



# **Konsentrasjoner av PFAS i jord påvirket av diffust spredt PFAS-forurensning**

**Januar, 2024**



**Senter for  
forskningsdrevet  
innovasjon**

Konsentrasjoner av PFAS i jord påvirket av diffust spredt PFAS-forurensning

earthresQue Report no. 11

ISBN: 978-82-575-2987-1

RCN project 310042

Illustration front cover, header and end page: earthresQue

Publisher: NMBU – Norwegian University of Life Sciences

earthresQue,

Rescue of earth materials and wastes in the circular economy,

Centre for Research-based Innovation

[www.earthresQue.no](http://www.earthresQue.no)

[www.earthresQue.com](http://www.earthresQue.com)

*Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.*

*Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra earthresQue.*

# Rapportbeskrivelse

Rapporttittel:	Konsentrasjoner av PFAS i jord påvirket av diffust spredt PFAS-forurensning
earthresQue report no.:	11
ISBN:	978-82-575-2987-1
Dato:	Januar 2024
Rev.nr./ Rev.dato:	0
Utarbeidet av:	Håkon Austad Langberg (NGI)
Kontrollert av:	Erlend Sørmo (NGI)

---

## Forskning

---



## Privat sektor

---



## Offentlig sektor

---



## Sammendrag

Per- og polyfluoralkylerte stoffer (PFAS) er en stor gruppe menneskeskapte kjemikalier som er spredt globalt, og som er vist å være skadelige for miljø og for menneskers helse. I Norge finnes det flere områder med betydelig PFAS-forurensning (bla. områder hvor det har foregått brannøvelser med PFAS-holdig brannskum og områder hvor det har foregått PFAS-utslipp fra industri).

Det er per i dag kun PFAS-forbindelsen, perfluoroktylsulfonat (PFOS), som det i Norge eksisterer grenseverdi for i jord. Gjeldende normverdi (grenseverdien som definerer når jord er forurenset) for PFOS er på  $100 \mu\text{g kg}^{-1}$  tørrstoff (T.S.). Imidlertid har en ny normverdi på  $2 \mu\text{g kg}^{-1}$  T.S. nylig blitt presentert i et høringsforslag fra Miljødirektoratet. Det har i innspill til høringen blitt påpekt at det er en usikkerhet forbundet med konsentrasjoner av PFOS i jord utenfor områder med betydelig forurensning, dvs. konsentrasjoner av PFOS i jord som følger av PFAS-forurensning fra diffuse kilder og global spredning, og hvordan den foreslåtte normverdien på  $2 \mu\text{g kg}^{-1}$  T.S. er i forhold til slike områder.

I denne rapporten ble eksisterende data på PFAS-konsentrasjoner i jord som ikke er forventet å være direkte påvirket av lokale kilder til PFAS-forurensning samlet inn fra earthresQue-brukerpartnere. Dette ble gjort med mål om å styrke kunnskapsgrunnlaget til diskusjonen rundt den diffuse PFAS-forurensningen, og for å danne et kunnskapsgrunnlag for framtidige vurderinger. I tillegg ble et litteratursøk gjennomført for å hente inn flere relevante data. Som for datasettene fra earthresQue-brukerpartnere, ble litteratursøket avgrenset til data på PFOS-konsentrasjoner i jord som ikke er forventet å være direkte påvirket av lokale punktkilder til PFAS-forurensning.

Basert på datagrunnlaget i denne rapporten er mediankonsentrasjonen av PFOS (i jord som ikke er forventet å være direkte påvirket av lokale kilder til PFAS-forurensning) i Norge i området  $0,1-0,3 \mu\text{g/kg}$  T.S. Imidlertid har enkelte jordprøver et betydelig høyere innhold, som overskrider den foreslåtte normverdien på  $2 \mu\text{g kg}^{-1}$  T.S.

Anbefalinger for videre arbeid inkluderer å kartlegge områder som representerer ulike geografiske lokaliteter, inkludert urbane, periurbane og rurale områder (pga. forventet høyere konsentrasjoner av PFAS i befolkningstette områder), samt jordbruksområder (pga. mistanke om spredning av PFAS via bruk av avløpsslam som jordforbedringsmiddel), gradienter mot havet (pga. mistanke om betydelig tilførsel av PFAS via skum og aerosoler) og gradienter mot punktkilder. Det bør vurderes å benytte analytiske metoder som både inkluderer en rekke andre PFAS enn PFOS og som gir tilstrekkelig lave rapporteringsgrenser. Analyse av ekstraherbart organisk fluor (EOF) og/eller «Total Oxidizable Precursor assay» (TOP Assay) er metoder som forventes å kunne gi relevant informasjon om total mengde PFAS, og vil derfor kunne være nyttig for å skaffe informasjon om den diffust spredte PFAS-forurensningen i Norge.

## Innhold

1	Introduksjon.....	5
2	Metode.....	6
2.1	Data fra earthresQue-brukerpartnere .....	6
2.2	Statistikk.....	7
2.3	Litteratursøk.....	7
3	Resultater og diskusjon.....	8
3.1	Konsentrasjoner i Norge .....	8
3.2	Utslippskilder og geografiske variasjoner.....	10
4	Konklusjon og anbefalinger.....	11
5	Referanser.....	12

# 1 Introduksjon

Per- og polyfluoralkylerte stoffer (PFAS) er en stor gruppe syntetiske kjemikalier benyttet i en lang rekke forskjellige produkter og industrielle prosesser. De mest kjente bruksområdene for PFAS er i brannskum (kjent som Aqueous Film Forming Foam; AFFF), i framstilling av teflon, og i vann- og fettavstøtende papir, men hundrevis av andre bruksområder har blitt rapportert (Glüge et al., 2020).

