



Miljøministeriet  
Miljøstyrelsen

# Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS- forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder

Miljøprojekt nr. 1600, 2014

**Titel:**

Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS-  
forbindelser som jord- og grundvandsforurening i  
forbindelse med punktkilder

**Redaktion:**

Katerina Tsitonaki  
Trine Skov Jepsen  
Thomas Hauerberg Larsen

**Udgiver:**

Miljøstyrelsen  
Strandgade 29  
1401 København K  
www.mst.dk

**År:**

2014

**ISBN nr.**

978-87-93178-96-0

**Ansvarsfraskrivelse:**

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

# Indhold

<b>Forord</b> .....	<b>5</b>
<b>Konklusion og sammenfatning</b> .....	<b>7</b>
<b>Summary and Conclusion</b> .....	<b>12</b>
<b>1. Indledning</b> .....	<b>17</b>
1.1 Baggrund og behov .....	17
1.2 Projektets formål .....	18
1.3 Rapportens indhold .....	18
<b>2. PFAS-forbindelser</b> .....	<b>20</b>
2.1 Definitioner og afgrænsning.....	20
2.2 Sundhedsrisici.....	21
2.3 Spredning i miljøet .....	21
2.4 Regulering af PFAS .....	22
2.5 Stoffernes egenskaber.....	24
2.5.1 Fysisk kemiske parametre .....	24
2.5.2 Øvrige processer.....	26
<b>3. Brancher og anvendelse af PFAS</b> .....	<b>27</b>
3.1 Generelt om anvendelsen af PFAS-forbindelser .....	27
3.2 Generelt om forbrug af PFAS i Danmark.....	28
3.3 Metode for indsamling af branchespecifikke oplysninger .....	29
3.4 PFAS i tekstil-, læder- og tæppeindustri.....	29
3.5 PFAS i maling, lak og trykfarver.....	30
3.6 PFAS i metalliseringsindustrien.....	31
3.7 PFAS i brandslukningsskum .....	32
3.8 PFAS i fotografisk industri .....	33
3.9 PFAS i hydraulikolie til luftfart .....	34
3.10 PFAS i voks og polish.....	34
3.11 PFAS i papir- og papimprægning.....	35
3.12 PFAS i andre brancher.....	35
3.13 anbefalinger til videre undersøgelser .....	35
<b>4. Undersøgelser af PFAS på udvalgte brancher i Danmark</b> .....	<b>37</b>
4.1 Brandøvelsespladser i forbindelse med olieoplæg .....	37
4.1.1 Feltarbejde på brandøvelsespladser .....	38
4.2 Fyldpladser for byggeaffald og ældre dagrenovationslossepladser .....	39
4.3 Forkromningsindustrien .....	40
4.4 Tæppeindustrien.....	40
4.5 Malingsindustrien.....	41
<b>5. Fund af PFAS i grundvandet ved udvalgte brancher</b> .....	<b>42</b>
5.1 Fund af PFAS på brandøvelsespladser.....	42
5.2 Fund af PFAS i andre brancher .....	46
<b>6. Vurdering af resultater</b> .....	<b>48</b>
6.1 Udbredelse af PFAS forurening.....	48
6.2 Sammensætning af PFAS forurening.....	49

6.3	Erfaringer fra udenlandske undersøgelser .....	50
<b>7.</b>	<b>Opsamling og Konklusion</b> .....	<b>52</b>
<b>8.</b>	<b>Screeningsundersøgelse fra GEUS</b> .....	<b>55</b>
8.1	Vurdering af resultaterne fra GEUS' screeningsundersøgelse i forhold til nærværende undersøgelse .....	56
<b>Referencer</b>	.....	<b>57</b>

# Forord

I Danmark bruges grundvandet til drikkevand, og grundvandet beskyttes frem for at renses. Miljøfremmede stoffer er derfor uønskede i det danske grundvand. Grundvandet overvåges for påvirkning fra en lang række miljøfremmede stoffer, men der er en risiko for at nye/ukendte stoffer overses. Gennem jordforureningsloven håndteres forurenede grunde, og her kan der være brancher, aktiviteter eller stoffer, der ikke tidligere har været fokus på. Et eksempel er PFAS-forbindelser (perfluoralkylforbindelser). PFOS er en PFAS-forbindelse, og PFOS og dens derivater er optaget på Stockholm-konventionens liste over persistente, organiske miljøgifte og reguleret i EU under POP-forordningen (EC No 850/2004). PFOS, PFOA og andre perfluorforbindelser er desuden optaget på Miljøstyrelsens Liste Over Uønskede Stoffer (LOUS) på grund af deres persistens og bioakkumulerende potentiale. De specifikke stoffer PFOS og PFOA fra PFAS-gruppen er klassificeret som værende kræftfremkaldende, reproduktionstoksiske og akut giftige. Stofferne er desuden under mistanke for at være hormonforstyrrende. Den generelle viden om toksikologien for mange af forbindelserne i gruppen er dog mangelfuld.

Det overordnede formål med projektet er at afklare, om punktkildeforurening med PFAS-forbindelser i jorden forekommer i den danske grundvandsressource. Herunder at identificere mulige punktkilder til forurening af grundvandet, samt udføre undersøgelser på et mindre antal relevante lokaliteter.

Projektet er desuden beskrevet som et initiativ i den danske implementeringsplan for Stockholm-konventionen (MST, 2013a) og i LOUS-strategierne for PFOS og PFOA (MST, 2013b, c, d). Den danske implementeringsplan for Stockholm-konventionen og LOUS-strategierne behandler problemstillingerne om PFOS og andre perfluorerede stoffer i et bredt perspektiv. Som baggrund for LOUS-strategierne er der udført en kortlægning af perfluorforbindelser, der beskriver regulering, anvendelse, affaldsproblemstillinger, miljø- og sundhedsaspekter og alternativer til stofferne (Lassen et al, 2012).

I dette projekt er der derfor alene fokus på problemstillingen om perfluorerede stoffer som jord- og grundvandsforurening i form af punktkilder. Nogle steder i rapporten berøres andre emner kort, f.eks. affald og spildevand, men det er ikke sigtet med projektet at gå nærmere ind i disse emner, og der henvises til LOUS-projekterne for nærmere information om den samlede problemstilling omkring perfluorerede stoffer og for information om andre initiativer, der vedrører perfluorerede stoffer.

Projektet giver en overordnet introduktion til problemstillingen om perfluorerede stoffer som jord- og grundvandsforurening i form af punktkilder. Det er således ikke projektets formål at gå i detaljer med de enkelte perfluorerede stoffer samt lave detaljerede branchebeskrivelser af brugen af stofferne.

Projektets formål er heller ikke at lave en total redegørelse for anvendelse af stofferne, men at pege på brancher, som kan være potentielle punktkilder til forurening af jord og grundvand.

Region Syddanmark er bygherre for projektet, som er finansieret af Miljøstyrelsen gennem teknologiudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Projektet er udført af Orbicon A/S.

Projektets følgegruppe har omfattet følgende personer:

- Katrine Smith, Miljøstyrelsen, Jord og Affald
- Jan Petersen, Region Syddanmark
- Louise Grave-Larsen, Miljøstyrelsen, Kemikalier
- Linda Bagge, Miljøstyrelsen, Jord og Affald
- Anne-Mette Bräuner Lindof, Miljø- og Energifdelingen, Forsvarets Bygnings- og Etablissementstjeneste
- Anne Kristensen, Københavns Lufthavne A/S

Projektet ville ikke kunne gennemføres uden den store samarbejdsvillighed fra grundejere og medarbejdere på de undersøgte lokaliteter og medarbejdere hos relevante myndigheder. Derudover specielt tak til Thomas Astrup fra DTU og Matthias Kjaerulff fra 3M.

# Konklusion og sammenfatning

## Baggrund

Miljøstyrelsen har i de seneste år igangsat en række initiativer vedr. kortlægning og strategier om PFOS, PFOA og andre perfluorerede stoffer. Dette projekt er det første dybdegående projekt vedrørende forekomst af jord- og grundvandsforurening med perfluorerede stoffer i forbindelse med punktkilder.

Projektet er desuden beskrevet som et initiativ i den danske implementeringsplan for Stockholm-konventionen (MST, 2013a) og i LOUS-strategierne for PFOS og PFOA (MST, 2013b, c, d). Den danske implementeringsplan for Stockholm-konventionen og LOUS-strategierne behandler problemstillingerne om PFOS og andre perfluorerede stoffer i et bredt perspektiv. Som baggrund for LOUS-strategierne er der udført en kortlægning af perfluorforbindelser, der beskriver regulering, anvendelse, affaldsproblemstillinger, miljø- og sundhedsaspekter og alternativer til stofferne (Lassen et al, 2012).

I dette projekt er der derfor alene fokus på problemstillingen om perfluorerede stoffer som jord- og grundvandsforurening i form af punktkilder. Nogle steder i rapporten berøres andre emner kort, f.eks. affald og spildevand, men det er ikke sigtet med projektet at gå nærmere ind i disse emner, og der henvises til LOUS-projekterne for nærmere information om den samlede problemstilling omkring perfluorerede stoffer og for information om andre initiativer, der vedrører perfluorerede stoffer.

Projektet giver en overordnet introduktion til problemstillingen om perfluorerede stoffer som jord- og grundvandsforurening i form af punktkilder. Det er således ikke projektets formål at gå i detaljer med de enkelte perfluorerede stoffer samt lave detaljerede branchebeskrivelser af brugen af stofferne.

Projektets formål er heller ikke at lave en total redegørelse for anvendelse af stofferne, men at pege på brancher, som kan være potentielle punktkilder til forurening af jord og grundvand.

Perfluorerede stoffer er den samlede betegnelse for en meget varieret stofgruppe og ifølge OECD findes der omkring 1000 stoffer under denne kategori. Der skelnes mellem langkædede og kortkædede perfluorerede forbindelser, da der mellem disse to grupper er essentielle forskelle i toksicitet og bioakkumulering.

Dette projekt fokuserer på de langkædede perfluorerede forbindelser, der kan beskrives som:

- Perfluorcarboxylsyrer (PFCA'ere) med kulstofkædelængder på 8 eller derover, f.eks. Perfluoroktansyre (PFOA).
- Perfluoralkylsulfonater (PFSA'ere) med kulstofkædelængder på 6 eller derover, herunder perfluoroktansulfonat (PFOS).
- Andre langkædede forbindelser der ikke hører direkte ind under en af disse to grupper, men kan nedbrydes til enten PFCA'ere eller PFSA'ere og derfor fungerer som forstadier for disse grupper.

Igennem denne rapport vil den samlede betegnelse for de langkædede perfluorerede stoffer være PFAS eller PFAS-forbindelser. I analyseprogrammet indgår også en kortkædet forbindelse.

Projektet er yderligere afgrænset til at omfatte PFOS, PFOA og 7 andre PFAS-forbindelser. Baggrunden for valget af de øvrige 7 forbindelser har alene været den tilgængelige analysepakke fra analyseinstituttet ALS Denmark A/S. Analysepakken omfatter de forbindelser, der beskrives i bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger BEK nr. 900 af 17/08/2011 (dvs. PFOS, PFOSA, PFHxS, PFDA, PFNA og PFOA) Desuden omfatter analysepakken yderligere tre forbindelser PFBS, PFHpA og PFHxA.

De bedst kendte forbindelser er PFOS (perfluoroktansulfonat) og PFOA (perfluoroktansyre) og deres salte. PFOS og dens derivater er optaget på Stockholm-konventionens liste over persistente organiske miljøgifte. PFOS, PFOA og andre perfluorforbindelser er desuden optaget på Miljøstyrelsens Liste Over Uønskede Stoffer (LOUS) på grund af deres persistens og bioakkumulerende potentiale. PFOA, APFO og 4 andre PFCA'er er desuden på kandidatlisten over SVHC'er (Substances of Very High Concern) under REACH (Lassen et al., 2013). De specifikke stoffer PFOS og PFOA fra PFAS-gruppen er klassificeret som værende kræftfremkaldende, reproduktionstoksiske og akut giftige. Stofferne er desuden under mistanke for at være hormonforstyrrende. Den generelle viden om toksikologien for mange af forbindelserne i gruppen er dog mangelfuld.

Der er ikke fastsat grænseværdier for indhold af PFAS i grundvand/drikkevand i Danmark. Stofferne er på Miljøstyrelsens liste over uønskede stoffer (LOUS). I USA er der fastsat et foreløbigt krav på 200 ng/l for PFOS og 400 ng/l for PFOA til drikkevand (EPA, 2009), og i Tyskland er der en anbefaling på maksimalt 100 ng/l for summen af PFOS og PFOA (BMU, 2006). I Storbritannien er der en anbefaling på maksimalt 300 ng/l for PFOS og 10.000 ng/l for PFOA i drikkevand (HPA, 2009). I Norge er der opstillet en provisorisk retningslinje på 100 ng/g TS for PFOS i jord (SF, 2008).

Det er igennem rapporten valgt at sammenligne de fundne koncentrationsniveauer med den tyske grænseværdi for drikkevand, som er den laveste værdi fundet i Europa ved udarbejdelsen af denne rapport, ud fra et konservativt perspektiv. Det bemærkes, at fundene ikke er gjort i drikkevand, men i grundvand ved forurenede arealer.

PFAS er både hydrofobe og lipofobe, hvorfor de skyr både vand, fedt og snavs. De har ydermere en meget lav overfladespænding og en høj grad af udflydning. Disse egenskaber gør PFAS meget egnede som overfladeaktive stoffer i diverse industrier og produkter.

Den historisk største producent af PFAS er det amerikanske firma 3M. Firmaet 3M startede produktionen af perfluorforbindelser i 1949, men brugen af stofferne slog først igennem efter 1966. Den største produktion af PFAS fandt sted mellem 1990 og 2000 med ca. 3000 tons årligt. Frem til 2000 var produktionen domineret af POSF (perfluoroktansulfonatfluorid), som var en forgænger til PFOS. Efter flere fund af PFAS i miljøet, meddelte producenten 3M, i 2000, at de ville udfase produktionen af PFOS og andre PFOS-relaterede forbindelser (3M, 2003). Siden 2002 er brugen af PFAS faldet markant (EU, 2011). Specielt er forbruget blevet mindre, hvor det har været muligt at finde alternative stoffer. I 2006 er brugen af de PFOS-relaterede stoffer endvidere blevet reguleret i EU under Stockholm-konventionen (EC 850-2004; EU, 2011).

Der har aldrig været direkte produktion af PFAS i Danmark. Siden der i 2000 blev sat fokus på PFAS i miljøet, er der lavet flere opgørelser over branchernes forbrug af PFAS i Danmark. Forbruget i 2001 var op til 50 tons årligt (Havelund 2001). Jf. Miljøstyrelsens tidligere kortlægning af forbrug af PFOS og beslægtede stoffer, herunder PFOA, udgjorde anvendelsen i brandslukningsskum kun 0,3-1,1 % af det samlede årsforbrug i Danmark på 9-16 tons i 2005, dvs. maks. 160 kg. Cirka 50 % af den samlede mængde, dvs. 4,5-8 tons blev brugt i forskellige former for imprægneringsmidler til tekstiler, læder og papir. Derudover har større mængder af PFOS og beslægtede stoffer været anvendt i maling og lak, som overfladeaktive stoffer i forskellige



rengørings- og poleringsmidler samt ved galvanisering. Efter udfasning af PFOS er forbruget faldet til ca. 3 tons årligt.

Da stofferne har haft en bred anvendelse gennem mange år, er der en risiko for, at der udover på brandøvelsespladser optræder andre punktkilder af PFAS, som kan forårsage jord- og grundvandsforurening. I kombination med stoffernes miljø- og sundhedsfarlige egenskaber, kan eventuelle kilder udgøre en trussel for grundvandet.

### **Formål**

Det overordnede formål med projektet er at afklare, om punktkildeforurening med PFAS-forbindelser i jorden forekommer i den danske grundvandsressource. Herunder at identificere mulige punktkilder til forurening af grundvandet, samt at udføre undersøgelser på et mindre antal relevante lokaliteter.

Projektet omfatter følgende emner:

- At belyse hvilke brancher, der har anvendt/anvender PFAS, og hvorvidt denne anvendelse var/er af en karakter, der kan forårsage en forurening af jord og grundvand med PFAS.
- At foretage screeningsundersøgelser for forekomst af PFAS på udvalgte lokaliteter.

### **Metoder**

Der er udført en litteraturgennemgang af anvendelsen af PFAS for at identificere, hvilke brancher der kan have håndteret PFAS i et omfang og på en måde, der kan føre til en forurening af jord og grundvand. Ud over litteraturgennemgangen er der udført direkte forespørgsel hos de største virksomheder og aktører.

Udvælgelsen er funderet på en vurdering af den samlede mængde PFAS håndteret, mulighed for spredning til jord og grundvand samt sandsynligheden for at kunne lokalisere en eventuel punktkilde for hver enkelt branche.

Der er identificeret 5 brancher/aktiviteter, hvor der er en forventet risiko for PFAS forurening:

#### *Brandøvelsespladser i forbindelse med træning i slukning af oliebrande eller lignende*

Der kan have været anvendt PFOS-holdigt skum til brandslukning frem til 2011.

Brandslukningsskum er blevet brugt i store mængder direkte på befæstede og ubefæstede arealer, og der er i andre studier fundet PFOS, PFOA og PFOS-relaterede stoffer i jord og grundvand ved brandøvelsespladser i andre skandinaviske lande. I Danmark er der desuden kendskab til en velundersøgt brandøvelsesplads med op til hundrede tusinde ng/l PFAS, hvor der foretages afværge

#### *Forkromningsindustrien*

Forkromningsindustrien er den største forbruger af PFOS og derivativer i Europa i dag. I forkromningsindustrien i EU (27 lande) anvendes kalium, lithium, diethanolamin og ammoniumsalte af PFOS samt kvarternære ammoniumsalte og -aminer. Stoffet PFOSA (CAS No. 56773-42-3) anvendes særlig ofte. I Danmark må PFOS stadig anvendes til hårdforkromning. PFAS tilsættes forkromningsbadene, og der kan være risiko for spild til jord og grundvand direkte fra disse kar eller fra oplag og omhældning, hvis der er sket uheld i håndteringen. Endvidere er der høje koncentrationer af PFOS i affald/spildevand fra disse industrier i forhold til andre industrier.

#### *Tæppeindustrien*

Tæppeindustrien har tidligere stået for op til 30 % af PFAS-forbruget i Danmark (Havelund, 2001 og 2002). PFAS-forbindelserne indgår som et smudsafvisende middel i overfladebehandlingen. Tæppeindustrien har opbevaret op til flere tons PFAS-baseret imprægneringsvæske, hvorfor der kan være risiko for spild til jord og grundvand fra oplag og omhældning, hvis der er sket uheld i håndteringen.

### *Malingsindustrien*

PFAS har været brugt i udvalgte malingsprodukter. Der har derfor været oplag af PFAS-additiver ved nogle produktionsanlæg.

### *Fyldpladser for byggeaffald og ældre dagrenovationslossepladser*

Maling brugt i byggeindustrien før 2002 kan have indeholdt PFOS og PFOS-relaterede forbindelser. Hvis bemalet byggeaffald i årene før 2002 er deponeret på fyldpladser kan udvaskning give anledning til direkte udledning af PFOS og relaterede forbindelser til jord og grundvand. Det må forventes, at diverse husholdningsaffald inklusive tæpper og møbler er blevet afskaffet ved deponi indtil slutningen af 1980'erne. Da de største mængder af PFOS og relaterede forbindelser er brugt i perioden 1970 til 1990 kan det give anledning til udvaskning af en ukendt, men muligvis betydelig, mængde til jord og grundvand.

For at kortlægge i hvor høj grad aktiviteterne i disse brancher kan have ført til forurening af grundvandet, er der herefter udvalgt en række specifikke lokaliteter til videre undersøgelser. Der er som en del af dette projekt udført screeningsundersøgelser for PFAS-forurening i grundvandet på 8 brandøvelsespladser, 4 fyld-/lossepladser, 2 forkromningsindustrier, en tæppeproducent og en malingsproducent. Derudover er der kendskab til en brandøvelsesplads, hvor der er udført en selvstændig frivillig undersøgelse før dette projekts opstart.

### **Resultater**

Der er påvist indhold af PFAS på 5 ud af 8 brandøvelsespladser i screeningsundersøgelsen. Niveaulet varierer fra få til tusinde ng/l. På de undersøgte lokaliteter har kvaliteten af undersøgelsen været varierende og undersøgelserne har haft karakter af screeningsundersøgelser ved stikprøvekontrol og ikke kvantificering af forureningsindhold. Ud af de 4 brandøvelsespladser der vurderes at være velundersøgte (flere borer i kildeområdet) er der på 2 pladser fundet indhold af PFAS på over eller tæt på 100 ng/l, og på de øvrige 2 er der fundet over 1000 ng/l (summen af 9 PFAS-forbindelser). På de resterende 4 pladser, hvor undersøgelseskvaliteten vurderes at være mindre god eller dårlig, er der ikke detekteret PFAS, med undtagelse af en lokalitet hvor der er fundet lidt over 100 ng/l. Det bemærkes, at koncentrationsniveauet for PFAS på brandøvelsespladser generelt ligger over 100 ng/l, som er den anbefalede grænseværdi for indhold af PFOS og PFOA i Tyskland for drikkevand. Det bemærkes også, at fundene ikke er gjort i drikkevandet, men i grundvandet under forurenede arealer.

I en selvstændig frivillig undersøgelse, er der påvist hundrede tusinde ng/l. Denne undersøgelse er ikke udført som en del af dette projekt og var kendt allerede inden projektet blev startet op. Denne lokalitet er den mest velundersøgte med flere borer i kildeområdet (selve brandøvelsespladsen) og havde til hensigt at kvantificere forureningen med PFAS på lokaliteten. Her foretages i dag afværgelse af forureningen.

Konklusionen er således, at der ved brandøvelsespladser er risiko for en påvirkning af grundvandet med PFAS-forbindelser, idet indhold af PFAS er påvist på alle de velundersøgte pladser, hvor borerne har ligget i eller meget tæt på kildeområdet for punktkilden.

I tæppeindustrien er der ligeledes fundet en høj koncentration af PFAS-forbindelser på ca. 1500 ng/l (hvoraf PFOS+PFOA udgør 1130 ng/l) i den ene udtagne prøve. Prøven stammer fra det terrænnære grundvand på fabriksområdet, men ikke fra et område, hvor det med sikkerhed vides at der har været anvendt, opbevaret eller spildt produkter indeholdende PFAS.

