



**Miljø- og
Ligestillingsministeriet**
Miljøstyrelsen

PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse

Miljøprojekt nr. 2287

Februar 2025

Deklaration af konsulentrapporter udarbejdet for offentlige myndigheder

Titel på rapport:

PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse

Formål med rapport:

Projektets formål er udførelse af et studie som gennem nye kemiske analyser, dataanalyser og litteraturgennemgang samler et overblik over viden om PFAS i organiske og mineralske gødningsprodukter til anvendelse på landbrugsarealer. Leverancen består af en rapport, der indeholder en oversigt over allerede eksisterende viden fra internationale og danske studier samt nye analyseresultater indsamlet og udført under projektet.

Udarbejdet af:

Aarhus Universitet

Udarbejdet for:

Miljøstyrelsen. Affald og Data.

Finansieret af:

Miljøstyrelsen

Leveringsdato for rapport:

18. december 2024.

Offentliggørelsesdato:

17. februar 2025.

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

John Jensen, Aarhus Universitet

Bjarne Strobel, Københavns Universitet

Xenia Trier, Københavns Universitet

ISBN: 978-87-7038-701-9

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. 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

Forord	5
Sammenfatning	7
Summary	8
1. Indledning	9
2. Spildevandsslam	11
3. Husdyrgødning	14
3.1 Analyser af gylleprøver i dette projekt	17
4. Restprodukter fra biogasproduktion	21
4.1 Analyser af bioforgassede prøver i dette projekt	21
5. Mineralske gødningsprodukter	25
5.1 Analyser af handelsgødning i dette projekt	25
6. Konklusioner	27
7. Referencer	29
Bilag 1. Analysemetoder og kvantifikations-grænser	30

Forord

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

Oprindelige projektnummer og projekttitel

Projekt 3: PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse

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

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

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

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

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

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

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

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

Nærværende projekt PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse er beskrevet som projekt nr. 3 i Baun et al. (2024). Projektet er udført i perioden 1.april – 20. december 2024. Projektet er udført af John Jensen, Aarhus Universitet, Xenia Trier og Bjarne Strobel, Københavns Universitet.

En følgegruppe med nedenstående sammensætning har fulgt projektet:

Jakob Bruun Nicolaisen	Miljøstyrelsen
May Ling Choong Knudsen	Miljøstyrelsen
Henrik Bang Jensen	Landbrug & Fødevarer
Christian Bell	Landbrugsstyrelsen

Anna Okkerlund Brahe	Danske Vandværker
Katerina Tsitonaki	ATV-Fonden for Jord og Grundvand
Anders Hansen	DANVA
Bruno Sander Nielsen	Biogas Danmark
Martin Kindberg Bitterhoff	Landbrugsstyrelsen
Julie Lykke Jacobsen	Genanvend Biomasse
Rikke Rud Christiansen	Miljøstyrelsen
Erik E. Olesen	Hededanmark / Genanvend Biomasse
Henrik Wennermark	Miljøstyrelsen

Projektet har gennem nye kemiske analyser og udvalgt information fra den åbne litteratur samlet viden om indholdet af PFAS i organisk gødning som spildevandsslam, husdyrgødning og gylle, kompost samt afgasset restprodukter fra biogasproduktion. Derudover er mineralske gødningsprodukter undersøgt for deres mulige indhold af PFAS.

Sammenfatning

Denne rapport opsummerer ny og eksisterende viden om PFAS i gødningsprodukter anvendt på landbrugsarealer. Nye undersøgelser inkluderer målinger af PFAS₂₂ i forskellige gylleprøver fra grise, prøver af flere typer af restprodukter fra biogasanlæg samt en række forskellige mineralske handelsgødninger. Nye data for PFAS i spildevandsslam er ikke inkluderet i projektet, da der løbende analyseres for PFAS i dansk spildevandsslam.

Nye internationale undersøgelser har vist, at PFAS kan måles i forskellige typer af husdyrgødning og restprodukter, hvor husdyrgødning indgår, om end det er i relativt lave koncentrationer. De få fund og lave målte koncentrationer fra udlandet er bekræftet i dette studie af grise-gylle, hvor der med få undtagelser ikke kunne findes PFAS i kvantificerbare niveauer. I enkelte prøver blev dog målt koncentrationer af PFBA over det, man almindeligvis finder i spildevandsslam.

Meget få internationale studier af PFAS-indholdet i bioforgasset restprodukter er fundet. Dette studie viser meget få fund og - hvis fundet - meget lave koncentrationer af PFAS i en række restprodukter fra otte forskellige biogasanlæg.

Denne screening har vist, at PFAS kan findes i såvel organiske som mineralske gødningsprodukter, men også at de generelt findes i lave koncentrationer, der ikke med det nuværende viden og regelsæt udgør en særskilt problemstilling ift. f.eks. spildevandsslam. Målinger af total ekstraherbart organisk fluor i internationale studier tyder dog på, at langt fra alt PFAS kan findes ved de nuværende target-analyser af PFAS₂₂. Dette understøttes delvist i dette studie.

Prøvernes beskaffenhed (lavt tørstofindhold) har dog også betydet, at der i visse af projektets analyser har været en relativ høj kvantifikationsgrænse (LoQ) på de fleste PFAS. For de frysetørret prøver, er LoQ således forhøjet for alle parametre, da det ikke var muligt at benytte en stor nok delprøve til analysen. Samlet medfører det, at der vil være færre fund af PFAS, end hvis LoQ var tættere på den kvantificeringsgrænse, man kan opnå når prøven opfylder alle metodens krav, f.eks. kemisk sammensætning, organisk materiale, tørstof osv.

Selv om koncentrationerne er lavere end i spildevandsslam, er den samlet størrelse af de arealer, som modtager husdyrgødning og handelsgødning, markant større. Den samlet masse af PFAS, som tilføres landbrugsarealer med disse gødninger, kan derfor godt være sammenlignelig eller større end for spildevandsslam.

Der er i de få undersøgte prøver af gødningsprodukter fundet eksempler på, at target-bestemmelser af kendte PFAS udgør en lille del af det totale ekstraherbare organiske fluor (EOF). Andre studier har vist samme tendens. Sammen med eksempler på relative høje koncentrationer af f.eks. PFBA gør det, at der fortsat kan være et behov for at undersøge denne type af restprodukter nærmere. Undersøgelser bør fokusere på at give et bedre og bredere billede af PFAS-indholdet, herunder prækursorer, i gødningsprodukter for bl.a. derved at være på forkant med udviklingen imod, at "gamle" PFAS erstattes med "nye", og den toksikologiske viden for disse nye PFAS stiger. Bedre viden kan være med til at fokusere en eventuel kildeopsporing (foder, feed-stock m.m.) for PFAS i de relevante gødninger.

Summary

This report briefly summarizes new and existing knowledge about PFAS in fertilizer products used on agricultural land. New studies include measurements of PFAS₂₂ in various slurry samples from pigs, several types of residues from biogas plants and several different mineral fertilizers. New data for PFAS in sewage sludge are not included in the project, as PFAS in Danish sewage sludge are continuously analysed by the wastewater companies.

New international studies have shown that PFAS can be measured in different types of animal manure and residues where animal manure is included, even if it is in relatively low concentrations. The few findings and low concentrations from other studies have been confirmed in this study of pig slurry, as, with a few exceptions, PFAS could not be detected. In a few samples concentrations of PFBA were measured above what is commonly found in sewage sludge.

Very few international studies of the PFAS content in biogas residues have been found. This study shows very few findings, and - if found - very low concentrations of PFAS in several samples collected from eight different biogas plants.

This screening has shown that PFAS can be found in both organic and mineral fertilizer products, but also that they are generally found in low concentrations, which do not constitute a separate problem in relation to e.g. sewage sludge, with the current knowledge and regulations. However, measurements of total extractable organic fluoride in international studies indicate that far from all PFAS can be found in the current target analyses of PFAS₂₂.

The nature of the samples (low dry matter content) has also meant that in some of these analyses, there has been a relatively high limit of quantification for most PFAS. For the freeze-dried samples, the LoQ was increased for all parameters as it was not possible to use a large enough sub-sample for the analysis.

Although the concentrations are lower than in sewage sludge, the total size of the areas that receive livestock manure and commercial inorganic fertilizers is significantly larger. The total mass of PFAS added to agricultural land with these fertilizers may therefore be comparable or greater than that of sewage sludge.

In the few samples examined in this study, data show that known target PFAS may constitute a small part of the total extractable organic fluorine (EOF). This has been confirmed in other studies. Together with examples of relatively high concentrations of e.g. PFBA, there may still be a need to investigate this type of organic fertilizers more closely. Studies should focus on providing a better and broader picture of the PFAS content, including precursors, to be at the forefront of the development towards replacing "old" PFAS with "new" ones, and increasing the toxicological knowledge of these new PFAS. Better knowledge can help focus any source tracing (feed, feed stock, etc.) for PFAS in the relevant fertilizers.

1. Indledning

PFAS er en gruppe af stoffer, der ofte knyttes til problematiske niveauer i vores omgivelser, det være sig jord, grundvand, overfladevand eller fødevarer. Der er derfor en generel interesse i at kende indholdet i de (gødnings)produkter, som spredes på store dele af de danske landbrugsarealer. Her vil stofferne kunne optages i afgrøder eller foder, de kan fra vandfasen spredes til nærliggende recipienter via afstrømning i f.eks. dræn eller til grundvandsboringer gennem nedsivning.

