulve (vinyl, linoleum, maling, lak og fuger), træværk (maling og lak) og installationer (maling).

I Thomsen et al. (2024) er forekomst af PFAS undersøgt i byggeaffald med udgangspunkt i analyser fra bygninger, der skal rives ned. Undersøgelsen viste, at der ud af 350 analyserede prøver, blev konstateret PFAS koncentrationer over den anvendte detektionsgrænse for 32 PFAS-forbindelser i 217 tilfælde, over den anvendte detektionsgrænse for 22 PFAS-forbindelser i 203 tilfælde og over den anvendte detektionsgrænse for 4 PFAS-forbindelser i 200 tilfælde. PFAS forekommer altså i høj grad i byggeaffald, men det er sjældent at koncentrationer overskrider destruktionskrav for PFOS, PFOA og PFHxS – og det er sjældent at PFAS vil forekomme som farligt affald. I undersøgelsen er indhold sammenholdt med jordkvalitetskriteriet og her ses at 68 ud af 350 prøver er over jordkvalitetskriteriet for PFAS4 og 12 ud af 350 prøver er over jordkvalitetskriteriet for PFAS22.

I undersøgelsen blev PFAS fundet hyppigt i maling på beton og tegl, og mindre hyppigt i fuger. Derudover var der en del forekomster i gulvmateriale. Særlig markant var koncentrationerne af 32 PFAS i maling på træværk og maling på metal, der var markant højere end de øvrige bygningsdele (Thomsen et al., 2024)

I Oberender et al. (2025) er gennemgået en konsekvensanalyse ift. fastsættelse en grænseværdi for PFAS, når beton og tegl nyttiggøres. Her står, at størrelsen af en grænseværdi for uforurenede affald vil have betydning for, hvor meget og hvor ofte, der skal afrenses for PFAS i maling på beton og tegl. Dog er der allerede fokus i branchen på at fjerne både maling og fuger ved miljøsanering, og det vurderes at de fund af PFAS, der er konstateret i (Thomsen et al., 2024), i høj grad vil blive håndteret ved nuværende praksis.

F-gasser anvendes i byggeriet, fx i aircondition systemer, varmepumper og køleskabe. Det er derfor vigtigt at have fokus på nedtage disse korrekt ved nedrivning eller renovering, således at beholdere med F-gasser bliver indsamlet og kommer til rette affaldsbehandling. Hvis F-gasser udslippes til atmosfæren vil de omdannes til TFA, som er et persistent og meget mobilt stof, som findes overalt i miljøet.

4.6 Affaldsbehandling

4.6.1 Genbrug og Genanvendelse

I Lassen et al. (2024) fremgår det, at det er svært at afgøre om PFAS i et materiale stammer fra tilsigtet brug eller utilsigtet brug, som fx en urenhed. Det kan ikke udelukkes, at PFAS forekommer som forurening i genanvendte materialer, men der er ikke fundet data omkring dette.

Lassen et al. (2024) skriver, at på EU-niveau bliver fluorpolymeraffald behandlet på følgende vis:

- Metalgenanvendelse står for 12 % af behandlingen af al den bortskaffede fluorpolymer,
- 3,4 % af al fluorpolymer genanvendes, hvilket hovedsageligt er produktionsaffald.
- 71,9 % af fluorpolymeraffaldet forbrændes med energiudnyttelse.
- 13 % af fluorpolymeraffaldet kommer på deponi.

I Thomsen et al. (2024) er der foretaget 36 prøver af maling på metal med en gennemsnitskoncentration på 1,114 mg/kg PFAS32. Der mangler viden omkring, hvad dette indhold i maling betyder for genanvendelsen af metal.

4.6.2 Nyttiggørelse

Lassen et al. (2024) adresserer ikke nyttiggørelse af mineralske byggematerialer som erstatning for primære råstoffer, hvilket er en af de mest udbredte anvendelser af bygge- og anlægsaffald i Danmark. Hvis tegl og beton fx er overfladebehandlet med materialer, der indeholder PFAS og nyttiggøres uden at overfladebehandlingen fjernes, kan PFAS måske spredes til jordmiljøet.