Ved de udførte undersøgelser er der ikke fundet høje niveauer af PFAS ved lossepladser, forkromningsindustrier eller malingsproducenter. Omfanget og kvaliteten af undersøgelserne af disse brancher har dog været begrænset, hvilket ikke tillader en definitiv konklusion i forhold til om disse brancher er potentielle kraftige kilder i forbindelse med PFAS-forbindelser i grundvandet.

Det hyppigst fremkommende stof ved disse undersøgelser er PFOS, som ofte udgør mere end halvdelen af summen af de undersøgte PFAS-forbindelser. Det skal dog bemærkes, at undersøgelsen kun har omfattet 9 PFAS-forbindelser på baggrund af den tilgængelige analysepakke. I andre lande er der konstateret forurening med kortkædede PFCA's (eks. PFPeA og PFBA) i et større område end PFOS, da disse stoffer er mere mobile. Disse stoffer indgik ikke i den tilgængelige analysepakke ved denne undersøgelse.

På baggrund af projektets resultater konkluderes følgende:

- Der er påvist PFAS-forbindelser på flere lokaliteter i Danmark. Stofferne er således tilstede i det danske grundvand nær særlige brancher/aktiviteter, primært brandøvelsespladser. Det er dog ikke vurderet i dette projekt hvorvidt PFAS-forbindelserne udgør en risiko for grundvand, der bruges til drikkevand.
- Brandøvelsespladser er bekræftet som potentielle kilder til PFAS-forurening. Der findes mindst 38 store brandøvelsespladser i Danmark. Heraf anses de 27 at være relevante, da der er anvendt brandslukningsskum til slukning af oliebrande. 8 af disse lokaliteter er undersøgt som en del af screeningsundersøgelsen i dette projekt. På 2 lokaliteter er den tyske grænseværdi overskredet med ca. en faktor 10. Det bemærkes desuden, at der er fundet flere typer perfluorerede stoffer på disse lokaliteter. På en brandøvelsesplads er der tidligere udført en fyldestgørende forureningsundersøgelse som et selvstændigt projekt. På denne lokalitet findes koncentrationer af PFOS og PFOA, der er 500 gange den tyske grænseværdi (100 ng/l) i drikkevand. Forureningen på denne lokalitet bliver håndteret ved afværgepumpning og rensning af vandet.
- Tæppeindustrien er ligeledes bekræftet som potentiel PFAS-kilde til punktkilder. Der er dog kun foretaget én undersøgelse med udtagelse af én enkelt vandprøve. Der findes dog meget få tæppeproducenter i Danmark, så det vurderes ikke antalmæssigt at være en udbredt punktkilde til forurening.

På baggrund heraf kan det anbefales at undersøge brandøvelsespladser for forurening med PFAS for at øge datagrundlaget. Der skal i denne forbindelse tages højde for oplysninger om, hvilke typer og mængde brandslukningsskum, der er anvendt på pladsen, hvis disse oplysninger findes, samt pladsens nuværende og tidligere indretning. Der kan endvidere tages højde for placeringen af brandøvelsespladser i forhold til områder med særlige drikkevandsinteresser og indvindingsoplande. Derudover kan det anbefales, at der inkluderes analyse for PFAS, når der udføres forureningsundersøgelser i forbindelse med tæppeindustrien, der har håndteret disse stoffer, for også at øge datagrundlaget her. For de øvrige brancher (fyldpladser, malingindustri og forkromningsindustri) kan det ligeledes være en fordel at øge datagrundlaget med flere undersøgelser, før der kan drages en klar konklusion. Ved fremtidige undersøgelser kan det anbefales at anvende en udvidet analysepakke, hvor flere PFAS-forbindelser såsom PFBA, PFDcS, PFDUnA, PFDcA og 6:2 FTS er inkluderet, idet disse forbindelser er fundet i udenlandske undersøgelser (ATSDR, 2008; SF,2008). Dermed kan opnås større viden om forbindelsernes mobilitet og nedbrydningsveje. Desuden er det relevant at inddrage flere kortkædede PFAS-forbindelser i analysepakken, da disse forbindelser i mange tilfælde anvendes som alternative til de langkædede PFAS.

# Summary and Conclusion

## **Project background**

The Danish EPA has in recent years launched a number of initiatives and strategies regarding PFOS, PFOA and other perfluorinated substances. This project is the first to thoroughly investigate the presence of perfluorinated substances as groundwater contamination associated with point sources.

The project is also described as an initiative within the Danish implementation plan for the Stockholm Convention (MST, 2013a) and in LOUS (List Of Undesirable Substances) strategies for PFOS and PFOA (MST, 2013b, c, d). The Danish Implementation Plan for the Stockholm Convention and the LOUS strategies are dealing with the issues of PFOS and other perfluorinated compounds in a broad perspective. A survey of PFCs describing regulation, use, waste issues, environmental and health issues and alternative compounds has been carried out as a brick stone to the LOUS strategies (Havelund 2001, 2002).

This project is therefore only focusing on the issue of perfluorinated compounds as soil and groundwater contamination in the form of point sources. In part of the report other topics have been briefly mentioned, for example waste and sewage, but it is not the aim of the project to go further into these issues, and we refer to the LOUS projects for further information on the overall problem with perfluorinated substances and for information on other initiatives related to perfluorinated substances.

The project provides a general introduction to the problems of perfluorinated substances in relation to soil and groundwater contamination in the form of point sources. It is not the purpose of the project to go into details regarding each perfluorinated substance, or to make a detailed industry descriptions of the use of the substances.

The purpose of the project is not to make a comprehensive statement on the use of substances, but to point out branches that may be potential point sources to contamination of soil and groundwater.

Perfluorinated compounds is the collective term for a very diverse group of substances. According to the OECD, there are about 1000 substances in this category. A distinction is made between long-chain and short-chain perfluorinated compounds, since these two groups present essential differences in toxicity and bioaccumulation.

This project focuses on the long-chain perfluorinated compounds, which can be divided into:

- Perfluorocarboxylates (PFCA'ere) with carbon chain lengths of 8 or more, for example. Perfluorooctanoic acid (PFOA).
- Perfluoroalkylsulfonates (PFSA'ere) with carbon chain lengths of 6 or more, including perfluorooctane sulfonate (PFOS).
- Other long-chain compounds which do not fall directly into one of these two groups, but can degrade to either PFCA'ere or PFSA'ere and therefore precursors to these groups.

Throughout this report, the collective term for the long-chain perfluorinated compounds is PFAS or PFAS compounds. The program of analysis also includes a short-chain perfluorinated compound.

The project delineation is further limited to PFOS, PFOA and 7 other PFAS compounds. These compounds were selected simply based on availability of analytical package in Denmark. Yet, the delineation of the project includes all the relevant compounds mentioned in the Danish regulation for environmental measurements (Executive Order No. 900 of 17/08/2011) (i.e PFOS, FOSA, PFHxS, PFDA, PFNA and PFOA). In addition, the analytical package included PFBS, PFHpA and PFHxA.

The best known compounds are PFOS (perfluorooctane sulphate) and PFOA (perfluorooctanoic acid) and their salts. PFOS and its derivatives are included in the Stockholm Convention's list of persistent organic pollutants. PFOS, PFOA and other perfluorinated compounds are also included on the List of Undesirable Substances (LOUS) because of their persistence and bioaccumulative potential. PFOA, APFO and 4 other PFCAs are also on the candidate list of SVHC (Substances of Very High Concern) under REACH (Lassen et al., 2013). The specific compounds PFOS and PFOA from PFAS group are classified as carcinogenic, toxic for reproduction and acutely toxic. PFOS and PFOA are also suspected of being endocrine disruptors. There is little information on the toxicity of the remaining PFAS compounds.

There are no set threshold values for the content of PFAS in groundwater / drinking water in Denmark. In Germany, there is a recommendation of a maximum of 100 ng/L for PFOA / PFOS in drinking water (BMU, 2006). In the United States there is a preliminary requirement of 200 ng/L for PFOS and 400 ng/L for PFOA drinking water (EPA, 2009), while in Germany there is a recommendation of a maximum acceptable level of 100 ng/l for the sum of PFOS and PFOA (BMU, 2006). In the UK there is a recommendation of a maximum acceptable level of 300 ng/L for PFOS and 10,000 ng / L for PFOA in drinking water (HPA, 2009). Norway has set a provisional guideline of 100 ng/g TS for PFOS in soil (SF 2008).

Throughout this report, the measured concentration levels of PFOS and PFOA in Denmark are compared to the German guideline for drinking water of 100 ng/l for PFOS and PFOA in order to maintain a conservative perspective. This is the lowest guideline concentration found in Europe in preparation of this report. It should be noted that the findings are not made in drinking water but in groundwater at contaminated sites.

PFAS compounds are both hydrophobic and lipophobic. They are characterized by a very low surface tension and a high degree of feathering. These properties make PFAS compounds very useful as surfactants in various industries and products.

Historically, the largest producer of PFAS has been the American company 3M. 3M started the production of PFCs in 1949, but the broad use of PFCs started after 1966. The highest production of PFAS took place between 1990 and 2000 with approx. 3000 tons annually. Until 2000, production was dominated by POSF (perfluorooctane sulfonate fluoride) which was a precursor to PFOS. After the discovery of PFAS in many environmental samples in 2000, 3M announced that they would phase out production of PFOS and other PFOS-related compounds (3M, 2003). Since 2002, the use of PFAS has decreased significantly (EU, 2011). In particular, the consumption has decreased, where it has been possible to find alternative compounds to replace PFAS. In 2006, the use of PFOS-related substances was regulated in the EU under the Stockholm Convention (EC 850-2004, EU, 2011).

There has never been direct production of PFAS in Denmark. Since 2000, when focus on the presence of PFAS in the environment began, there have been several projects regarding the use of PFAS in Denmark. In 2001 the use of PFAS in Denmark amounted to 50 tons per year (Havelund 2001). According to the Danish EPA's survey of consumption of PFOS and related substances, including PFOA, the use of in firefighting foam only amounted for 0.3-1.1% of the total annual consumption in Denmark on 9-16 tons in 2005, i.e. ca. 160 kg. Approximately 50% of the total

amount, i.e. 4,5-8 tons, is used in various kinds of products for textiles, leather and paper. In addition, large quantities of PFOS and related substances were used in paints and varnishes, as surfactants in various cleaning and polishing products, as well as by electroplating. After the phase-out of PFOS, consumption has dropped to approx. 3 tons annually.

Since the PFAS compounds have been used in various industries for several years, there is a risk that these industries can act as point sources of soil and groundwater contamination with PFAS, mostly due to earlier use of PFAS.

### **Project aim**

The overall objective of the project is to determine whether point source pollution with PFAS compounds in the soil occurs in the Danish groundwater resource. This includes identifying potential point sources of pollution of groundwater and carrying out site investigations at a small number of relevant sites.

The project includes the following specific issues:

- A survey of branches that have used / use PFAS and whether this use was / is of a character that can cause contamination of soil and groundwater with PFAS.
- To perform screening investigations for the presence of PFAS in groundwater samples from selected sites

### **Project methods**

A literature review was carried out to map the use of PFAS aiming to identify which industries have handled PFAS on a scale and in a manner that can lead to contamination of soil and groundwater. In addition to the literature review direct inquiries were performed to the largest companies and users. The selection of relevant industries/activities is based on an assessment of the total PFAS handled, the possibility of leakage to soil and groundwater.

Five industries / activities were identified as potential Sources of PFAS contamination:

#### *Fire training facilities for extinguishing fuel fires, etc.*

PFOS-containing foam may have been used up to 2011. Firefighting foam is generally used in large quantities directly on paved and unpaved areas. Several other studies have found PFOS, PFOA and PFOS-related substances in soil and groundwater near fire drill sites in other Scandinavian countries. In Denmark there is one known well studied fire drill site where PFAS is shown in concentrations up to hundreds of thousand ng/l PFAS, at this site there is remediation going on.

#### *Chromium plating*

The chromium plating industry is the largest consumer of PFOS and derivatives in Europe today. In the EU, potassium, lithium, diethanolamine and ammonium salts of PFOS and quaternary ammonium salts and amines are used. In Denmark, PFOS is still used for hard chrome plating. PFAS compounds are/have been added in to chromium bath vessels and there may be a possibility of spill into soil and groundwater directly from these vessels or from storage and decanting activities, if there have been accidents in the handling. Furthermore, there are high concentrations of PFOS in waste / waste water from these industries.

#### *Carpet industry*

Use in the carpet industry has previously accounted for up to 30% of PFAS consumption in Denmark (Havelund, 2001 and 2002). PFAS compounds are used as a dirt-repellent surface treatment. At such industries several tons of PFAS-based coating products have been stored, which may have caused soil and groundwater in the event of accidents or bad handling.

### *The painting industry*

PFAS has been used as an additive in a few paint products. Therefore PFAS containing products have been stored in these industrial sites.

### *Landfills for construction waste and older municipal waste landfills*

Paint used in the construction industry before 2002 may have contained PFOS and related compounds. Such waste could have been deposited in landfills. Leaching from the landfills can cause direct emissions of PFOS and related compounds into soil and groundwater. It is expected that various types of household waste including carpet and furniture have been deposited in landfill until the late 1980s. As the largest amounts of PFOS and related compounds were used in the period 1970-1990, this may have led to leaching of an unknown but possibly significant amount of PFAS to soil and groundwater

In order to find out whether these activities have led to contamination of ground water, a number of screening investigations were performed at selected sites in Denmark. Screening investigations were carried out at 9 fire drill sites, 4 landfills, 2 chromium plating sites, one carpet industry and one paint industry. Most of the above screening investigations were undertaken as part of this project, while the study one of the 9 fire drill sites was performed as an independent, voluntary, detailed site investigation carried out by the site owner before the beginning of this project.

### **Project results and conclusions**

PFAS were detected in 5 out of 8 fire drill sites. The level varies from a few to several thousand ng/l. The quality of the site investigations varied and investigations had a character of screening. 4 of the sites are considered well-studied (several wells in the source area). At two of these sites PFAS levels were above or close to 100 ng/l, while at the other 2 levels of more than 1000 ng/l were detected (sum of 9 PFAS compounds). In the remaining 4 sites, where the site investigations' quality is considered less robust, no PFAS were detected, with the exception of one site, at which little over 100 ng/L was found. It is noted that the concentration level of PFAS in fire training grounds was generally above 100 ng/l, the drinking water limit value recommended for the sum of PFOS and PFOA in Germany. It should also be noted that the findings are not in drinking water, but in groundwater under contaminated sites.

In an independent investigation done voluntarily, the level of PFAS is hundred thousand ng/l. The study for the site has not been conducted as part of this project. This site is the most thoroughly-studied site with several wells in the source area, whose purpose was to quantify contamination with PFAS on the site. At this site there is remediation going on.

It can be concluded that there is a risk for PFAS contaminations of groundwater at fire training grounds in Denmark, since PFAS were found at all the well-studied sites in this project.

A high concentration of PFAS compounds of approx. 1500 ng/l (of which PFOS + PFOA amounts to 1130 ng/l) in one sample taken was found at the investigated carpet industry. It is remarkable that the sample originates from a random shallow groundwater well at the site, not situated directly in an area where there is any knowledge of use, storage or spill of PFAS.

The screening investigations in this project did not find high levels of PFAS in landfills, chromium plating sites and paint manufacturers. The extent and quality of the studies in these industries has been limited, which does not allow a definitive conclusion with respect to whether these sites are potential sources for groundwater contamination with PFAS.

The most frequently occurring substance in these investigations is PFOS, which often accounts for more than half the sum of the investigated PFAS compounds. It should be noted that the study only included 9 PFAS compounds based on the available analytical package. In other countries,

contamination with short-chain PFCAs (eg PFPeA and PFBA) has been found in larger areas than PFOS, as these short chained compounds are more mobile. These substances were not included in the available analytical of this study.

The following conclusions can be made based on the results of this project:

- PFAS compounds are found in Danish groundwater at several locations in Denmark. PFAS are present near specific industries / activities, primarily fire drill sites. However, it is not assessed in this project whether PFAS compounds pose a risk to groundwater used for drinking water.
- Fire drill sites are confirmed as potential sources of PFAS contamination. There are at least 38 large fire drill sites in Denmark. Twenty-seven are considered to be relevant for investigation, as they confirm the use of PFOS containing foam. Eight of these sites have been investigated as part of the screening investigations in this project. At 2 of the sites PFOS and PFOA concentrations was exceeding the German limit value by approx. a factor of 10. It should also be noted that other PFAS compounds were also found at these sites.
- A comprehensive site investigation has been performed in an independent project. On that site concentrations of PFOS and PFOA is 500 times the German limit (100 ng/l) in drinking water for these pollutants. The contamination on that site is being contained by pump and treat.
- The carpet industry is also confirmed as a potential PFAS point source. Only one site was screened based on a single groundwater sample. However, there are very few carpet manufacturers in Denmark, therefore it is expected that the number of sites that can pose a risk to groundwater quality is small.

Based on the above, it is recommended to investigate the fire training grounds for contamination with PFAS to increase the knowledge base. In that context, information on the types and amount of fire-fighting foam and the facility lay-out should be taken into account. Moreover, the distance of these sites to areas with valuable drinking water resources should be considered. Additionally, it is recommended to include PFAS analysis at site investigation in the carpet industry. Regarding the remaining industries/activities (landfills, paint industry and chromium plating), it would also be advantageous to increase the knowledge base with more field studies on the occurrence of PFAS in groundwater before a clear conclusion is drawn.

In future studies, it is recommended to use an extended analytical package which includes additional PFAS compounds such as PFBA, PFDCS, PFDUa, PFDcA and 6:2 FTS, as these compounds are found in foreign studies (ATSDR, 2008; SF 2008 ). This will also help acquire more information on the mobility and degradation pathways of PFAS compounds. Moreover, it is relevant to include more short-chain PFAS compounds in analytical packages, as these compounds are often used as alternatives to the long-chain PFAS.



# 1. Indledning

## 1.1 Baggrund og behov

Danmark har en politisk målsætning om, at drikkevand skal være "rent" grundvand, der kun har gennemgået en simpel vandbehandling (Miljøstyrelsen, 2005). Grundvandet overvåges for påvirkning fra en lang række miljøfremmede stoffer, men der kan være risiko for at nye eller ukendte stoffer overses. Gennem jordforureningsloven håndteres forurenede grunde, og her kan der være brancher, aktiviteter eller stoffer, der ikke tidligere har været fokus på.

Et eksempel er PFAS-forbindelser (perfluoralkylforbindelser). De bedst kendte forbindelser er PFOS (perfluoroktansulfonat) og PFOA (perfluoroktansyre) og deres salte. PFOS er en PFAS-forbindelse, og PFOS og dens derivater er optaget på Stockholm-konventionens liste over persistente organiske miljøgifte. PFOS, PFOA og andre perfluorforbindelser er desuden optaget på Miljøstyrelsens Liste Over Uønskede Stoffer (LOUS) på grund af deres persistens og bioakkumulerende potentiale. De specifikke stoffer PFOS og PFOA fra PFAS-gruppen er klassificeret som værende kræftfremkaldende, reproduktionstoksiske og akut giftige (Lassen et al., 2013). Stofferne er desuden under mistanke for at være hormonforstyrrende. Den generelle viden om toksikologien for mange af forbindelserne i gruppen er dog mangelfuld.

Der er ikke fastsat grænseværdier for indhold af PFAS i grundvand/drikkevand i Danmark. I USA har EPA fastsat et foreløbigt (provisorisk) krav til drikkevand på 200 ng/l for PFOS (EPA, 2009). I Tyskland er der en anbefaling på maksimalt 100 ng/l for summen af PFOA og PFOS i drikkevand (BMU, 2006). I Storbritannien er der en anbefaling på maksimalt 300 ng/l for PFOS og 10.000 ng/l for PFOA i drikkevand (HPA, 2009). Stofferne er på Miljøstyrelsens liste over uønskede stoffer (LOUS). Miljøstyrelsen har for nyligt udgivet en rapport, der kortlægger stoffernes anvendelse og forekomst i Danmark og udlandet, samt giver information om stoffernes miljø- og sundhedseffekter, mulige erstatningsstoffer, lovgivning og overvågning af stofferne (Lassen et al., 2013). Kortlægningen er fulgt op af flere strategier fra Miljøstyrelsen om PFOS, PFOA og andre perfluorede stoffer (Lassen et al., 2013, MST 2013b, c, d).

PFAS-forbindelserne i grundvandet er ikke undersøgt i særligt omfang i Danmark, men der blev i december 2010 konstateret fund af PFAS på 121.000 ng/l (heraf 54.000 ng/l PFOS) (Orbicon, 2012b) i det primære grundvand på en brandøvelsesplads. Denne forurening bliver håndteret, se Boks 2, afsnit 5.1.

Stofferne er også konstateret i jord og grundvand på flere norske og svenske brandøvelsespladser (SF, 2008; Johanson, 2010; Rambøll, 2009) på niveauer op til 370.000 ng/l i grundvandet.

Jf. Miljøstyrelsens kortlægning af forbrug af PFOS og beslægtede stoffer, herunder PFOA, udgjorde anvendelsen i brandslukningsskum kun 0,3-1,1 % af det samlede årsforbrug i Danmark på 9-16 tons i 2005 (Poulsen et al, 2005). Stofferne har været anvendt siden 1960'erne, men er udfaset de seneste 10 år. Cirka 50 % af den samlede mængde er brugt i forskellige former for imprægneringsmidler til tekstiler, læder og papir. Derudover har større mængder af PFOS og beslægtede stoffer været anvendt i maling og lak, som overfladeaktive stoffer i forskellige rengørings- og poleringsmidler samt ved galvanisering, som på produktionsstederne også kan give anledning til punktkildeforurening på jorden.

Da stofferne har haft en bred anvendelse gennem mange år, er der en risiko for, at der, udover på brandøvelsespladser, optræder andre punktkilder af PFAS, som kan forårsage jord- og grundvandsforurening. I kombination med stoffernes miljø- og sundhedsfarlige egenskaber kan eventuelle kilder udgøre en trussel for grundvandet.