I tillegg til å ha nyttige egenskaper for et mangfold av produkter og prosesser har PFAS også egenskaper som gjør de problematiske ved utslipp til miljø og påfølgende opptak i organismer. De mest undersøkte PFAS hører til gruppen perfluorerte alkylsyrer (perfluorinated alkyl acids; PFAA). Eksempler på PFAA inkluderer de mest kjente enkeltforbindelsene: perfluoroktylsulfonat (PFOS) og perfluorert oktansyre (PFOA). PFAA er svært motstandsdyktige mot nedbrytning i miljøet (persistente) og brytes i praksis ikke ned under naturlige forhold (Cousins et al., 2020; Kwiatkowski et al., 2020; Wang et al., 2017). Andre PFAS er ikke like stabile, men kan under naturlige forhold omdannes til de mer stabile PFAA (Cousins et al., 2020; Kwiatkowski et al., 2020; Wang et al., 2017). Forhøyet eksponering for PFAS er vist, eller mistenkt, å føre til økt risiko for en rekke negative helseeffekter slik som svekket immunforsvar, hormonforstyrrelser, forstyrrelser i lipid- og insulinregulering, lever- og nyresykdom, forstyrrelser på reproduksjon og utvikling, og kreft (Fenton et al., 2021; Zahm et al., 2023).

Områder med kjent betydelig PFAS-forurensning i Norge omfatter brannøvingsfelt og andre områder der det har blitt benyttet PFAS-holdig brannskum (inkludert flyplasser) (Avinor, 2023; Fagerheim et al., 2023a), og Randselva, Storelva og Tyrifjorden nedstrøms papirfabrikken på Viul (Langberg et al., 2020, 2021). I tillegg er det kjent at det er forhøyede konsentrasjoner av PFAS i nærheten av skianlegg (pga. bruk av skiglitter og -smøring med høyt innhold av PFAS) (Cappelen et al., 2016; Grønnestad et al., 2019), og olje- og gassindustrien er rapportert å bruke betydelige mengder PFAS (Baumbusch et al., 2021).

I tillegg til områder med betydelig PFAS-forurensning, slik som brannøvingsfelt på flyplasser, har den omfattende bruken av PFAS ført til en generell, diffus, globalt spredt PFAS-forurensning. PFAS påvises globalt i ulike matriser, slik som regnvann, grunnvann, overflatevann, jord og biota (Cousins et al., 2022; Johansson et al., 2019; Muir et al., 2019). PFAS spres fra utslippskilder via en rekke ulike transportveger. Via atmosfærisk transport og regn eller partikkelavsetning, samt transport med havstrømmer spres PFAS til miljøer langt unna utslippskildene (Cousins et al., 2022; Johansson et al., 2019).

Jord med betydelig PFAS-forurensning er en stor utfordring. Kostnad per kilo fjernet PFAS fra Forsvarsbygg sine lokaliteter er beregnet til å være flere millioner kroner, avhengig av tiltaksgrense og lokalitetsspesifikke forhold (Fagerheim et al., 2023b). I Norge er det kun PFOS som det eksisterer grenseverdi for i jord. Gjeldende normverdi (grenseverdien som definerer når jord er forurenset) for PFOS er på  $100 \mu\text{g kg}^{-1}$  tørrstoff (T.S.) (Lovdata, 2013). Imidlertid er det foreslått en ny normverdi på  $2 \mu\text{g kg}^{-1}$  T.S. som nylig har vært på høring fra Miljødirektoratet (Miljødirektoratet, 2020, 2022). Det har i innspill til høringen blitt påpekt at

det er en usikkerhet forbundet med konsentrasjoner av PFOS i jord utenfor områder med betydelig forurensning, dvs. konsentrasjoner av PFOS i jord som følge av den diffuse PFAS-forurensningen som er spredt globalt, og hvordan den foreslåtte normverdien på  $2 \mu\text{g kg}^{-1}$  T.S. er i forhold (Amundsen, 2020; Mørch & Bjørnstad, 2023).

Formålet med denne rapporten er å gjennomgå eksisterende data på PFAS-konsentrasjoner i jord som ikke er direkte påvirket av PFAS-utslipp fra en lokal utslippskilde, videre omtalt som «diffust påvirket jord». PFOS-konsentrasjoner sammenliknes med foreslått normverdi på  $2 \mu\text{g kg}^{-1}$  T.S. for å belyse hvor høye konsentrasjoner som følger av diffus spredning er i forhold til denne.

## 2 Metode

### 2.1 Data fra earthresQue-brukerpartnere

Eksisterende data på PFAS-konsentrasjoner i diffust påvirket jord ble samlet inn fra earthresQue-brukerpartnere. Vanlig praksis er kun å analyseres for miljøgifter som det er grunn til å mistenke å kunne være tilstede ved en gitt lokalitet, ofte med bakgrunn i lokale punktkilder. Derfor var det begrenset med relevante data hos brukerpartnerne. Imidlertid hadde Forsvarsbygg og AF Decom data som kunne benyttes. Data fra earthresQue brukerpartnere som er benyttet i denne rapporten er oppsummert i Tabell 1.