I Liu et al. (2024) er der lavet en massestrømsanalyse for PFAS i amerikansk bygge- og anlægsaffald. Dette viste, at på trods af et lavt, konstateret indhold af PFAS i beton i målinger af betonaffald, bidrager denne affaldsstrøm betydeligt til den samlede PFAS masse, da beton udgør en af de største masser af affald.

I Thomsen et al. (2024) er der foretaget 15 prøver af ubehandlet beton (udvendigt) og 30 prøver af ubehandlet tegl (udvendigt), og i disse prøver er der ikke konstateret PFAS. Derudover er der foretaget prøver af maling på beton, hvor der blev konstateret en gennemsnitskoncentration på 0,052 mg/kg PFAS32 i 48 prøver, mens der blev konstateret en gennemsnitskoncentration på 0,103 mg/kg PFAS32 i 21 prøver. Det er ikke undersøgt om PFAS i malingen på betonen "vandrer" ind i den bagvedliggende beton.

4.6.3 Forbrænding

I Thomsen et al. (2024) er der foretaget 22 prøver af linoleum med en gennemsnitskoncentration på 0,350 mg/kg PFAS32, 16 prøver af vinyl med en gennemsnitskoncentration på 0,044 mg/kg PFAS32, 12 prøver af gulvtæpper med en gennemsnitskoncentration på 0,102 mg/kg PFAS32 og 37 prøver af maling på træ med en

gennemsnitskoncentration på 2,799 mg/kg PFAS32. Dette er fraktioner, der typisk vil blive anvist til forbrænding, men der er fortsat diskussion om hvad forbrænding af affald med PFAS har af konsekvenser.

Det er forskelligt, hvad der angives af temperaturer for at få en fuldstændig destruktion af PFAS. I Arcadis (2022) angives, at temperaturer skal være over 1100 grader C, og metoden anses som dyr, ligesom det nævnes, at der er begrænset forbrændingskapacitet i Europa.

Naturvardsverket (2019) skriver, at det ikke er klarlagt, hvilke temperaturer som kræves for at destruere PFAS fuldstændigt, men det formodes at være 1100 grader C. Der refereres til et studie, der beskriver at under forudsætning af, at forbrænding sker under optimale forhold med hensyn til temperatur, turbulens og opholdstid, kan PFOS nedbrydes tilfredsstillende i kommunale forbrændingsanlæg ved 850 grader C, forudsat at PFOS i asken deponeres og PFOS i røggassen fanges i anlægget. Det var kun PFOS, der blev undersøgt og ikke andre PFAS forbindelser.

I US EPA (2024) er termisk behandling af PFAS holdig affald nævnt som en mulig behandlingsform, hvor høje temperaturer, opholdstider og blandinger af affaldet er afgørende for hvordan PFAS destrueres. Her beskrives også, at data fra pilot-skala forsøg tyder på, at forbrænding med temperaturer over 1100 grader C resulterer i en højere destruktionsgrad.

En vigtig problemstilling er, om PFAS bliver frigivet med røggassen ved forbrænding og dermed bliver spredt til omgivelserne. I Brancheforeningen Cirkulær (2024) er der udtaget 20 røggasprøver fra 11 affaldsenergianlægs 20 ovnlinjer. Der blev fundet målbare koncentrationer af 4 PFAS forbindelser på 2 ovnlinjer og 6 PFAS forbindelser på 1 ovnlinje. Disse koncentrationer er markant lavere end grænseværdier for udeluft i Texas. Målingerne viser en meget begrænset udledning af PFAS fra skorstene på affaldsenergianlæg.

I Hyks og Hjelmar (2024) er der gennemført en screeningsundersøgelse af 12 prøver af restprodukter fra 6 danske affaldsforbrændingsanlæg for indhold af 22 PFAS forbindelser og udvaskning for 56 forbindelser. For alle restprodukter lå resultaterne for indholdet af samtlige PFAS forbindelser under detektionsgrænsen. Ved udvaskningstest blev der i eluatet fra 1 prøve målt et indhold af PFAS (3 forbindelser) over den anvendte detektionsgrænse.