Stofferne akkumuleres i blod og indre organer, primært lever, nyre og milt (Jensen et al., 2006). Toksikologiske test har vist, at PFOS og PFOA samt beslægtede stoffer er hormonforstyrrende. Nogle PFAS-forbindelser kan give celleforandringer og forstørret lever, nogle kan resultere i induktion af forskellige enzymer, nogle er påvist kræftfremkaldende i forsøgsdyr og atter nogle er neurotoksiske. Generelt vokser giftigheden med kædelængden (Strand et al., 2007; Jensen et al., 2006; 2008). For en grundig beskrivelse af toksiciteten henvises til Jensen et al. (2008). Endvidere er der udført et par studier af niveauet af PFAS-forbindelser hos mennesker. En undersøgelse viser, at PFOA-niveauet i blodplasmaet hos både kvinder og børn ligger omkring 5,5 ng/ml (Jensen et al., 2008). PFOS akkumuleres i blodplasmaet, hvor niveauet hos de undersøgte kvinder ligger omkring 23-35 ng/ml og hos børn på 16-29 ng/ml (Jensen et al., 2008). Der findes ingen toksikologiske studier, der viser den fulde effekt af de målte niveauer af PFOS i plasmaet, men det tyder på, at der er en sammenhæng mellem perfluorerede stoffer (herunder PFOS og PFOA) og overvægt, insulin- og leptinniveau, kroniske nyresygdomme samt for tidlig fødsel og lav fødselsvægt og -størrelse (Lassen et al., 2013).

## 1.2 Projektets formål

Det overordnede formål med projektet er at afklare, om punktkildeforurening med PFAS-forbindelser i jorden forekommer i den danske grundvandsressource. Herunder at identificere mulige punktkilder til forurening af grundvandet, samt at udføre undersøgelser på et mindre antal relevante lokaliteter.

I dette projekt er der derfor alene fokus på problemstillingen om perfluorerede stoffer som jord- og grundvandsforurening i form af punktkilder. Nogle steder i rapporten berøres andre emner kort, f.eks. affald og spildevand, men det er ikke sigtet med projektet at gå nærmere ind i disse emner, og der henvises til LOUS-projekterne for nærmere information om den samlede problemstilling omkring perfluorerede stoffer og for information om andre initiativer, der vedrører perfluorerede stoffer.

Projektet omfatter følgende emner:

- At belyse hvilke brancher, der har anvendt/anvender PFAS, og hvorvidt denne anvendelse var/er af en karakter, der kan forårsage en forurening af jord og grundvand med PFAS.
- At foretage screeningsundersøgelser for forekomst af PFAS på udvalgte lokaliteter

Den indledende del af projektet omfatter en redegørelse over brancher, hvor PFAS-forbindelser har været anvendt, og som potentielt kan have givet anledning til punktkildeforurening af jord og grundvand med PFAS-forbindelser. På baggrund af denne redegørelse er der udvalgt en række brancher/aktiviteter og lokaliteter til udførsel af fysiske stikprøveundersøgelser for forurening med PFAS-forbindelser.

## 1.3 Rapportens indhold

Rapporten starter med et indledende kapitel, der gennemgår baggrunden for projektet. Kapitel 2 giver en kort introduktion til udvalgte PFAS-forbindelser, deres fysisk-kemiske og toksikologiske egenskaber samt anvendelse. Kapitel 3 beskriver fremgangsmåde og resultater fra projektets litteraturgennemgang, der belyser hvilke brancher, der har haft en anvendelse af PFAS, og hvor mængden og arbejdsgangen kan have forårsaget forurening af grundvandet. I rapportens 4. kapitel, er de udførte undersøgelsesaktiviteter beskrevet. Kapitel 5 giver en oversigt over resultaterne fra fund af PFAS i det danske grundvand fra denne og tidligere undersøgelser. Efterfølgende (kapitel 6)

er der udført en vurdering af resultaterne og en sammenligning med fund i andre lande. Rapporten afsluttes med en opsummering af projektets resultater og konklusion i kapitel 7.

## 2. PFAS-forbindelser

### 2.1 Definitioner og afgrænsning

PFC-stoffer er den overordnede betegnelse for perfluorerede stoffer. PFC-stofgruppen er meget varieret, og ifølge OECD findes der omkring 1000 stoffer under denne kategori (OECD, 2007). Indenfor PFC-stofferne skelnes der mellem langkædede og kortkædede perfluorerede forbindelser, da der mellem disse to grupper er essentielle forskelle i toksicitet og bioakkumulering.

- Dette projekt fokuserer på de langkædede perfluorerede forbindelser, der kan beskrives som: Perfluorcarboxylsyrer (PFCA'ere) med kulstofkædelængder på 8 eller derover, f.eks. Perfluoroktansyre (PFOA).
- Perfluoralkylsulfonater (PFSA'ere) med kulstofkædelængder på 6 eller derover, herunder perfluoroktansulfonat (PFOS).
- Andre langkædede forbindelser, der ikke hører direkte ind under en af disse to grupper, men kan nedbrydes til enten PFCA'ere eller PFSA'ere, og derfor fungerer som forstadier for disse grupper (Lassen et al., 2013).

Igennem dette notat vil den samlede betegnelse for de langkædede perfluorerede stoffer være PFAS eller PFAS-forbindelser. Dette er en generel term, der beskriver et stof med en perfluorkarbonkæde med et antal led (n), der ender i en reaktiv gruppe (R), dog ikke i et halogen- eller hydrogenatom, og har den generelle formel  $F(CF_2)_n-R$  (Poulsen et al., 2005). Perfluoralkylforbindelser (PFAS) er en gruppe af syntetisk fremstillede miljøfremmede stoffer (Havelund, 2012).

Projektet er yderligere afgrænset til at omfatte målinger af PFOS, PFOA og 7 andre PFAS-forbindelser. Baggrunden for valget af de øvrige 7 forbindelser har alene været den tilgængelige analysepakke fra analyseinstituttet ALS Denmark A/S. Stoffernes navne og forkortelser fremgår af Tabel 2.1. Analysepakken omfatter de forbindelser, der beskrives i bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger (BEK nr. 900 af 17/08/2011), dvs. PFOS, PFOSA, PFHxS, PFDA, PFNA og PFOA. Desuden omfatter analysepakken yderligere tre forbindelser PFBS, PFHpA og PFHxA.

TABEL 2.1 NAVN OG FORKORTELTSE FOR NI PFAS-FORBINDELSER (LASSEN ET AL. 2013, ESIS)

Navn	Gruppe	Antal C-atomer	Forkortelse	CAS nr.	Klassificering
Perfluorheptansyre	PFCA	C7	PFHpA	375-85-9	Mangler
Perfluoroktansyre	PFCA	C8	PFOA	335-67-1	R22 R34 R52/53, S26 S36/37/39 S45
Perfluornonansyre	PFCA	C9	PFNA	375-95-1	Mangler
Perfluorbutansulfonat	PFSA	C4	PFBS	375-73-5	Mangler
Perfluorhexansulfonat	PFSA	C6	PFHxS	355-46-4	Mangler
Perfluoroktansulfonat	PFSA	C8	PFOS	1763-23-1	Carc. Cat. 3; R40, Repr. Cat. 2; R61, T; R48/25, Xn; R20/22, R64, N; R51-53
Perfluordekansulfonsyre / sulfonat	PFSA	C10	PFDS	335-77-3	Mangler
Perfluoroktansulfonamid	FASAs	C8	PFOSA	754-91-6	Mangler
Perfluorhexansyre	PFCA	C6	PFHxA	307-24-4	Mangler

## 2.2 Sundhedsrisici

Nogle perfluorerede stoffer akkumuleres i blod og indre organer, primært lever, nyre og milt (Jensen et al., 2006). Toksikologiske test har vist, at PFOS og PFOA samt beslægtede stoffer er hormonforstyrrende. Nogle kan give celleforandringer og forstørret lever, nogle kan resultere i induktion af forskellige enzymer, nogle er påvist kræftfremkaldende i forsøgsdyr og atter nogle er neurotoksiske. Generelt vokser giftigheden med kulstofkædelængden (Strand et al., 2007; Jensen et al., 2006;2008). For en grundig beskrivelse af toksiciteten henvises til Jensen et al. (2008). Endvidere er der udført et par studier af niveauet af PFAS-forbindelser hos mennesker. En undersøgelse viser, at PFOA-niveauet i blodplasmaet hos både kvinder og børn ligger omkring 5,5 ng/ml (Jensen et al., 2008). PFOS akkumuleres i blodplasmaet, hvor niveauet hos de undersøgte kvinder ligger omkring 23-35 ng/ml og hos børn på 16-29 ng/ml (Jensen et al., 2008). Der findes ingen toksikologiske studier, der viser den fulde effekt af de målte niveauer af PFOS i plasmaet, men det tyder på, at der er en sammenhæng mellem PFAA (herunder PFOA) og overvægt, insulin- og leptinniveau, kroniske nyresygdomme samt for tidlig fødsel og lav fødselsvægt og -størrelse (Lassen et al., 2013).

## 2.3 Spredning i miljøet

PFAS-forbindelserne er spredt i miljøet og forskellige af disse forbindelser er påvist i både indeluft, udeluft, jord, sediment, slam, grundvand, regnvand, overfladevand, dyr og mennesker (Jensen et al., 2006; 2008). Der er dog flest oplysninger om PFOS og PFOA (Cornelis et al., 2012). Den fluorerede alkylkæde i PFAS-forbindelser er meget stabil og kan praktisk talt ikke nedbrydes i miljøet (Jensen et al., 2008; Poulsen et al., 2005). De langkædede PFAS-forbindelser er persistente i miljøet, og det er samtidig konstateret, at stofferne er bioakkumulerbare (Havelund, 2012). PFOS, PFOA og seks andre langkædede forbindelser er klassificeret som Persistente, Bioakkumulerbare og Toksiske (PBT) under REACH (Lassen et al., 2013).

Forekomsten af PFAS-forbindelser i det danske miljø er pt. ikke undersøgt i særligt omfang. I 2007 blev der, under NOVANA programmet, udført en screeningsundersøgelse af 6 langkædede PFAS-forbindelser, nemlig perfluoroktansulfonat (PFOS), perfluoroktansulfonamid (PFOSA), perfluorhexansulfonat (PFHxS), perfluoroktansyre (PFOA), perfluornonansyre (PFNA), perfluordekansyre (PFDA), perfluorundekansyre (PFUnA)). Programmet omfattede ikke

undersøgelser i grundvand. Det blev fundet, at disse PFAS forekommer i udløbsvand fra kommunale rensningsanlæg (fundet i 7/7 undersøgte anlæg) og industrielle anlæg (6/8 undersøgte kilder), ferskvandsfisk (7/7 undersøgte vandløb) og marinfisk (7/7 undersøgte marine områder) i Danmark (Strand et al., 2007). I Tabel 2.2 ses resultaterne af den del af undersøgelsen, der fokuserede på udløbsvandet. Det ses, at de undersøgte PFAS-forbindelser findes i alle typer udløbsvand uanset kilde (Strand et al., 2007). Endvidere viser Tabel 2.2, at der blev fundet et indhold af PFAS (totalindhold af de 6 undersøgte forbindelser) på 12 til 150 µg/kg TS i slam fra de forskellige anlæg, der indgik i undersøgelsen. Miljøstyrelsen har i 2012 udført en risikovurdering for PFOS and PFOA i spildevandsslam i forhold til slamudbringning på landbrugsarealer. Jf. denne kan indholdet af PFOS i spildevandsslam udgøre en potentiel risiko over for økosystemet (planter, jordorme og mikroorganismer) på landbrugsjord (Jensen og Ingvertsen, 2012).

Der er ikke er udført måleserier på drikkevand/grundvand under NOVANA (se dog kapitel 8), men i både Norge, Sverige og Danmark er der fundet PFAS-forbindelser i jord og grundvand omkring brandøvelsespladser i lufthavne (Orbicon, 2012a).

**TABEL 2.2 TOTAL INDHOLD AF 6 PFAS-FORBINDELSER (PFOS, PFOSA, PFHXS, PFOA, PFNA, PFDA OG PFUNA) MÅLT I DANSKE PUNKTKILDER (STRAND ET AL., 2007)**

<b>Kommunale rensningsanlæg (n=7)</b>	
Indløb (2 prøver pr. anlæg)	10 til 75 ng/l
Udløb (2 prøver pr. anlæg)	10 til 40 ng/l
Slam (1 prøve pr. anlæg)	12 til 150 µg/kg TS
<b>Industrielle spildevandsanlæg (n=4)</b>	
Højest målte (2 prøver pr. anlæg)	1100 ng/l
<b>Lossepladser (n=2)</b>	
Perkolat fra deponier (1 prøve pr. lokalitet)	< 6 ng/l

## 2.4 Regulering af PFAS

I 2009 blev PFOS tilføjet Stockholm-konventionen som persistent organisk forurenende stof (POP) (Carloni, 2009). Efterfølgende er PFOS og PFOA samt 4 andre langkædede PFCA (PFDoDA, PFTrDA, PFTeDA og Perfluor-n-undekansyre) optaget på kandidatlisten under REACH som SVHC (Substances of Very High Concern) (Lassen et al., 2013). Endvidere er PFOA, PFOS og andre perfluorerede stoffer på Miljøstyrelsens "Liste Over Uønskede Stoffer (LOUS)" (Lassen et al., 2013).

PFOS og derivativer er reguleret af forordningen EF nr. 850/2004), som beskrevet i Lassen et al. (2013) og uddybet i Boks 1.

Legal instrument	Substances	Requirements
<p><b>Regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council on persistent organic pollutants as regards Annexes I and III (POPs Regulation)</b></p> <p><b>PFOS added by Commission regulation No 757/2010 of 24 August 2010 amending Regulation (EC) No 850/2004 as regards Annexes I and III</b></p>	<p>Perfluorooctane sulfonic acid and its derivatives (PFOS) C<sub>8</sub>F<sub>17</sub>SO<sub>2</sub>X (X = OH, Metal salt (O-M +), halide, amide, and other derivatives including polymers)</p>	<p>The production, placing on the market and use of PFOS, whether on their own, in preparations or as constituents of articles, shall be prohibited.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Exemptions from control measures (Article 4(1)(b) of the regulation) shall apply to concentrations of PFOS equal to or below 10 mg/kg (0,001 % by weight) when it occurs in substances or in preparations.</li> <li>Exemptions from control measures (Article 4(1)(b)) shall apply to concentrations of PFOS in semi-finished products or articles, or parts thereof, if the concentration of PFOS is lower than 0,1 % by weight calculated with reference to the mass of structurally or micro-structurally distinct parts that contain PFOS or for textiles or other coated materials, if the amount of PFOS is lower than 1 µg/m<sup>2</sup> of the coated material.</li> <li>Use of articles already in use in the Union before 25 August 2010 containing PFOS as a constituent of such articles shall be allowed. Article 4(2), third and fourth subparagraphs shall apply in relation to such articles.</li> <li>Fire-fighting foams that were placed on the market before 27 December 2006 may be used until 27 June 2011.</li> <li>If the quantity released into the environment is minimised, production and placing on the market is allowed for the following specific uses provided that Member States report to the Commission every four years on progress made to eliminate PFOS: (a) until 26 August 2015, wetting agents for use in controlled electroplating systems; (b) photoresists or anti reflective coatings for photolithography processes; (c) photographic coatings applied to films, papers, or printing plates; (d) mist suppressants for non-decorative hard chromium (VI) plating in closed loop systems; (e) hydraulic fluids for aviation.</li> <li>Once standards are adopted by the European Committee for Standardisation (CEN) they shall be used as the analytical test methods for demonstrating the conformity of substances, preparations and articles to paragraphs 1 and 2. Any other analytical method for which the user can prove equivalent performance could be used as an alternative to the CEN standards.</li> </ol>

#### BOKS 1 REGULERING AF PFOS OG DERIVATIVER JF. EU LOVGIVNING (KILDE LASSEN ET AL., 2013)

Der er p.t. ikke fastsat grænseværdier for PFAS-forbindelser i hverken drikkevand, grundvand eller jord i Danmark. I USA er der fastsat et foreløbigt krav på 200 ng/l for PFOS og 400 ng/l for PFOA til drikkevand (EPA, 2009) og i Tyskland er der en anbefaling på maksimalt 100 ng/l for summen af PFOS og PFOA (BMU, 2006). I Storbritannien er der en anbefaling på maksimalt 300 ng/l for PFOS og 10.000 ng/l for PFOA i drikkevand (HPA, 2009). I Norge er der opstillet en provisorisk retningslinje på 100 ng/g TS for PFOS i jord (SF 2008).

Europakommisionen har i 2013 vedtaget, at PFOS-relaterede stoffer skal inkluderes på listen over prioriterede stoffer i forbindelse med vandrammedirektivet. De vedtagne grænseværdier kan ses i Tabel 2.3 (Direktiv 2013/39/EU). Disse grænseværdier har dog ikke direkte relevans ift. formålet med rapporten, som fokuserer på grundvand, men er medtaget her for overblikkets skyld.

TABEL 2.3 GRÆNSEVÆRDIER FOR PFOS OG DERIVATIVER I OVERFLADEVAND. TILFØJELSE TIL DIREKTIVERNE 2000/60/EC OG 2008/105/E)

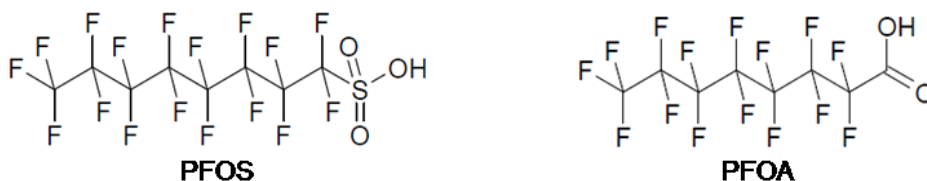
Miljø	Kravværdi
Årsgennemsnit (ferskvand)	0,65 ng/l
Årsgennemsnit (havvand)	0,13 ng/l
Korttidskrav <sup>1</sup> (ferskvand)	36.000 ng/l
Korttidskrav <sup>1</sup> (havvand)	72.000 ng/l
Grænseværdi for forekomst i biota (årsgennemsnit)	9.100 ng/kg (vådvægt)

<sup>1</sup> Et korttidskrav er den højest tilladte koncentration, der måles på et vilkårligt tidspunkt.

## 2.5 Stoffernes egenskaber

Den fluorerede kulstofkæde i PFAS er ekstremt resistent i forhold til varme og kemiske reaktioner med f.eks. stærke syrer, stærke baser, reducerende samt oxiderende stoffer (EU, 2011; Jensen et al., 2008; Poulsen et al., 2005). Derimod kan den funktionelle gruppe oftest nedbrydes, hvorfor det forventes at PFAS-relaterede produkter i miljøet primært er til stede som de ultimative stabile nedbrydningsprodukter PFOS (perfluoroktansulfonat) og PFOA (perfluoroktansyre) eller andre PFAS-forbindelser med kortere eller samme længde kulstofskæde som moderstoffet (Lassen et al., 2013, Poulsen et al., 2005). PFOS og PFOA kan forekomme som nedbrydningsprodukter af andre PFAS-forbindelser med lignende eller lidt længere kulstofkæder. Desuden nedbrydes flere fluortelomerer til PFOS eller PFOA.

PFOS og PFOA er de bedst kendte perfluorforbindelser (Lassen et al., 2013; Jensen et al., 2008). Den kemiske struktur for disse to stoffer kan ses i Figur 2.1. PFOS er opbygget af en lineær perfluoralkylkarbonkæde med 8 led og en funktionel sulfonsyregruppe (Lassen et al., 2013; Jensen et al., 2008). PFOA er en perfluoroktansyre med en perfluoralkylkarbonkæde på 7 led (Lassen et al., 2013; Jensen et al., 2008).



FIGUR 2.1 KEMISK STRUKTUR FOR DE TO BEDST KENDTE PERFLUOREREDE FORBINDELSER PFOS OG PFOA.

### 2.5.1 Fysisk kemiske parametre

Generelt er længden af den fluorerede karbonkæde betydende for de fysisk-kemiske egenskaber af PFAS-forbindelserne. Dette gør sig gældende i forhold til vandopløselighed og sorption samt toksicitet (Strand et al., 2007; Jensen et al., 2008). Stofferne er generelt ikke flygtige.

Det har kun været muligt at finde sparsomme oplysninger om specifikke fysisk/kemiske data for fokusstofferne. I Tabel 2.4 ses de værdier, det har været muligt at finde for damptryk, opløselighed og fordelingskoefficient mellem jord og vand (sorption).

Vandopløseligheden for disse stoffer er generelt lav, og den stiger jo kortere længden af den fluorerede karbonkæde er (Jensen et al., 2008). Desuden har ionstyrken stor betydning for opløseligheden, som det er tilfældet for en række dissocierende, organiske stoffer (høj ionstyrke fører til lav opløselighed). Som det fremgår af Tabel 2.4, ses dette tydeligt for PFOS, hvor opløseligheden i destilleret vand er omkring 600 mg/l, men i en 3,5 % saltvandsopløsning falder til 20 mg/l (3M, 2003).



PFAS-forbindelserne udmærker sig ved at have særlige overfladeaktive egenskaber, og som det beskrives i det følgende, afviger stoffernes opførsel i jord og grundvand fra gængse observerede sammenhænge mellem f.eks. opløselighed og sorption. Længden af den fluorerede karbonkæde, arten af den funktionelle gruppe, det organiske stofindhold i jorden, lermineralindholdet i jorden og den generelle sammensætning af vandet (Jensen et al., 2008) er nogle af de parametre, der påvirker sorptionen af PFAS. På grund af de særlige overfladeegenskaber og opløselighedsprofiler er det, ved høje koncentrationer, ikke muligt at forudsige stoffernes miljømæssige skæbne baseret på fordelingskoefficienten mellem oktanol og vand,  $K_{ow}$  (Jensen et al., 2008). Dette bekræftes af et oktanol/vand fordelingsforsøg, hvoraf det kunne konstateres, at PFOS ikke bindes til oktanol (3M, 2003).

Det har generelt været svært at finde fysisk-kemiske parametre for de specifikke fokusstoffer, specielt hvad angår fordelingskoefficienten mellem jord og vand ( $K_d$ ). Den tidligere produktionsvirksomhed 3M har udført sorptionsforsøg med PFOS og bestemt  $K_d$ -værdier i størrelsesordenen 10-35 l/kg (3M, 2003). 3M konkluderer, at PFOS sorberes moderat, men at det ved ligevægt forventes at være mobilt i den vandige fase (3M, 2003). I EFSA (2008) er der refereret  $K_d$ -værdier for eksempelvis PFOS i størrelsen 2-35 l/kg.  $K_d$  er afhængig både af det organiske stofindhold i jorden, lermineralindholdet, samt den generelle sammensætning af vandet. I en ny artikel, hvor PFOS og PFOA er undersøgt i sandakviferer, er der fundet  $K_d$ -værdier helt ned til 0,08, svarende til at stoffet stort set udbredes med samme hastighed som grundvandet (Ferrey et al., 2012). Fordelingskoefficienten,  $K_d$ , mellem jord og vand ser altså ud til at være mindre under faktiske forhold i grundvandsmagasiner end i laboratoriebaserede sorptionsforsøg, og stofferne kan derfor være mere mobile end laboratorieforsøgene antyder.