Forsvarsbygg fikk i 2023 utarbeidet en sammenstilling av data på PFAS-konsentrasjoner i jord ved Forsvarets flystasjoner: Andøya, Banak, Bardufoss, Evenes, Høybukta, Kjeller, Rygge, Sola, Værnes og Ørland (Fagerheim et al., 2023a). Sammenstillingen rapporterte konsentrasjoner av sum PFAS ( $\sum\text{PFAS}$ ) og PFOS. Status ved de ulike delområdene på disse flystasjonene ble oppsummert, inkludert om det ut ifra historisk kartlegging var mistanke om PFAS-forurensning. I foreliggende rapport er data fra delområdene der det rapporteres å ikke være mistanke om PFAS-forurensning gjennomgått. Flystasjonene Værnes og Ørland har flere delområder der det ikke er benyttet brannskum, men det er rapportert at masser med PFAS-forurensning er omdisponert til alle disse delområdene. Flystasjonene Værnes og Ørland er derfor ikke inkludert. Basert på disse kriteriene var det kun enkelte delområder på flystasjonene Andøya og Kjeller som ble inkludert i denne rapporten. Øverste undersøkte prøve (toppjord) i hvert prøvepunkt ble valgt ut.

AF Decom har analysert innhold av PFAS i jordmasser som er tatt inn til behandling på jordvaskeanlegget på Nes Miljøpark. Dette er lettforurensede masser som ikke er forventet å være påvirket av lokal PFAS-forurensning. 35 PFAS ble rapportert: 4:2 Fluortelomersulfonat (4:2 FTS), 6:2 Fluortelomersulfonat (6:2 FTS), 8:2 Fluortelomersulfonat (8:2 FTS), Perfluorbutansyre (PFBA), Perfluorpentansyre (PFPeA), Perfluorheksansyre (PFHxA), Perfluorheptansyre (PFHpA), Perfluoroktansyre (PFOA), Perfluornonansyre (PFNA), Perfluordekansyre (PFDA), Perfluorundekansyre (PFUnDa), Perfluordodekansyre (PFDoDA), Perfluortridekansyre (PFTrDA), Perfluortetradekansyre (PFTeDA), Perfluorbutansulfonat (PFBS), Perfluorpentansulfonat (PFPeS), Perfluorheksansulfonat (PFHxS), Perfluorheptansulfonat (PFHpS), Perfluoroktylsulfonat (PFOS), Perfluornonansulfonat

(PFNS), Perfluordekansulfonat (PFDS), Perfluoundekansulfonat (PFUnDS), Perfluordodekansulfonat (PFDoDs), Perfluortridekansulfonat (PFTrDS), Perfluorheksansyre (PFHxDA), 7H-Perfluorheptansyre (HPFHpA), Perfluor-3,7-dimetyloktansyre (PF-3,7-DMOA), Perfluoroktansulfonamid (FOSA), N-etylperfluoroktansulfonamid (EtFOSA), N-etylperfluoroktansulfonamid (EtFOSAA), N-etylperfluoroktansulfonamidetanol (EtFOSE), N-metylperfluoroktansulfonamid-HAc (MeFOSAA), N-metylperfluoroktansulfonamidetanol (MeFOSE), N-metylperfluoroktansulfonamid (MeFOSA) og Perfluoroktansulfonamid-HAc (FOSAA).

Tabell 1. Data fra earthresQue-brukerpartnere på PFAS-konsentrasjoner i diffust påvirket jord.

Brukerpartner	Område	Antall prøver	Informasjon <sup>1</sup>	
Forsvarsbygg	Andøya	Område sør	Anleggsområde sør er et stort flatt grusområde på ca. 33 500 m <sup>2</sup> , som tidligere har vært benyttet til mellomlagring av overskuddsmasser samt anleggsaktiviteter av ulik karakter. Det er ikke mistanke om bruk av PFAS på denne lokaliteten	
		Esso	Område for et tidligere drivstoffanlegg med tilhørende garasjeanlegg, som ble revet og sanert for ca. 14 år siden. Garasjeanlegget ble benyttet til vask, håndtering/vedlikehold og lagring av tyngre biler. Det er ikke mistanke om bruk av PFAS på denne lokaliteten.	
	Kjeller	Delområde 6 nordvest	4	Områder nord for rullebanen, delvis bebygde og dels med gressdekke. Det er ikke mistanke om bruk av PFAS på disse delområdene.
		Delområde 6 nord	16	
		Delområde 8 vest	7	
		Delområde 8 øst	6	
		Delområde 7 og 9	28	Områder sør for rullebanen. Delområdene 7 og 9 har dels torv og dels gressdekke. Det er ikke mistanke om bruk av PFAS på delområde 7 og 9.
	Delområde 10	10	Myrlendt område øst for rullebanen. Det er ikke mistanke om bruk av PFAS på denne lokaliteten.	
	AF Decom	Nes Miljøpark	6	Innkommende masser analysert før behandling i 2023

<sup>1</sup> Informasjon for Forsvarsbygg sine områder er hentet fra Fagerheim et al. (2023a).

## 2.2 Statistikk

Alle konsentrasjoner rapporteres som  $\mu\text{g}/\text{kg}$  T.S. PFOS-konsentrasjoner under rapporteringsgrense ble behandlet som halv rapporteringsgrense ( $\frac{0,10 \mu\text{g}/\text{kg}}{2} = 0,05 \mu\text{g}/\text{kg}$ ).