I Hyks og Hjelmar (2023) er der gennemført en screeningsundersøgelse af 13 prøver af slagger fra danske affaldsforbrændingsanlæg for indhold og udvaskning af PFAS. Undersøgelsen påviser, at der kan ske en vis udvaskning fra slagger i kontakt med vand. Undersøgelsen er en screening og giver ikke informationer om, hvor meget og hvor hurtigt de pågældende PFAS'er vil blive frigivet i en given situation.

I Gertinger og Jensen (2023) citeret i (Lassen et al. 2024) er der lavet et litteraturstudie om nedbrydning af PFAS i affaldsforbrændingsanlæg. Her angives det, at PFOS og andre relaterede PFAS forbindelser kan nedbrydes i forbrændingsanlæg med temperaturer, der svarer til almindelige forbrændingsanlæg i Danmark. Der refereres ligeledes til et tysk studie, hvor der ikke blev påvist en betydelig stigning af PFAS, i et forsøg hvor PTFE (teflon, fluorpolymer) blev afbrændt.

I Lassen et al. (2024) refereres til målinger af PFAS emissioner til luft for 5 forbrændingsanlæg, og der er ikke fundet PFAS i røggassen. Andre målinger viser at PFAS kan findes i slagger og spildevand. Derudover refereres til en række udenlandske studier. Derudover påpeges, PTFE kan danne andre PFAS forbindelser (PFCA), når det opvarmes til mellem 250 og 600 grader C. Der er derudover ikke fundet data for forekomst af fluorpolymerer i

restprodukter fra forbrænding, og det kan ikke afvises at fluorpolymerer kan findes i slagger, fx som mikroplastik.

Lassen et al. (2024) estimerer, at der fra bygge- og anlægssektoren potentielt kan være et bidrag på 38 ton/år fluorpolymerer og 16 ton/år andre PFAS forbindelser i affald til affaldsforbrænding, hvilket udgør 4 % af alle bidrag.

4.6.4 Deponering

Hvis affald med PFAS deponeres, vil perkolat, der opsamles ved deponier, i vid udstrækning indeholde PFAS. En del af dette PFAS kan stamme fra deponerede byggematerialer. Ligeledes kan der komme udvaskning fra gamle, ukontrollerede lossepladser.

I Lassen et al. 2024 er der afrapporteret PFAS indhold i perkolat fra 54 deponier. Koncentrationerne varierer betragteligt mellem 0,07 og 39,9 µg/l PFAS22. Der er ligeledes gengivet data for PFAS indhold i perkolat fra et deponi, hvor der målt på forskellige typer celler. I en celle med PCB affald er der målt 0,4 µg/l PFAS4 og 8,1 µg/l PFAS12 i perkolatet. Det er estimeret at deponerede byggematerialer bidrager med 4 tons PFAS om året, hvilket udgør 9 % af det samlede PFAS bidrag.

Liu et al. 2024 skriver at der er fundet PFAS koncentrationer i perkolatet fra deponier med bygge- og anlægsaffald som ligger mellem 0,27 og 30,5 µg/l, hvilket er på niveau hvad man finder i deponier for husholdningsaffald.

I Hjelmar et al. 2023 blev der udført udvaskningstest på 2 stikprøver af henholdsvis stenuld og glasuld fra en deponeringsenhed for blandet affald. Der blev påvist en udvaskning på henholdsvis 15,1 og 16,3 ng/kg PFAS22. Undersøgelsen giver ikke information om, hvor meget og hvor hurtigt PFAS'erne vil blive frigivet i en given situation.

I et brancheark om PFAS på fyld- og lossepladser fremgår, at flere studier har påvist indhold af PFAS-forbindelser i perkolat fra gamle lossepladser. Branchearket refererer til en svensk undersøgelse, hvor der er identificeret typer af affald, der kan knyttes til forurening med PFAS, og her er bygge- og nedrivningsaffald en sådan type affald, fx materialer påført overfladebehandling eller maling. Derudover nævnes i branchearket særligt maling anvendt i byggeindustrien før 2002, som potentiel kilde til PFAS-udvaskning fra fyld- og lossepladser (Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022g).