**TABEL 2.4 FYSISK/KEMISKE EGENSKABER FOR DE NI FOKUSSTOFFER**

Stof	Opløselighed (g/l)	Sorption, $K_d^1$	Damptryk (Pa) <sup>2</sup>
PFHpA	118 (24 °C) <sup>A</sup>	-	128 <sup>A</sup>
PFOA	9,5 <sup>A</sup> 3,4 <sup>A</sup> 4,3 (24 °C) <sup>A</sup>	-	70 <sup>A</sup> 20 (25 °C) <sup>A</sup>
PFNA	-	-	-
PFBS	0,51 <sup>A</sup>	-	-
PFHxS	-	-	-
PFOS	0,68 (destilleret) <sup>B</sup> 0,02 <sup>2</sup> (3,5 % NaCl) <sup>B</sup>	0,08 (sandet magasin) <sup>C</sup> 18,3 (clay) <sup>B</sup> 9,72 (clay loam) <sup>B</sup> 35,3 (sandy loam) <sup>B</sup> 7,42 (river sediment) <sup>B</sup>	0,00033 <sup>B</sup>
PFDS	-	-	-
PFOSA	-	-	-
PFHxA	-	-	-

<sup>A</sup> Jensen et al., 2008, <sup>B</sup> 3M, 2003, <sup>C</sup> Ferrey et al., 2012.

<sup>1</sup> Jo lavere  $K_d$  værdi, desto mere mobil er stoffet.

<sup>2</sup> Det ses at damptrykket for PFOA er meget højere end for PFOS, dvs. at PFOA er mere flygtig.

### *Nedbrydning og Bioakkumulation*

Der er kun udført få laboratorieforsøg med henblik på at undersøge nedbrydningen af PFAS-forbindelserne, og kun en lille del af dem er relevante i forbindelse med jord og grundvand. Det fremgår dog af et studie fra 2001, at fluorerede organiske polymerer har en halveringstid på 1 til 500 år ved hydrolyse (Jensen et al., 2008).

Det fremgår af produktionsfirmaet 3M's rapport om PFAS, at PFOS ikke kan nedbrydes ved hydrolyse, photolyse, eller biologisk nedbrydning, men at det kan fjernes ved afbrænding under høje temperaturer (3M, 2003). I forhold til biologisk nedbrydning er der ikke observeret nogen reduktion af hverken PFOS eller PFOA under oxiderende forhold (Jensen et al., 2008), og i Strand et al. (2007) er det konkluderet, at PFOS ikke nedbrydes af mikroorganismer. I forurenede slam under reducerede forhold er der i et enkelt studie set mikrobiologisk nedbrydning, med en total fjernelse af PFOS på 2 dage og PFOA på 25 dage (refereret i Jensen et al., 2008). Der blev dog ikke analyseret for metabolitter og desuden er der ikke observeret nedbrydning ved andre studier (Jensen et al., 2008).

PFOS og dets salte akkumulerer i organismer, hvorfor de opkoncentreres gennem fødekæden. Men da disse stoffer ikke bindes til oktanol, kan det ikke forventes at finde disse forbindelser i organismernes fedtvæv (3M, 2003). I stedet vil PFOS og andre PFAS-forbindelser findes som dissocierede anioner, der binder sig polært til membraner som f.eks. proteiner (Jensen et al., 2006; Poulsen et al., 2005). Af denne grund findes PFAS i blod og i indre organer, primært lever, nyre og milt (Jensen et al., 2006). Der er fundet værdier for bioakkumuleringsfaktoren både fra et laboratorieforsøg og fra målinger foretaget i fisk i forbindelse med et PFOS-spild. For PFOS er den kinetiske biokoncentrationsfaktor 2.800 for hele fisk og bioakkumuleringsfaktoren mellem 6.300 og 125.000 for fiskelever (Poulsen et al., 2005).

#### **2.5.2 Øvrige processer**

PFOS og PFOA er set nedbrudt til forbindelser med kortere fluorkæder efter få minutters ultralydsstråling i laboratorieforsøg (Jensen et al., 2008). Eksempelvis kan PFOA nedbrydes ved fotolyse i vand, der indeholder persulfat (Jensen et al., 2008). Endvidere er nogle PFAS-forbindelser set nedbrudt ved oxidation med peroxid radikaler (Jensen et al., 2008). Endelig har Yamada et al. (2005) undersøgt om en fluortelomer-baseret acrylpolymer blev nedbrudt ved afbrænding udført med en gennemsnitstemperatur på 1.000 °C i mindst 2 sekunder. Yamada et al. konkluderer, at der ikke bliver produceret PFOA fra denne forbrænding og at denne form for affald derfor vil blive destrueret i affaldsforbrændingen. Det skal dog bemærkes, at almindelig affaldsforbrænding foregår ved 850 °C, hvorfor det er muligt, at PFOA eller for den sags skyld andre PFAS-forbindelser ikke destrueres ved denne.

# 3. Brancher og anvendelse af PFAS

I dette kapitel er der foretaget en udredning over tidligere og nuværende forbrug og anvendelse af PFAS i Danmark, herunder en definition af brancher og produkter, hvor PFAS har været eller stadig er anvendt. Endvidere er der samlet oplysninger om tidligere konstateret forurening med de respektive stoffer i Danmark og Danmarks nabolande.

Afsnittets formål er ikke at lave en total redegørelse for anvendelse af stofferne. Udredningen har haft særlig fokus på anvendelser, hvor anvendelses- eller bortskaffelsesmetoden kan have forårsaget en forurening af jord og grundvand. Formålet har været at identificere mulige brancher/lokaliteter som potentielle punktkilder til forurening af jord og grundvand.

Til identifikation af relevante brancher er der taget udgangspunkt i projekter tidligere udført for Miljøstyrelsen (Lassen et al., 2013) bl.a. en række tidligere kortlægningsprojekter (Havelund, 2002; Jensen et al., 2006). Desuden er andre relevante kilder som f.eks. OECD's hjemmeside (<http://www.oecd.org/ehs/pfc/>) konsulteret i forhold til hvilke brancher og mængder af PFAS, der kan forventes anvendt i disse.

Endvidere skal der gøres opmærksom på, at der i høj grad er anvendt en europæisk rapport, som giver oplysninger generelt på europæisk plan og ikke specifikt på danske forhold (EU, 2011). Dette skal ses i lyset af, at afsnittet ikke har haft til formål at lave en total opgørelse over anvendelse af perfluorerede stoffer i Danmark. Der henvises i øvrigt til (Lassen et al., 2013), som har beskæftiget sig nærmere med anvendelse af perfluorerede stoffer i Danmark.

## 3.1 Generelt om anvendelsen af PFAS-forbindelser

PFAS er både hydrofobe og lipofobe, hvorfor de skyr både vand, fedt og snavs (EU, 2011; Jensen et al., 2006; 2008). De har ydermere en meget lav overfladespænding og en høj grad af udflydning (Havelund, 2002; Jensen et al., 2006; Poulsen et al., 2005). Disse egenskaber gør PFAS meget egnede som overfladeaktive stoffer i diverse industrier og produkter.

Den historisk største producent af PFOS og beslægtede forbindelser er det amerikanske firma 3M. Firmaet 3M startede produktionen af perfluorforbindelser i 1949, men brugen af stofferne slog først igennem efter 1966, hvorefter den producerede mængde steg betydeligt op til 1990 (Carloni, 2009). Den største produktion af PFAS fandt sted mellem 1990 og 2000. Frem til 2000 var produktionen domineret af POSF (perfluoroktansulfonatfluorid), som var en forgænger til PFOS. Efter flere fund af forskellige PFAS-forbindelser i miljøet, meddelte producenten 3M, i 2000, at de ville udfase produktionen af PFOS og andre perfluoroktan-relaterede forbindelser (3M, 2003). Siden 2002 er brugen af PFOS og derivativer faldet markant (EU, 2011). Specielt er forbruget reduceret, hvor det har været muligt at finde alternative stoffer. I 2006 er brugen af de PFOS-relaterede stoffer endvidere blevet reguleret inden for EU, og i 2009 optaget under Stockholm-konventionen (EF nr. 850/2004; EU, 2011).

### 3.2 Generelt om forbrug af PFAS i Danmark

PFAS-forbindelser er generelt set blevet anvendt i adskillige brancher gennem tiden og til adskillige produkter siden ca. 1960'erne (Carloni et al., 2009). Der har dog aldrig været direkte produktion af PFAS i Danmark (Lassen et al., 2012; Jensen et al., 2006). Siden der i 2000 blev sat fokus på PFAS i miljøet, er der lavet flere opgørelser over branchernes forbrug af PFAS i Danmark. Af Tabel 3.1 fremgår den første og den sidste opgørelse fra henholdsvis 2001 og 2011. Oplysningerne om anvendelsesområder er primært baseret på udtræk fra "Det Danske produktregister" og suppleret med oplysninger fra industrien og opslag i litteraturen og på internettet (Lassen et al., 2013; Havelund, 2002). Oplysningerne fra "Det Danske produktregister" er behæftet med en høj grad af usikkerhed, hvorfor de ikke giver det fulde billede af forbruget af PFAS i Danmark (Lassen et al., 2013; Havelund, 2002). Det er vigtigt at betone, at Produktregisteret kun dækker de kemiske stoffer/produkter, der ud fra farebegreberne hos enten Arbejdstilsynet eller Miljøstyrelsen er omfattet af krav om anmeldelse (Arbejdstilsynet, 2004). Tabellen viser, at forbruget er faldet i de senere år, formentlig på grund af udfasning af PFOS. Tidligere har en stor del af forbruget været knyttet til tæppe- og papirindustrien. I 2011 har hovedparten af PFAS været brugt i maling, lak og polish.

**TABEL 3.1 FORBRUG AF PFAS I DANMARK. TABELLEN ER BASERET PÅ OPLYSNINGER FRA HAVELUND (2002) OG LASSEN ET AL. (2012)**

2001 -	2011 -
Imprægnering af tekstiler, læder og tæpper (30 %)	Maling, lakker og polish (87 %)
Imprægnering af papir og pap (28 %)	Metal forarbejdning (<1 %) herunder forkromning
Maling, lak og trykfarver (25 %)	Fotografisk industri (<1 %)
Voks og polish (9 %)	Andet (12 %)
Rengøringsmidler (8 %)	
Brandhæmmende middel (<1 %)	
Slipmidler til forme (<1 %)	
<b>Totalt forbrug 5-50 ton/år</b>	<b>Total 3,2 ton/år</b>

I dette projekt har fokus været på 7 PFAS-forbindelser, udover PFOS og PFOA (PFHpA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFDS, PFOSA, PFHxA). Baggrund for valg af de øvrige 7 forbindelser har alene været den tilgængelige analysepakke fra analyseinstituttet ALS Denmark A/S. Stoffernes navne og forkortelser fremgår af Tabel 2.1.

PFOSA er en forgænger af PFOS. PFHxA og PFHpA kan alle være nedbrydningsprodukter af fluortelomere (Lassen et al., 2013). PFNA kan ligeledes være et nedbrydningsprodukt af fluorotelomere alkoholer. Både PFOA og PFNA (med et kulstof mere end PFOA) anvendes hovedsagelig som hjælpestoffer ved fremstilling af fluorpolymerer, såsom polytetrafluorethylen (PTFE). Kilderne og nedbrydningsveje for PFHxS er ikke kendt, men stoffet påvises ofte hos mennesker og i miljøet (i modermælk, blod, madvarer, spildevand og vand (Lassen et al., 2013)). Stoffets toksikologiske profil ligner de mere langkædede PFAS (Lassen et al., 2013). Der er ikke fundet noget information om PFDS.

Den kortkædede forbindelse PFBS har til en vis grad erstattet PFOS og PFHxS i forhold til overfladebehandling af tekstiler og som overfladeaktive stoffer. Undersøgelser fra flere lande har vist et fald i koncentrationen af både PFOS og PFOA i blod og modermælk (Lassen et al., 2013).

På baggrund af oplysningerne i Tabel 3.1 er der i det videre litteraturstudie lagt særligt vægt på at undersøge brugen af PFAS i følgende brancher:

- Tekstil-, læder- og tæppeindustri

- Malingsindustri
- Metalforarbejdning (forkromning)

Imprægnering af papir og pap ville også have været relevant at undersøge, men dette var ikke muligt inden for projektets økonomiske ramme.

Herudover er der fokuseret på undersøgelser af udvalgte PFAS-forbindelser i brandslukningsskum, da der har været flere eksempler på fund af PFAS-forbindelser i jord og grundvand ved brandøvelsespladser (herunder PFOS, PFOA og andre PFAS-forbindelser) (Orbicon 2012a, b).

### 3.3 Metode for indsamling af branchespecifikke oplysninger

De branchespecifikke oplysninger er fundet ved opslag i litteraturen, primært Miljøstyrelsens rapporter "Survey of PFOS, PFOA and other perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances" fra 2013 (Lassen et al., 2013), "Survey and environmental/health assessment of fluorinated substances in impregnated consumer products and impregnating agents" fra 2008 og "More environmentally friendly alternatives to PFOS-compounds and PFOA" fra 2005 samt en EU rapport fra 2011, "Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs". Derudover er der søgt information omkring brancherne på internettet, blandt andet på Arealinfo (Danmarks Miljøportal), og der er taget direkte kontakt til relevante nøglepersoner i specifikke brancher.

Der er desuden taget kontakt til de 5 danske regioner vedr. deres kendskab til forekomst af PFAS-forbindelser i forbindelse med forurenede grunde, jf. registreringer i GEOGIS og Geoenvirom.

### 3.4 PFAS i tekstil-, læder- og tæppeindustri

#### *Anvendelse*

PFAS-forbindelsernes evne til at afvise vand, fedt og smuds bliver udnyttet til overfladeimprægnering af tekstiler, læder og tæpper (Poulsen et al., 2005). I tekstilindustrien blev PFOS og relaterede forbindelser endvidere brugt som skumdæmpende middel i tekstilbade, som emulgerende stof for fibre og som hjælpemiddel ved blegning (Poulsen et al., 2005).

I 2002 udfasede 3M til fulde sin produktionen af PFOS-relateret overfladebehandling, hvorfor brugen på verdensplan faldt og i nogle brancher stoppede helt. Det forventes, at brugen af PFOS til tæpper og lædermøbler i Europa er stoppet ved dette årstal (EU, 2011). Det er sandsynligt, at alle syntetiske tæpper produceret i Europa før 2002 er overfladebehandlet med PFOS (EU, 2011). Det kan ikke afvises, at der fortsat anvendes PFOS til overfladebehandling i andre dele af verden.

PFOS var indtil 2002 det mest almindeligt brugte perfluorerede stof i tekstil-, læder- og tæppeimprægnering i EU. For at gøre produkterne vandafvisende, var det nødvendigt at have en PFOS-koncentration på 2-3 % i imprægneringsvæsken (EU 2011; Poulsen et al., 2005). Det har ligget uden for dette projekts formål at kortlægge om PFOS er erstattet med andre stoffer i imprægneringsvæsken.

I Jensen et al. (2008) vurderes det, at tæppeindustrien tidligere har stået for den største andel af PFAS-forbruget i Danmark. Ifølge forfatterens personlige kommunikation med de to største danske virksomheder, der udfører overfladebehandling af tæpper, har de beskrevet, at imprægneringsvæsken, som før i tiden har indeholdt PFAS, herunder PFOS, opskummes og presses ned i tæppets luvoverflade, hvorefter tæpperne tørres. Efter tørring udgør imprægneringsvæsken ca. 1% af luvvægten. Virksomhederne oplyser, at koncentrationen af PFOS i imprægneringsvæsken er meget lav, men et præcist tal kendes ikke. Derimod kan der i litteraturen (se Tabel 3.2) findes værdier fra 5-15 %.

Da tekstil-, tæppe- og læderindustrien har stået for en meget stor andel af PFAS-forbruget i Danmark, forventes der at være tale om store mængder PFAS, der potentielt kan forurene jord og

grundvand ved forkert håndtering eller uheld fra disse industrier. Dette underbygges af en anslået årlig forbrugt mængde PFAS i tæppeindustrien i Danmark på mellem 745 kg og 18 ton, se Tabel 3.2, der viser en opgørelse over indhold, koncentration og årlig mængde PFAS i tæpper.

**TABEL 3.2 MÆNGDER OG KONCENTRATIONER AF PFAS I TÆPPER**

Kilde	PFAS i imprægneringsvæske	Imprægneringsvæske i tæpper	Konc. af PFOS i syntetiske tæpper	PFOS i DK årligt
Jensen et al. (2008)	5 %	Ikke oplyst	0,1-2 g/m <sup>2</sup>	745 kg - 18 ton
EU (2011)	15 %	Ikke oplyst	88 ppm	Ikke oplyst
Tæppeproducent	"Meget, meget lav"	1 %	Ikke oplyst	Ikke oplyst

#### *Mulige spredningsveje til jord og grundvand*

Der bliver ikke længere brugt PFOS og relaterede stoffer i læder og tæppeindustrien i EU. Der er dog en risiko for, at den tidligere anvendelse har ledt til udslip af PFAS i miljøet. Potentielle forureningskilder kan være udslip fra tidligere oplag og spild ved omhældning af imprægneringsvæsker med indhold af PFOS. Ved forfatterens personlige kommunikation med en tæppefabrikant oplyses, at imprægneringsvæsken blev opbevaret i 1.000 kg containere, og at der typisk blev opbevaret 4 til 5 af disse. Hvis det antages, at imprægneringsvæsken har indeholdt 5 % PFOS (jf. Jensen et al., 2008), kan den totale mængde PFOS opbevaret have været op til 250 kg ad gangen. Herudover kan utætte spildevandsinstallationer potentielt have ført til udledninger til jord og grundvand, men der kendes ingen konkrete tilfælde og der er ikke oplysninger om at imprægneringsvæsken er blevet udledt med spildevandet.

Levetiden for lædermøbler og tæpper er lang. Det kan derfor forventes, at en større mængde PFOS er tilknyttet produkter, der stadig er i brug, og derfor stadig kan udgøre en potentiel forureningskilde, når de deponeres (Poulsen et al., 2005). Det forventes dog, at tæpper og møbler, der indgår i affaldsstrømmen i dag, primært vil blive bortskaffet ved forbrænding, hvorfor de ikke forventes at udgøre en risiko for jord og grundvand fra punktkilder (Se afsnit 3.11.). Derimod vurderes det sandsynligt, at tæpper og møbler før starten af 1990'erne er blevet deponeret på losse- og fyldpladser. Herfra kan PFAS-komponenter udvaskes til jord og grundvand og være en kilde til punktkildeforurening

### **3.5 PFAS i maling, lak og trykfarver**

#### *Anvendelse*

PFOS er blevet anvendt som additiv til maling og lak, da det forbedrer produkternes flydeevne, befugtning og nivellering. Endvidere kan det forbedre glansen og fremme produkternes antistatiske evner (Jensen et al., 2006, 2008).

Ifølge brancheorganisationen for maling- og lakindustrien er fluorerede forbindelser kun brugt af få firmaer (Jensen et al., 2008). Baseret på denne oplysning samt produktregisteret vurderes det, at der i 2008 bruges mellem 100 kg og 3,5 tons fluorerede stoffer årligt inden for dette område i Danmark (Jensen et al., 2008).

I forbindelse med dette projekt er der taget kontakt til fire danske malingsproducenter. Det kunne konstateres, at to producenter tidligere havde fremstillet maling med PFAS. Dog blev der lagt vægt på, at mængden af PFAS i malingen var forholdsvis lav, fra 0,01 til 0,3 %. Dette underbygges af tal fra litteraturen (Jensen et al., 2008). En af de kontaktede producenter kunne oplyse, at de mellem 1995 og 2000 producerede omkring 30.000 liter maling med PFAS over en femårig periode. På baggrund af deres oplysninger er det beregnet, at den totale mængde aktive PFAS per år har været 2,7 kg. I Tabel 3.3 ses en opgørelse over indhold, koncentration og årlig mængde PFAS i maling.

**TABEL 3.3 MÆNGDER OG KONCENTRATIONER AF PFAS I MALING**

Kilde	Aktivt stof i additiv	Additiv i maling	Konc. additiv i maling	PFAS årligt	PFAS i DK årligt
<b>Jensen et al. (2008)</b>	22-100 %	0,05-0,3 %	300-500 mg/kg	Se ”PFAS i DK årligt”	100-3.000 kg
<b>Malingsproducent 1</b>	50 %	0,08 %	0,92 mg/l	2,7 kg	Se ”PFAS årligt”
<b>Malingsproducent 2</b>	Ikke oplyst	0,01-0,1 %	Ikke oplyst	Ikke oplyst	Se ”PFAS årligt”

#### *Mulige spredningsveje til jord og grundvand*

Der er hverken i litteraturen eller ved personlig henvendelse til maling- og lakindustrien fremkommet oplysninger omkring direkte udslip af PFAS til miljøet. Det kan ikke afvises, at oplag og håndtering af additivproduktet kan have medført spild med høje PFAS-koncentrationer. Dog har mængden af opbevaret additiv formentligt været lav.

Udslip af PFAS til miljøet kan ske ved anvendelsen af den færdigblandede maling, efter salg til forbrugeren. Der forekommer en del spild i forbindelse med påsmøring (Larsen, 2005). Endvidere afskaffes store mængder overskydende maling ved forbrænding eller deponering, da maling ikke kan genanvendes (Larsen, 2005).

Endelig kan PFAS udvaskes til miljøet, fra maling på murbrokker og beton der deponeres i fyldpladser (Larsen, 2005). Hvis det antages, at malingslaget har en tykkelse på 30 µm (Larsen, 2005) kan et groft estimat af et realistisk forureningsindhold i en fyldplads beregnes til ca. 0,6 kg PFAS. Det er i estimatet på mængden antaget, at fyldpladsen er på 50.000 m<sup>3</sup>, hvoraf 25 % er fyldt op med 30 cm tykke brokker. Det kan derfor være relevant at undersøge PFAS koncentrationen i miljøet omkring fyldpladser nærmere.