Indholdet af organiske mikroforureninger, herunder PFAS, er som oftest relativt godt undersøgt i spildevandsslam, mens der ofte mangler viden om indholdet i andre organiske restprodukter, som anvendes til gødning af landbrugsmarker, herunder svinegylle, kvæg- eller kyllingemøg og restprodukter fra biogasproduktion.

Dette projekt har derfor fokuseret på at skaffe data for mineralske gødningsprodukter samt husdyrgødning og restprodukter fra biogasproduktion. Da der rutinemæssigt analyseres for PFAS i dansk spildevandsslam, har dette projekt ikke haft som formål at lave nye analyser i dette gødningsprodukt. Projektet skal ses som et screeningsprojekt hvor der gennem target-analyser er målt for de 22 PFAS, der indgår i den gældende grænseværdi for PFAS i spildevandsslam. Target-analyser er specifikke metoder, der fokuserer på at analysere udpegede specifikke enkeltstoffer. Non-target analyser er en screening for ukendte stoffer i en prøve ved hjælp af en defineret arbejdsgang med identifikationskriterier, men ingen foruddefineret liste over PFAS, med henblik på at identificere ukendte stofnavne. Derudover er der i få prøver målt for totalt ekstraherbart organisk fluor (EOF), som giver et samlet billede af det totale PFAS-indhold.

Efter igangsættelsen af dette projekt er der publiceret flere artikler, der har fokus på netop PFAS-indholdet i organiske gødningsprodukter.

Estoppey m.fl. (2024) undersøgte 19 forskellige organiske gødningsprodukter, der alle var fremstillet på baggrund af organisk affald og/eller gødning. Produkterne var alle omarbejdet til en fast form, typisk granulat eller pellets, inden de blev analyseret. Produkterne var skabt gennem forskellige typer af fordampningsprocesser, dækkende fra hygiejnisering ved <150 °C til pyrolyse og forbrænding ved høje temperaturer (op til 900 °C). Totalt blev der målt for 44 PFAS med target-analyser samt non-target analyse af ekstraherbart organisk fluor (EOF). De højeste koncentrationer af PFAS₄₄ blev fundet i hygiejniseret slam-baserede produkter, mens de produkter, der var baseret på fødevarer og/eller husdyrgødning, generelt indeholdt lavere mængder, specielt af PFOS og PFOA. I produkter skabt ved forbrænding mellem 850 og 950 °C blev der ikke detekteret PFAS₄₄. Fælles var dog, at PFAS₄₄ kun udgjorde en mindre del af den samlede EOF. Specielt var der et stort mørketal i produkter baseret på spildevandsslam og kyllingemøg. F.eks. var koncentrationen af EOF 100 gange større end koncentrationen af PFAS₄₄ i produkter baseret på kyllingemøg.

I et canadisk studie undersøgte Saliu m.fl. (2024) PFAS-indholdet i en række gødningsprodukter. Indholdet af 79 PFAS i spildevandsslam, kommercielle kompostprodukter og mineralsk gødning blev undersøgt. Data for 6:2 FTS blev ikke inkluderet i undersøgelsen, da der var mistanke om forurening af prøver med dette PFAS grundet store fund i blanke prøver. Fælles for alle prøver var, at en af de dominerende PFAS-grupper, foruden de mere klassiske PFCA og PFSA, var diPAPs. Polyfluoralkylphosphatere (PAP), og især diestere (diPAP) er en gruppe af PFAS, hvor esterstrukturen af PAP dannes, når forskellige telomeralkoholer (FTOH) reage-

rer med fosfat. De er bl.a. blevet brugt i papirmasse- og papirindustrien, f.eks. i materialer bestemt til kontakt med fødevarer, men også i produkter til personlig pleje, kosmetik, rengøringsmidler, overfladebehandlingsmidler og maling.

Tallene fra Estoppey m.fl. (2024) og Saliu m.fl. (2024) er yderligere uddybet i de respektive kapitler for hver gødningstype.

Grundet den korte projektperiode blev det ikke vurderet muligt at få indsamlet et repræsentativt antal prøver fra private husdyrbrug, da det i hvert enkelt tilfælde ville have krævet en større afsøgning af producenter og individuelle aftaler med hver enkel husdyravler for at få adgang til at tage prøver fra f.eks. gylletanke. Som et alternativ blev det i stedet valgt at indsamle gylleprøver fra besætninger og allerede igangsatte forskningsforsøg med grise på Forsøgsstation Foulum ved Viborg under Aarhus Universitet. Det blev tilstræbt at indsamle gylleprøver fra grise, der havde modtaget mere end én type af foder, idet det forventes at fodertypen kan være en væsentlig kilde til PFAS i husdyr. Alle prøver blev indsamlet direkte fra stalden inden opblanding i fællestank.

I bestræbelserne på at indsamle prøver fra biogasanlæg indgik Aarhus Universitet en aftale med Nature Energy. Nature Energy er et af verdens største producenter af biogas. Sammen med partnere driver de 13 biogasanlæg i Danmark samt anlæg i Holland og Frankrig. Prøver er indsamlet fra otte anlæg, der dækker over en række forskellige sammensætninger af organiske kilder. Prøver er anonymiseret fra Nature Energy, inden de blev sendt til Aarhus Universitet.

I de følgende kapitler er de enkelte gødningstyper gennemgået i form af en kort gennemgang af nylig relevant litteratur sammen med en præsentation af de målinger, der er gennemført i dette projekt. PFAS-analyser er foretaget af det private analysefirma Eurofins. I Bilag 1 er vedhæftet en kort beskrivelse af de overordnede analysemetoder og kvantifikationsgrænser.

2. Spildevandsslam

Der er ikke i dette projekt analyseret for PFAS i spildevandsslam. Internationale studier peger dog entydigt på, at PFAS er hyppigt forekommende i spildevandsslam og bioprodukter, hvor spildevandsslam indgår. Målinger af total organisk fluor tyder på, at langt fra alt PFAS kan findes ved de nuværende target-analyser.

Der har ikke været planlagt analyser af spildevandsslam i dette projekt, da der allerede foreligger en del information på området, herunder (upubliceret) rutinemæssige analyser af PFAS₂₂ fra danske renseanlæg. Der er dog begrænset viden om, i hvor høj grad andre PFAS forekommer og i hvilke mængder.

Vogel m.fl. (2023) analyserede prøver af tørret spildevandsslam fra forskellige spildevandsrensningsanlæg i Tyskland og Schweiz samt askefraktioner fra forskellige forbrændingsprocedurer af spildevandsslam, f.eks. varmebehandlede slamprøver med forskellige additiver (temperaturer: 700-1050 °C), to lavtemperaturkonverterede prøver (pyrolyse, temperatur: 400 °C) og et par enkelte struvitprøver fra Tyskland og Canada. Alle prøver blev undersøgt for ekstraherbart organisk fluor (EOF) samt individuelle PFAS ved suspekt screening. Mængden af EOF i spildevandsslam lå hovedsagelig mellem 154 og 538 µg/kg, bortset fra et enkelt anlæg hvor en forhøjet EOF-værdi på 7209 µg/kg blev fundet på grund af høj PFAS og anden organofluoridforurening. I prøverne med aske var EOF-værdierne lavere med koncentrationer mellem cirka 60 og 121 µg/kg. I de forskellige produkter, der stammer fra termisk behandling af spildevandsslam, fandt Vogel m.fl. EOF-værdier op til 88 µg/kg. For de pyrolyserede prøver kunne der ikke detekteres EOF, mens der i de to spildevandsbaserede struvit-gødninger blev fundet henholdsvis 96 og 112 µg EOF /kg. Samlet set kunne relevante mængder af EOF påvises i næsten alle typer af gødning baseret på spildevandsslam. Targetanalyser af de 10 hyppigst forekommende PFAS i spildevandsslam viste, at summen af disse kun udgjorde en lille andel af EOF, dækkende fra <1.5% i det mest PFAS-forurenede spildevandsslam til cirka 14,5% i det mindst PFAS-forurenede spildevandsslam.

En undersøgelse af spildevandsslam fra de Nordiske lande, herunder to danske anlæg, af Aro m.fl. (2021) kom frem til den samme konklusion som hos Vogel m.fl. (2023). De højeste (nationale) gennemsnitlige EOF-niveauer blev fundet i stikprøver fra Finland (190 µg F/kg). Prøver fra Sverige og Danmark viste lavere EOF-koncentrationer, henholdsvis 118 og 106 µg F/kg (nationale gennemsnit), mens de nationale EOF-niveauer i prøver med spildevandsslam fra Norge og Færøerne var de laveste af de lande, der indgik i denne undersøgelse, henholdsvis 72 og 60 µg F/kg. Target-analyseret PFAS (73 stk. i alt) udgjorde i gennemsnit 52 % af EOF i de 10 prøver af spildevandsslam med påviselige niveauer. De PFAS-klasser, der tegnede sig for det største bidrag til fluormassebalancen, var PFCA-prækursorer og PFSA-prækursorer, der i gennemsnit udgjorde henholdsvis 38 % og 7 % af EOF. Prøverne fra Danmark havde den største del af deres fluormassebalance forklaret af target-analyser, 84 % i gennemsnit, efterfulgt af prøver fra Sverige og Norge med 55-57 % (nationale gennemsnit).