I amerikanske undersøgelser er der fundet PFAS i perkolat fra deponier med specielle enheder for deponering af bygge- og anlægsaffald mellem 0,270 og 30,5 µg/l (Tolaymat og Robey, 2024).

4.6.5 Oplag af affald

Lassen et al. 2024 referer en undersøgelse, der viser, at der forekommer en relativ høj udvaskning af PFAS fra 2 steder, hvor der blev opbevaret affald, herunder metalaffald. Hvis data opskaleres bliver den årlige udvaskning til spildevandssystemet omkring 10 ton per år.

Liu et al. 2024 har undersøgt indhold af PFAS i byggeaffald på et behandlingsanlæg i USA. 9 kategorier af bygge- og anlægsaffald blev indsamlet og analyseret for faststof og udvaskning. Der blev analyseret for 92 PFAS forbindelser. Tæpper og tæppeunderlag havde de højeste koncentrationer (190 ng/g og 170 ng/g). Gips indervæg havde et indhold på 120 ng/g. Rester fra behandlingsanlægget (CDD fines) havde et indhold på 50 ng/g. I en mikset træ var indholdet 31 ng/g, hvoraf OSB havde et indhold på 380 ng/g og Plywood havde et indhold på 190 ng/g. De resterende kategorier, blandt andet asfalt havde lavere koncentrationer mellem 1 og 21 ng/g. Mønstret for udvaskningen af materialerne var anderledes, idet tæpper og tæpperester ikke havde en stor udvaskning, mens gips, CDD fines og træ udvaskede mere. Resultaterne blev efterfølgende opskaleret og omregnet til et masseflow for PFAS for hele den amerikanske bygge- og anlægsstrøm. Dette viste, at på trods af et lavt indhold af PFAS i beton, bidrager denne affaldsstrøm betydeligt til den samlede PFAS masse, da beton udgør en af de største masser af affald.

4.6.6 Spildevand

PFAS kan måles i spildevand, både i indløb og udløb til renseanlæg, ligesom det også findes i spildevandsslam (Lassen et al., 2024). Lassen et al. (2024) har estimeret potentielle kilder til PFAS i spildevandet i 2021 baseret på anvendelse og teoretiske emissionsfaktorer. Her fremgår det at byggematerialer har en potentiel udledning på 7.450 kg/år fluorpolymerer, hvilket svarer til 46 % af alle kilder og 970 kg/år af andre PFAS forbindelser, hvilket svarer til 11 % af alle kilder. Der er en høj grad af usikkerhed på beregningerne. Der fremgår også, at der ikke er fundet litteratur omkring fluorpolymerer i spildevand eller spildevandsslam, fx i form af mikroplastik. Det er ikke forklaret i Lassen et al. (2024) på hvilken måde byggematerialerne kan bidrage til emissioner til spildevandet, men det må formodes at det største bidrag kommer fra udledninger fra produktion.

5 DISKUSSION OG VURDERING

Der er i denne rapport udført en konsekvensanalyse i forhold til påvirkninger på miljø og sundhed, der følger af brugen af PFAS i byggematerialer. Der er i analysen taget udgangspunkt i hele byggematerialets livscyklus, som beskrives i forskellige faser, og hvor litteratur, der beskriver forekomst og undersøgelser er inddraget.

Der er endvidere i det samlede projekt, som denne rapport er en del af, foretaget analyser af byggematerialer på det danske marked. Disse undersøgelser er afrapporteret i en teknisk rapport udgivet af Teknologisk Institut som en del af det samlede projekt. Der eksisterer 2 andre lignende undersøgelser, hvor der er taget prøver af byggematerialer med target analyser. I Beconova et al., 2016 er gjort 46 fund af PFAS i 54 prøver, i Janousek et al., 2019 er gjort 9 fund af PFAS i 23 prøver. I undersøgelsen lavet i dette projekt er der gjort 6 fund af PFAS forbindelser i target analysen af i alt 44 prøver. Dette er markant lavere på trods af, at der i denne undersøgelse er inkluderet et markant højere antal PFAS-forbindelser ift. de andre 2 undersøgelser.