## 2.3 Litteratursøk

Et litteratursøk ble gjennomført for å hente inn flere relevante data. Som for datasettene fra earthresQue-brukerpartnere ble dette søket avgrenset til data på konsentrasjoner i diffust



påvirket jord. Videre ble det forsøksvis fokusert på data fra Norge, men ettersom det var begrenset med datagrunnlag, ble søket utvidet til å gjelde konsentrasjoner fra Europa.

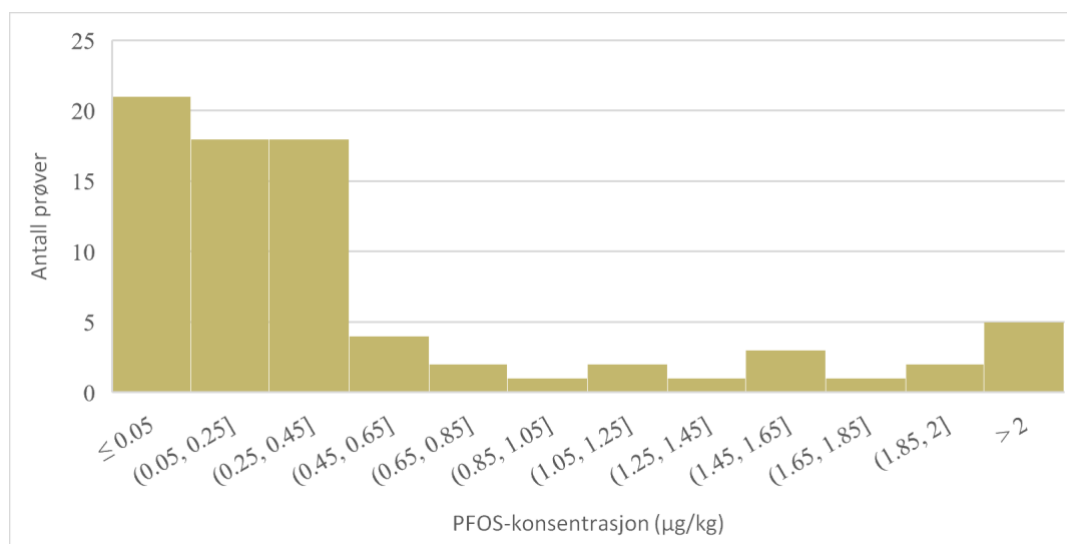
### 3 Resultater og diskusjon

#### 3.1 Konsentrasjoner i Norge

Datasettet fra Forsvarsbygg rapporterte kun  $\Sigma$ PFAS og konsentrasjoner av PFOS, og følgelig kunne ikke konsentrasjoner av andre PFAS vurderes.

I de seks prøvene fra AF Decom ble det kun påvist konsentrasjoner over rapporteringsgrense ( $0,03$ - $1,0 \mu\text{g kg}^{-1}$  avhengig av forbindelse) for PFHxS (1 prøve:  $0,073 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), PFOA (2 prøver, henholdsvis  $0,034$  og  $0,056 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) og PFOS (oppsummeres under).

PFOS-konsentrasjoner i datasettet fra Forsvarsbygg varierte fra under rapporteringsgrense opp til  $19 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Figur 1 illustrerer at de fleste prøver hadde PFOS-konsentrasjoner under  $0,65 \mu\text{g kg}^{-1}$ , men at enkelte prøver hadde høyere innhold. Videre viser Figur 1 at PFOS-konsentrasjonene ikke er normalfordelt, men heller asymmetrisk fordelt med en forskyvning mot høyre (dvs. høyere PFOS-konsentrasjoner). Med bakgrunn i dette antas mediankonsentrasjonen å være et bedre sentralt mål enn aritmetisk gjennomsnitt. Tabell 2 oppsummerer PFOS-konsentrasjonene som er undersøkt i denne rapporten. Median PFOS-konsentrasjon i Forsvarsbygg-datasettet var  $0,3 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Åtte prosent av prøvene i Forsvarsbygg-datasettet oversteg den foreslåtte normverdien på  $2 \mu\text{g kg}^{-1}$ .



Figur 1 Histogram som viser fordeling av prøver fra datasettet fra Forsvarsbygg med PFOS-konsentrasjoner innenfor konsentrasjonsintervaller.

Rapporterte PFOS-konsentrasjoner i de seks prøvene fra AF Decom varierte mellom  $0,083$  og  $1,1 \mu\text{g kg}^{-1}$  (Tabell 2). Median PFOS-konsentrasjon i prøvene fra AF Decom var på  $0,1 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Ingen av de seks prøvene oversteg den foreslåtte normverdien på  $2 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

PFOS-konsentrasjoner i diffust påvirket jord rapportert i litteraturen var sammenlignbare med konsentrasjonene rapportert i datasettene fra earthresQue-brukerpartnere (Tabell 2).

Mediankonsentrasjonene varierte fra 0,1 til 0,5  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Én studie som rapporterte PFOS-konsentrasjonen i jord ved Jonsvatnet utenfor Trondheim rapporterte en gjennomsnittskonsentrasjon på 0,3  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (mediankonsentrasjon ble ikke rapportert) (Grønnestad et al., 2019). I Tabell 2 er gjennomsnittskonsentrasjonene systematisk litt høyere enn mediankonsentrasjonene. Dette tyder på at datasettene generelt er asymmetrisk fordelt med en forskyvning mot høyre (dvs. høyere PFOS-konsentrasjoner), slik som illustrert i Figur 1 for datasettet for Forsvarsbygg.