Estoppey m.fl. (2024) undersøgte 19 forskellige organiske gødningsprodukter, der alle var fremstillet på baggrund af organisk affald og/eller gødning. Neden for er udvalgte data for produkter baseret på spildevandsslam opsummeret (Tabel 1).

TABEL 1. PFAS-indhold i udvalgte prøver publiceret i Estoppey m.fl. (2024). Der er samlet målt for 44 PFAS i target-analyser samt for det samlede ekstraherbare organiske fluor (EOF). Mængden af PFAS₄₄ ift. EOF er angivet i procent.

Behandling	Input materiale	PFAS ₄₄	EOF	%
µg/kg TS				
Forgasset og hygiejniseret	Slam og bioaffald	29	218	13,3
Tørring og hygiejniseret	Slam og bioaffald	10,6	249	4,3
Infrarød tørring og hygiejniseret	Slam og bioaffald	6,1	492	1,2
Pyrolyse (650 °C)	Slam	0,2	25	0,8

Saliu m.fl. (2024) undersøgte PFAS-indholdet i en række gødningsprodukter. Indholdet af 79 PFAS blev undersøgt i spildevandsslam, kommercielle kompostprodukter og mineralsk gødning. Mere end 100 prøver af spildevandsslam og produkter baseret på spildevandsslam blev indsamlet fra forskellige spildevandsrensningsanlæg i Quebec-provinsen og fra private udbydere, der genvinder og behandler spildevandsslammet til kommercielle slamprodukter (biosolids) til brug på landbrugsjorder. Spildevandsslam fra rensningsanlæggene blev behandlet ved hjælp af forskellige metoder, herunder bioforgasning, kompostering, anden biologisk behandling samt forbrænding (aske). Den gennemsnitlige sumkoncentration (PFAS₇₉) var 232 (min-max: 15-705) µg/kg TS. Aske fra slamforbrænding havde lavere indhold (15 µg/kg TS). PFAS i slam fra papirindustrien havde i gennemsnit et PFAS-indhold på 40 µg/kg TS (min-max: 9,8-213 µg/kg TS). Til sammenligning med f.eks. danske værdier (Tabel 2) kan det beregnes, at den gennemsnitlige sumkoncentration af PFAS₄ i syv prøver med primærslam blev fundet til 3,2 µg/kg TS, hvilket cirka svarer til 10% fraktilen i 215 prøver af dansk spildevandsslam rapporteret i Jensen m.fl. (2023). Her var medianværdien for summen af PFAS₄ og PFAS₂₂ fundet til henholdsvis 7,49 og 22,94 µg/kg TS.

Jensen m.fl. (2023) sammenfattede 215 data fra 48 danske renseanlæg (Tabel 2). En oversigt er vist neden for. De angivne fraktil-koncentrationer af individuelle PFAS i spildevandsslam er beregnet ud fra målte data samt en koncentration svarende til halvdelen af kvantifikationsgrænsen i de tilfælde, hvor stoffet ikke kunne måles (LoQ/2).

TABEL 2. PFAS-indhold angivet for PFAS₂₂ som minimum, maksimum samt 10, 50 (median) og 90 percentiler i 215 danske slamprøver fra 48 renseanlæg. Data gengivet fra Jensen m.fl. (2023). N= antal prøver. LoQ = kvantifikationsgrænsen.

µg/kg TS	PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS	PFBA	PFBS	PFPeA	PFPeS	PFHxA	PFHpA	PFHpS
MIN	0,043	0,085	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,05	0,07
10P	2,4	0,3	0,185	0,137	0,137	0,135	0,14	0,135	0,145	0,14	0,14
50P	4,5	0,85	0,6	0,19	0,19	0,19	0,24	0,1825	0,48	0,235	0,185
90P	15	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
MAX	55	19	7,4	4,3	29	3,9	2,5	4,7	9,29	3,7	7,8
N Total	215	215	215	215	215	215	215	208	215	215	208
N > LoQ	183	154	99	12	12	10	16	4	57	15	5

µg/kg TS	6:2 FTS	PFOSA	PFNS	PFDA	PFDS	PFUnDS	PFUnDA	PFDoDS	PFTTrDS	PFTTrDA
----------	---------	-------	------	------	------	--------	--------	--------	---------	---------

µg/kg TS	PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS	PFBA	PFBS	PFPeA	PFPeS	PFHxA	PFHpA	PFHpS
MIN	0,05	0,135	0,135	0,59	0,07	0,145	0,07	0,135	0,5	0,07	
10P	0,137	0,413	0,27	0,85	0,135	0,5	0,19	1	0,5	0,14	
50P	0,24	0,85	0,355	2,4	0,185	1,2	0,66	1,65	1,45	0,295	
90P	2,5	2,5	5	4	2,5	5	2,5	5	5	2,5	
MAX	6,1	3,4	7,5	18	2,55	15	3,1	20	15	5	
N Total	215	214	206	215	211	209	211	205	205	207	
N > LoQ	15	128	2	163	0	4	98	0	0	30	

3. Husdyrgødning

Nye internationale undersøgelser har vist, at PFAS kan måles i forskellige typer af husdyrgødning og restprodukter, hvor husdyrgødning indgår, om end det er i relative lave koncentrationer. De få fund og lave koncentrationer er bekræftet i dette studie af grisegylle, hvor der med få undtagelser ikke kunne detekteres PFAS. I enkelte prøver blev dog målt koncentrationer af PFBA over det, man almindeligvis finder i spildevandsslam.

Munoz m.fl. (2022) karakteriserede PFAS i 47 organiske affaldsprodukter anvendt på landbrugsmarker i Frankrig, herunder historiske og nyere materialer. Samlet set blev der påvist 160 PFAS fra 42 klasser ved target-screening og homologbaseret nontarget-screening. Target PFAS var lavt i husdyrgødning såsom svinsegylle, fjerkræsgødning eller malkekvægs-gødning (median $\Sigma 46\text{PFAS}$: 0,66 µg/kg tørstof). Data fra de målte gødningstyper er angivet i Tabel 3 som sumværdien af 160 identificerede PFAS sammen med de højeste målte individuelle koncentrationer for enkelte PFAS. Langt de fleste af de 160 PFAS blev ikke detekteret i husdyrgødning. Som det ses, var det især PFBA og FOSAA, der blev målt i de højeste koncentrationer.

TABEL 3. Koncentration af PFAS (sum af 160 PFAS) målt i en række husdyrgødninger. Den højest målte individuelle PFAS-koncentration er angivet sammen med forkortet navn for den pågældende PFAS. LoD = Detektionsgrænsen. Se desuden Tabel 4. Data ekstraheret fra Munoz m.fl. (2022).

	Sum-koncentration af 160 PFAS	Højest målte in- dividuelle kon- centration	PFAS med maks. koncentration
	µg/kg TS	µg/kg TS	
Møg fra malkekvæg	1,116	0,234	PFOS
Møg fra malkekvæg	1,674	0,933	EtFOSAA
Møg fra malkekvæg	1,395	1,245	PFOS
Møg fra malkekvæg	0,382	0,290	PFBA
Møg fra malkekvæg	0,631	0,302	FOSAA
Møg fra malkekvæg	2,125	1,534	FOSAA
Svinsegylle	0,043	0,043	PFHxS
Svinsegylle	<LoD	<LoD	None
Svinsegylle	<LoD	<LoD	None
Svinsegylle	<LoD	<LoD	None
Kyllingemøg	0,415	0,415	PFBA
Kyllingemøg	1,900	1,618	FOSAA
Kyllingemøg	1,251	0,715	PFBA
Kyllingemøg	0,332	0,145	PFBA
Komposteret møg fra malkekvæg	1,400	0,550	PFBA
Komposteret møg fra malkekvæg	0,416	0,182	H-PFPeDA
Komposteret møg fra malkekvæg	0,386	0,202	PFBA

Gennemsnitskoncentrationer i de målte prøver med husdyrgødning var som listet nedenfor, hvor det ses, at gennemsnitskoncentrationen i de prøver med analyser over detektionsgrænsen i alle tilfælde var lavere end 1,0 µg/kg og langt lavere, end hvis koncentrationen i de prøver, hvor PFAS ikke kunne kvantificeres, sættes til 0 eller halvdelen af kvantifikationsgrænsen (Tabel 4).

TABEL 4. Gennemsnitskoncentrationer af udvalgte PFAS i en række husdyrgødninger (se Tabel 3). Gennemsnit er for prøver, hvor koncentrationer under detektionsgrænsen (LoD) er sat til 0 mg/kg TS, samt alene for de prøver, hvor PFAS kunne detekteres (>LoD). Data ekstrahe- ret fra Munoz m.fl. (2022).