Det er svært at vurdere det reelle omfang af PFAS i byggematerialer på det danske marked. Det er samtidig ikke muligt at vurdere de samlede konsekvenser og risiko af brug af PFAS i byggematerialer alene ud fra enkelte fund i udvalgte byggematerialer. De fysiske kemiske egenskaber af de enkelte stoffer, toksikologi af de enkelte stoffer og den specifikke brug af materialet i byggeriet spiller ind. I den forbindelse er PFAS gruppen en stor kompleks stofgruppe med forskellige fysiske-kemiske egenskaber og toksikologi, og der mangler viden om egenskaber og toksikologi for mange forbindelser.

På trods af dette er det byggematerialer som maling og tekstiler/tæpper, hvor der umiddelbart er den højeste og bedst beskrevne forekomst af PFAS. Derudover kan coatede metal-emner i form af facadeplader af metal også være relevante.

I den gennemgåede konsekvensanalyse er det produktionsfasen og affaldsfasen, hvor der er mest viden om forekomst og risiko for PFAS, selv om der fortsat er mange uafklarede problemstillinger. Særligt konsekvenserne ved genanvendelse og nyttiggørelse af byggematerialer er meget lidt belyst. Derudover er der en driftsfase i byggeriet, hvor der potentielt kan være risiko for afdampning af stoffer til indeklima og for udvaskning af stoffer til miljøet. Derudover er arbejdsmiljø-problematikker omkring PFAS stort set ubeskrevet. I forhold til at kunne vurdere konsekvenser og risiko er det vigtigt i fremtidige undersøgelser at inkludere target-analyser med så mange forbindelser som muligt, evt. i kombination med total-analyser som TOF eller med TOP. Non target analyser kan også være en metode til at få et mere nøjagtigt mål på, hvilke PFAS forbindelser, der bliver anvendt, men pt. er sådanne analyser dyre og under udvikling.

6 REFERENCER

Albers, Christian Nyrop, Anders Risbjerg Johnsen, Ulla Elisabeth Bollmann (2023). Urban areas as sources of the groundwater contaminants N,N-dimethylsulfamide (N,N-DMS) and 1,2,4-triazole. *Science of the Total Environment*, Volume 881, 10 July 2023, 163377. [Urban areas as sources of the groundwater contaminants N,N-dimethylsulfamide \(N,N-DMS\) and 1,2,4-triazole - ScienceDirect](#)

Arcadis (2022). State of the art PFAS – an overview of knowledge gaps and research needs soil and groundwater. Februar 2023.

Arp, H.P.H., Gredelj, A., Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I.T. (2024). The global Threat from the irreversible Accumulation of Trifluoroacetic acid (TFA). *Environmental Science Technology*, 2024, 58.

Baun, A., Bjerg, P.L., Jensen, J., Jensen, T.K., Lyngberg, A., Strobel, B.W., Vinggaard, A.M., Vorkamp, K., Trier, X. (2023) Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del 1: Identifikation af videnshuller. Rapport fra Videnstaskforce for PFAS-forurening.

Bečanová, J., Melymuk, L., Vojta, Š., Komprdová, K., & Klánová, J. (2016). Screening for perfluoroalkyl acids in consumer products, building materials and wastes. *Chemosphere*, 164, 322–329. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.112>

Brancheforeningen Cirkulær (2024). Notat om PFAS fra affaldsforbrænding. Opsummering af målinger. [Note / Memo](#)

Cahaus, L., Muensterman, D., Mitchell, K., Reardon, P.N., Titaley, I.A., Field, J.A. Paints: A source of volatile PFAS in air – Potential Implications for Inhalation Exposure. [Paints: A Source of Volatile PFAS in Air–Potential Implications for Inhalation Exposure | Environmental Science & Technology](#)

CDC, 2024. PFAS and Worker Health. [PFAS and Worker Health | PFAS | CDC](#)

Chemanager, 2022. 3M Agrees PFAS Clean-up with Flemish Government. [3M Agrees PFAS Clean-up with Flemish Government | CHEManager](#)

Chemsec, webpage: [What the F-gases!?](#) (chemsec.org), [F-gases unveiled as primary contributors to the PFAS pollution crisis \(chemsec.org\)](#),

Dalmijn, J., Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I.T. (2024). Emission inventory of PFASs and other fluorinated organic substances for the fluoropolymer production industry in Europe. *Environ. Sci. Processes Impacts*, 2024, 26, 269.