Tabell 2 Gjennomsnitt (aritmetisk), standardavvik, median, 95-persentil, prosentandel prøver med PFOS-konsentrasjoner over foreslått normverdi på 2  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , og referanse på data hentet fra litteraturen. Verdier i fet skrift indikerer prøver fra Norge. Tomme celler indikerer at informasjonen ikke var tilgjengelig eller ikke aktuell.

Datakilde og beskrivelse		Gjennomsnitt	Standardavvik	Median	95-persentil	%-prøver over foreslått normverdi	Referanser
Undersøkte datasett	Utenfor kildeområder på flyplass (data fra Forsvarsbygg) (n=78)	<b>0,8</b>	<b>2,4</b>	<b>0,3</b>	<b>2,6</b>	<b>8%</b>	
	Masser inn til jordvask (data fra AF Decom) (n=6)	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0%</b>	
Litteraturverdier	Osloområdet	<b>0,4</b>		<b>0,2</b>			(Herzke et al., 2016)
	Toppjord (3-10 cm) fra skogområde ved Jonsvatnet, Trondheim	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>				(Grønnestad et al., 2019)
	Jord fra skogområder i Sverige	0,4		0,3			(Kikuchi et al., 2018)
	Jordbruk/naturområder i toppjord (0-20 cm) i Nederland	0,6	0,5	0,4	1,4		(Wintersen et al., 2020)
	Tettsteder i toppjord (0-20 cm) i Nederland	0,9	0,9	0,5	2,7		(Wintersen et al., 2020)
	European soils collected from locations absent of direct human activity <sup>1,2</sup>	0,9	1,2	0,1			(Rankin et al., 2016)

<sup>1</sup> Én prøve med PFOS konsentrasjon under LOQ kunne ikke bli inkludert i statistikken fordi LOQ ikke var tilgjengelig. <sup>2</sup> Én prøve var samlet inn fra Osloområdet i Norge og hadde en rapportert PFOS-konsentrasjon på 2,2  $\mu\text{g/kg}$  T.S.

Gjennomgangen i denne rapporten tyder på at mediankonsentrasjonen av PFOS i diffust påvirket jord i Norge er i området 0,1-0,3  $\mu\text{g/kg}$ , altså godt under den foreslåtte normverdien på 2  $\mu\text{g/kg}$ . Imidlertid hadde enkelte jordprøver langt høyere innhold og datamaterialet som ble undersøkt hadde et begrenset omfang.

Selv om prøvene fra Forsvarsbygg-datasettet er fra delområder der det rapporteres å ikke være mistanke om PFAS-forurensning, er disse delområdene lokalisert på flystasjoner som har brannøvingsfelt og andre områder der det har foregått omfattende bruk av PFAS-holdig brannskum. Det kan derfor ikke utelukkes at noe PFAS er spredt til disse områdene (for

eksempel ved øvelser under sterk vind). Høyere gjennomsnitt, median og standardavvik for Forsvarsbygg-datasettet sammenliknet mot de andre rapporterte konsentrasjonene i Norge, styrker denne mistanken (se Tabell 2). Åtte prosent av prøvene fra Forsvarsbygg-datasettet, men ingen av de seks prøvene fra AF Decom overskred den foreslåtte normverdien ( $2 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), noe som tyder på det samme. Imidlertid er de seks prøvene fra AF Decom et tynt grunnlag å vurdere dette på. I studien fra Rankin et al. (2016) ble det tatt én prøve fra Osloområdet. Denne prøven ble rapportert å ha en PFOS-konsentrasjon på  $2,2 \mu\text{g kg}^{-1}$  (Rankin et al., 2016). Det er derfor sannsynlig at enkelte prøver overskrider den foreslåtte normverdien, også på områder utenfor flystasjonene, men at prosentandelen er lavere enn 8%.

### 3.2 Utslippskilder og geografiske variasjoner

Geografiske variasjoner på PFAS-konsentrasjoner i jord forventes. På grunn av den omfattende bruken av PFAS og tilhørende utslipp er det ikke nødvendigvis enkelt å skille mellom PFAS-forurensning som følge av direkte utslipp fra lokale utslippskilder og forurensning som er et resultat av den globale diffuse forurensningen. PFAS-profilene (dvs., fordelingen av ulike PFAS) er rapportert å variere avhengig av utslippskilde, noe som kan benyttes for å spore utslippskilde(r) (Langberg et al., 2022). I tillegg til bruk av PFAS-holdig brannskum er en rekke betydelige PFAS-utslippskilder rapportert, inkludert deponier og i industri (papir- og tekstilindustri, m.m.) (Dunn et al., 2023; Knutsen et al., 2019; Langberg et al., 2021). PFAS-konsentrasjoner forventes å være lavere i områder som ligger langt unna betydelige PFAS-utslippskilder.