PFAS	Gns. Alle*	PFAS	Gns. >LoD
	µg/kg TS		µg/kg TS
PFBA	0,221213	EtFOSAA	0,933123
FOSAA	0,20642	FOSAA	0,722471
PFOS	0,116365	EtFBSAA	0,52363
PFOA	0,047115	PFBA	0,357343
EtFOSAA	0,044434	PFOS	0,305459
PFHxA	0,037234	H-PFPeDA	0,24323
H-PFPeDA	0,034747	PFHxA	0,195479
PFHxS	0,028195	8:8 PhiA	0,148608
EtFBSAA	0,024935	PFOA	0,141346
6:2 FTSA	0,011393	12-UPFSA	0,11114
8:8 PhiA	0,007077	PFHxS	0,084585
12-UPFSA	0,005292	6:8 PhiA	0,081865
PFDA	0,004763	6:2 FTSA	0,079748
PFBS	0,004675	H-PFDoA	0,061538
6:8 PhiA	0,003898	PFDA	0,050014
H-PFDoA	0,00293	8:2 FTSA	0,04007
PFNS	0,002811	PFBS	0,032723
PFDODA	0,002411	PFNS	0,029513
8:2 FTSA	0,001908	PFDODA	0,025319
PFTeDA	0,000908	10:2 FTSA	0,013471
10:2 FTSA	0,000641	PFTTrDA	0,012022
PFTTrDA	0,000572	PFPeS	0,008571
PFPeS	0,000408	PFTeDA	0,006353
PFHpS	0,000259	PFHpS	0,005439

* Koncentrationen i prøver < LoD er sat til 0 µg/kg TS

Estoppey m.fl. (2024) undersøgte 19 forskellige organiske gødningsprodukter, der alle var fremstillet på baggrund af organisk affald og/eller gødning. Nedenfor er udvalgte data for pro- dukter baseret på husdyrgødning opsummeret (Tabel 5).

TABEL 5. Sumkoncentration af 44 PFAS målt i gødningsprodukter, der er baseret på husdyrgødning. Prøver har, som angivet, været udsat for forskellige grader af opvarmning ifm. dehydrering og anden bearbejdning. LoQ = kvantifikationsgrænse. Data ekstraheret fra Estoppey m.fl. (2024).

Behandling	Input materiale	PFAS ₄₄	EOF	PFAS ₄₄ :EOF
		µg/kg TS	µg/kg TS	%
Forbrænding (>850 °C)	Kyllingemøg	< LoQ	-	-
Pyrolyse (300-450 °C)	Kyllingemøg	5,1	<LoQ	-
Hygiejniseret og pelletproduktion	Kyllingemøg	6,9	143	4,8
Hygiejniseret, tørret og presset	Kyllingemøg	4,0	434	0,9
Bioforgasset og komposteret	Bioaffald og husdyrgødning	3,7	53	7,0

Saliu m.fl. (2024) undersøgte PFAS-indholdet i en række gødningsprodukter. Indholdet af 79 PFAS i spildevandsslam, kommercielle kompostprodukter og mineralsk gødning blev undersøgt. Data, der er relevante i forhold til problemstillingen omkring PFAS i husdyrgødning, er gengivet forneden i Tabel 6. Som det ses, er det typisk ikke de gængse PFAS₄ (PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS), man finder i husdyrgødning. Som et eksempel kan nævnes, at ud af et totalindhold af PFAS₇₉ på 16,37 µg/kg TS i frisk kvægmøg udgør PFAS₄ kun 0,06 µg/kg, mens der blev målt koncentrationer af PFHxDA på 4,29 µg/kg TS og ADONA på 7,06 µg/kg TS. ADONA er et PFAS med 12 fluoratomer, der i mange forbrugerprodukter fungerer som et erstatningsstof for nogle af de ældre langkædede PFAS, der grundet lovkrav allerede er udfaset eller er på vej til at blive udfaset i produktionen. For kyllingemøg var koncentrationen af PFAS₇₉ målt til 14,39 µg/kg TS, hvoraf PFAS₄ kun udgør 0,1 µg/kg TS af dette. PFHxDA derimod blev målt i en koncentration på 7,36 µg/kg TS, hvilket udgør cirka 50% af PFAS₇₉. Andre væsentlige komponenter i kyllingemøg var ADONA (2,88 µg/kg TS) og PFBA (2,33 µg/kg TS).

TABEL 6. Indhold af 79 PFAS (µg/kg TS) i en række husdyrsrelaterede gødningsprodukter, inklusiv komposteret (Komp.) produkter. Der er i alt målt for 79 PFAS i target-analyser. Derudover er koncentrationen af PFAS₄ (PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS) vist. Data er bearbejdet fra Saliu m.fl. (2024).

DK beskrivelse	UK beskrivelse	Underbeskrivelse	PFAS ₄	PFAS ₇₉
			µg/kg TS	µg/kg TS
Komp. husdyrgødning	Composted manure	Commercial Compost	0,29	18,44
Komp. husdyrgødning	Composted cattle manure	Commercial Compost	0,42	6,40
Komp. husdyrgødning	Granulated chicken manure	Commercial Compost	0,51	21,34
Komp. husdyrgødning	Composted sheep manure*	Commercial Compost	0,36	63,65
Komp. husdyrgødning	Composted cow manure*	Commercial Compost	0,15	13,78
Husdyrgødning, fjerkræ	Pure hen manure	Commercial Compost	0,00	23,99
Husdyrgødning, kvæg	Cow Manure	Animal manure	0,48	17,98
Husdyrgødning, kvæg	Fresh cow manure	Animal manure	0,03	14,97
Husdyrgødning, kvæg	Fresh cow manure	Animal manure	0,06	16,37
Husdyrgødning, fjerkræ	Chicken manure	Animal manure	0,10	14,39

3.1 Analyser af gylleprøver i dette projekt

På forsøgsstation Foulum, Aarhus Universitet, er der indsamlet gylleprøver fra en række besætninger, herunder besætninger anvendt i forskningsstudier. Prøverne er, over en periode på tre måneder i sommeren og efteråret 2024, indsamlet inden opblanding i samletanke. Data for de forskellige besætninger er angivet forneden i Tabel 7.

TABEL 7. Oversigt over typer af grisegylle, foder og strøelse indsamlet i dette projekt. Foder-typerne er alle kommercielle produkter.

PrøveID	Dyregruppe	Foder	Strøelse
GG1	Smågrise 7-15 kg	20% Fiskemel, 67% Brune ris	Nej
GG2	Smågrise 7-15 kg	20% Fiskemel, 67% Brune ris	Nej
GG3	Smågrise 7-15 kg	20% Fiskemel, 67% Brune ris	Nej
GG4	Smågrise 7-15 kg	20% Fiskemel, 67% Brune ris	Nej
GG5	Smågrise 7-15 kg	20% Fiskemel, 67% Brune ris	Nej
GG6	Grise 50-70 kg	Gris Profil A	Nej
GG7	Grise 50-70 kg	Gris Profil A	Nej
GG8	Grise 50-70 kg	Gris Profil A	Nej
GG9	Grise 50-70 kg	Gris Profil A	Nej
GG10	Grise 50-70 kg	Gris Profil A	Nej
GG11	Smågrise 10-20 kg	Prime mini Plasma	Nej
GG12	Smågrise 10-20 kg	Prime mini Plasma	Nej
GG13	Smågrise 10-20 kg	Prime mini Plasma	Nej
GG14	Smågrise 10-20 kg	Prime mini Plasma	Nej
GG15	Smågrise 10-20 kg	Prime mini Plasma	Nej
GG16	Slagtegrise 70-100 kg	Gris Ideal Fase	Halm
GG17	Slagtegrise 70-100 kg	Gris Ideal Fase	Halm
GG18	Slagtegrise 70-100 kg	Gris Ideal Fase	Halm
GG19	Slagtegrise 70-100 kg	Gris Ideal Fase	Halm
GG20	Slagtegrise 70-100 kg	Gris Ideal Fase	Halm
GG21	Slagtegrise 40 kg	Gris Profil A	Nej
GG22	Slagtegrise 40 kg	Gris Profil A	Nej
GG23	Slagtegrise 40 kg	Gris Profil A	Nej
GG24	Slagtegrise 40 kg	Gris Profil A	Nej
GG25	Slagtegrise 40 kg	Gris Profil A	Nej
GG26	Smågrise 20-30 kg	Smågris Safe	Nej
GG27	Smågrise 20-30 kg	Smågris Safe	Nej
GG28	Smågrise 20-30 kg	Smågris Safe	Nej
GG29	Smågrise 20-30 kg	Smågris Safe	Nej
GG30	Smågrise 20-30 kg	Smågris Safe	Nej
GG31	Slagtegrise 60 kg	Gris Profil A	Halm
GG32	Slagtegrise 60 kg	Gris Profil A	Halm
GG33	Slagtegrise 60 kg	Gris Profil A	Halm
GG34	Slagtegrise 60 kg	Gris Profil A	Halm
GG35	Slagtegrise 60 kg	Gris Profil A	Halm
GG36	Farestald	Die Profil Lac	Halm/spåner
GG37	Farestald	Die Profil Lac	Halm/spåner
GG38	Farestald	Die Profil Lac	Halm/spåner
GG39	Farestald	Die Profil Lac	Halm/spåner
GG40	Farestald	Die Profil Lac	Halm/spåner

Et tilfældigt udvalg af de indsamlede prøver blev analyseret for PFAS efter en lufttørring, mens alle prøver blev analyseret efter en prøveprocedure baseret på frysetørring. Som det fremgår af Tabel 8, blev der kun i én af de tre lufttørret prøver fundet PFAS over kvantifikationsgrænserne, idet en PFOS-koncentration på 0,39 µg/kg TS blev målt her. En sammenligning med parallelprøver, der var frysetørret, viser, at der i prøve GG3 ikke kunne måles PFOS i kvantificerbare mængder (LoQ = 0,36 µg/kg TS). Da resultatet for lufttørring på 0,39 mg/kg TS kun lige netop var over kvantifikationsgrænsen (0,36 mg/kg), må forskellen formodes at ligge inden for måleusikkerheden, hvorfor der ikke umiddelbart kan konkluderes på den sammenligning.