Dalvang, L., Lyng, R.J., Hansen, M.P. og Aufeldt, P. (2024). Anbefalinger til screening og kortlægning af bygge- og anlægsaffald. Miljøprojekt nr. 2269, 2024.

Danske Regioner, 2024. Regionernes indsats over for PFAS 2021-2024. [MOF Almdel Bilag 502 Regionernes PFAS indsats 20212024pdf](#)

Gertinger, Annemette og Alland Astrup Jensen (2023). *Litteraturstudie om PFAS fra affaldsforbrænding*. Miljøprojekt nr. 2246, 2023. [978-87-7038-552-7.pdf](#)

Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C. A., Trier, X., & Wang, Z. (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science Processes & Impacts*, 22(12), 2345–2373. <https://doi.org/10.1039/d0em00291g>

ECHA, 2023, Restriction on the manufacture, placing on the market and use of PFASs: <https://echa.europa.eu/da/restrictions-under-consideration/-/substance-rev/72301/term>

Hyks, Jiri og Ole Hjelm (2023). Forekomst og udvaskning af PFAS i slagge fra affaldsforbrændingsanlæg. Miljøprojekt nr. 2229, 2023. [Forekomst og udvaskning af PFAS i slagge fra affaldsforbrændingsanlæg - Miljøstyrelsen](#)

Hyks, Jiri og Ole Hjelm (2024). Screening af restprodukter fra affaldsforbrænding for indhold og udvaskning af PFAS. Miljøprojekt nr. 2256, 2024. <https://mst.dk/publikationer/2024/januar/screening-af-restprodukter-fra-affaldsforbraending-for-indhold-og-udvaskning-af-pfas>

Hjelm, Ole, Jiri Hyks og René Møller Rosendal. (2023). *Øget viden om deponeringsegnet affald*. Miljøstyrelsen. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2023/03/978-87-7038-502-2.pdf>

ITRC (2021). PFAS Technical and Regulatory Guidance Document and Fact Sheets PFAS-1.

Janousek, R. M., Lebertz, S., & Knepper, T. P. (2019). Previously unidentified sources of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances from building materials and industrial fabrics. *Environmental Science Processes & Impacts*, 21(11), 1936–1945. <https://doi.org/10.1039/c9em00091g>

Johnston, C.J., Finkelstein, J.N., Marcer, P., Corson, N., Gelein, R., Oberdörster, G. (2000). Pulmonary Effects Induced by Ultrafine PTFE Particles. [Pulmonary Effects Induced by Ultrafine PTFE Particles](#)

Kissel, J.C., Titaley, I.A., Muensterman, D.J., Field, J.A. (2023). Evaluating Neutral PFAS for Potential Dermal Absorption from the Gas Phase. *Environmental Science & Technology*. Vol 57/issue 12 <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c08835>

Knepper, Thomas P. and Raphael M. Janousek. (2020, June 1). *Potential SVHCs in environment and products: Measurements of the presence of potential substances of very high concern in the environment and in products*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/potential-svhcs-in-environment-products>

Kofoed, Julie (2024): Belgien har en PFAS-kommissær og omfattende tiltag mod PFAS-forureningen. ING/WATERTECH, 5. april 2024. [Belgien har en PFAS-kommissær og omfattende tiltag mod PFAS-forureningen | WaterTech \(PRO\)](#)

Lassen, Carsten, Jakob Maag, Anne Krag, and Martin Sigaard Dau. (2024). *Substance flow analysis of PFASs in Denmark*. Miljøstyrelsen. <https://mim.dk/media/ae3o5ayj/substance-flow-analysis-of-pfas-20-feb.pdf>

Lazor Blanchet, C., Rusca, S., Vernez, D., Berry, R., Albrecht, E., Droz, P., & Boillat, M. (2004). Acute pulmonary toxicity following occupational exposure to a floor stain protector in the building industry in Switzerland. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 77(4), 244–248. <https://doi.org/10.1007/s00420-004-0505-6>. Link.