Imidlertid er det på grunn av den omfattende bruken av PFAS, få områder som ikke påvirkes av noen lokale PFAS-utslipp. Urbane områder forventes å være mer PFAS-forurenset enn naturområder langt unna bebyggelse. For eksempel ble det påvist høyere konsentrasjoner i jord fra tettsteder i Nederland sammenliknet mot jord fra jordbruk/naturområder (median PFOS-konsentrasjoner på henholdsvis  $0,5$  og  $0,4 \mu\text{g kg}^{-1}$ , se Tabell 2) (Wintersen et al., 2020). Av 95-persentilen i Tabell 2 kan man også se at mer enn 5% av prøvene fra tettsteder i Nederland overskrider den foreslåtte normverdien ( $2 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), mens det er mindre enn 5% av prøvene fra jordbruk/naturområder som gjør det. Til sammenlikning er mediankonsentrasjonen av PFOS i jord fra skogområder i Sverige rapportert å være  $0,3 \mu\text{g kg}^{-1}$  (Kikuchi et al., 2018). Høyere konsentrasjoner av PFAS i jord i urbane områder er forventet på grunn av den omfattende bruken av PFAS både i forbrukerartikler og i industri. Den omfattende bruken av PFAS i forbrukerartikler og påfølgende diffuse utslipp av PFAS reflekteres for eksempel, i renseanlegg for kommunalt avløpsvann der det rapporteres betydelige konsentrasjoner av PFAS i vann og slam fra renseanleggene. I renseanlegg fra Sverige er det rapportert utslipp av  $\sum 26$  PFAS til resipienter på  $43 \mu\text{g dag}^{-1} \text{ person}^{-1}$  (Gobelius et al., 2023), noe som illustrerer at befolkningstette områder, og spesielt tilhørende renseanlegg, kan være betydelige kilder til PFAS i miljøet. I tillegg til at renseanlegg er betydelige direkte utslippskilder for PFAS til miljøet, benyttes slam fra renseanleggene til jordbruk. I 2022 ble en totalmengde på 132 818 tonn tørrstoff kommunalt avløpsslam rapportert å bli disponert i Norge hvorav 69 071 tonn tørrstoff ble rapportert å bli disponert til jordforbedring i jordbruket (Statistisk sentralbyrå, 2023). Slam fra renseanlegg som

er benyttet til jordforbedring i jordbruk er rapportert å være en betydelig kilde til PFAS i jordbruksområder (Johnson, 2022; Munoz et al., 2021; Semerád et al., 2020).

Naturlige geografiske variasjoner bidrar også til forskjeller i forventede PFAS-konsentrasjoner mellom områder. For eksempel er anioniske PFAS rapportert å bindes sterkere til jord med høyt innhold av organiske forbindelser (Mejia-Avenidaño et al., 2020), slik at det kan forventes variasjoner i PFAS-konsentrasjoner avhengig av jordkvalitet. Imidlertid er det ikke rapportert en entydig trend for PFAS-konsentrasjoner avhengig av jordkvalitet. For eksempel ble det ikke observert en tydelig trend for totalt organisk karbon (TOC) og PFAS konsentrasjoner i diffust forurenset jord fra forsteder i Vermont, USA (Zhu et al., 2022). Skum fra havet er rapportert å inneholde høye konsentrasjoner av PFAS som en følge av de overflateaktive egenskapene til mange PFAS. Dette fører til at skum og aerosoler fra havet transporterer PFAS inn over land ved kysten, og tydelige økende gradienter av PFAS-konsentrasjoner er rapportert med minkende avstand til havet (Johansson et al., 2019; NIRAS, 2023; Reth et al., 2011).

## 4 Konklusjon og anbefalinger

Basert på gjennomgangen i denne rapporten ser det ut til at mediankonsentrasjoner av PFOS i diffust påvirket jord i Norge er i området 0,1-0,3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  T.S. Imidlertid tyder gjennomgangen som er gjennomført på at enkelte jordprøver har et betydelig høyere innhold, og at enkelte prøver overskrider den foreslåtte normverdien på 2  $\mu\text{g kg}^{-1}$  T.S.

Basert på datasettet som ble benyttet i denne rapporten var det ikke mulig å detaljert vurdere konsentrasjonen av andre PFAS enn PFOS. Imidlertid tyder prøvene fra AF Decom på at konsentrasjonen av andre PFAS enn PFOS er lave ( $<0,1 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) og for det meste under dagens deteksjonsgrenser.

Anbefalinger for videre arbeid inkluderer å kartlegge områder som representerer ulike geografiske lokaliteter, inkludert urbane, periurbane og rurale områder, i tillegg til jordbruksområder, gradienter mot havet (pga. mistanke om betydelig tilførsel av PFAS via skum og aerosoler) og gradienter mot punktkilder. Det bør vurderes å benytte metoder som både inkluderer en rekke andre PFAS enn PFOS og som gir lave rapporteringsgrenser. Analyse på ekstraherbart organisk fluor (EOF) og/eller «Total Oxidizable Precursor assay» (TOP Assay) er metoder som forventes å kunne gi relevant informasjon om total mengde PFAS, og forventes derfor å være nyttig å benytte for å skaffe informasjon om den diffust spredte PFAS-forurensningen i Norge.