TABEL 8. Indhold (µg/kg TS) af PFAS i tre prøver med grisegylle tørret ved lufttørring. Analyser over kvantifikationsgrænsen (LoQ) er angivet med fed skrift. Kvantifikationsgrænsen kan findes i Bilag I.

PrøveID	GG3	GG22	GG32
PFAS	µg/kg TS	µg/kg TS	µg/kg TS
Tørstof %	13,3	10,2	5,6
PFBA	<0,46	<0,59	<1,1
PFBS	<0,14	<0,18	<0,33
PFPeA	<0,14	<0,18	<0,33
PFPeS	<0,46	<0,59	<1,1
PFHxA	<0,14	<0,18	<0,33
PFHxS	<0,14	<0,18	<0,33
PFHpA	<0,14	<0,18	<0,33
PFHpS	<0,14	<0,18	<0,33
PFOA	<0,14	<0,18	<0,33
PFOS	0,39	<0,18	<0,33
6:2 FTS	<0,14	<0,18	<0,33
PFOSA	<0,46	<0,59	<1,1
PFNA	<0,14	<0,18	<0,33
PFNS	<0,91	<1,2	<2,2
PFDA	<0,46	<0,59	<1,1
PFDS	<0,14	<0,18	<0,33
PFUnDA	<0,46	<0,59	<1,1
PFUnDS	<4,6	<5,9	<11
PFDoDA	<0,46	<0,59	<1,1
PFDoDS	<4,6	<5,9	<11
PFTTrDA	<0,46	<0,59	<1,1
PFTTrDS	<4,6	<5,9	<11
Sum af PFAS4	0,39	#	#
Sum af PFAS22	0,39	#	#

Parallelt med de udvalgte lufttørret prøver i Tabel 8 blev alle prøver frysetørret og efterfølgende analyseret for PFAS₂₂. Resultaterne fra disse analyser fremgår af Tabel 9.

TABEL 9. Oversigt over det summerede indhold (µg/kg TS) af PFAS₄ og PFAS₂₂ i en række typer af grisegylle (se Tabel 7). Desuden er det angivet, hvilken PFAS der blev fundet i de pågældende prøver. LoQ = kvantifikationsgrænsen. Kvantifikationsgrænsen kan findes i Bilag I.

PrøveID	PFAS ₄	PFAS ₂₂	PFAS > LoQ
µg/kg TS			
GG1	<LoQ	<LoQ	-
GG2	<LoQ	<LoQ	-
GG3	<LoQ	<LoQ	-
GG4	<LoQ	<LoQ	-
GG5	<LoQ	<LoQ	-
GG6	<LoQ	<LoQ	-
GG7	<LoQ	59	PFBA (59)
GG8	<LoQ	55	PFBA (55)
GG9	<LoQ	53	PFBA (53)
GG10	<LoQ	<LoQ	-
GG11	<LoQ	2,9	PFBA (2,9)
GG12	<LoQ	3,0	PFBA (3,0)
GG13	<LoQ	2,7	PFBA (2,7)
GG14	<LoQ	2,1	PFBA (2,1)
GG15	<LoQ	2,1	PFBA (2,1)
GG16	<LoQ	<LoQ	-
GG17	<LoQ	<LoQ	-
GG18	<LoQ	<LoQ	-
GG19	<LoQ	<LoQ	-
GG20	<LoQ	<LoQ	-
GG21	<LoQ	<LoQ	-
GG22	<LoQ	<LoQ	-
GG23	<LoQ	<LoQ	-
GG24	<LoQ	<LoQ	-
GG25	<LoQ	<LoQ	-
GG26	<LoQ	<LoQ	-
GG27	<LoQ	<LoQ	-
GG28	<LoQ	<LoQ	-
GG29	<LoQ	<LoQ	-
GG30	<LoQ	<LoQ	-
GG31	<LoQ	<LoQ	-
GG32	<LoQ	<LoQ	-
GG33	<LoQ	<LoQ	-
GG34	<LoQ	<LoQ	-
GG35	<LoQ	<LoQ	-
GG36	<LoQ	<LoQ	-
GG37	<LoQ	<LoQ	-
GG38	<LoQ	<LoQ	-
GG39	<LoQ	<LoQ	-
GG40	<LoQ	<LoQ	-

Tabel 9 viser, at der generelt ikke blev fundet PFAS over kvantifikationsgrænsen i de undersøgte prøver. Undtagelsen herfor var prøver (ID# GG7-9) med gylle fra grise på 50-70 kg, der var fodret med "Gris Profil A". Her blev fundet PFBA i koncentrationer på 53-59 µg/kg TS. Tilsvarende blev der i en række prøver (ID# GG11-15) fundet PFBA-koncentrationer i intervallet 2,1-3,0 µg/kg TS. De fundne værdier ligger alle over de PFBA-koncentrationer, man finder i dansk spildevandsslam (Tabel 2). De fundne koncentrationer i prøverne GG7-9 ligger desuden over de nye vejledende grænseværdier for summen af PFAS₂₂ i spildevandsslam på 50 µg/kg TS. Det har ikke været muligt i dette projekt at identificere kilder til de målte gødningskoncentrationer ud over, at det må antages, at fodertypen spiller en rolle. Der er dog ikke målt for PFAS i de anvendte fodertyper, så hypotesen kan ikke testes. Det kompliceres yderligere af, at de høje koncentrationer af PFBA målt i prøverne GG7-GG9 stammer fra forsøg, hvor grise har spist en fodertype, der ikke i andre sammenhæng i dette projekt har ledt til samme høje koncentrationer i den målte gylle.

4. Restprodukter fra biogasproduktion

Meget få internationale studier af PFAS-indholdet i bioforgasset restprodukter er fundet. Dette studie viser meget få fund og - hvis fundet - meget lave koncentrationer af PFAS i en række restprodukter fra biogasanlæg. Der er ikke foretaget analyser af total PFAS (EOF) i dette projekt.

Biogas er en brændbar blanding af gasser. Den består hovedsagelig af metan (CH₄) og kuldioxid (CO₂) og dannes af organiske stoffer under bakteriel anaerob nedbrydning, dvs. uden ilt. Den fuldstændige biologiske nedbrydning af organiske stoffer til metan og kuldioxid under ilt-frie forhold er kompliceret og sker i et samspil mellem en række bakterier, der hver forestår deres del af opgaven.

Der findes en række forskellige typer biogasanlæg, som kan anvendes til behandling af forskellige biomassetyper, og hver har sine fordele og ulemper. Men i praksis anvendes på danske gårdbiogasanlæg og biogasfællesanlæg kun det fuldt omrørte anlæg, som har den fordel, at det kan behandle biomasse med et forholdsvis højt tørstofindhold. Biomasse pumpes ind kontinuerligt, eller et antal gange om dagen. For at få plads til den nye biomasse, skal der først udpumpes noget udrådnet materiale. Nuværende biogasanlæg udrådner foruden husdyrgødning og spildevandsslam (kun internationalt) også anelige mængder organisk industriaffald fra fødevareindustrier og slagterier m.m. Miljøfremmede stoffer findes i mange typer biomasse, bl.a. i gylle og slam. Stofferne er ofte bundet til organisk materiale, og nedbrydningen sker fortrinsvis biologisk. Det betyder, at nedbrydeligheden almindeligvis stiger med temperaturen. Mange af de organiske stoffer er nedbrydelige i den anaerobe proces. Enkelte, som f.eks. PFAS, er dog svært nedbrydelige eller nedbrydes stort set kun aerobt. Nedbrydeligheden af miljøfremmede stoffer har hidtil kun været undersøgt for få stoffer og på få biogasanlæg og her har nedbrydningen tilsyneladende været næsten total, idet der ikke er blevet fundet væsentlige koncentrationer i den afgassede gylle (Jørgensen 2009).

Estoppey m.fl. (2024) undersøgte 19 forskellige organiske gødningsprodukter, der alle var fremstillet på baggrund af organisk affald og/eller gødning. To af disse havde været igennem en bioforgasning. Den ene var en blanding af bioaffald og spildevandsslam, den anden en blanding af bioaffald og husdyrgødning. PFAS₄₄ koncentrationen var henholdsvis 29 µg/kg TS der, hvor spildevandsslam indgik, og 3,7 µg/kg TS der, hvor husdyrgødning indgik. Koncentrationen af EOF i de to typer produkter var henholdsvis 218 og 53 µg/kg TS. Omend målingerne udgør et meget spinkelt datamateriale, kunne det samlet set indikere, at bioforgasset restprodukter baseret på spildevandsslam kan forventes at have højere PFAS-indhold end tilsvarende restprodukter baseret på husdyrgødning. I Danmark indgår spildevandsslam ikke i biogasproduktionen, bl.a. fordi Arla ikke tillader brugen af gødningsprodukter, hvor spildevandsslam fra kommunale anlæg indgår.