### **3.6 PFAS i metalliseringsindustrien**

#### *Anvendelse*

I metalliseringsindustrien bruges PFOS og derivativer til at reducere overfladespændingen i galvaniseringsprocesser. I forkromningsindustrien er det stadig tilladt at anvende PFOS til ikke-dekorative kromobjekter (Regulativ 757/2010 EC 850/2004). I forkromningsbadene bruges PFAS til at opretholde en reduceret overfladespænding, hvorved størrelsen af overfladebobler nedsættes, og man reducerer kromemissioner (aerosoler) til luften. Dette har stor betydning, da chrom(VI) aerosoler er kræftfremkaldende (EU 2011, Poulsen et al., 2005). Man har prøvet at udfase PFAS og i stedet bruge alternative produkter, men i dele af branchen har dette ikke kunnet lade sig gøre. Der bruges derfor stadig PFOS-forbindelser til hård forkromning, forkromning af plastik og ikke-dekorativ forkromning (EU, 2011). Ud over forkromning bliver PFAS også brugt i kobber-, nikkel-, tin- og stålindustrien, dog i mindre mængde (Poulsen et al., 2005). Efter 2002, hvor brugen af PFOS-forbindelser i flere andre industrier blev udfaset, blev metalindustrien et af de største anvendelsesområder for PFOS-forbindelser (Carlioni, 2009).

Den specifikke perfluorforbindelse, der oftest bruges til forkromning i EU er PFOSA (EU, 2011). PFOSA omsættes i naturen til PFOS ved fraspaltning af amid-delen. PFAS-produkter til den europæiske forkromningsindustri sælges i 10 %-opløsning, og koncentrationen i et krombad reguleres, så den ligger omkring 2,5-10 mg PFOSA/PFOS per liter krombad (EU, 2011). I Danmark bruges der årligt ca. 20 kg PFOS (Lassen et al., 2013).

#### *Mulige spredningsveje til jord og grundvand*

PFAS bruges i store åbne forkromningsbade, hvor der kan være en risiko for, spild fra karrene i forbindelse med uheld. Dette kan medføre jord- og grundvandsforurening med PFAS. Findes der forurening med krom i jord og grundvand, vil der også være risiko for, at der findes PFAS i de samme områder. Der vil ligeledes være risiko for spild af PFAS ved oplag og håndtering af PFAS.

Udover direkte spild sker de største emissioner af PFAS fra forkromningsindustrien gennem spildevandet (EU, 2011), primært som spildevandsslam fra individuel spildevandshåndtering enten på den enkelte virksomhed eller på de kommunale rensningsanlæg (EU, 2011). På de kommunale rensningsanlæg sker der kun en begrænset fjernelse af PFAS, da stofferne ikke er let nedbrydelige, hvorfor disse vil blive opkoncentreret i spildevandsslammet. På forkromningsindustrier med individuel spildevandshåndtering kan PFAS i spildevandet blive fjernet, hvis der foretages behandling med aktivt kul eller ionbytningpolymerer (EU, 2011). Det bemærkes, at disse oplysninger er baseret på en europæisk rapport, der beskriver generelle europæiske forhold, og ikke er kvalificeret ift. specifikke danske forhold, da dette ligger uden for rapportens formål.

I Tabel 3.4 fremgår den forventede koncentration af PFAS i relevante affaldstyper fra forkromningsindustrien, samt den forventede affaldshåndtering. Dataene stammer fra en stor tysk forkromningsindustri, hvis produkter sælges bredt i Danmark (EU, 2011).

**TABEL 3.4 KONCENTRATIONEN AF PFAS I FORSKELLIGE AFFALDSTYPER FRA FORKROMNINGSINDUSTRI I TYSKLAND SAMT DEN FORVENTEDE HÅNDBETING AF DETTE AFFALD (EU, 2011)**

Affaldstype	Koncentration af PFAS	Affaldshåndtering
Ubehandlet spildevand	0,3-1 ppm	Ingen
Kromslam	3,1-3,8 ppm	Genbruges
Kromslam med aktivt kul	300 ppm	Genbruges gennem opvarmningsproces
Aktivt kulfilter	Op til 950 ppm	Nedbrudt i forbrændingsanlæg
Ionbytter polymerer	Op til 19.000 ppm	Nedbrudt i forbrændingsanlæg

### 3.7 PFAS i brandslukningsskum

#### Anvendelse

Brandslukningsskum til brug ved slukning af brandbare væsker har indtil 2006 indeholdt PFOS/PFOA og PFOS-derivativer (EU, 2011). Disse skumslukningsmidler er fortrinsvis brugt til at slukke olie- og benzinbrande i lufthavne, på offshore anlæg, på olieraffinaderier, ved olieledninger og tankanlæg (Poulsen et al., 2005). PFOS/PFOA og PFOS-derivativerne skaber en brandslukningsskum med lav densitet, der danner en hinde over de brandbare væsker, hvorved branden slukkes (EU, 2011). Efter 2006 blev det forbudt at producere brandslukningsmidler med PFOS og i 2011 skulle alt opbevaret brandslukningsskum baseret på PFOS være destrueret (EU, 2011; Carloni, 2009). Koncentrationen af PFOS i brandslukningsskum er angivet at være 0,5 til 1,5%, men der er også set eksempler på skum med et indhold af PFOS helt oppe på 10% (EU, 2011). Andre perfluorerede stoffer, såsom PFOA har også været en komponent i brandslukningsskum. I dag er PFOS i brandslukningsskum blevet erstattet af kortkædede fluortelomere (C6 fluorotelomersulfonamid forbindelser) eller Dodecafluoro-2-methylpentane-3-one, CAS nr. 756-13-8). Desuden er der i mange tilfælde i dag brugt alternative brandslukningsmidler, helt uden fluorstoffer.

#### Mulige spredningsveje til jord og grundvand

Ved brug af brandslukningsskum blev store mængder PFOS og PFOS-derivativer spredt over et betydeligt areal. Det er vurderet, på baggrund af observationer fra forskellige europæiske lande, at omkring 70 % af det brugte skum løber til spildevandsledninger eller lokalt beliggende dræn og derefter til rensningsanlæg, mens de resterende 30% kan være en direkte kilde til jord- og vandforurening (EU, 2011). Dette er selvfølgelig en generalisering, og den aktuelle mængde vil være afhængig af øvelsespraksis og indretning af øvelsespladsen. Uanset hvad, kan det forventes at finde PFAS i grundvandet som en konsekvens af brugen af brandslukningsmidler (Poulsen et al., 2005). Specielt på brandøvelsespladser er eksponeringen betydelig, da man hyppigt bruger



brandslukningsskum på det samme område. Risikoen for forurening afhænger dog også af, hvordan pladsen har været indrettet. Selvom brugen af brandslukningsmidler indeholdende PFOS har været forbudt siden 2011, kan det forventes at tidligere anvendelse har ført til forurening af grundvandet.

I Tabel 3.5 fremgår koncentrationer af PFAS i jord og grundvand fra undersøgelser udført ved brandøvelsespladser.

**TABEL 3.5 KONCENTRATION AF PFAS I JORD OG GRUNDVAND VED BRANDØVELSESPLADSER**

Sted	Medie	Koncentration
Lufthavn i Danmark (Orbicon, 2012b)	Grundvand	121.000 ng/l
	Jord	Max: 1.600 µg/kg TS
Militære luftbaser i USA (Poulsen et al., 2005)	Grundvand	3-120.000 ng/l
Gardermoen lufthavn – Norge (SF, 2008)	Grundvand	25.000 ng/l
Landvetter ved Göteborg - Sverige (Woldegiorgis et al., 2006)	Grundvand	370.000 ng/l
4 brandøvelsespladser i Norge (Heraf 2 i lufthavne, et olieraffineri og en industriel testfacilitet) (SF, 2008)	Jord	Op til 5.000 µg/kg TS

### 3.8 PFAS i fotografisk industri

#### Anvendelse

PFOS-salte og PFOS-polymerer bruges til overfladebehandling ved fremstilling af fotografisk materiale som film, fotopapir og fotoplader i Europa (EU, 2011). De PFOS-relaterede stoffer frastøder støv og kontrollerer friktion samt reducerer overfladespænding og statisk elektricitet (EU 2011; Poulsen et al., 2005).

Brugen af PFOS i den fotografiske industri er stadig tilladt. PFOS-mængden i den fotografiske industri ligger omkring 0,1 til 0,8 µg per cm<sup>2</sup> filmoverflade (EU, 2011). Der er ved litteraturgennemgangen ikke fremkommet specifikke oplysninger om relevante processer eller håndtering i forhold til PFOS. Da stofferne indgår i selve produktionen af fotopapir/fotoplader, og vi ikke har noget kendskab til, at dette bliver produceret i Danmark, er det ikke undersøgt yderligere.

#### Mulige spredningsveje til jord og grundvand

Spildevandet fra fotoindustriens produktionsområder kan indeholde betydelige mængder af PFOS og relaterede forbindelser (EU, 2011).

Film, fotopapir og fotoplader har en meget lang levetid. En stor del af den mængde PFOS og relaterede forbindelser, der er brugt i fotoindustrien, er derfor ophobet i gamle fotos og fotoplader (EU, 2011). Det største forbrug af PFAS-behandlet fotoudstyr sker ved røntgenfotografi i medicinalindustrien (EU, 2011). På hospitalerne opbevares røntgenbilleder i 10 år, hvorefter de destrueres. Dette sker ved, at billederne leveres til firmaer, der renser overfladen for at genbruge sølvet. Der er ikke klarhed over skæbnen for PFOS og relaterede forbindelser under denne proces, men det forventes, at der sker en af følgende tre ting (EU, 2011):

- PFAS vil blive destrueret ved høje temperaturer.
- PFAS vil ende i rensningsanlæggene.
- PFAS vil blive sendt videre til cementproducenter, som er modtagere af spildevandet fra overfladerensningen. Det forventes ikke, at der sker udslip af PFAS til jord og grundvand fra denne destrueringsproces.

Foto og fotoplader fra andre industrier samt private vil følge den almindelige affaldsstrøm og ende på lossepladser eller i forbrændingsanlæg (EU, 2011).

Det bemærkes, at ovenstående oplysninger er baseret på en europæisk rapport, der beskriver generelle europæiske forhold, og ikke er kvalificeret ift. specifikke danske forhold, da dette ligger uden for rapporten formål.

### 3.9 PFAS i hydraulikolie til luftfart

#### Anvendelse

I både kommerciel og militær luftfart bliver der brugt hydraulikolie i flyenes bremsesystem. Denne hydraulikolie bliver udsat for meget høje varmegrader under opbremsning, hvorfor der tilsættes PFOS for at undgå, at der går ild i selve olien. Samtidig mindsker PFOS rustdannelse i bremsesystemet (EU 2011; Poulsen et al., 2005). Koncentrationen af PFOS i hydraulikolien ligger på 0,05 til 0,1 % (EU, 2011). Brugen af PFOS er stadig tilladt i hydraulikolie til luftfart (Regulativ 757/2010 EF 850/2004).

#### Mulige spredningsveje til jord og grundvand

Det forventes, at cirka 2 % af denne hydraulikolie slipper ud i miljøet f.eks. ved spild, jf. observationer i engelske lufthavne (EU, 2011). Det vil primært være jord, og i nogen grad vand, der udsættes for påvirkning fra hydraulikoliespild (EU, 2011). De resterende 98 % af hydraulikolien bliver håndteret i specialiseret affaldshåndtering (EU, 2011).

I Tabel 3.6 ses nøgletal i forbindelse med et groft konservativt estimat af mængden af PFAS, der kan forventes i det danske miljø pga. hydraulikolie. Tallene er estimeret ud fra antagelse af en ligelig fordeling af hydraulikolieforbruget i de 25 EU lande samt et udslip til miljøet på 2 %.

**TABEL 3.6 GROFT ESTIMAT AF EKSPONERINGS AF PFAS TIL DET DANSKE MILJØ FRA HYDRAULIKOLIE TIL FLY PR. ÅR**

PFAS i EU25 (EU, 2011)	PFAS i DK	PFAS i miljøet i DK (2 % udslip)
730 kg	29 kg	0,6 kg

Spredningen af stofferne anses for at være af mindre betydning og behandles derfor ikke yderligere i denne rapport.

### 3.10 PFAS i voks og polish

#### Anvendelse

PFAS udnyttes i voks og polish pga. deres overfladeegenskaber. Voks og polish bruges til bl.a. biler, både, gulve og skivoks. Der er stor forskel på den producerede mængde og indholdet af PFAS i de forskellige produkter (Jensen et al., 2008). Der er i forbindelse med dette projekt ikke fundet producenter af polish eller voks i Danmark

#### Mulige spredningsveje til jord og grundvand

Indholdet af fluorerede forbindelser i Danmark i alle slags polermidler i 2006 er estimeret til mellem 24 kg og 478 kg (Jensen et al., 2008). En stor del af den anvendte voks og polish (33 til 50%) anvendes af slutforbrugeren. I mange tilfælde benyttes produkterne på udendørs arealer og som oftest befæstede arealer, hvorfor det antages at en del af PFAS stofferne fra poleringen ender i spildevandet. Der er dog en risiko for, at PFAS kan være årsag til jord- og grundvandsforurening, hvis f.eks. biler og både voksbehandles og poleres på ikke-befæstede arealer.

Spredningen af stofferne anses for at være af mindre betydning og behandles derfor ikke yderligere i denne rapport.

### **3.11 PFAS i papir- og papimprægning**

Før reguleringen af PFOS og derivativer blev disse stoffer brugt i store mængder til imprægning af papir og pap. Ved tilførsel af PFAS blev papiret fedtafvisende, hvilket kan udnyttes i blandt andet fødevarerindustrien (Poulsen et al., 2005), som bagepapir eller kartoner til bl.a. pizzabakker.

Det forventes dog ikke, at PFOS og derivativer bruges i denne industri efter EU reguleringen i 2006. Andre PFAS-forbindelser anvendes derimod bredt (Fødevarerstyrelsen 2014). Produkterne går via husholdningernes affaldsstrøm, hvorfor produkter anvendt efter år ca. 2000 heller ikke vurderes at udgøre en større risiko for jord og grundvand i form af punktkildeforurening på grund af vores udbredte anvendelse af afbrænding af husholdningsaffald i Danmark. Produkter deponeret før år 2000 kan dog potentielt udgøre en risiko. Jf. Havelund et al. (2012) har forbruget af PFAS i papirindustrien været på op til 2,5 tons. Dette tal indeholder både PFOS og andre PFAS-forbindelser.

Imprægning af papir og pap vil også være relevant at undersøge, men dette var ikke muligt inden for projektets økonomiske ramme.

### **3.12 PFAS i andre brancher**

I "Det danske produktregister" fremgår det, at PFAS, ud over de ovenfor beskrevne brancher, også bliver eller er blevet brugt i rengøringsmidler, lim, ved fremstilling af halvledere samt som slipmidler (til støbeforme). I det gennemgåede materiale er der dog meget få oplysninger om produktion og mængde i forhold til disse brancher. Det har inden for dette projekts ramme ikke været muligt at undersøge disse brancher yderligere.

### **3.13 Anbefalinger til videre undersøgelser**

På baggrund af den ovenstående kortlægning af PFAS-anvendelsen i forskellige brancher og risikoen for udslip til jord og grundvand, er der udvalgt en række brancher til videre undersøgelser. Udvælgelsen er funderet på en vurdering af den samlede mængde PFAS håndteret, risiko for spredning til jord og grundvand samt sandsynligheden for at kunne lokalisere en eventuel punktkilde for hver enkelt branche.

#### *Brandøvelsespladser i forbindelse med træning af slukning af oliebrande*

Der kan have været anvendt PFOS-holdigt skum til brandslukning frem til 2011.

Brandslukningsskum er blevet brugt i store mængder direkte på befæstede og ubefæstede arealer, og der er i andre studier fundet PFOS, PFOA og PFOS-relaterede stoffer i jord og grundvand ved brandøvelsespladser i både Danmark og andre lande i Skandinavien.

#### *Forkromningsindustrien*

Forkromningsindustrien er den største forbruger af PFOS og derivativer i Europa i dag. I forkromningsindustrien i EU (27 lande) bliver kalium, lithium, diethanolamin, og ammoniumsalte af PFOS samt kvarternære ammoniumsalte og aminer brugt. Stoffet PFOSA (CAS No. 56773-42-3) anvendes særlig ofte (EU, 2011). I Danmark må PFOS stadig anvendes til hårdforkromning. Der bruges PFOS i 5 virksomheder, og er der ikke planer om udfasning. I dag bruges PFOS i recirkulerende systemer uden spildevandsafledning. Stoffet bliver gradvist nedbrudt i badene, og badene bliver bortskaffet til Kommunekemi (MST2013a). Tidligere har PFOS været tilsat forkromningsbadene, og der var risiko for spild til jord og grundvand direkte fra disse kar eller fra uheld ved oplag og omhældning, især fra tidligere års anvendelse hvor miljøregulering/godkendelsesprocedurer ikke var implementeret. Endvidere er der høje koncentrationer af PFOS i affald/spildevand fra disse industrier i forhold til andre industrier (EU, 2011).

#### *Tæppeindustrien*

Tæppeindustrien har tidligere stået for op til 30% af PFAS-forbruget i Danmark. PFAS-forbindelserne indgår som et smudsafvisende middel i overfladebehandlingen. Tæppeindustrien

har opbevaret op til flere tons PFAS-baseret imprægneringsvæske, hvorfor der kan være risiko for spild til jord og grundvand fra uheld ved oplag og omhældning.

#### *Malingsindustrien*

PFAS har været brugt i udvalgte malingsprodukter. Der har derfor været oplag af PFAS-holdige produkter ved nogle produktionsanlæg.

#### *Fyldpladser for byggeaffald og ældre dagrenovationslossepladser*

Maling brugt i byggeindustrien før 2002 kan have indeholdt PFOS og PFOS-relaterede forbindelser. Hvis bemalet byggeaffald i årene før 2002 er deponeret på fyldpladser, kan udvaskning give anledning til direkte udledning af PFOS og relaterede forbindelser til jord og grundvand. Det må forventes, at diverse husholdningsaffald inklusive tæpper, møbler, papir og pap er blevet afskaffet ved deponi indtil slutningen af 1980'erne. Da de største mængder af PFOS og relaterede forbindelser er brugt i perioden 1970 til 1990, kan det give anledning til udvaskning af en ukendt, men muligvis betydelig mængde til jord og grundvand.

# 4. Undersøgelser af PFAS på udvalgte brancher i Danmark

På baggrund af det udførte litteraturstudie er der identificeret en række mulige brancher/lokaliteter, som kan være potentielle punktkilder til forurening af jord og grundvand. På baggrund af litteraturstudiet blev det besluttet at udføre yderligere undersøgelser af PFAS i grundvand ved de nedenfor listede brancher. Udvælgelsen er funderet på en vurdering af den samlede mængde PFAS håndteret, mulige eksponeringsveje, samt sandsynligheden for at kunne lokalisere en eventuel punktkilde for hver enkelt aktivitet/branche:

- Brandøvelsespladser i forbindelse med olieoplag (benævnes B).
- Fyldpladser for byggeaffald (benævnes L).
- Ældre dagrenovationslossepladser (benævnes L).
- Forkromningsindustrien (benævnes C).
- Tæppeindustrien (benævnes T).
- Malingsindustrien (benævnes M).

Der er udvalgt en række specifikke lokaliteter til fysiske undersøgelser af PFAS. I det følgende beskrives processen for udvælgelse af lokaliteterne fordelt efter brancher.

## 4.1 Brandøvelsespladser i forbindelse med olieoplag

Der findes mindst 38 brandøvelsespladser i Danmark. Brandøvelsespladserne er typisk knyttet til Beredskabsstyrelsen, brandstationer/brandskoler, flyvestationer og lufthavne. Til denne undersøgelse er der fokuseret på brandøvelsespladser, hvor der bruges brandslukningsskum til slukning af oliebrande, da kun denne type skum er kendt for at indeholde PFAS (Poulsen et al., 2005). På baggrund af en søgning på internettet er der opstillet en liste med omkring 15 brandøvelsespladser i Danmark. Denne liste er efterfølgende udbygget efterhånden som informationer blev tilgængelige via samtaler med diverse interessenter. I alt er der taget kontakt til 38 brandøvelsespladser. Som det fremgår af Tabel 4.1, er der tale om 10 pladser tilhørende Beredskabsstyrelsen, 9 pladser på brandstationer/brandskoler, 10 pladser i forbindelse med forsvarrets nuværende og tidligere flyvestationer og 9 pladser ved lufthavne. Der er ikke taget kontakt til alle enkelte brandøvelsespladser i Danmark, men alle de største aktører (Forsvaret, Beredskabsstyrelsen, store brandstationer og lufthavne) er blevet kontaktet. Således er der brandøvelsespladser, tilknyttet mindre brandstationer, som der ikke er taget kontakt til, da det vurderes, at brandøvelser i forbindelse med oliebrande foregår på de større øvelsespladser. Det har ikke været formålet med projektet at lave en fyldestgørende liste over brandøvelsespladser i Danmark, men det vurderes, at hovedparten af de relevante brandøvelsespladser er lokaliseret. Derimod har det været målet at udvælge 8-10 brandøvelsespladser med mulighed for at udtage vandprøver til analyse for PFAS.

**TABEL 4.1 ANTAL BRANDØVELSESPLADSER KONTAKTET I FORBINDELSE MED UDVÆLGELSE AF PLADSER TIL UNDERSØGELSE AF PFAS I GRUNDVAND.**

Antal	Kontaktet	Har brandøvelsespladser hvor der anvendes brandslukningsskum	Er allerede undersøgt for PFAS i forbindelse med andre projekter	Udvalgt til undersøgelse i dette projekt	Udvalgt til udførelse af boring i dette projekt
Beredskabsstyrelsen	10	10	0	1	1
Brandstationer/brandskoler	9	6	0	0	1
Forsvaret	10	6	1	3	0
Lufthavne	9	5	1	1	0
I alt	38	27	2	5	2

Som det fremgår af Tabel 4.1, er det oplyst, at der findes en brandøvelsesplads, hvor der er blevet brugt skum til slukning af oliebrande på 27 af de 38 adspurgte pladser. På 2 af disse pladser (B6 og B7) er der allerede udført undersøgelser for PFAS i forbindelse med andre projekter/aktiviteter. For de resterende 25 pladser er det ved personlig kontakt og opslag i Jupiters boringsdatabase undersøgt, hvorvidt der findes boringer på eller omkring brandøvelsespladserne. Derefter er det undersøgt om de tilgængelige boringer ligger nedstrøms de områder, hvor der er anvendt brandslukningsskum. For brandøvelsespladser tilknyttet Beredskabsstyrelsen og Brandstationer er der desuden, i forbindelse med udvælgelsen af relevante lokaliteter, spurgt til det årlige forbrug af brandslukningsskum.