## 5 Referanser

- Amundsen, C. E. (2020). *Høringsuttalelse fra Forsvarsbygg på Forslag til endring av normverdi for PFOS i vedlegg 1 i forurensningsforskriften kapittel 2*. <https://hoering.miljodirektoratet.no/Uttalelse/5d2303e6-d438-460c-95d5-cf0f36a9a00a?disableTutorialOverlay=true>
- Avinor. (2023). *PFOS i fokus*. <https://avinor.no/konsern/klima/pfos-i-fokus/pfos-i-fokus>
- Baumbusch, A., Keyte, I., Kreißig, J., Whiting, R., Nicol, L., Matulina, A., & Calasso, M. P. (2021). *PFAS in mining and petroleum industry - use, emissions and alternatives. Rapport for Miljødirektoratet (M-206/2021)*.
- Cappelen, P., Jartun, M., Reiten, S., Alling, V., Preus-Olsen, G., & Hartnik, T. (2016). *PFAS-forurensning i grunnen. Miljødirektoratet rapport M-622/2016. november 2015*.
- Cousins, I. T., Dewitt, J. C., Glüge, J., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C. A., Scheringer, M., & Wang, Z. (2020). The high persistence of PFAS is sufficient for their management as a chemical class. In *Environmental Science: Processes and Impacts* (Vol. 22, Issue 12, pp. 2307–2312). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d0em00355g>
- Cousins, I. T., Johansson, J. H., Salter, M. E., Sha, B., & Scheringer, M. (2022). Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). *Environmental Science & Technology*, 56(16), 11172–11179. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765>
- Dunn, M., Noons, N., Vojta, S., Becanova, J., Pickard, H., Sunderland, E. M., & Lohmann, R. (2023). Unregulated Active and Closed Textile Mills Represent a Significant Vector of PFAS Contamination into Coastal Rivers. *ACS ES&T Water*. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.3c00439>
- Fagerheim, B. A., Ortega, R., Lindtorp, J., Rasmussen, G., Sivertsen, Ø., Søvik, A. K., & Rabben, E. L. (2023a). *Samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Forsvarets flystasjoner - Rapportering for del 1 av Miljødirektoratets pålegg*.
- Fagerheim, B. A., Ortega, R., Lindtorp, J., Rasmussen, G., Sivertsen, Ø., Søvik, A. K., & Rabben, E. L. (2023b). *Samlet vurdering av PFAS-forurensning ved Forsvarets flystasjoner - Rapportering fra del 2 av Miljødirektoratets pålegg*.
- Fenton, S. E., Ducatman, A., Boobis, A., DeWitt, J. C., Lau, C., Ng, C., Smith, J. S., & Roberts, S. M. (2021). Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research. In *Environmental Toxicology and Chemistry* (Vol. 40, Issue 3, pp. 606–630). Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/etc.4890>
- Glüge, J., Scheringer, M., Cousins, I., DeWitt, J. C., Goldenman, G., Herzke, D., Lohmann, R., Ng, C., Trier, X., & Wang, Z. (2020). An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Environmental Science: Processes & Impacts*, 1462–1468. <https://doi.org/10.1039/d0em00291g>
- Gobelius, L., Glimstedt, L., Olsson, J., Wiberg, K., & Ahrens, L. (2023). Mass flow of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in a Swedish municipal wastewater network and wastewater treatment plant. *Chemosphere*, 336. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139182>

- Grønnestad, R., Vázquez, B. P., Arukwe, A., Jaspers, V. L. B., Jenssen, B. M., Karimi, M., Lyche, J. L., & Krøkje, Å. (2019). Levels, patterns, and biomagnification potential of perfluoroalkyl substances in a terrestrial food chain in a Nordic Skiing Area. *Environmental Science & Technology*, 53(22), 13390–13397. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02533>
- Herzke, D., Nygård, T., & Heimstad, E. S. (2016). *M-570, 2016 - Environmental pollutants in the terrestrial and urban environment, 2015*.
- Johansson, J. H., Salter, M. E., Acosta Navarro, J. C., Leck, C., Nilsson, E. D., & Cousins, I. T. (2019). Global transport of perfluoroalkyl acids via sea spray aerosol. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 21(4). <https://doi.org/10.1039/C8EM00525G>
- Johnson, G. R. (2022). PFAS in soil and groundwater following historical land application of biosolids. *Water Research*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.118035>
- Kikuchi, J., Wiberg, K., Stendahl, J., & Ahrens, L. (2018). *Analysis of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in soil from Swedish background sites*.
- Knutsen, H., Mæhlum, T., Haarstad, K., Slinde, G. A., & Arp, H. P. H. (2019). Leachate emissions of short-and long-chain per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from various Norwegian landfills. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 21(11), 1970–1979. <https://doi.org/10.1039/c9em00170k>
- Kwiatkowski, C. F., Andrews, D. Q., Birnbaum, L. S., Bruton, T. A., Dewitt, J. C., Knappe, D. R. U., Maffini, M. V., Miller, M. F., Pelch, K. E., Reade, A., Soehl, A., Trier, X., Venier, M., Wagner, C. C., Wang, Z., & Blum, A. (2020). Scientific basis for managing PFAS as a chemical class. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(8), 532–543. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00255>
- Langberg, H. A., Arp, H. P. H., Breedveld, G. D., Slinde, G. A., Høiseter, Å., Grønning, H. M., Jartun, M., Rundberget, T., Jenssen, B. M., & Hale, S. E. (2021). Paper product production identified as the main source of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in a Norwegian lake: source and historic emission tracking. *Environmental Pollution*, 273, 116259. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116259>
- Langberg, H. A., Breedveld, G. D., Slinde, G. A., Grønning, H. M., Høisæter, Å., Jartun, M., Rundberget, T., Jenssen, B. M., & Hale, S. E. (2020). Fluorinated precursor compounds in sediments as a Source of perfluorinated alkyl acids (PFAA) to Biota. *Environmental Science & Technology*, 54(20), 13077–13089. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04587>
- Langberg, H. A., Hale, S. E., Breedveld, G. D., Jenssen, B. M., & Jartun, M. (2022). A review of PFAS fingerprints in fish from Norwegian freshwater bodies subject to different source inputs. *Environmental Science Processes & Impacts*. <https://doi.org/10.1039/d1em00408e>
- Lovdata. (2013). *Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften) - Del 1, Kapittel 2, Vedlegg 1: Normverdier*. [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL\\_1#KAPITTEL\\_1](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_1#KAPITTEL_1)
- Mejia-Avendaño, S., Zhi, Y., Yan, B., & Liu, J. (2020). Sorption of Polyfluoroalkyl Surfactants on Surface Soils: Effect of Molecular Structures, Soil Properties, and Solution Chemistry. *Environmental Science & Technology*, 54(3), 1513–1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04989>
- Miljødirektoratet. (2020). *Høring: Forslag om endring av normverdi for PFOS i vedlegg 1 i forurensningsforskriften* kapittel 2.