4.1 Analyser af bioforgassede prøver i dette projekt

Nature Energy har indsamlet en række prøver af restprodukter fra otte af deres biogasanlæg. Sammensætningen af de forskellige organiske kilder på hvert anlæg er angivet i Tabel 10 neden for. Prøver, der er analyseret, fremgår med fed skrift. De biomasser, der indgår, er, foruden gylle og dybstrøelse, ukendte, om end det vides, at spildevandsslam ikke indgår i biogasproduktionen.

TABEL 10. Oversigt over prøver af bioforgasset restprodukter indsamlet fra 8 anlæg i Danmark. De overordnede emner af organisk udgangsmateriale er angivet som procent. Prøver angivet med fed skrift er analyseret i dette projekt.

Anlæg #	1	2	3	4	5	6	7	8
PrøveID:	BG31	BG7	BG8	BG20	BG19	BG1	BG43	BG37
	BG32	BG9	BG10	BG22	BG21	BG2	BG44	BG38
	BG33	BG11	BG12	BG24	BG23	BG3	BG45	BG39
	BG34	BG13	BG14	BG26	BG25	BG4	BG46	BG40
	BG35	BG15	BG16	BG28	BG27	BG5	BG47	BG41
	BG36	BG17	BG18	BG30	BG29	BG6	BG48	BG42
Gylle (%)	68,2	63,1	49,7	62,1	65,9	75,3	66	72,7
Dybstrøelse (%)	10,1	13,6	0	0,4	28,3	0,1	12,4	10,8
Øvrige faste biomasser (%)	7,8	7,3	50,3	29,8	2,1	6,1	16	2,3
Øvrige pumpbare biomasser (%)	13,9	15,9	0	7,7	3,8	18,5	5,6	14,3
I alt (%)	100	100	100	100	100	100	100	100

Et fåtal tilfældigt udvalgte prøver blev analyseret for PFAS efter en lufttørring, mens alle prøver blev analyseret efter en prøveprocedure baseret på frysetørring. Som det fremgår af Tabel 11, blev der i én ud af to prøver (BG16) fundet PFAS over kvantifikationsgrænserne, nemlig en koncentration på 0,66 µg/kg TS af PFBS. En sammenligning med parallelprøver, der var frysetørret, viser, at der i samme prøve (batch) ikke kunne måles PFBS (LoQ = 0,36). Resultatet for denne ene prøve kunne derfor antyde, at kortkædet PFAS som PFBS (C4) helt eller delvist kan forsvinde ved frysetørring. Datagrundlaget er dog for utilstrækkeligt til med sikkerhed at kunne konkludere ift. denne hypotese.

I Tabel 12 er analyseresultater for en række frysetørret prøver præsenteret. Data viser, at der i langt de fleste prøver ikke blev fundet PFAS over kvantifikationsgrænsen. Undtagelsen herfor var en række prøver, hvor der blev fundet PFBA i koncentrationer på 1,3-2,2 µg/kg TS. Tilsvarende blev der i få prøver fundet andre PFAS, så som PFOA, PFOS og PFDA, i intervallet 0,61-1,2 µg/kg TS. De fundne værdier ligger generelt over de PFBA-koncentrationer, man finder i dansk spildevandsslam (Tabel 2). Sumværdien af PFAS₂₂ ligger dog i alle tilfælde væsentligt under de vejledende grænseværdier for summen af PFAS₂₂ i spildevandsslam på 50 µg/kg TS.

TABEL 11. Indhold (µg/kg TS) af PFAS i to biogasprøver som er lufttørret. Analyser over kvantifikationsgrænsen (LoQ) er angivet med fed skrift. Kvantifikationsgrænsen kan findes i Bilag I.

Prøve ID	BG16	BG48
PFAS	µg/kg TS	µg/kg TS
Tørstof	8,8	6,5
PFBA	<0,69	<0,92
PFBS	0,66	<0,28
PFPeA	<0,21	<0,28
PFPeS	<0,69	<0,92
PFHxA	<0,21	<0,28

Prøve ID	BG16	BG48
PFHxS	<0,21	<0,28
PFHpA	<0,21	<0,28
PFHpS	<0,21	<0,28
PFOA	<0,21	<0,28
PFOS	<0,21	<0,28
6:2 FTS	<0,21	<0,28
PFOSA	<0,69	<0,92
PFNA	<0,21	<0,28
PFNS	<1,4	<1,9
PFDA	<0,69	<0,92
PFDS	<0,21	<0,28
PFUnDA	<0,69	<0,92
PFUnDS	<6,9	<9,3
PFDoDA	<0,69	<0,92
PFDoDS	<6,9	<9,2
PFTTrDA	<0,69	<0,92
PFTTrDS	<6,9	<9,3
Sum af PFAS4	#	#
Sum af PFAS22	0,66	#

TABEL 12. Oversigt over det summerede indhold af PFAS₄ og PFAS₂₂ i en række restprodukter fra flere typer af biogasanlæg (se Tabel 10). Analyser over kvantifikationsgrænsen (LoQ) er angivet med fed skrift. Desuden er alle målinger over kvantifikationsgrænserne beskrevet ved PFAS-navn og koncentration i parentes. Kvantifikationsgrænserne kan findes i Bilag I.

PrøveID	PFAS ₄	PFAS ₂₂	PFAS > LoQ
	µg/kg TS		µg/kg TS
BG1	<LoQ	<LoQ	-
BG2	<LoQ	<LoQ	-
BG3	<LoQ	<LoQ	-
BG4	<LoQ	<LoQ	-
BG5	<LoQ	<LoQ	-
BG6	<LoQ	1,4	PFBA (1,4)
BG7	0,74	0,74	PFOA (0,74)
BG10	<LoQ	1,3	PFBA (1,3)
BG11	<LoQ	<LoQ	-
BG12	<LoQ	1,7	PFBA (1,7)
BG13	<LoQ	<LoQ	-
BG14	<LoQ	2,2	PFBA (2,2)
BG15	<LoQ	<LoQ	-
BG16	<LoQ	<LoQ	-
BG17	<LoQ	<LoQ	-
BG18	<LoQ	<LoQ	-
BG19	<LoQ	<LoQ	-
BG20	<LoQ	<LoQ	-

PrøveID	PFAS ₄	PFAS ₂₂	PFAS > LoQ
BG21	0,61	1,9	PFBA (1,3);
BG22	<LoQ	<LoQ	-
BG23	0,71	2,1	PFBA (1,4);
BG24	<LoQ	<LoQ	-
BG25	0,97	2,8	PFBA (1,8);
BG26	<LoQ	<LoQ	-
BG35	<LoQ	1,3	PFBA (1,3)
BG36	<LoQ	1,2	PFDA (1,2)
BG38	<LoQ	1,4	PFBA (1,4)
Bg39	<LoQ	1,3	PFBA (1,3)
BG40	<LoQ	1,3	PFBA (1,3)
BG41	<LoQ	<LoQ	-
BG42	<LoQ	<LoQ	-
BG44	<LoQ	<LoQ	-
BG45	<LoQ	<LoQ	-
BG46	<LoQ	<LoQ	-
BG47	<LoQ	<LoQ	-
BG48	<LoQ	<LoQ	-

5. Mineralske gødningsprodukter

Det har ikke været muligt at finde mange nationale eller internationale dokumenter, som belyser indholdet af PFAS i kommercielle mineralske gødningsprodukter. Saliu m.fl. (2024) undersøgte dog PFAS-indholdet i et mindre antal mineralske gødningstyper. Resultater fra disse analyser fandt ingen PFAS i en fosforgødning, en lav koncentration af PFAS₇₉ på 2,4 µg/kg TS i en kaliumgødning, hvor lave koncentrationer af PFOcDA, PFDoS, 6.2-FTCA og især 8.2-FTUCA (1,2 µg/kg TS) blev målt. I en mineralsk kvælstofgødning blev målt et lavt indhold af PFAS₇₉ på 0,67 µg/kg TS, som primært bestod af PFBA (0,23 µg/kg TS) og PFHpA (0,26 µg/kg TS).

5.1 Analyser af handelsgødning i dette projekt

Aarhus Universitet har indsamlet mere end 300 prøver af kommercielle mineralske og organiske gødningsprodukter fra Landbrugsstyrelsen i Augustenborg. Prøverne stammede fra indsamlingskampagnen 2022. Prøverne dækker en lang række typer af gødning, f.eks. NK, NPK, kalciumklorid, ammonium nitrat og svovlsur ammoniak. Der blev udvalgt 30 prøver på baggrund af type og solgte mængder (Tabel 13). Disse blev analyseret for PFAS₂₂. Som det fremgår af tabellen, blev der ikke i nogen af prøverne fundet PFAS₂₂ over de kvantifikationsgrænser, som er listet i Bilag I. I enkelte prøver blev der derudover parallelt målt for totalt ekstraherbart organisk fluor (EOF). Data fremgår af Tabel 13 og indgår også i Vorkamp m.fl. (2024). I en enkelt af de fem analyserede EOF-prøver (20%) blev der fundet en markant forskel mellem PFAS₂₂ og EOF. Her kunne ikke detekteres PFAS₂₂, mens den samlede mængde af organisk fluor (766,73 µg F/kg VV) tyder på, at produktet indeholder en eller flere PFAS, som ikke er blandt PFAS₂₂.