#### 4.1.1 Feltarbejde på brandøvelsespladser

##### Udførelse af boringer på to brandøvelsespladser

Der er udvalgt to brandøvelsespladser til udførelse af supplerende boringer. Pladserne er udvalgt, fordi der er oplysninger om brug af store mængder skum, og fordi hydrogeologien i området gør det muligt at udføre undersøgelser med relativt lave omkostninger, da der kun kræves korte boringer for at undersøge et betydeligt grundvandsmagasin. Undersøgelserne er udført i december 2013.

- **B9:** På denne brandøvelsesplads oplyses det, at der bruges store mængder brandslukningsskum (omkring 7000 l/år). Områdets geologi er kendetegnet ved et overfladenært magasin beliggende i smeltevandssand. Jf. den regionale geologi vurderes dette sandlag at udgøre et regionalt magasin, og det forventes, at dette er i forbindelse med det primære magasin. På denne baggrund blev det besluttet at udføre to boringer på området. Boringerne er placeret umiddelbart nedstrøms de to områder på brandøvelsespladsen, hvor der bruges mest brandslukningsskum. Boringerne er filtersat i det øverste grundvandsmagasin. Boringerne kunne ikke placeres inde i selve øvelsesområderne, da disse er opbygget med membran for at opsamle vandet. Der er udtaget en vandprøve fra hver af de to nye boringer, samt en vandprøve fra en eksisterende boring.
- **B2:** På denne brandøvelsesplads oplyses det, at der bruges mellem 800 og 13.000 l brandslukningsskum årligt. Dette er det højeste forbrug af brandslukningsskum angivet på Beredskabsstyrelsens brandøvelsespladser. Det blev besluttet at udføre 1 boring på brandøvelsespladsen. Denne boring er placeret i det øvelsesområde, hvor der benyttes mest brandslukningsskum. Boringen er filtersat i det øverste magasin. Der er udtaget en vandprøve fra boringen.

### Prøvetagning af eksisterende boringer på 4 brandøvelsespladser

Kun på 4 brandøvelsespladser fandtes brugbare boringer med en tilfredsstillende placering:

- *B1*: Her findes 1 lettilgængelig monitoringsboring.
- *B4*: 2 vandindvindingsboringer på området er i drift. Yderligere findes der, ifølge Jupiter boringsdatabasen, flere boringer på brandøvelsespladsen. Fra tidligere rapporter fremgår det, at der har været 2 boringer på den tidligere brandøvelsesplads. Ved feltarbejdet var det desværre ikke muligt at lokalisere disse 2 boringer. De fleste af de øvrige boringer på flyvestationen kunne heller ikke lokaliseres, hvorfor den endelige prøvetagning endte med udtagning af 1 vandprøve fra en brønd og 1 vandprøve fra en vandforsyningsboring.
- *B3*: På lokaliteten findes en aktiv afværgeboring over for en forurening med kulbrinter og flere monitoringsboringer. En del af monitoringsboringerne er placeret på området, hvor der tidligere har været brandøvelsesplads. Der er udtaget 7 vandprøver fra boringer fordelt over brandøvelsespladsens område og i forskellige filterdybder.
- *B8*: Der foretages jævnligt monitoring i boringer jævnt fordelt over brandøvelsespladsens område. Desværre ligger disse boringer ikke tæt på, eller umiddelbart nedstrøms, brandøvelsespladsen. Der er ikke kendskab til at brandøvelsespladsen har været placeret andre steder på området. Der er udtaget 4 vandprøver i de boringer der ligger nærmest brandøvelsespladsen.
- *B5*: Der er foretaget prøvetagning af 2 monitoringsboringer på og nedstrøms Forsvarets brandøvelsesplads.

### 4.2 Fyldpladser for byggeaffald og ældre dagrenovationslossepladser

I samarbejde med Region Syddanmark er der udarbejdet en liste over fyld- og lossepladser som er udvalgt til undersøgelsen. Kriterierne for udvælgelse af lokaliteterne var:

- Der skulle være eksisterende boringer i eller nedstrøms losse-/fyldpladsen, hvor der er kendskab til påvirkning med lossepladsperkolat.
- Det skulle være losse- eller fyldpladser, hvor der kan have været deponeret murbrokker og renovationsaffald i perioden 1970-1990, hvor forbruget af PFAS har været højt.

På baggrund deraf blev der udvalgt 3 lossepladser samt en fyldplads, hvor der muligvis har været deponeret tæpper. Pladserne er beliggende i Sønderjylland. Det drejer sig om:

- *L1*: På lossepladsen har der været deponeret alle typer affald, herunder spildevandsslam, fra 1968 til 1972. Geologien består af et frit sandmagasin fra ca. 1-2 m u.t. til 80 m u.t. Der er konstateret en 500 m lang forureningsfane med chlorerede opløsningsmidler i ca. 50 meters dybde. På baggrund af tidligere målinger af ledningsevnen, blev der udvalgt en række boringer til prøvetagning. En forhøjet værdi af den elektriske ledningsevne er tegn på påvirkning af vandet med perkolat. Ikke alle udvalgte boringer kunne lokaliseres ved feltkampagnen. Der er således udtaget 3 vandprøver fra tre boringer. To af vandprøverne stammer fra det øvre grundvand under lossepladsen (3-15 m u.t.) fra en perkolatpåvirket boring, mens den sidste prøve stammer fra den dybere del af magasinet ca. 26 m u.t. i udkanten af lossepladsen.
- *L2*: Lossepladsen er bl.a. udvalgt fordi der er deponeret affald fra bl.a. køleskabsindustrien. Der har tidligere været konstateret en meget lang forureningsfane med bl.a. brandhæmmere. Kun få boringer eksisterer stadigvæk. Der er prøvetaget 2 boringer (3 filtre) beliggende i forureningsfanen. Den ene boring er filtersat i det øvre del af sandmagasinet (11-14 m u.t.) og er beliggende 500 meter nedstrøms lossepladsen. Den anden boring er beliggende 1,5 km længere væk. Boringen er filtersat i 2 niveauer i sandmagasinet ved ca. 25 og 45 m u.t.
- *L3*: Der var oplysninger om nedgravning af affald fra en nærliggende tæppefabrik. Der findes to boringer ca. 150 meter fra lokaliteten som er filtersat i det terrænære grundvand i ca. 3-9 m u.t. Begge boringer er prøvetaget.

- *L4*: Denne losseplads har modtaget forskellige typer industrielt affald og husholdningsaffald. Der er udtaget vandprøver fra 2 borer ca. 230 meter nedstrøms lossepladsen. Den ene boring DGU xxx.x30 er filtersat i det sekundære magasin ca. 17-21 m u.t. Den anden prøve er udtaget fra et dybere sekundært magasin i ca. 27 m u.t. Geologien består af ca. 8 meter ler, efterfulgt af ca. 12 meter smeltevandssand (øverste sekundært magasin). Derefter træffes der ca. 12 meter ler, hvor det dybere sekundære magasin indtræffer. Det har ikke været muligt at udtage vandprøver fra borer beliggende på selve pladsen, da disse ikke kunne lokaliseres.

### 4.3 Forkromningsindustrien

I en tidligere undersøgelse (Orbicon, 2013) er der fundet ca. 42 ng/l PFAS i det primære magasin ved en tidligere forkromningsanstalt. Derudover er det i samarbejde med Region Syddanmark valgt at udtage prøver fra endnu en forkromningslokalitet, hvor der er konstateret forurening med chlorerede opløsningsmidler. Lokaliteten blev valgt, fordi der allerede eksisterede flere borer, samt fordi det vurderes sandsynligt, at en lokalitet hvor håndtering af kemikalier har givet anledning til forurening med andre stoffer, her TCE, også kan have givet anledning til forurening med PFAS. Det har ikke været muligt at lokalisere andre lokaliteter i Region Syddanmark, der opfyldte ovenstående kriterier. I forbindelse med dette projekt er der udtaget 5 vandprøver fra borerne på den udvalgte lokalitet. Borerne er beliggende centralt i forureningsfanen og filtersat i det primære magasin, som optræder allerede 7 m. u.t.

### 4.4 Tæppeindustrien

Tre store og en mindre tæppevirksomhed er kontaktet telefonisk. Den ene af de store tæppefabrikanter oplyste, at der blev brugt PFAS i deres produktion. De resterende tre tæppefabrikanter oplyste, at de ikke selv overfladebehandler deres tæpper. Deres tæpper bliver sendt til behandling hos en virksomhed i Danmark, der har specialiseret sig på området. Denne virksomhed er ligeledes kontaktet telefonisk, og de bekræfter, at der tidligere indgik PFAS i deres produktion.

For de to relevante virksomheder (en tæppeproduktionsvirksomhed og en overfladebehandlingsvirksomhed) er miljø sagen og byggesagen rekvireret og gennemgået for oplysninger omkring brug, opbevaring og håndtering af PFAS, eventuelt kendte spild og den generelle forureningssituation på lokaliteten. Endvidere er geologien, eventuelle borer i området og strømningsretningen i de underliggende magasiner undersøgt ved opslag i Jupiters boringsdatabase og relevante potentialekort. De to virksomheder er endnu engang kontaktet for at indhente yderligere oplysninger omkring ovenstående. Af Tabel 4.2 fremgår oplysninger om eventuelle spild og borer i området omkring virksomhederne.

**TABEL 4.2 OPLYSNINGER OM EVENTUELLE SPILD OG BORINGER I OMRÅDET FOR TO RELEVANTE VIRKSOMHEDER FRA TÆPPEBRANCHEN**

	Spild	Boringer i området
Tæppeproducent	Nej	1 prøvebrønd ved udendørs oplag
Fabrik til overfladebehandling af tæpper og andre tekstiler	Nej	Få borer langt fra fabrikken

Den kommunale tilsynsmyndighed for tæppeproducenten er kontaktet telefonisk. En medarbejder med kontakt til virksomheden i over 20 år har oplyst, at der ikke er kendskab til spild, at der ikke er, og ikke har været udendørs oplag af kemikalier, og at samarbejdet med virksomheden er tilfredsstillende. Tæppeproducenten oplyser, at imprægneringsvæsken opbevares i 1.000 kg containere, og at der opbevares 4-5 stk. i indendørs oplag. På baggrund af de fremkomne oplysninger vurderes det ikke muligt at udvælge en relevant placering til en boring i området ved tæppeproducenten. Det beslutes at udtage en vandprøve i den tilgængelige prøvebrønd ved fabrikens oplag.



På baggrund af de fremkomne oplysninger er det vurderet, at håndteringen af PFAS i overfladebehandlingsvirksomheden er foregået ved meget kontrollerede og miljøbevidste processer. Det er derfor besluttet ikke at undersøge virksomheden i dette projekt, delvis fordi risikoen for forureningsudslip vurderes at have været lille og dels fordi en evt. undersøgelse skulle omfatte en lang række aktiviteter (inspektion af kloaksystemet, osv.), der ikke vil kunne gennemføres inden for projektets ramme.

#### **4.5 Malingsindustrien**

Malingsindustrien står i dag for omkring 87 % af PFAS-forbruget i Danmark (Lassen et al. 2012). Der er i dette projekt taget kontakt til 4 producenter, hvor af 2 meldte tilbage at have fremstillet maling med PFAS. Mængden af PFAS i maling er fra 0,01 til 0,3 %. Kun på den ene af de to lokaliteter har der været mulighed for udtagning af prøver fra eksisterende boringer. På lokaliteten, hvor der er konstateret forurening med chlorerede opløsningsmidler, er der etableret en afværgeboring. Der er udtaget vandprøver fra afværgeboringen og 2 monitoringsboringer på ejendommen.

# 5. Fund af PFAS i grundvandet ved udvalgte brancher

I dette afsnit fremstilles og diskuteres analyseresultater for undersøgelser af PFAS i grundvandet ved udvalgte brancher. Ud over resultaterne fra denne undersøgelse er der inddraget resultater fra andre danske undersøgelser. Herved opnås det bedst mulige grundlag for en vurdering af, hvorvidt forurening med PFAS udgør et problem for det danske grundvand.

Danmarks fem regioner er kontaktet for at opspore allerede eksisterende resultater fra forureningsundersøgelser af PFAS i grundvand. Jf. regionernes tilbagemeldinger er der ikke foretaget nogle analyser for indhold af PFAS i forbindelse med forurenede grunde i Region Midtjylland, Region Nordjylland, Region Sjælland eller Region Syddanmark. I Region Hovedstaden er der foretaget enkelte analyser på 2 lokaliteter. Der er i Region Hovedstaden konstateret spor af PFOS på en tidligere forkromningsvirksomhed.. Endelig har Forsvaret påvist spor af PFAS på en af deres brandøvelsespladser.

Ud over dette er der på en brandøvelsesplads lavet en grundig undersøgelse for perfluorerede stoffer i andet regi end dette projekt. Se boks 2.

Der er ved denne undersøgelse analyseret for 9 PFAS-forbindelser i grundvandet (se Tabel 2.1) på 8 brandøvelsespladser (B), 4 dagrenovationslossepladser (L), 2 forkromningsindustrier (C), en tæppeproducent (T) og en malingsproducent (M). Lokaliteterne er placeret i forskellige danske regioner på Sjælland, Fyn og Jylland.

I de følgende tre afsnit er analyseresultaterne yderligere præsenteret og vurderet. Det første afsnit indbefatter resultater fra brandøvelsespladser, som er den mest undersøgte aktivitet. Det andet afsnit indeholder resultater fra de resterende brancher. I det tredje afsnit diskuteres udbredelsen af PFAS i forhold til brancher og specifikke forureningsstoffer.

## 5.1 Fund af PFAS på brandøvelsespladser

Der er udført undersøgelser for 9 PFAS-forbindelser på brandøvelsespladser tilhørende Beredskabsstyrelsen, lufthavne og Forsvaret. Resultaterne fra de lokaliteter der er undersøgt som en del af screeningsundersøgelsen (B1-B6 og B8-B9) er angivet i tabel 5.1. Der er desuden foretaget en vurdering af sikkerheden af resultatet, da undersøgelsens kvalitet har varieret både i antal boringer, samt egnethed af boringernes placering.

Kriterierne for usikkerhedsvurderingen var således:

- Dårlig sikkerhed. Mindre end 2 boringer i nærheden af brandøvelsesområdet, men ikke nedstrøms.
- Mellem sikkerhed: Mindre end 2 boringer direkte på eller nedstrøms brandøvelsesområdet.
- God sikkerhed: Mere end 2 boringer direkte på eller nedstrøms brandøvelsesområdet, eller en afværge-/vandforsyningsboring, som vurderes at indfange evt. forurening fra øvelsesområdet.

Som det fremgår af Tabel 5.1, er der påvist PFAS i en koncentration på 156 ng/l i en enkelt prøve på den ene af beredskabsstyrelsens undersøgte brandøvelsespladser (B1). Der er ikke påvist PFAS på

den anden af beredskabsstyrelsens brandøvelsespladser (B2), på trods af at boringen er etableret i et område, hvor der foreligger oplysninger om, at der bruges betydelige mængder brandslukningsskum. Det skal dog bemærkes at datagrundlaget (en boring pr. lokalitet) er tyndt.

Brandøvelsespladserne B3-B6 er tilknyttet Forsvarets Flyvestationer. Af Tabel 5.1 fremgår det, at der på den ene af disse brandøvelsespladser (B5) er fundet PFAS i koncentrationer helt op til 7.552 ng/l. Der er på denne brandøvelsesplads fundet PFAS i begge de to undersøgte vandprøver. På to andre af forsvarrets brandøvelsespladser (B3 og B6) er der i omkring halvdelen af prøverne påvist PFAS i koncentrationer op til 340 ng/l. På den sidste af Forsvarets undersøgte brandøvelsespladser (B4) er der ikke påvist indhold af PFAS over detektionsgrænsen.

De største lufthavne har også tilknyttede brandøvelsespladser, hvor der ofte bliver trænet med brandslukningsskum. I screeningsundersøgelsen er foretaget analyser på 1 af Danmarks lufthavne (B8). På det undersøgte lufthavnsområde er der udtaget vandprøver i eksisterende boringer. Boringernes placering har desværre ikke været optimal, ift. placering af brandøvelsespladsen. Som det fremgår af Tabel 5.1, er der da heller ikke påvist indhold af PFAS over detektionsgrænsen i disse prøver. Det har ikke inden for dette projekts ramme været muligt at udføre supplerende boringer på eller nedstrøms brandøvelsespladsen.

Ud over dette er der på en brandøvelsesplads på en anden lufthavn (B7) lavet en grundig undersøgelse for perfluorerede stoffer i andet regi end dette projekt. Se boks 2. Her er der fundet kraftig forurening med perfluorerede stoffer.

Endelig er der udtaget vandprøver på en brandøvelsesplads i tilknytning til en brandstation (B9). På denne brandøvelsesplads er der etableret to boringer nedstrøms de områder, hvor det er oplyst, at der bruges større mængder brandslukningsskum. Der er påvist indhold af PFAS i den ene af de etablerede boringer i en koncentration på 1.152 ng/l.

Opsummerende er der i forbindelse med 5 af de 8 brandøvelsespladser der er undersøgt som en del af screeningsundersøgelsen påvist PFAS i grundvandet. De påviste koncentrationer svinger betydeligt fra 85 ng/l på den brandøvelsesplads, hvor der påvises lavest koncentration, til tusinder ng/l hvor der påvises de højeste koncentrationer. Det skal bemærkes, at der er tale om en screeningsundersøgelse på alle brandøvelsespladser. Det vil sige, at der kun blev udtaget få vandprøver på hver brandøvelsesplads, og der ikke blev udført en konkret undersøgelse til kortlægning af forurening med PFAS og estimering af forureningsmassen.

TABEL 5.1 ANALYSERESULTATER FOR BRANDØVELSESPLADSER I SCREENINGSUNDERSØElsen (B1-B6 OG B8-B9) NG/L. RESULTATERNE FRA DEN FRIVILIGE UNDERSØGELSE (B7) ER BESKREVET I BOKS 2.

Lokalitet	Sikkerhed	Prøve	PFHpA	PFOA	PFNA	PFBS	PFHxS	PFOS	PFDS	PFOSA	PFHxA	Sum
B1	D	P1	34	22	<	10	<	15	<	<	75	156
B2	M	B1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
B3	G	DGU xxx.xx76*	<	120	<	<	220	<	<	<	<	340
		DGU xxx.xxx7	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		DGU xxx.xxx0	11	<	<	<	14	<	<	<	<	25
		DGU xxx.xxx4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		DGU xxx.xx57	<	<	<	<	29	17	<	<	<	46
		DGU xxx.xxx5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		DGU xxx.xxx1	11	<	<	<	54	<	<	<	<	65
B4	M	P1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		DGU 1 xxx.xxx0A	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
B5	G	B810	1.100	710	98	17	55	37	<	<	2.700	4.717
		B227	1.800	340	13	20	34	45	<	<	5.300	7.552
B6 #	G	306	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		320	<	85	<	<	<	<	<	<	<	85
B8	D	DGU xx.xx8 - 3	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		DGU xx.xx8 - 4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		DGU xx.xx4 - 4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		DGU xx.xx1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
B9	G	B1	21	20	<	<	100	980	<	<	31	1.152
		B2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		V1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
<b>Detektionsgrænse</b>			10	10	10	10	10	10	10	10	10	

< Mindre end detektionsgrænsen på 10 ng/l

i.p. Ikke påvist

\* Detektionsgrænsen afviger i denne prøve: 100 ng/l for alle ni stoffer.

\*\* Detektionsgrænsen afviger i denne undersøgelse: PFHpA - 4 ng/l, PFOA - 2 ng/l, PFNA - 0,8 ng/l, PFBS - 2 ng/l, PFHxS - 0,2 ng/l, PFOS - 1 ng/l, PFDS - 2 ng/l, PFOSA - 1 ng/l og PFHxA - 4 ng/l.

# Analysedata stammer fra undersøgelse udført for Forsvarets Bygnings- og Etablisementstjeneste (Personlig kontakt med FBE)

## Boks 2. Frivillig undersøgelse på en dansk brandøvelsesplads (B7)

I en lufthavn er der udtaget et betydeligt antal prøver til analyse for PFAS-stoffer direkte på og omkring brandøvelsespladsen. Der er påvist en kraftig forurening med PFAS i koncentrationer helt op til 121.000 ng/l (Orbicon 2012b).

Baggrunden for undersøgelsen var, at der i 2010 blev fundet perfluorforbindelser i to monitoringsboringer på brandøvelsespladsen. Motivationen for udtagning af prøver på dette tidspunkt skyldtes deltagelse i et seminar omhandlende perfluorforbindelser i brandslukningsskum samme år. Lokale myndigheder og de lokale vandforsyninger blev informeret om fundet af perfluorforbindelserne, og inddraget i det videre arbejde. Der blev igangsat yderligere undersøgelser samt et akut afværgeanlæg for at fiksere forureningen.

Der har været brandøvelsesplads på lokaliteten siden 1970'erne, hvor der indtil 2008 har været brugt brandslukningsskum indeholdende perfluorforbindelser. Efter 2008 har der kun været anvendt et brandslukningsmiddel uden perfluorforbindelser. Pladsen har fra 1991 haft et opsamlingsystem i form af render og slukningsvandet er efterfølgende undergået en kulfilterrensning. Pladsen har desuden været miljøgodkendt siden 1989. Brandøvelsespladsen har været gennem en gennemgribende renovering i 2013/14, hvor pladsen bl.a. har fået udvidet det befæstede areal, som dels sikrer opsamling af vand fra brandøvelserne og dels indkapsler punktkildeforureningen.

Med henblik på at dimensionere en permanent afværgeforanstaltning blev der i 2011-2012 foretaget en omfattende, kvantitativ undersøgelse af forureningsmængden i jord og grundvand på og omkring brandøvelsespladsen. Der blev ydermere udtaget grundvandsprøver i de lokale vandforsyningsboringer for at sikre, at forureningen ikke havde spredt sig til disse. Der er i 2013 lavet en samarbejdsaftale med regionen om at rense afværge vandet fra brandøvelsespladsen på et allerede eksisterende, og af regionen drevet, anlæg. Den permanente afværgeforanstaltning er sat i drift.