- <https://www.miljodirektoratet.no/hoeringer/2020/april-2020/forslag-om-endring-av-normverdi-for-pfos-i-vedlegg-1-i-forurensningsforskriften-kapittel-2/>
- Miljødirektoratet. (2022). *Høring: Forslag til nye normverdier og tilstandsklasser for forurensset grunn*. <https://www.miljodirektoratet.no/hoeringer/2022/november-2022/forslag-til-nye-normverdier-og-tilstandsklasser-for-forurensset-grunn/>
- Mørch, T., & Bjørnstad, H. (2023). *Høringsuttalelse fra Forsvarsbygg på forslag til nye normverdier og tilstandsklasser for forurensset grunn*. <https://hoering.miljodirektoratet.no/Uttalelse/5fa06d6f-ae1d-422a-b498-2f013a38fcd1?disableTutorialOverlay=true>
- Muir, D., Bossi, R., Carlsson, P., Evans, M., De Silva, A., Halsall, C., Rauert, C., Herzke, D., Hung, H., Letcher, R., Rigét, F., & Roos, A. (2019). Levels and trends of poly- and perfluoroalkyl substances in the Arctic environment – An update. *Emerging Contaminants*, 5, 240–271. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2019.06.002>
- Munoz, G., Michaud, A. M., Liu, M., Vo Duy, S., Montenach, D., Resseguier, C., Watteau, F., Sappin-Didier, V., Feder, F., Morvan, T., Houot, S., Desrosiers, M., Liu, J., & Sauv , S. (2021). Target and Nontarget Screening of PFAS in Biosolids, Composts, and Other Organic Waste Products for Land Application in France. *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03697>
- NIRAS. (2023). *Unders gelser af kystn r PFAS-forurening af jord- og grundvand*.
- Rankin, K., Mabury, S. A., Jenkins, T. M., & Washington, J. W. (2016). A North American and global survey of perfluoroalkyl substances in surface soils: Distribution patterns and mode of occurrence. *Chemosphere*, 161, 333–341. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.06.109>
- Reth, M., Berger, U., Broman, D., Cousins, I. T., Nilsson, E. D., & McLachlan, M. S. (2011). Water-to-air transfer of perfluorinated carboxylates and sulfonates in a sea spray simulator. *Environmental Chemistry*, 8(4), 381–388. <https://doi.org/10.1071/EN11007>
- Semer d, J., Hatasov , N., Grasserov , A.,  ern , T., Filipov , A., Han , A., Innemanov , P., Pivokonsk , M., & Cajthaml, T. (2020). Screening for 32 per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) including GenX in sludges from 43 WWTPs located in the Czech Republic - Evaluation of potential accumulation in vegetables after application of biosolids. *Chemosphere*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128018>
- Statistisk sentralbyr . (2023). 11788: *Kommunalt avl psslam (K) 2015 - 2022*. <https://www.ssb.no/statbank/table/11788/>
- Wang, Z., DeWitt, J. C., Higgins, C. P., & Cousins, I. T. (2017). A never-ending story of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs)? *Environmental Science & Technology*, 51(5), 2508–2518. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04806>
- Wintersen, A., Spijker, J., van Breemen, P., & van Wijnen, H. (2020). *Achtergrondwaarden perfluoroalkylstoffen (PFAS) in de Nederlandse landbodem. In Dutch*. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2020-0100>
- Zahm, S., Bonde, J. P., Chiu, W. A., Hoppin, J., Kanno, J., Abdallah, M., Blystone, C. R., Calkins, M. M., Dong, G.-H., Dorman, D. C., Fry, R., Guo, H., Haug, L. S., Hofmann, J. N., Iwasaki, M., Machala, M., Mancini, F. R., Maria-Engler, S. S., M ller, P., ... Schubauer-Berigan, M. K. (2023). Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid and

perfluorooctanesulfonic acid. *The Lancet. Oncology*. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(23\)00622-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(23)00622-8)

Zhu, W., Khan, K., Roakes, H., Maker, E., Underwood, K. L., Zemba, S., & Badireddy, A. R. (2022). Vermont-wide assessment of anthropogenic background concentrations of perfluoroalkyl substances in surface soils. *Journal of Hazardous Materials*, 438, 129479. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129479>



## Forskning



## Privat sektor



## Offentlig sektor



*The earthresQue centre is a Centre for Research-based Innovation (SFI) funded by the Research Council of Norway. The centre will develop technologies and systems for sustainable handling and treatment of waste and surplus masses.*



Senter for  
forskningsdrevet  
innovasjon

earthresQue