Liu, Yalan, Ashley Lin, Jake Thompson, John A. Bowden, Timothy G. Townsend (2024). *Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in construction and demolition debris (CDD): discerning sources and fate during waste*

management. Journal of Hazardous Materials 472 (2024) 134567. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in construction and demolition debris (CDD): discerning sources and fate during waste management - ScienceDirect

Lohmann, R., Cousins, I. T., DeWitt, J. C., Glüge, J., Goldenman, G., Herzke, D., Lindstrom, A. B., Miller, M. F., Ng, C. A., Patton, S., Scheringer, M., Trier, X., & Wang, Z. (2020). Are Fluoropolymers Really of Low Concern for Human and Environmental Health and Separate from Other PFAS? *Environmental Science & Technology*, 54(20), 12820–12828. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03244>

Meermann, Dr. Björn, Von der Au, M., Potrykus, A., Schramm, B., Obajdin, K., Bruijne, A., Zotz, Ferdinand, Broneder, C. (2024). Investigation of the occurrence of PFAS (per- and polyfluorinated alkyl compounds) in waste streams. German Environment Agency. UmweltBundesamt. Texte 86/2024.

Miljøstyrelsen, 2025. Ny kortlægning skal afdække udledning af PFAS i industrirøg fra danske virksomheder. Ny kortlægning skal afdække udledning af PFAS i industrirøg fra danske virksomheder - Miljø- og ligestillingsministeriet

Morales-McDevitt, M.E., Becanova, J., Blum, A., Bruton, T.A., Votja, S., Woodward, M., Lohmann, R. (2021). The air that we breathe: Neutral and Volatile PFAS in indoor air. *Environmental Science & Technology Letters*. Vol 8, issue 10. The Air That We Breathe: Neutral and Volatile PFAS in Indoor Air | Environmental Science & Technology Letters

Morsing, L., Tsitonaki, K., Dyreborg, S., Mosthaf, K., Fjordbøge, A.K., Hjort, R., Badsberg Jensen, B., Baun, A. Bjerg, P.L. (2025). Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde. Miljøprojekt nr. 2286, 2025. Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde

Naturvardsverket (2019) Vägledning om att riskbedöma och åtgärda PFAS-föroreningar inom förorenade områden. Rapport 6871, januar 2019.

Vägledning om att riskbedöma och åtgärda PFAS-föroreningar inom förorenade områden

Nicolajsen, Ellen Stærk and Katerina Tsitonaki. (2016, Nov.). *Kortlægning af brancher, der anvender PFAS*. Miljøstyrelsen. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/12/978-87-93529-43-4.pdf>

NL times, 2023a. Dordrecht chemical company aware of its carcinogenic PFSA pollution 30 years ago: report (Dordrecht chemical company aware of its carcinogenic PFAS pollution 30 years ago: report | NL Times,

NL times, 2023b. Water heavily polluted with PFAS in 15 km radius around Dordrecht chemical plant: report. Water heavily polluted with PFAS in 15 km radius around Dordrecht chemical plant: report | NL Times

Oberender, A., Smith, K.H., Hansen, M.P., Lyng, R.L. og Astrup, T.F. (2025). Undersøgelse af grænseværdier for problematiske stoffer i bygge- og anlægsaffald. Miljøprojekt nr. 2289, marts 2025.

OECD (2022), Per- and Polyfluoroalkyl Substances and Alternatives in Coatings, Paints and Varnishes (CPVs): Report on the commercial availability and current uses, OECD Publishing, Paris. Per- and Polyfluoroalkyl Substances and Alternatives in Coatings, Paints and Varnishes (CPVs): Report on the Commercial Availability and Current Uses | OECD

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2021a. Forkromningsindustri.

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2021b. Tæppeindustri.

WSP Danmark A/S

Projektnavn: Konsekvensanalyse for brug af PFAS i byggeriet

Projektnr.: 22005639

Dato: 2025-09-01

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022a. PFAS i malingsindustrien.

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022b. PFAS i jern- og metalvareindustrien.