Data nedenfor er fra lufthavnens undersøgelse og viser indhold i ng/l.

Prøve	PFHpA	PFOA	PFNA	PFBS	PFHxS	PFOS	PFDS	PFOSA	PFHxA	Sum
OB 1	230	340	1,1	650	1.800	1.200	2	<	1.600	5.823
OB 2	230	2.800	17	1.100	2.700	7.400	<	<	7.800	22.047
OB 3	190	2.100	3,6	520	3.000	8.500	<	1	3.200	17.515
OB 4	200	1.700	13	780	3.000	9.200	<	<	5.400	20.293
OB 5	510	6.300	26	1.100	3.900	11.000	2,3	7,3	17.000	39.846
OB 6	110	1.800	20	240	2.200	16.000	<	5,4	2.700	23.075
OB 7	1000	33.000	110	2.300	9.800	12.000	<	8,8	63.000	121.000
OB 8	170	1.500	120	510	2.300	7.800	3,9	2	4.300	16.706
OB 9	270	7.400	40	800	4.200	10.000	<	3,7	8.500	31.214
OB 10	430	5.300	68	750	3.600	10.000	4,3	140	15.000	35.292
OB 11	1100	7.300	190	2.200	14.000	62.000	7,4	13	11.000	97.810
OB 12	190	2.100	26	430	1.900	4.600	<	<	3.200	12.446
OB 13	23	450	<	170	450	160	<	<	420	1.673
OB 14	10	4,7	<	28	28	40	<	<	200	311
OB 16-1	5	37	<	31	13	18	<	<	200	304
OB 16-2	90	1.900	<	380	2.900	150	<	2,7	2.800	8.223
OB15	<	12	<	7,2	17	48	<	<	49	133
OB 17	140	1.100	1,2	370	1.200	350	<	<	2.300	5.461
OB 18	<	16	<	6,3	30	92	<	<	29	173
OB19	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
OB20	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
OB21	<	<	<	52	<	<	<	<	52	104
OB22	<	<	<	25	<	<	<	<	27	52

## 5.2 Fund af PFAS i andre brancher

Resultaterne fra undersøgelser for de 9 PFAS-forbindelser i de øvrige brancher kan ses i Tabel 5.2, hvor der i lighed med forrige afsnit også er foretaget en vurdering af sikkerheden.

Der er udtaget vandprøver på i alt 4 lossepladser (L1-L4). Som det ses af Tabel 5.2, er der på de tre af dagrenovationslossepladserne påvist spor af PFAS, med den højeste koncentration på 79 ng/l.

Forkromningsindustrien er undersøgt på to lokaliteter (C5 og C8). På begge lokaliteter er der påvist spor af PFAS med koncentrationer op til 47 ng/l.

Der er udført undersøgelser hos 1 malingsproducent (M7). Her er der kendskab til forurening af grundvandet med andre stoffer, og der foretages løbende monitoring. Der er hos denne malingsproducent ikke påvist indhold af PFAS over detektionsgrænsen.

Ingen af de påviste koncentrationer fra prøver udtaget på dagrenovationslossepladser, forkromningsindustrier eller hos malingsproducenten overstiger anbefalingerne til indholdet i drikkevand fra Tyskland og USA på henholdsvis 100 og 200 ng PFOS og PFOA/l (BMU, 2006; EPA, 2009).

Tæppeindustrien er undersøgt ved en enkelt vandprøve (T6) udtaget i en prøvebrønd (7 m dyb). Prøvebrønden er etableret i forbindelse med en tidligere undersøgelse af en olieforurening ved virksomhedens olietanke. Af Tabel 5.2 fremgår det, at der er påvist forurening med PFAS med en koncentration på 1443 ng/l i prøvebrønden. Hverken virksomheden eller tilsynsmyndigheden har givet oplysninger om tidligere spild, problematisk håndtering af kemikalier, eller skader i spildevandssystemet, hvorfor det ikke var forventeligt at påvise PFAS i grundvandet på denne virksomhed.

**TABEL 5.2 ANALYSERESULTATER FOR RESTERENDE BRANCHER I NG/L**  
**L = DAGRENOVATIONSLOSSEPLADSER, C = FORKROMNINGSINDUSTRI, T = TÆPPEINDUSTRI,**  
**M = MALINGSPRODUCENTER**

Lokalitet	Sikkerhed	Prøve	PFHpA	PFOA	PFNA	PFBS	PFHxS	PFOS	PFDS	PFOSA	PFHxA	Sum	
L1	G	DGU xxx.xxx9 - 2	<	<	<	<	<	16	<	<	<	16	
		DGU xxx.x xx8 - 2	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
		DGU xxx.x xx0 - 3	<	<	<	14	<	<	<	<	<	14	28
L2	M/D	DGU xxx.x xx8	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
		DGU xxx.x xx1, filter 1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
		DGU xxx.x xx1, filter 2	<	11	<	<	<	<	<	<	<	<	11
L3	D	DGU xxx.x x8	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
		DGU xxx.x x7	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
L4	D	DGU xxx.30 filter 1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
		DGU xxx.xx0 filter 2	23	15	<	<	<	<	<	<	<	41	79
C5	G	B164	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
		B155	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
		B19	11	<	<	<	<	<	<	<	<	11	
		B168	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
		B149	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.
T6	M	B1	63	260	12	16	54	870	<	28	140	1.443	
M7	G	DGU xxx.xxx8	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
		DGU xxx.x xx4	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
		DGU xxx.xx3	<	<	<	<	<	<	<	<	<	i.p.	
C8 #	G/M	301	-	-	-	-	-	<	-	-	-	i.p.	
		302	-	-	-	-	-	<	-	-	-	i.p.	
		DGU xxx.x xx9	-	-	-	-	-	47	-	-	-	47	
		DGU xxx.x xx7	-	-	-	-	-	<	-	-	-	i.p.	

Detektionsgrænse 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10

< Mindre end detektionsgrænsen på 10 ng/l

i.p. Ikke påvist

- Ikke analyseret

# Analyseresultater stammer fra en forureningsundersøgelse udført for Region Hovedstaden (Orbicon, 2013)

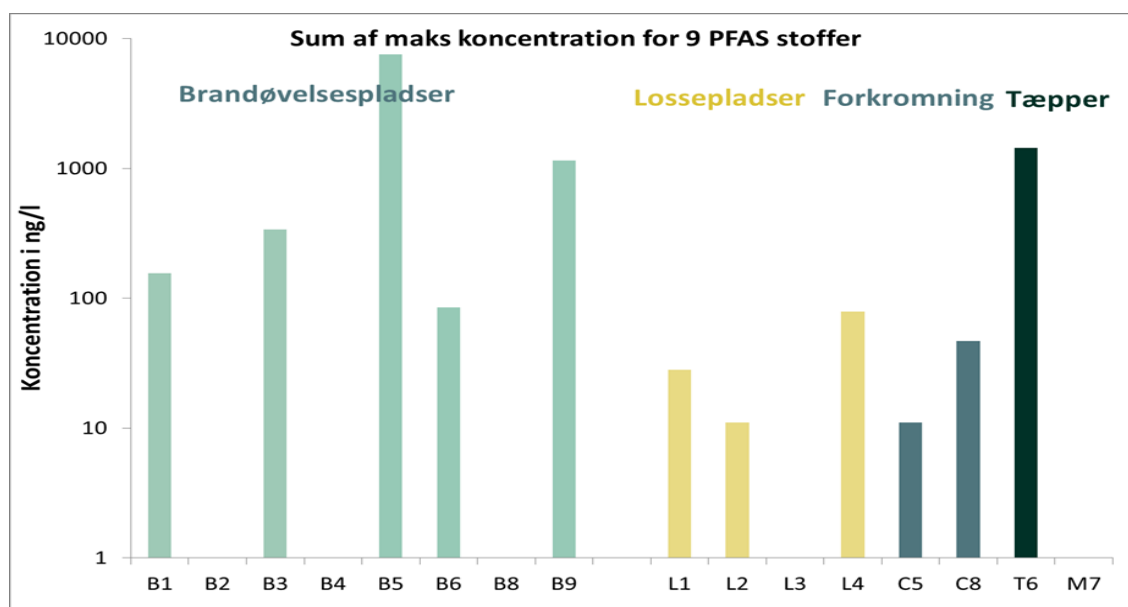
# 6. Vurdering af resultater

## 6.1 Udbredelse af PFAS forurening

Udbredelsen af forurening med de 9 udvalgte PFAS-forbindelser i forhold til brancher vurderes ud fra søjlediagrammet i Figur 6.1 og Figur 6.2. Af Figur 6.1 fremgår summen af de 9 undersøgte forbindelser, i den vandprøve med den højeste koncentration for hver lokalitet i screeningsundersøgelsen. På Figur 6.2 fremgår summen af den maksimale koncentration for PFOS og PFOA. Der findes ingen grænseværdier for PFOS og PFOA i Danmark. Den laveste grænseværdi i Europa fundet ved udarbejdelsen af denne rapport stammer fra Tyskland og er på 100 ng/l for summen af PFOS og PFOA i drikkevand. Resultaterne fra de danske lokaliteter som indgår i screeningsundersøgelsen er i Figur 6.2, sammenlignet med denne værdi, selvom fundene ikke er gjort i drikkevand, men i grundvandet under forurenede arealer.

Af Figur 6.1 og 6.2 ses, at PFAS findes i grundvandet ved de danske brandøvelsespladser der er undersøgt i forbindelse med screeningsundersøgelsen. Et betydeligt antal pladser er undersøgt, men undersøgelserne har haft karakter af screening og omfattet få prøver og derved en stor usikkerhed. Der er påvist indhold af PFAS på mere end halvdelen af pladserne. Summen af PFOS, PFOA og PFOSA er over eller på niveau med den anbefalede grænseværdi i Tyskland på 100 ng/l for drikkevand.

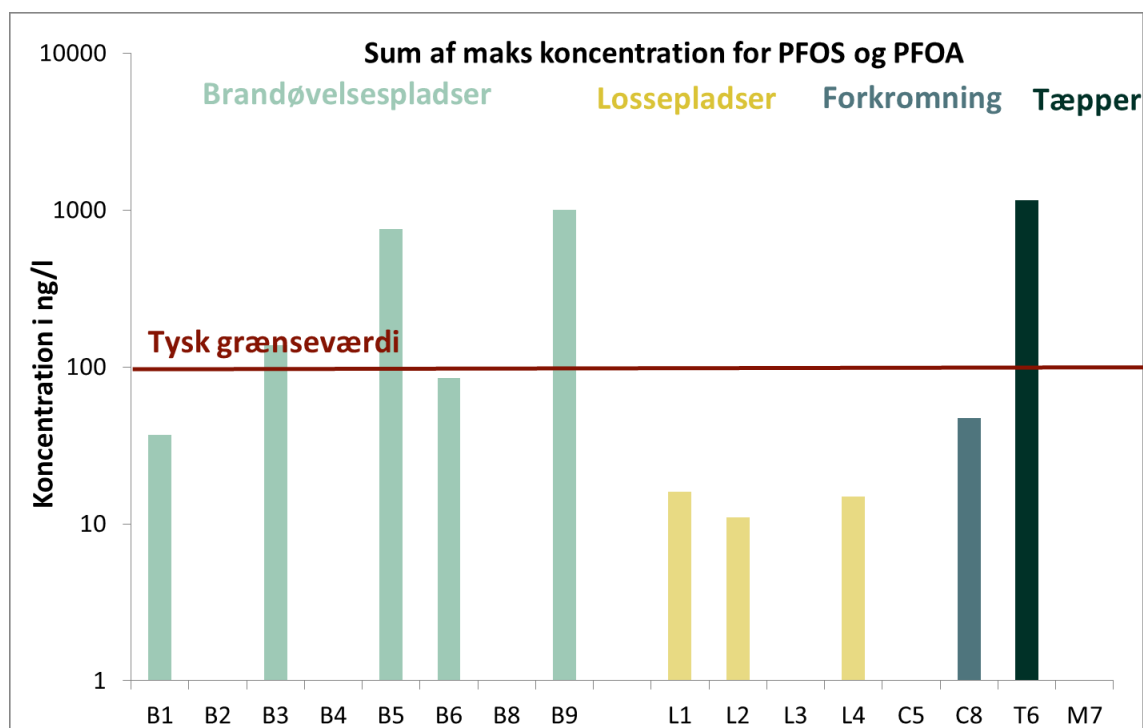
I tæppeindustrien er der ligeledes fundet en høj koncentration af PFAS i grundvandet. Denne industri er kun repræsenteret ved en enkelt prøve, hvorfor man ud fra dette ene resultat ikke kan udtale sig om den generelle udbredelse af PFAS i forbindelse med tæppebranchen. Desuden er der på en af de to undersøgte forkromningsindustrier truffet indhold af PFOS (der er kun analyseret for PFOS i den lokalitet), som dog ligger under den tyske grænseværdi.



FIGUR 6.1 DEN SUMMEREDE PFAS-KONCENTRATION PÅVIST PÅ HVER AF DE UNDERSØGTE LOKALITETER I SCREENINGSUNDERSØGELSEN (B1-B6 OG B8-B9) I NG/L (BEMÆRK AT KONCENTRATIONEN ER PRÆSENTERET LOGARITMISK). B = BRANDØVELSESPLADSER, L = DAGRENOVATIONSLOSSEPLADSER, C = FORKROMNINGSINDUSTRI, T = TÆPPEINDUSTRI, M = MALINGSPRODUCENTER



Resultaterne fra dette projekt har ikke givet anledning til at konkludere, at lossepladser og malingsproducenter er punktkildeområder i forbindelse med PFAS i grundvandet. Igen skal det dog bemærkes, at der kun er undersøgt få lokaliteter og undersøgelserne har haft karakter af screening. Summen af PFOS, PFOA og PFOSA for de enkelte lokaliteter overstiger for ingen af disse lokaliteter den anbefalede grænseværdi i Tyskland.



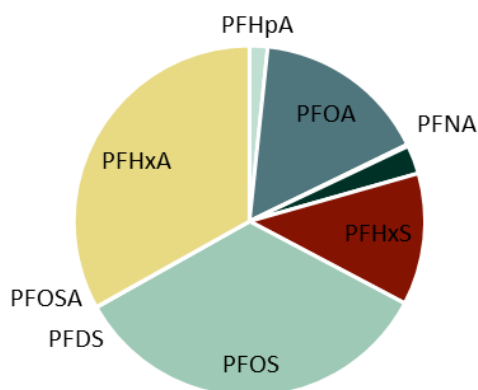
FIGUR 6.2 DEN SUMMEREDE KONCENTRATION FOR PFOS, PFOA OG PFOSA PÅVIST PÅ HVER AF DE UNDERSØGTE LOKALITETER I SCREENINGSUNDERSØGSELN (B1-B6 OG B8-B9) I NG/L (BEMÆRK AT KONCENTRATIONEN ER PRÆSENTERET LOGARITMISK). DEN RØDE STREG ANGIVER DEN TYSKE GRÆNSEVÆRDI PÅ 100 NG/L. B = BRANDØVELSESPLADSER, L = DAGRENOVATIONSLOSSEPLADSER, C = FORKROMNINGSINDUSTRI, T = TÆPPEINDUSTRI, M = MALINGSPRODUCENTER.

## 6.2 Sammensætning af PFAS forurening

Der findes hundredvis af PFAS-forbindelser. I dette studie er der taget udgangspunkt i 9 stoffer (udvalgt på baggrund af muligheden for analyse): PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFOS, PFDS, PFOSA og PFHxA. I Figur 6.3 præsenteres fordelingen af PFAS mellem de 9 fokusstoffer på brandøvelsespladser og lossepladser. Fordelingen er lavet på baggrund af den totale koncentration PFAS påvist ved alle undersøgelserne.

Det ses, at indholdet af PFOS og PFOA samlet set udgør halvdelen af det påviste indhold. Desuden er der konstateret PFHxA på niveau med koncentrationen af PFOS. Dette stof er også truffet på lossepladser (se tabel 5.2), hvor det også er truffet i større grad end PFOS. PFHpA og PFHxS forekommer i betydelige mængder. Derimod er der kun påvist meget små mængder af PFNA, PFDS og PFOSA i grundvandet ved de undersøgte lokaliteter.

Det vurderes på baggrund af de udførte undersøgelser på brandøvelsespladser, at PFAS primært udgøres af PFOS, PFOA, PFHxA, PFHpA og PFHxS. PFNA, PFDS og PFOSA er kun i mindre grad truffet på de undersøgte lokaliteter. Det skal dog bemærkes, at vandprøverne pga. analytiske muligheder kun er undersøgt for disse ni stoffer. Der kan derfor være yderligere PFAS-forbindelser tilstede i grundvandet, der ikke er målt for i dette projekt.



FIGUR 6.3 FORDELINGEN AF PFAS MELLEM DE 9 FOKUSSTOFFER FOR SUMMEN AF PÅVISTE STOFFER PÅ BRANDØVELSESPLADSER

På de brandøvelsespladser, hvor der er fundet højt niveau af PFAS (B5, B7, B9) ses det, at der udover PFOS og PFOA altid detekteres PFHpA og PFHxA, som kan være nedbrydningsprodukter af fluortelomere, samt PFHxS, hvis oprindelse ikke kendes.

### 6.3 Erfaringer fra udenlandske undersøgelser

Ud over de danske erfaringer er der i flere andre lande konstateret forurening af grundvandet med PFAS. I dette afsnit er fund fra nogle af de mest omfattende udenlandske undersøgelser beskrevet.

#### USA & Canada

Den største forurening med PFAS-forbindelser er konstateret i Washington County i Minnesota (ATSDR 2008). Forureningen er tilknyttet 4 lokaliteter, hvor der har været deponeret affald og spildevand fra industrivirksomheden 3M, som har stået for produktionen af PFAS-forbindelser. Deponeringen har forårsaget en meget udbredt forurening af jorden, sedimentet og grundvandet på og nedstrøms de 4 deponier. Der er udført en stor prøvetagningskampagne i 455 drikkevandsboringer på lokaliteten. Kampagnen viste, at indhold af PFBA blev fundet i 363 boringer, efterfulgt af meget hyppige fund af PFOA og PFOS. Andre PFAS-forbindelser (PFDCs, PFDU<sub>n</sub>A, PFDcA og 6:2 FTS) blev også detekteret. Alt i alt blev der i mere end 160 vandforsyningsboringer målt overskridelser af PFAS over den maksimale acceptable koncentration på hhv. 500 ng/l for PFOA, 300 ng/l for PFOS og 7.000 ng/l for PFBA. Projektet konkluderede desuden, at PFBA er det mest mobile PFAS-stof i grundvand (af de analyserede stoffer). Studiet blev efterfulgt af biomonitoringsstudier, hvor befolkningen, hvis drikkevandsforsyning var tilsluttet de forurenede boringer, blev undersøgt for indhold af PFAS i blodet. Der blev detekteret PFOS, PFBA og PFOA i alle forsøgspersoners blod (MDH, 2009).

På flere militære lufthavnsbaser i USA er der konstateret høje niveauer af PFOS og PFOA i grundvandet. Det højeste fund var på op til 1.460.000 ng/l i Wurtsmith Air Force Base (Seouw, 2013). I Canada er der ved en brandøvelsesplads konstateret op til 800.000 ng/l PFAS i grundvandet. Igen ses det, at PFCA-stofferne (her især perfluoropentansyre-PFPeA) er mere mobile end PFSA, og dermed resulterer i en længere fane end PFOS (SLR 2012).

#### Skandinavien

I Norge er der i 2008 udført undersøgelser af grundvandet på brandøvelsespladsen ved Gardermoen lufthavn, hvor der er konstateret koncentrationer op til 40.000 ng/l PFOS og 1.457 ng/l PFOA i grundvandet. Målingerne viste, at PFBA og PFCA er mere mobile end PFOS, da de to første blev konstateret længere væk fra kilden (SF, 2008). I Sverige, hvor der siden 2008 er monitoreret for PFAS i store svenske lufthavne ved Arlanda og Gøteborg, er der konstateret fund i grundvandet mellem 0,6 og 370.000 ng/l, herunder PFOS og 6:2FTS (Woldergiorgis 2006,

Swedavia 2012). I Malmø lufthavn er der målt op til 68 ng/l PFOS og 16 ng/l PFOA i et nærliggende vandløb (WSP, 2011). De svenske og norske undersøgelser har en mere detaljeret karakter med flere boringer og vandprøver end screeningsundersøgelsen udført i dette projekt.

### **England**

I England og Wales er der udført en screeningsundersøgelse af landets nationale boringsnetværk for indhold af PFAS. Der blev udtaget prøver fra 219 overvågningsboringer, hovedsagelig i nærheden af byer/lufthavne, hvor der kunne forventes forurening med PFAS. Der blev detekteret indhold af PFAS i 26 % af boringerne, dvs. indhold over 100 ng/l. Det hyppigst forekommende stof var PFOS, som forekom i 14 % af alle boringer. Omkring 5 % af de monitorerede boringer var beliggende i landbrugsareal, og var tænkt som kontrolboringer, da det ikke var forventet at finde PFAS i disse. Overraskende nok, har der været fund af PFAS over detektionsgrænsen på 100 ng/l i flere af kontrolboringerne, hvilket indikerer, at PFAS er udbredt i det engelske grundvand. Den engelske undersøgelse nævner ikke en mulig kilde til denne forurening. Indholdet kan dog muligvis stamme fra udbredelse af spildevandsslam på landbrugsjord, men det vides ikke om denne praksis er udbredt på de relevante lokaliteter.

Af ovenstående kan det konkluderes, at der både i Danmark og i udlandet er påvist forurening med PFAS i forbindelse med brandøvelsespladser og lufthavne. De påviste niveauer i Norge og Sverige (>100.000 ng/l) ligger på samme niveau som den velundersøgte brandøvelsesplads i Danmark (se boks 2). På de øvrige danske lokaliteter, som var en del af denne screeningsundersøgelse, er der påvist lavere niveauer (fra under detektionsgrænsen til ca. 10.000 ng/l). I militære lufthavne i USA er der konstateret endnu højere niveauer på over 1.000.000 ng/l.

# 7. Opsamling og Konklusion

Nærværende projekt har haft til formål at undersøge om forurening med PFAS forekommer i den danske grundvandsressource som følge af jord- og grundvandsforurening.