TABEL 13. Typer af mineralske gødningstyper analyseret i dette projekt samt navn på producent. Kvantifikationsgrænserne (LoQ) er angivet i Bilag I.

PrøveID	Type	Firma	PFAS 22	EOF
			µg/kg TS	µg F/kg VV
MG1	Kvælstofgødning 27 m. S(4)	Dla Agro A.M.B.A.	<LoQ	-
MG2	Ammoniumnitrat 27 m. S(5)	Overgaard Gods A/S	<LoQ	<37,96
MG3	NPK-gødning 20-3-10 m. S(3)	Yara Danmark A/S	<LoQ	-
MG4	Ammoniumnitrat m. S(6)	Yara Danmark A/S	<LoQ	-
MG5	Ammoniumnitrat 27 m S(4)	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG6	Ammoniumnitrat m. S(6)	Yara Danmark A/S	<LoQ	-
MG7	Ammoniumnitrat 27 m. S (4)	Dla Agro A.M.B.A.	<LoQ	-
MG8	NPK-gødning 20-3-10 m. S(3)	Yara Danmark A/S	<LoQ	<37.96
MG9	Kaliumsulfat 25 m. Mg (6), S(17)	Dla Agro A.M.B.A.	<LoQ	-
MG10	Ammoniumnitrat 24 m. S(7) og Mn	Yara Danmark A/S	<LoQ	-
MG11	Kaliumchlorid 50	Dla Agro A.M.B.A.	<LoQ	-
MG12	Kvælstofgødning 27 m. S(4)	Dla Agro A.M.B.A.	<LoQ	<37.96

PrøveID	Type	Firma	PFAS 22	EOF
			µg/kg TS	µg F/kg VV
MG13	Svovlsur ammoniak 21	Dla Agro A.M.B.A.	<LoQ	<37.96
MG14	NPK-gødning 21-3-10 m. S(4)	Dla Agro A.M.B.A.	<LoQ	-
MG15	NPK 14-3-15 m. Mg, S, B, Cu	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG16	NPK-gødning 13-8-16 m. S	Dla Agro A.M.B.A.	<LoQ	-
MG17	Magnesiumsulfat 16 m. S(21)	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG18	Ammoniumsulfatsalpeter 26 m. S(13)	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG19	Kalkammonsalpeter 27 m. Mg	Yara Danmark A/S	<LoQ	-
MG20	Kaliumsulfat 25 m. Mg og S	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG21	Kalkammonsalpeter 27 m. Mg	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG22	NPK-gødning 21-3-10 m. Mg, S og B	Yara Danmark A/S	<LoQ	-
MG23	Ammoniumnitrat 27 m. S(4)	Yara Danmark A/S	<LoQ	-
MG24	NPK-gødning 22-3-10 m. S(2)	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG25	Svovlsur ammoniak 21	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG26	NPK-gødning 13-5-13+S	Thorø Nielsen A/S	<LoQ	-
MG27	NPK-gødning 21-4-10 m. Mg, S og B	Yara Danmark A/S	<LoQ	766,73
MG28	Kaliumchlorid 50	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG29	NP-gødning 18-20-0	European Fertilizer A/S	<LoQ	-
MG30	Ammoniumnitrat 27 m S(4)	European Fertilizer A/S	<LoQ	-

6. Konklusioner

For første gang i Danmark er der indsamlet data for PFAS-niveauer i andre organiske gødningsprodukter end spildevandsslam. Antallet af prøver, den lave spatiale og temporale spredning i prøverne, de relative høje kvantifikationsgrænser (Bilag I) samt de manglende muligheder for at indsamle gylleprøver fra større husdyrbrug gør, at data skal ses som en første screening af området.

Studier fra udlandet har antydnet, at PFAS kan forekomme i organiske restprodukter. Typisk for de eksisterende udenlandske undersøgelser er dog, at de primært har analyseret i dehydreret produkter skabt ifm. produktion af kommercielle gødningsprodukter eller som sideprodukter (aske, biochar m.m.) ifm. forbrænding eller pyrolyse. I dette projekt er prøver udtaget direkte ved ressourcen (stald og biogasanlæg) inden nogen anden form for processering. Det betyder dog også, at faststofindholdet generelt lå lavt (cirka 5-10%). En tørring (opkoncentrering) var derfor nødvendig ift. kvantifikationsgrænserne. De fleste prøver blev tørret ved frysetørring. Fem prøver blev dog også lufttørret over længere tid. Omend baseret på et meget spinkelt datagrundlag er der indikation af, at de kortkædede PFAS i et eller omfang kan mistes ved frysetørring. På samme vis kan det konstateres, at der for de frysetørrede prøver var en (markant) højere kvantifikationsgrænse for en række PFAS end i de lufttørret prøver (Bilag I). Effekten af prøvebehandlingsmetoden bør derfor undersøges nærmere for denne type af prøver med lavt tørstofindhold ved at skabe et større datagrundlag.

Analyser af forskellige typer af grisegylle tyder ikke på, at PFAS generelt udgør en større udfordring for udbringning af denne gødningsform på landbrugsjorder. Der blev dog i én type af grisegylle fundet relativt høje koncentrationer af PFBA (53-59 µg/kg TS), som hvis fundet i spildevandsslam kunne stå i vejen for landbrugsmæssig anvendelse, eftersom grænseværdien for summen af PFAS₂₂ er på 50 µg/kg TS. Kilden til disse koncentrationer kendes ikke, men det kan anbefales at undersøge fodertypen nærmere. Desuden skal der understreges at gyllen er opsamlet før ophold i samletanke (gylletanke) og det vides derfor ikke om længerevarende ophold i sådanne tanke kan flytte på PFAS-fordelingen og koncentrationerne af de individuelle PFAS.

Nye data fra et udenlandsk studie antyder, at gødningsprodukter baseret på hønsemøg kunne indeholde højere PFAS-koncentrationer end andre typer af organisk gødning. De udenlandske data er publiceret efter igangsættelsen af dette studie, bl.a. derfor har der ikke været fokus på dette område. Det anbefales derfor at få analyseret denne type af organiske gødningsprøver, ikke mindst fordi denne organiske kilde formodentlig kan indgå i en række kommercielle produkter til f.eks. havebrug.

Analyser af restprodukter fra biogasanlæg viste generelt koncentrationer under kvantifikationsgrænsen i de fleste prøver. Undtagelsen herfor var en et fåtal af prøver, hvor der blev fundet PFBA i koncentrationer på 1,3-2,2 µg/kg TS. Tilsvarende blev der i få prøver fundet andre PFAS så som PFOA, PFOS og PFDA, i intervallet 0,61-1,2 µg/kg TS. De fundne værdier ligger generelt over de PFBA-koncentrationer, man finder i dansk spildevandsslam (Tabel 2). Sumværdien af PFAS₂₂ ligger dog i alle tilfælde væsentligt under de nye vejledende grænseværdier for summen af PFAS₂₂ i spildevandsslam på 50 µg/kg TS.

Resultater fra analyserne af mineralske gødningsprodukter, såsom NPK-gødninger, i dette projekt og en mindre canadisk undersøgelse (Saliu m.fl. 2024) tyder ikke på, at denne type af gødningsprodukter udgør en væsentlig kilde til PFAS på landbrugsjorder. De udvalgte prøver

udgør dog kun en mindre andel af alle de typer af mineralske gødninger, som anvendes i Danmark. Derudover er der i én af fem undersøgte prøver (20%) fundet et stort indhold af ekstraherbart organisk fluor (EOF), som kunne antyde, at mindre kendte PFAS (uden for PFAS₂₂) kunne indgå i produktionen af visse former for mineralske handelsgødninger. Det kræver dog flere målinger af EOF eller udvidet non-target screening i en større undersøgelse for at kunne drage solide konklusioner.

Samlet set kan det konkluderes, at denne screening har vist, at PFAS kan findes i såvel organiske som mineralske gødningsprodukter, men også at de generelt findes i relativt lave koncentrationer, der ikke med det nuværende viden og regelsæt udgør en særskilt problemstilling ift. spildevandsslam. Selv om koncentrationerne er lavere end i spildevandsslam, er den samlede størrelse af de arealer, som modtager husdyrgødning og handelsgødning, markant større. Den samlede masse af PFAS, som tilføres landbrugsarealer med disse gødninger, kan derfor godt være sammenlignelig eller større end for spildevandsslam. Det er i den kontekst også vigtigt samtidigt at understrege, at der i denne screening er fundet prøver med kendte eller ukendte PFAS, som gør, at der fortsat kan være et behov for at undersøge denne type af restprodukter nærmere. Undersøgelser bør fokusere på at give et bedre og bredere billede af PFAS-indholdet, herunder prækursorer, i gødningsprodukter, for derved bl.a. at være på forkant med udviklingen imod at "gamle" PFAS erstattes med "nye" og den toksikologiske viden for disse nye PFAS stiger. Bedre viden kan være med til at fokusere en eventuel kildeopsporing (foder, feed-stock m.m.) for PFAS i de relevante gødninger.