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022c. PFAS i gummi- og plastindustrien.

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022d. PFAS i træ- og møbelindustrien.

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022e. PFAS i tekstil- og læderindustrien.

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022f. PFAS i elektronikindustrien.

Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer, 2022g. PFAS på fyld- og lossepladser.

Reuter, 2023a. Dutch government to hold 3M liable for forever chemicals damage. [Dutch government to hold 3M liable for 'forever chemicals' damage | Reuters](#)

Reuter, 2023b. Dutch court rules Chemours liable for environmental damage caused by PFAS. [Dutch court rules Chemours liable for environmental damage caused by PFAS | Reuters](#)

Rojello Fernández, Seth and Carol Kwiatkowski, Tom Bruton. (2021). *BUILDING A BETTER WORLD Eliminating Unnecessary PFAS in Building Materials*. Green Science Policy Institute. <https://greensciencepolicy.org/docs/pfas-building-materials-2021.pdf>

Savvaides, T., Koelmel, J.P., Zhou, Y., Lin, E.Z., Stelben, P., Aristizabal-Henao, J.J., Bowdem, J.A., Pollitt, G. (2022). Prevalence and implications of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in settled dust. Susceptibility Factors in Environmental Health. Volume 8, pages 323-335 (2021). [Prevalence and Implications of Per- and Polyfluoroalkyl Substances \(PFAS\) in Settled Dust | Current Environmental Health Reports](#)

Schildroth, S., Rodgers, K.M., Strynar, M., McCord, J., Poma, G., Covaci, A., Dodson, R.E. (2022). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and persistent chemical mixtures in dust from U.S. colleges. Environmental Research. Volume 206, 15. April 2022 - [Per-and polyfluoroalkyl substances \(PFAS\) and persistent chemical mixtures in dust from U.S. colleges - ScienceDirect](#)

Shusterman, D.J., 1993. Polymer fume fever and other fluorocarbon pyrolysis-related syndromes. Occup Med. 1993 Jul-Sep;8(3):519-31. [Polymer fume fever and other fluorocarbon pyrolysis-related syndromes - PubMed](#)

Stockholm Resilience Center, webpage: [Planetary boundaries - Stockholm Resilience Centre](#)

The Brussel Times, 2022. Committee points finger at 3M for historic pollution, hints at political responsibility. [Committee points finger at 3M for historic pollution, hints at political responsibility](#)

Thomsen, Claus Nygaard, Rasmus Gade Midtby, Solvejg Qvist. (2024). *Undersøgelse af PFAS i byggeaffald Revideret udgav*. Miljøstyrelsen. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2024/02/978-87-7038-593-0.pdf>

Tolaymat, T., Robey, N. (2024). Landfill Disposal of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: State of the Science. Presentation på webinar: PFAS management Strategies in the United States and Europe: [CLU-IN | Training & Events > PFAS Management Strategies in the United States and Europe](#)

Vernez, D., Bruzzi, R., Kupferschmidt, H., DeBatz, A., Droz, P., & Lazor, R. (2006). Acute respiratory syndrome after inhalation of waterproofing sprays: a posteriori exposure response assessment in 102 cases. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 3(5), 250–261. <https://doi.org/10.1080/15459620600628845>. Link. 22

WSP Danmark A/S

Projektnavn: Konsekvensanalyse for brug af PFAS i byggeriet

Projektnr.: 22005639

Dato: 2025-09-01

VRT nws, 2025. Resultaten groot bloedonderzoek rond 3M bekend: helft omwonenden heeft te veel PFAS in het bloed. Resultaten groot bloedonderzoek rond 3M bekend: helft omwonenden heeft te veel PFAS in het bloed | VRT NWS: nieuws

US EPA (2024). Interim Guidance on the destruction and disposal of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances and Materials Containing Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances – Version 2 (2024). Interim guidance for public comment. April 8, 2024 Interim Guidance on the Destruction and Disposal of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances and Materials Containing Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances--2024

Young, A., Pickars, H., Sunderland, E., Allen, J. (2022). Organic Fluorine as an Indicator of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Dust from Buildings with Healthier versus Conventional Materials