Projektet omfatter følgende emner:

- At belyse hvilke brancher, der har anvendt/anvender PFAS, og hvorvidt denne anvendelse var/er af en karakter, der kan forårsage en punktkildeforurening af jord og grundvand med PFAS.
- At foretage screeningsundersøgelser for forekomst af PFAS på udvalgte lokaliteter.

Der er udført en litteraturgennemgang af anvendelsen af PFAS for at identificere, hvilke brancher der kan have håndteret PFAS i et omfang og på en måde, der kan føre til en forurening af jord og grundvand. Baseret på litteraturen er der identificeret 5 brancher, hvor der er en forventet risiko for PFAS forurening:

- Brandøvelsespladser i forbindelse med luftfart/oliebrande
- Forkromningsindustrien
- Tæppeindustrien
- Malingsindustrien
- Fyldpladser for byggeaffald og ældre dagrenovationslossepladser

En mere detaljeret kortlægning af de ovennævnte brancher i Danmark er udført ved direkte forespørgsel hos de største virksomheder og aktører. For at kortlægge i hvor høj grad aktiviteterne i disse brancher kan have ført til forurening af grundvandet, er der herefter udvalgt en række specifikke lokaliteter til videre undersøgelser.

Der er udført screeningsundersøgelser for PFAS-forurening i grundvandet på 8 brandøvelsespladser, 4 fyld-/lossepladser, 2 forkromningsindustrier, en tæppeproducent og en malingsproducent.

Derudover er der kendskab til en velundersøgt brandøvelsesplads med op til hundrede tusinde ng/l, hvilket var kendt allerede inden projektet blev startet op. Denne lokalitet er den mest velundersøgte med flere borer i kildeområdet (selve brandøvelsespladsen), og havde til formål at kvantificere forureningen med PFAS på lokaliteten. Undersøgelsen på lokaliteten er ikke udført som en del af dette projekt, men som en selvstændig frivillig undersøgelse.

Der er påvist indhold af PFAS på 5 ud af 8 brandøvelsespladser. Niveaue varierer fra få ng/l til tusinder ng/l. Kvaliteten af undersøgelserne har været varierende, og undersøgelserne har haft karakter af screening ved stikprøvekontrol og ikke kvantificering af forureningsindhold. Ud af de 4 brandøvelsespladser, der vurderes at være velundersøgte (flere borer i kildeområdet), er der i 2 borer fundet indhold af PFAS på over eller tæt på 100 ng/l, og i de andre 2 er der fundet over 1.000 ng/l (summen af 9 PFAS-forbindelser). På de resterende 4 pladser, hvor undersøgelseskvaliteten vurderes at være mindre god eller dårlig, er der ikke detekteret PFAS, med undtagelse af én lokalitet, hvor der er fundet lidt over 100 ng/l. Det bemærkes, at koncentrationsniveauet for PFAS på flere brandøvelsespladser ligger over 100 ng/l, som er den anbefalede grænseværdi for indhold af PFOS og PFOA i Tyskland for drikkevand (BMU, 2006). Det bemærkes også at fundene ikke er gjort i drikkevand, men på arealer ved de forurenede grunde.

Konklusionen er således, at der ved brandøvelsespladser kan påvises PFAS-forbindelser i grundvandet tæt på pladserne og at der ved brandøvelsespladser er risiko for en påvirkning af grundvandet med PFAS-forbindelser.

I tæppeindustrien er der ligeledes fundet en høj koncentration af PFAS-forbindelser på ca. 1.500 ng/l (hvoraf PFOS+PFOA udgør 1.130 ng/l) i den ene prøve, der er udtaget. Prøven stammer fra det terrænnære grundvand på fabriksområdet, men ikke fra et område, hvor der med sikkerhed vides, at der har været anvendt, opbevaret eller spildt PFAS.

Ved de udførte undersøgelser er der ikke fundet høje niveauer af PFAS ved lossepladser, forkromningsindustrier eller malingsproducenter. Omfanget og kvaliteten af undersøgelserne af disse brancher har dog været begrænset, hvilket ikke tillader en definitiv konklusion i forhold til om disse brancher kan være potentielle kilder i forbindelse med PFAS-forbindelser i grundvandet.

Det hyppigst fremkommende stof ved disse undersøgelser er PFOS, som ofte udgør mere end halvdelen af summen af PFAS-forbindelser. Det skal dog bemærkes, at undersøgelsen kun har omfattet 9 PFAS-forbindelser på baggrund af den tilgængelige analysepakke. I andre lande er der konstateret forurening med kortkædede PFCAs (eks. PFPeA og PFBA) i et større område end hvor PFOS er fundet, da disse stoffer er mere mobile. Disse stoffer indgik ikke i den tilgængelige analysepakke ved denne undersøgelse.

På baggrund af projektets resultater forekommer følgende konklusioner:

- Der er påvist PFAS-forbindelser på flere lokaliteter i Danmark. Stofferne er således tilstede i det danske grundvand nær særlige brancher/aktiviteter, primært brandøvelsespladser. Det er dog ikke vurderet i dette projekt om de udgør en risiko for grundvand, der bruges til drikkevand.
- Brandøvelsespladser er bekræftet som potentielle kilder til PFAS-forurening. Der findes mindst 38 store brandøvelsespladser i Danmark. Heraf anses de 27 at være relevante, da der er anvendt brandslukningsskum til slukning af oliebrande. 8 af disse lokaliteter er undersøgt som en del af screeningsundersøgelser i dette projekt. På 2 lokaliteter er den tyske grænseværdi overskredet med ca. en faktor 10. Det bemærkes, at der er fundet flere typer perfluorerede stoffer på disse lokaliteter. På en brandøvelsesplads er der tidligere udført en fyldestgørende forureningsundersøgelse som et selvstændigt projekt. På denne lokalitet findes koncentrationer af PFOS og PFOA, der er 500 gange den tyske grænseværdi (100 ng/l) i drikkevand. Forureningen på denne lokalitet bliver håndteret ved afværgepumpning.
- I tæppeindustrien er der ligeledes fundet PFAS-forbindelser i grundvandet (1.443 ng PFAS/l). Der er dog kun foretaget én undersøgelse med udtagelse af én enkelt vandprøve. Der findes meget få tæppeproducenter i Danmark, så det vurderes ikke antalsmæssigt at være en udbredt kilde til forurening.

På baggrund heraf kan det anbefales at undersøge brandøvelsespladser for forurening med PFAS for at øge datagrundlaget. Der skal i denne forbindelse tages højde for oplysninger om, hvilke typer og mængde brandslukningsskum, der er anvendt på pladsen samt pladsens nuværende og tidligere indretning. Der kan endvidere tages højde for placeringen af brandøvelsespladser i forhold til områder med særlige drikkevandsinteresser og indvindingsoplunde. Derudover kan det anbefales, at der inkluderes analyse for PFAS, når der udføres forureningsundersøgelser i forbindelse med tæppeindustrien, der har håndteret disse stoffer, for også at øge datagrundlaget her. For de øvrige brancher (fyldpladser, malingindustri og forkromningsindustri) kan det ligeledes være en fordel at øge datagrundlaget med flere undersøgelser, før der kan udtrages en klar konklusion. Ved fremtidige undersøgelser anbefales det at anvende en udvidet analysepakke, hvor flere PFAS-forbindelser såsom PFBA, PFDcS, PFDUnA, PFDcA og 6:2 FTS er inkluderet, idet disse forbindelser

er fundet i udenlandske undersøgelser (ATSDR, 2008; SF,2008). Dermed kan opnås større viden om forbindelsernes mobilitet og nedbrydningsveje. Desuden er det relevant at inddrage flere kortkædede PFAS-forbindelser i analysepakken, da disse forbindelser i mange tilfælde anvendes som alternativer til de langkædede PFAS.

# 8. Screeningsundersøgelse fra GEUS

Efter afslutning af nærværende rapport er vi blevet bekendt med screeningsundersøgelsesresultater foretaget af GEUS i 2010 (GEUS 2010). Det skal bemærkes, at resultaterne ikke har været offentligt tilgængelige, hvorfor de ikke blev identificeret i de sædvanlige referencesøgninger foretaget i forbindelse med vidensindsamlingen til nærværende rapport.

Ved GEUS' screeningsundersøgelse er der udtaget 57 vandprøver på 43 lokaliteter i Danmark. To af disse lokaliteter er ligeledes undersøgt i nærværende rapport. GEUS' screeningsundersøgelse har haft fokus på yngre grundvand. Grundvandsprøverne er udtaget fra indvindingsboringer på vandværker og private vandindvindinger. Herudover er boringer fra det nationale overvågningssystem (GRUMO), boringer fra to lokaliteter ved brandslukningsøvelsesområder samt markdræn prøvetaget. Vandprøverne er analyseret for seks perflourerede stoffer, som vist i Tabel 8.1.

**TABEL 8.1 STOFFER ANALYSERET I GEUS' SCREENINGSUNDERSØGELSE OG I NÆRVÆRENDE RAPPORT.**

Analyserede stoffer	CAS nr.	Medtaget i GEUS screeningsundersøgelse	Medtaget i nærværende undersøgelse
PFHpA (C7PFOA)	375-85-9	+	+
PFOA (C8PFOA)	335-67-1	+	+
PFNA (C9PFOA)	375-95-1	+	+
PFBS (C4PFOS)	375-73-5	+	+
PFHxS	355-46-4	÷	+
PFOS (C8PFOS)	1763-23-1	+	+
PFDS	335-77-3	÷	+
PFOSA	754-91-6	÷	+
PFHxA	307-24-4	÷	+
C10PFOA	335-76-2	+	÷

Ved GEUS' screeningsundersøgelse blev der påvist indhold af perflourerede stoffer på 2 ud af de 43 undersøgte lokaliteter. Ved GEUS' screeningsundersøgelse blev der påvist indhold af 4 og spor af yderligere et af de undersøgte stoffer. De maksimale påviste koncentration af et enkeltstof ved GEUS' screeningsundersøgelse er 0,025 µg/l (25 ng/l).

I GEUS's screeningsundersøgelse blev det konkluderet, at resultaterne ikke gav indtryk af en udbredt forurening med høje koncentrationer af perflourerede stoffer i danske grundvandsmagasiner. Herudover blev det konkluderet, at resultaterne bekræftede, at det er relevant at have fokus på betydningen af punktkilder, som brandslukningsøvelsesområder.

## **8.1 Vurdering af resultaterne fra GEUS' screeningsundersøgelse i forhold til nærværende undersøgelse**

Ved nærværende undersøgelse er der generelt påvist højere koncentrationer af perflourerede stoffer end ved GEUS' screeningsundersøgelse.

Ved nærværende undersøgelse er der undersøgt to af de samme lokaliteter, som undersøgt ved GEUS' screeningsundersøgelse. På den ene lokalitet er samme boring vandprøvetaget og på den anden lokalitet er der ikke udtaget prøver fra de samme boringer.

I den boring, der er prøvetaget ved begge undersøgelser, er der i ingen af de to undersøgelser påvist indhold af de undersøgte perflourerede stoffer over detektionsgrænsen.

På den anden lokalitet, som er prøvetaget ved begge undersøgelser er der ved nærværende undersøgelse påvist et samlet indhold af de undersøgte perflourerede stoffer omkring 150 ng/l, mens der ved GEUS' screeningsundersøgelse er påvist indhold omkring 30 ng/l.

Nærværende undersøgelse har fokuseret specifikt på punktkilder til perflourerede stoffer, hvilket vurderes at være hovedårsagen til, at der er påvist højere koncentrationer af de perflourerede stoffer i grundvandet end ved GEUS' screeningsundersøgelse.

Herudover er der ved nærværende undersøgelse analyseret for fire perflourerede stoffer, som ikke er medtaget i GEUS' screeningsundersøgelse (se Tabel 8.1). Der er ved brandøvelsespladserne i nærværende undersøgelse udover PFOS og PFOA påvist indhold af PFHxA og PFHxS, som ikke er omfattet af GEUS' screeningsundersøgelse. Disse stoffer er påvist i betydelige koncentrationer i nærværende undersøgelse. Dette kan være endnu en årsag til, at der ved denne undersøgelse er påvist højere indhold af perflourerede stoffer i grundvandet på den lokalitet, hvor der er analyseret samme sted i begge undersøgelser.

Samlet set vurderes det, at resultaterne fra GEUS' screeningsundersøgelse ikke ændrer konklusionerne i nærværende rapport.



# Referencer

- ATSDR (2008): Public Health Assessment: Perfluorochemical Contamination in Lake Elmo and Oakdale, Washington County, Minnesota - August 2008 EPA FACILITY ID: MND980704738 AND MND980609515 AUGUST 29, 2008  
<http://www.health.state.mn.us/divs/eh/hazardous/topics/pfcs/pha/lakeelmooakdale/index.html>
- Arbejdstilsynet (2004): Anmeldelse af stoffer og materialer, AT-vejledning C.o.13  
<http://arbejdstilsynet.dk/da/regler/at-vejledninger-mv/stoffer-og-materialer/c-o-13-anmeldelse-af-stoffer-og-materiale.aspx>
- 3M (2003): Environmental and Health Assessment of Perfluorooctane Sulfonic Acid and its Salts. 20. August 2003
- Astrup, T.F. (2012): Affaldshåndtering I Danmark. Telefoninterview med Thomas Fruergård Astrup – lektor, DTU Miljø, Residual Resources Engineering, udført af Trine Skov Jepsen den 13. februar 2013.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) German Ministry of Health at the Federal Environment Agency (2006): Provisional evaluation of PFT in drinking water with the guide substances perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) as examples.
- Carloni, D. (2009): Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) Production and Use: Past and Current Evidence. Prepared for UNIDO. December 2009
- Cornelis, C., D'Hollander, W., Roosens, L., Covaci, A., Smolders, R., Van Den Heuvel, R., Govarts, E., Van Campenhout, K., Reynders, H., Bervoets, L. (2012): First Assessment of population exposure to perfluorinated compounds in Flanders, Belgium. *Chemosphere* 86 s. 308-314. 2012
- EFSA-European Food Safety Authority (2008): Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. *The EFSA Journal* (2008) 653, 1-131
- EPA (2009): 2009 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, EPA 822-R-09-011.
- EPA, (2009): Provisional health advisories for perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS).
- EPA (2012): Emerging Contaminants – Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA) Emerging contaminants fact sheet May 2012
- EU (2011): ESWI- Expert Team to Support Waste Implementation, Study on waste related issues of newly listed POPs and candidate POPs – Final Report. Service request under the framework contract, No ENV.G.4/FRA/2007/0066. Umweltbundesamt, BiPRO, Enviroplan. 25 marts 2011 (Update 13. April 2011)
- EU (2011b): Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy  
Ferrey, M.L., Wilson, J.T., Adair, C., Su, C., Finell, D.D., Liu, X., Washington, J.W. (2012): Behavior and

Fate of PFOA and PFOS in Sandy Aquifer Sediment. Ground Water Monitoring and Remediation, Vol. 32 (2).

- GEUS, (2010): Rasmus Enevoldsen & René K. Juhler: Afrapportering af NOVANA screeningsundersøgelse: Afklaring af mulig forekomst af PFOS, PFOA og lignende PFC forbindelser i grundvand, GEUS 2010
- Havelund, S. (2001): Kortlægning af perfluoroktanylsulfonat og lignende stoffer i forbrugerprodukter - fase 1. Miljøprojekt 605, Miljøstyrelsen.
- Havelund, S. (2002): Kortlægning af perfluoroktanylsulfonat og lignende stoffer I forbrugerprodukter – fase 2, Miljøprojekt Nr. 691. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet. 2002
- HPA (2009): Health Protection Agency Maximum acceptable concentrations of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in drinking water, HPA, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards
- IOMC – Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals (2011): PFCs: Outcome of the 2009 survey, survey on the production, use and release of PFOS, PFAS, PFOA, PFCA, their related substances and products/mixtures containing these substances. OECD Environment, Health and Safety Publications, Series on Risk Management No. 24. Paris 2011
- Jensen, J. og Ingvertsen, S.T. (2012): Risk evaluation of five groups of persistent organic contaminants in sewage sludge. Environmental Project No. 1406 2012, ISBN 978-87-92779-69-4
- Jensen, A.A., Poulsen, P.B., Bossi, R. (2008): Survey and environmental/health assessment of fluorinated substances in impregnated consumer products and impregnating agents, Survey of chemical substances in consumer products, Nr. 99. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet. 2007
- Jensen, A.A., Poulsen, P.B., Bossi R. (2006): Kemi, anvendelse, forekomst og effekter af perfluoralkylsyrer (PFOS, PFOA etc.) – en ny gruppe miljøgifte. Miljø og Sundhed. Indenrigs- og sundhedsministeriets Miljømedicinske Forskningscenter. Formidlingsblad nr. 30. 30. april 2006
- Johansson, S., (2010): Grundvattenrensning av Perfluoroktansulfonat (PFOS) med aktivt kol - en pilotstudie för Luftfartsverket. Master Thesis. Institutionen för växt- och miljövetenskaper, Göteborgs universitet, februar 2010.
- Larsen, H.F. (2005): Baggrundsdokument for miljøvejledning for maling og maleydelser. Miljøstyrelsen. 28 november 2005
- Lassen, C., Jensen, A.A, Potrykus, A., Christensen, F., Kjølholt, J., Jeppesen, C.N., Mikkelsen, S.H., Innanen, S. (2012): Survey of PFOS, PFOA and other perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances, Part of the LOUS-review. Environmental Project No. 1475, 2013, Danish Ministry of the Environmental, Environmental Protection Agency. ISBN 978-87-93026-03-2
- MDH Minnesota Department of Health (2009): East Metro Perfluorochemical Biomonitoring Pilot Project July 21st 2009  
<http://www.health.state.mn.us/divs/hpcd/tracking/biomonitoring/projects/eastmetropfc2008.html>
- Miljøstyrelsen (2005): Værdisætning af beskyttelse og rensning af grundvand, Miljøprojekt nr. 1030, 2005

- MST (2013a): Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2013 Opdateret national implementeringsplan for Stockholm Konventionen, 15. februar 2013. Miljøstyrelsen
- MST (2013b): Strategi for risikohåndtering af PFOS og PFOS-forbindelser 31. maj 2013 J.nr. 001-06320
- MST (2013c): Strategi for risikohåndtering af PFOA og PFOAS-forbindelser 31. maj 2013 J.nr. MST-620-00155
- MST (2013d): Strategi for risikohåndtering af øvrige perfluorerede stoffer 31. maj 2013 J.nr. 001-06320
- Orbicon (2012a): Polyfluorinerede carboxyl og sulfonat forbindelser (PFAS) - Navn på ordregiver fjernet – PFOS. 18. oktober 2012
- Orbicon (2012b): Navn på ordregiver fjernet, Supplerende undersøgelse af omfang af grundvandsforurening med perfluorforbindelser ved brandøvelsespladsen. 14. september 2012
- Orbicon (2013): Region Hovedstaden, Adresse fjernet, Forureningsundersøgelse på en tidligere forkromningsindustri. 11. marts 2013
- OECD. Lists of PFOS, PFAS, PFOA, PFCA, related compounds and chemicals that may degrade to PFCA. Environment Directorate, Joint meeting of the chemicals committee and the working party on chemicals, pesticides and biotechnology, ENV/JM/MONO(2007)15, 21-Aug-2007. [http://www.oecd.org/LongAbstract/0,3425,en\\_2649\\_34375\\_39160347\\_119666\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/LongAbstract/0,3425,en_2649_34375_39160347_119666_1_1_1,00.html)
- Poulsen P.B., Jensen, A.A., Wallström, E. (2005): More environmentally friendly alternatives to PFOS-compounds and PFOA. Miljøprojekt No. 1013. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet. 2005
- Poulsen, P.B., Jensen, A.A., Walström, E. (2005): More environmentally friendly alternatives to PFOS- compounds and PFOA. Miljøprojekt 1013, Miljøstyrelsen.
- Ramböll (2009): Brandövningsplatsen – mark och grundvattenundersökning. Udført for Luftfartsverket - Landvetter flygplats.
- Seouw Jimmy (2013): Firefighting foams with Perfluorchemicals- Environmental Review Evaluation of Groundwater Transport of Perfluorinated Chemicals at a Former Fire-Fighting Training Area
- SF -Statens forurensningstilsyn (2008): Screening of polyfluorinated organic compounds at four training facilities in Norway TA- 2444/2008
- SLR Consulting (2012): Evaluation of Groundwater Transport of Perfluorinated Chemicals at a Former Fire-Fighting Training Area, Præsentation
- Strand, J., Bossi, R., Sortkjær, O., Landkildehus, F., Larsen, M.M. (2007): PFAS og organotinforbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø, NOVANA screeningsundersøgelse. Faglig rapport fra DMU nr. 608. Danmarks Miljøundersøgelser. Aarhus Universitet. 2007
- Swedavia (2013): Årsrapport 2012 för projektet Repath. Mätningar av PFAS i närområdet til Göteborg Landvetter Airport og Stockholm Atflanta
- Woldegiorgis A., Andersson J., Remberger, M., Kaj, L., Ekheden, Y., Blom, L., Bronström-Lunden, E., Borgen, A., Dye, C., Schlabach, M.,(2005): Results from the Swedish National Screening Programme 2005, Subreport 3. Perfluorinated Alkylated Substances, November 2006, Swedish Environmental Research Institute
- WSP (2011): Perfluorerede ämnen (PFAS) i fisk och ytvatten i sjöar nedströms Malmö Airport – Lägesrapport, november 2011

## **Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS-forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder**

Det overordnede formål med dette studie har været, at afklare, om punktkildeforurening med PFAS-forbindelser i jorden forekommer i grundvandet. Der er identificeret 5 brancher/aktiviteter, hvor der er en forventet risiko for PFAS forurening: brandøvelsespladser, forkromningsindustri, tæppeindustri, malingsindustri og fyldpladser/lossepladser. Der er påvist indhold af PFAS på 5 ud af 8 brandøvelsespladser og 1 tæppefabrikant i screeningsundersøgelsen. Niveauer varierer fra få til tusinde ng/l. Stofferne er således tilstede i det danske grundvand nær særlige brancher/aktiviteter, primært brandøvelsespladser. Det er dog ikke vurderet i dette projekt hvorvidt PFAS-forbindelserne udgør en risiko for grundvand, der bruges til drikkevand.



**Miljøministeriet**  
Miljøstyrelsen

Strandgade 29  
1401 København K  
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

**[www.mst.dk](http://www.mst.dk)**