7. Referencer

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

Estoppey N, Knight ER, Allan IJ, Ndungu K, Slinde GA, Rundberget JT, Ylivainio K, Hernandez-Mora A, Sørmo E, Arp HPH, Cornelissen G. (2024). PFAS, PCBs, PCDD/Fs, PAHs and extractable organic fluorine in bio-based fertilizers, amended soils and plants: Exposure assessment and temporal trends. *Sci Total Environ.* 2024 Nov 16;957:177347. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.177347.

Jensen J, Fauser P, Sanderson H, Vorkamp K, Andersen R, Rasmussen D. (2023). Derivation of cut-off values for PFAS in sewage sludge. Environmental Projekt no. 2232, Miljøstyrelsen.

Jørgensen, Peter Jacob. (2009). PlanEnergi og Forsker for en dag. Biogas – grøn energi. Proces • Anlæg • Energiforsyning • Miljø. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet 2009. 2. udgave 1. oplag. Redaktion: Anna Busch Nielsen.

Munoz G, Michaud AM, Liu M, Vo Duy S, Montenach D, Resseguier C, Watteau F, Sappin-Didier V, Feder F, Morvan T, Houot S, Desrosiers M, Liu J, Sauvé S. (2022). Target and Non-target Screening of PFAS in Biosolids, Composts, and Other Organic Waste Products for Land Application in France. *Environ Sci Technol.* 2022 May 17;56(10):6056-6068. doi: 10.1021/acs.est.1c03697.

Saliu TD, Liu M, Habimana E, Fontaine J, Dinh QT, Sauvé S. (2024). PFAS profiles in biosolids, composts, and chemical fertilizers intended for agricultural land application in Quebec (Canada). *Journal of Hazardous Materials* 480, 2024, 136170, doi: 10.1021/acs.est.1c03697..

Vorkamp, Katrin; Guedes, Paula; Trier, Xenia; Bossi, Rossana (2024): Further development of analytical methods for PFAS monitoring of environmental, food and human samples. Projekt-rapporten for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen.

Bilag 1. Analysemetoder og kvantifikationsgrænser

For våde prøver af svinegylle og restprodukter med lavt tørstofindhold oplyser Eurofins, at nedstående tørringsmetode anvendes.

Proceduren, som følges, er angivet i DS/EN ISO 16720 "Jordkvalitet – Forbehandling af prøver ved frysetørring til efterfølgende analyse". Fremgangsmåden er bl.a., at prøverne opbevares koldt (under -40°C) for at sikre, at det ikke begynder at tø op, før vakuummet er skabt. Frysetørreren startes 30-60 minutter før prøverne placeres indeni for at sikre, at systemet er koldt og i stand til at nå vakuum hurtigst muligt, efter prøverne er placeret indeni. Vakuum skal være mellem 37-63 Pa (0,3-63mbar), hvilket skal svare til en temperatur på -25°C til -30°C. Systemet kører typisk i omkring 48 timer (kan tage en ekstra cyklus, hvis prøverne er meget våde, men generelt er 48 timer nok). Der måles ikke for tørstofindhold efter frysetørring, idet det antages, at det er 100%.

Analyser af PFAS i alle projektets prøver udført af Eurofins, ved at følge en modificeret udgave af DIN 38414-14.

DIN 38414-14:2011-08

German standard methods for the examination of water, wastewater and sludge - Sludge and sediments (group S) - Part 14: Determination of selected polyfluorinated compounds (PFC) in sludge, compost and soil - Method using high performance liquid chromatography and mass spectrometric detection (HPLC-MS/MS)

Kvantifikationsgrænser

TABEL 14. De laveste og højeste kvantifikationsgrænser (LoQ) for PFAS målt i 40 prøver med grisegylle (Tabel 9) med de anvendte metoder fra Eurofins i dette projekt.

PFAS	Unit	LoQ _{min}	LoQ _{max}
PFBA (Perfluorbutansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<12
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,51
PFPeA (Perfluorpentansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,36
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,7
PFHxA (Perfluorhexansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,45
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,45
PFHpA (Perfluorheptansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,45
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,45
PFOA (Perfluoroktansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,51
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,51
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	µg/kg ts.	<0,36	<0,51
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	µg/kg ts.	<1,2	<1,7
PFNA (Perfluornonansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,51
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	µg/kg ts.	<2,4	<3,0
PFDA (Perfluordekansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,7
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,51
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,7
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<12	<17
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,7
PFDoDS (Perfluordodekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<12	<17
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,7
PFTTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<12	<17

TABEL 15. De laveste og højeste kvantifikationsgrænser (LoQ) for PFAS målt i 36 prøver med bioforgasset restprodukter (Tabel 12) med de anvendte metoder fra Eurofins i dette projekt.

PFAS	unit	LoQ _{min}	LoQ _{max}
PFBA (Perfluorbutansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,6
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFPeA (Perfluorpentansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,6
PFHxA (Perfluorhexansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFHpA (Perfluorheptansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFOA (Perfluoroktansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	µg/kg ts.	<1,2	<1,6
PFNA (Perfluornonansyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	µg/kg ts.	<2,4	<3,1
PFDA (Perfluordekansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,6
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,36	<0,47
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,6
PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre)	µg/kg ts.	<12	<16
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,6
PFDoDS (Perfluordodecansulfonsyre)	µg/kg ts.	<12	<16
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	µg/kg ts.	<1,2	<1,6
PFTTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<12	<16

TABEL 16. De laveste og højeste kvantifikationsgrænser (LoQ) for PFAS i mineralske handelsgødninger målt i 30 prøver (Tabel 13) med de anvendte metoder fra Eurofins i dette projekt.

PFAS	Unit	LoQ _{min}	LoQ _{max}
PFBA (Perfluorbutansyre)	µg/kg ts.	<0,10	<0,10
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
PFPeA (Perfluorpentansyre)	µg/kg ts.	<0,10	<0,10
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,10	<0,10
PFHxA (Perfluorhexansyre)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
PFHpA (Perfluorheptansyre)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
PFOA (Perfluoroktansyre)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	µg/kg ts.	<0,10	<0,10
PFNA (Perfluornonansyre)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,20	<0,20
PFDA (Perfluordekansyre)	µg/kg ts.	<0,10	<0,10
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,030	<0,030
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	µg/kg ts.	<0,10	<0,10
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<1,0	<1,0
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	µg/kg ts.	<0,10	<0,10
PFDoDS (Perfluordodekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<1,0	<1,0
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	µg/kg ts.	<0,10	<0,10
PFTTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<1,0	<1,0

TABEL 17. Kvantifikationsgrænser (LoQ) for PFAS i fem prøver (Tabel 8 og 11), der var luft-tørret (og ikke frysetørret), målt med de anvendte metoder fra Eurofins i dette projekt.

PFAS	Unit	GG33	GG22	GG32	BG16	BG48
PFBA (Perfluorbutansyre)	µg/kg ts.	<0,46	<0,59	<1,1	<0,69	<0,92
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,66	<0,28
PFPeA (Perfluorpentansyre)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,46	<0,59	<1,1	<0,69	<0,92
PFHxA (Perfluorhexansyre)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
PFHpA (Perfluorheptansyre)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
PFOA (Perfluoroktansyre)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,39	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	µg/kg ts.	<0,46	<0,59	<1,1	<0,69	<0,92
PFNA (Perfluornonansyre)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,91	<1,2	<2,2	<1,4	<1,9
PFDA (Perfluordekansyre)	µg/kg ts.	<0,46	<0,59	<1,1	<0,69	<0,92
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<0,14	<0,18	<0,33	<0,21	<0,28
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	µg/kg ts.	<0,46	<0,59	<1,1	<0,69	<0,92
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<4,6	<5,9	<11	<6,9	<9,3
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	µg/kg ts.	<0,46	<0,59	<1,1	<0,69	<0,92
PFDoDS (Perfluordodekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<4,6	<5,9	<11	<6,9	<9,2
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	µg/kg ts.	<0,46	<0,59	<1,1	<0,69	<0,92
PFTTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	µg/kg ts.	<4,6	<5,9	<11	<6,9	<9,3

PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse

Denne rapport opsummerer ny og eksisterende viden om PFAS i gødningsprodukter anvendt på landbrugsarealer. Nye undersøgelser inkluderer målinger af PFAS22 i forskellige gylleprøver fra grise, prøver af flere typer af restprodukter fra biogasanlæg samt en række forskellige mineralske handelsgødninger. Rapporten viser, at PFAS kan findes i såvel organiske som mineralske gødningsprodukter, men også at de generelt findes i lave koncentrationer, der ikke med det nuværende viden og regelsæt udgør en særskilt problemstilling ift. f.eks. spildevandsslam. Der er i de få undersøgte prøver af gødningsprodukter fundet eksempler på, at targetbestemmelser af kendte PFAS udgør en lille del af det totale ekstraherbare organiske fluor (EOF). Andre studier har vist samme tendens, så mere viden om det samlede PFAS-indhold er ønskeligt. Selv om koncentrationerne er lavere end i spildevandsslam, er den samlede størrelse af de arealer, som modtager husdyrgødning og handelsgødning, dog markant større. Den samlede masse af PFAS, som tilføres landbrugsarealer med disse gødninger, kan derfor godt være sammenlignelig eller større end for spildevandsslam.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk