



**Forskning og
vidensdannelse omkring
mikroplastik i
spildevandsslam udsprede
på landbrugsjorde**
**Initiativ 21 i Plastikhandlingsplanen –
Prøvetagning, størrelsesfordeling og
baggrundsniveau**

Miljøprojekt nr. 2236

Marts 2023

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Nanna Dyg Rathje Klemmensen

Rupa Chand

Maria Sobrino Blanco

Jakob Magid

Jes Vollertsen

ISBN: 978-87-7038-496-4

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	4
Sammenfatning	5
Summary	7
1. Indledning	9
1.1 Baggrund	9
1.2 Formål	9
2. Method	11
2.1 Projektets struktur	11
2.2 Prøvetagningslokaliteter	12
2.3 Analysemetode	14
2.3.1 Baggrund	14
2.3.2 Prøveforberedelse og oprensning	15
2.4 Tiltag for at undgå kontaminering	18
2.5 Kemisk analyse af mikroplastik 500-5000 µm	19
2.6 Kemisk analyse af mikroplastik 10-500 µm	20
2.7 Kvalitetskontrol, falske positive	22
2.8 Kvalitetskontrol, falske negative	22
3. Resultater	23
3.1 Variabilitet af mikroplastik i jord. Udvikling af teknik til korrekt prøvetagning af mikroplastik i jord under hensyn til den rummelige variation over både kortere og længere afstande.	23
3.2 Variabilitet af mikroplastik i jord. Udvikling af teknik til prøvetagning, der kan sikre, at prøvestørrelsen er tilstrækkelig til at dække alle partikelstørrelser repræsenteret i prøvefeltet.	28
3.3 Baseline for mikroplastik. Fastlæggelse af baseline for det terrestriske miljøes jorde, hvor der tilføres spildevandsslam, og hvortil prøver med mikroplastik kan relateres.	32
3.4 Kontaminering	33
3.5 Genfinding	33
4. Referencer	34

Forord

Plastik i naturen og manglende plastikgenanvendelse er et stort problem. I 2019 blev et politisk flertal enig om at vedtage plastikhandlingsplanen "Plastik uden spild", indholdene 27 initiativer, som alle skal være med til at sikre en mere cirkulær plastikøkonomi for Danmark og beskytte natur og miljø. Blandt de 27 initiativer er der et, der adresserer, at koncentrationen af mikroplast i spildevandsslam skal kortlægges: Initiativ 21, Vidensopbygning om mikroplast i spildevandsslam. Selvom der i de senere år har været stor fokus på mikroplast i forskellige miljøer, heriblandt spildevandsslam, er viden omkring mængden af mikroplast i terrestriske miljøer meget begrænset. Da store mængder mikroplast er observeret i spildevandsslam, formodes det, at mikroplast også kan findes i marker behandlet med spildevandsslam.

Formålet med denne undersøgelse er at erhverve ny viden omkring mængden af mikroplast i marker behandlet med spildevandsslam. Herudover skal de bedste teknikker, metoder og strategier til prøvetagning, oprensning og analyse identificeres. Endvidere er formålet at finde en base-line for mikroplast i danske landbrugsjorde og naturområder.

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen og arbejdet udført af Institut for Byggeri, By og Miljø på Aalborg University i tidsperioden juli 2021 til december 2022. Prøverne fra de slambelastede marker blev taget fra CRUCIAL test marker i Taastrup ejet af Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Universitet.

Miljøstyrelsen var repræsenteret ved Rasmus Eisted og Casper Schwartz Glottrup. Rapporten er udarbejdet af Nanna Dyg Rathje Klemmensen og Jes Vollertsen, begge fra Aalborg Universitet. Herudover har Rupa Chand og Maria Sobrino Blanco, ligeledes fra Aalborg Universitet, bidraget til analyse af mikroplast i jordprøverne. Jakob Magid har bidraget med viden om søgsmarkerne hvor de fleste af jordprøverne blev udtaget.

Sammenfatning

Spildevandsslam indeholder fosfor, der er en begrænset og ikke-fornybar ressource. For at genanvende fosforet bruges slammet som gødning på landbrugsjord, hvor det endvidere giver et positivt bidrag som kvælstofgødning og jordforbedringsmiddel. Slammet indeholder dog også en række miljøfremmede stoffer, herunder mikroplast. Undersøgelser har vist, at langt hovedparten af mikroplastet i spildevand tilbageholdes i renseanlæggets slam. Når slammet bruges som gødning af marker, overføres mikroplastet til jorden. Den faktiske mængde og spredning af mikroplastik i marker gødet med spildevandsslam er dog forholdsvis udokumenteret.

Formålet med projektet er at tilvejebringe ny viden om mikroplast i slambehandlede marker. Variabiliteten af mikroplast i marker blev undersøgt for at udvikle en metode til repræsentativ prøvetagning af jord til mikroplastanalyse, en metode, der tager hensyn til den rumlige variation over både korte og længere afstande. Størrelsesfordelingen af mikroplast i prøverne blev brugt til at bestemme, hvor meget prøve der skal udtages for at kunne dække et ønsket partikelstørrelsesinterval. Ud over mikroplastkoncentrationen, gives kvalificerede bud på følgende problemstillinger:

- Hvordan en prøve tages, og hvor stor en prøvemængde der skal udtages
- Hvordan prøven behandles i laboratoriet, både før og under prøveforberedelse
- Hvordan en prøve analyseres kemisk efter oprensning

For at vurdere hvor meget mikroplast der stammer fra spildevandsslam, blev en baseline for mikroplast bestemt ud fra prøver taget fra landbrugsjorder, der ikke har modtaget spildevandsslam, samt Natura 2000 områder.

I alt blev 44 prøver analyseret, 30 fra slambehandlede marker, 10 fra andre landbrugsjorder og 4 fra Natura 2000 områder. De 30 prøver fra slambehandlede marker var taget fra 3 forskellige forsøgsmarker (CRUCIAL), der tidligere har modtaget spildevandsslam svarende til cirka 40 års almindelig belastning. Prøverne på hver mark blev taget fra to 1×1 m kvadranter med cirka 13 meter imellem, hvorved variabiliteten over både længere og kortere afstande kunne findes. De resterende prøver blev taget fra en 1×1 m kvadrant på midten af marken. Af de 10 marker, der ikke havde modtaget spildevandsslam, var de 4 ligeledes CRUCIAL forsøgsmarker, mens de resterende var fra forskellige steder i Jylland. Alle prøver blev behandlet og oprenset på samme måde, ud fra en protokol baseret på Aalborg Universitets erfaringer, og omfattede 7 overordnede trin: Præoxidering, vådsigtning, densitetsseparering, kemisk behandling, Fenton-oxidation, anden densitetsseparering og inddampning. Efter oprensning blev alle prøver analyseret med μ -FTIR-imaging. Mellem 1,9 og 36% af den oprensede prøve blev analyseret i triplikat-scanninger. Mængden af delprøve, der kunne analyseres, afhang af renheden af den oprensede prøve. Softwaret siMPle blev brugt til at kvantificere de forskellige polymerer, hvorved både type, masse og størrelse blev fundet for hver partikel.

De 30 prøver fra markerne behandlet med spildevandsslam udviste stor variabilitet over kortere såvel som længere afstande. Den lavest fundne koncentration var 2392 ± 404 partikler per kg tør jord, mens den højeste var 48792 ± 5580 partikler per kg tør jord. Tages gennemsnittet for alle 10 prøver på hver af de slambehandlede marker, var antallet af mikroplast partikler nogenlunde det samme på tværs af de 3 undersøgte marker. Det er derfor vigtigt, at der tages et relativt stort antal delprøver, der derpå blandes til en repræsentativ prøve. Her kunne der med fordel tages prøver fra hjørnerne og midten af en 1×1 m kvadrant, hvorefter prøverne

blandes og homogeniseres. Derudover er det en fordel at tage prøver fra flere kvadranter forskellige steder på marken.

Sammenlignes de slambehandlede marker med andre landbrugsjorde ses, at de slambehandlede marker var meget rigere i mikroplast. Derudover blev diversiteten af forskellige mikroplast typer mindre ved brug af anden gødning, samt ved mere uberørt jord. I de slambehandlede marker var over 50% af det fundne mikroplast enten polyester eller akryl, med andre polymer typer fundet i mindre mængder. For både de andre landbrugsjorde og Natura 2000 områderne, var det kun de mest almindelige polymertyper, der blev fundet (polyester, PP og PE), med et par få undtagelser. Samtidig var mikroplast fra de slambehandlede marker mindre end dem fra andre landbrugsjorde. For Nature 2000 områderne var det svært at komme med konkrete resultater angående størrelsesfordelingen, da der blev fundet for lidt mikroplast i prøverne. Det er i denne sammenhæng konkluderet, at præcise resultater for både polymerfordelingen og størrelsesfordelingen kræver, at der er fundet mindst 200 plastpartikler i en prøve. Ønskes alene mængden af mikroplast rapporteret under ét, kan man nøjes med færre partikler. Hvor mange afhænger af graden af intern kontaminering under analyse af prøven samt den ønskede sikkerhed på det opnåede resultat.

Der var meget forskel på hvor vanskeligt det var at analysere de enkelte oprensede prøver. Dette skyldes, at der var stor forskel på, hvor vanskelige de enkelte prøver var at oprense, selv med den meget omfattende prøveforberedelse anvendt i undersøgelsen. Specielt prøverne fra Natura 2000 områderne viste sig at være meget svære at oprense. Det er derfor vigtigt at notere, at det ikke altid er overkommeligt kemisk at analysere så stor en delprøve som er ønskeligt, da det ville kræve for mange ressourcer. Et sådant forhold skal altid bemærkes i analyserapporten. Det er dog værd at bemærke, at den valgte prøveforberedelse var fyldestgørende for langt størstedelen af de undersøgte jordprøver. Erfaringerne fra nærværende projekt fører til en anbefaling om, at omkring 200-300 gram homogeniseret jord (tørvægt) skal gennemgå den endelige analyse.

Sammenfattende kan det anbefales at:

- Mindst fem jordprøver á mindst 1 L indenfor det areal, der ønskes analyseret tages og blandes til én prøve. Derudover kan det være en fordel at tage flere sådanne blande-prøver i det område, der ønskes undersøgt.
- 200-300 gram homogeniseret jord i tørvægt bruges til analysen
- Der skal kemisk analyseres delprøver til mindst et af to kriterierne er opfyldt:
 - Der er fundet mindst 200 mikroplast partikler.
 - 20% af ekstraktet er analyseret.

Summary

Sewage sludge contains phosphorus, which is a limited and non-renewable resource. To recycle the phosphorus, the sludge is used as fertilizer on agricultural land, where it also makes a positive contribution as nitrogen fertilizer and soil conditioner. However, the sludge also contains several harmful substances, including microplastics. Studies have shown that the vast majority of the microplastics in wastewater are retained in the sewage treatment plant sludge. When the sludge is used as fertilizer on agricultural fields, the microplastics are transferred to the soil. However, the actual amount and spread of microplastics in fields fertilized with sewage sludge is relatively undocumented.

The purpose of the project is to provide new knowledge about microplastics in sludge-treated fields. The variability of microplastics in agricultural fields was investigated to develop a method for representative soil sampling for microplastic analysis, a method that considers the spatial variation over both short and long distances. The size distribution of microplastics in the samples was used to determine how much sample volume is needed to cover a desired particle size range. In addition to the microplastic concentration, suggestions are given on the following issues:

- How a sample is taken and how large a sample quantity must be taken
- How the sample is treated in the laboratory, both before and during sample preparation
- How a sample is chemically analysed after purification

To assess how much microplastics originates from sewage sludge, a baseline for microplastics was determined from samples taken from agricultural land that has not received sewage sludge, as well as Natura 2000 areas.

A total of 44 samples were analysed, 30 from sludge-treated fields, 10 from other agricultural soils and 4 from Natura 2000 areas. The 30 samples from sludge-treated fields were taken from 3 different experimental fields (CRUCIAL) that have previously received sewage sludge corresponding to approximately 40 years of normal load. The samples in each field were taken from two 1×1 m quadrants with approximately 13 meters between them, whereby the variability over both longer and shorter distances could be found. The remaining samples were taken from a 1×1 m quadrants in the middle of the fields. Of the 10 fields that had not received sewage sludge, 4 were also CRUCIAL trial fields, while the rest were from different locations in Jutland. All samples were treated and purified in the same way, based on a protocol based on Aalborg University's experience, and comprising 7 overall steps: Preoxidation, wet sieving, density separation, chemical treatment, Fenton oxidation, second density separation and evaporation. After purification, all samples were analysed by μ -FTIR imaging. Between 1.9 and 36% of the purified sample was analysed in triplicate scans. The amount of sub-sample that could be analysed depended on the purity of the purified sample. The software siMPle was used to quantify the different polymers, whereby both type, mass and size were found for each particle.

The 30 samples from the fields treated with sewage sludge showed great variability over shorter as well as longer distances. The lowest concentration found was 2392 ± 404 particles per kg dry soil, while the highest was 48792 ± 5580 particles per kg dry soil. If the average is taken for all 10 samples on each of the sludge-treated fields, the number of microplastic particles was roughly the same across the 3 investigated fields. It is therefore important that a relatively large number of subsamples are taken, which are then mixed to form a representative

sample. Here, samples could be advantageously taken from the corners and the centre of a 1×1 m quadrant, after which the samples are mixed and homogenized. In addition, it is an advantage to take samples from several quadrants in different places on the field.

If the sludge-treated fields are compared with other agricultural lands, it is seen that the sludge-treated fields were much richer in microplastics. In addition, the diversity of different microplastic types decreased with the use of other fertilizers, as well as with more pristine soil. In the sludge-treated fields, over 50% of the microplastics found were either polyester or acrylic, with other polymer types found in smaller amounts. For both the other agricultural soils and the Natura 2000 sites, only the most common polymer types were found (polyester, PP and PE), with a few exceptions. At the same time, microplastics from the sludge-treated fields were smaller than those from other agricultural soils. For the Nature 2000 areas, it was difficult to come up with concrete results regarding the size distribution, as too little microplastic was found in the samples. In this context, it has been concluded that accurate results for both the polymer distribution and the size distribution require that at least 200 plastic particles have been found in a sample. If the sole goal is to quantify microplastics as total concentrations, one can settle for fewer particles. How many depends on the degree of internal contamination during analysis of the sample as well as the desired certainty of the result obtained.

There was much difference in how difficult it was to analyse the individual purified samples. This is because there was a large difference in how difficult the individual samples were to purify, even with the very extensive sample preparation used in the study. Especially the samples from the Natura 2000 areas proved to be very difficult to purify. It is therefore important to note that it is not always affordable to chemically analyse as large a sub-sample as is desirable, as it would require too many resources. Such a relationship must always be noted in the analysis report. However, it is worth noting that the chosen sample preparation was adequate for most of the soil samples examined. The experiences from the present project led to a recommendation that around 200-300 grams of homogenized soil (dry weight) should undergo the final analysis.

In summary, it is recommended that:

- At least five soil samples of at least 1 L within the area to be analysed are taken and mixed into one sample. In addition, it may be advantageous to take several such mixed samples in the area to be investigated.
- 200-300 grams of homogenized soil in dry weight is used for the analysis
- Subsamples must be chemically analysed until at least one of the following two criteria is met:
 - At least 200 microplastic particles have been found.
 - 20% of the extract is analysed.

1. Indledning

1.1 Baggrund

Med den nationale plastikhandlingsplan fra december 2018, samt den efterfølgende politiske enighed af 30. januar 2019, har Danmark fået en konsolideret plan for indsatsen inden for plastik. Planen fokuserer på mindre plastik i naturen, smartere produktion og forbrug, mere samarbejde i værdikæden, bedre affaldshåndtering, et styrket vidensgrundlag og langt mere genanvendelse. Handlingsplanen indeholder 27 initiativer, som skal være med til at sikre et Danmark med en mere cirkulær plastikøkonomi.

Initiativ nr. 21 handler om vidensopbygning om mikroplastik i spildevandsslam. Denne vidensopbygning skal ske gennem en kortlægning af mængden og forekomst af mikroplastik i spildevandsslam, samt mikroplastikkens skæbne og effekt på det omgivende miljø. Der har tidligere været kortlægninger på dette område, men disse nye initiativer og analyser skal bidrage med dybere viden om særligt mikroplastiks skæbne og efterfølgende mulige effekter på det terrestriske miljø. Til trods for et stort fokus på mikroplastik i de danske forsknings- og vidensmiljøer er der fortsat et stort behov for mere viden om oprindelse, spredning og mikroplastiks effekt på miljøet, samt udvikling af overvågnings- og målemetoder.

Der findes i dag ikke et samlet overblik over de mængder af mikroplastik, der udledes til miljøet og viden om mikroplastikkens skæbne og effekt på naturen er begrænset. For at Miljøstyrelsen, som myndighed på området, kan fastlægge grænseværdier og gennemføre en egentlig regulering af området, kræver det mere viden. Da særligt mikroplastikkens skæbne og effekt i det terrestriske miljø er forholdsvis udokumenteret og da skæbnen og i særlig grad effekten på flora og fauna er en del af det komplekse økosystem på og omkring landsbrugsjorde, kræver det en særlig grad af overblik og planlægning, at opbygge viden, samt dokumentere og efterprøve fakta.

Miljøstyrelsen fik i december 2019 udarbejdet en rapport af Aalborg Universitet under titlen "Knowledge gaps in microplastics research - wastewater treatment plant sludge and application on farm lands", der danner grundlaget for dette arbejde. Tidligere undersøgelser viser, at mikroplastik i stor udstrækning opfanges i spildevandsanlæggene i Danmark og dermed fanges i spildevandsslammet. Det formodes derfor, at en stor del af den mikroplastik, som ender i det terrestriske miljø i dag, kommer fra spildevandsslam, som udbringes på landbrugsjorden sammen med vigtige næringsstoffer som fosfor og kvælstof. Der er brug for yderligere undersøgelser af omfang, samt hvilken skæbne og effekt mikroplastik har, når den spredes på landbrugsjorden. Derudover skal der generelt etableres mere viden om de sundheds- og miljø-mæssige risici forbundet med mikroplastik. Rapporten fra 2019 angiver blandt andet, at der mangler teknikker til udtagning af prøver, der sikrer statistisk validitet i forhold til rummelig variation og spredning af partikelstørrelser. Derudover mangler der grundlag for at danne baseline for mikroplastik i landbrugsjorde.

1.2 Formål

Projektets overordnede formål er at tilvejebringe ny nødvendig viden vedrørende mængde og analyse af mikroplastik i det danske terrestriske miljø, herunder skæbne i og effekt på det terrestriske miljø. Danmark bruger spildevandsslam som gødning på landbrugsjorde og der er i den forbindelse et stort behov for at opnå viden om det metodiske grundlag for at opnå repræsentativ prøvetagning i det terrestriske miljø, og viden om sammenlignelighed af metoder for

oprensning, analyse og fortolkning af udtagne prøver. Projektet vil både sammenholde prøvetagningsmetoder vedrørende mikroplastik i jordmatrixen, samt belyse analytiske og metodiske problemstillinger vedrørende mikroplastik i jord.

Formålet med projektet er at udarbejde tekniker, metoder og strategier til prøvetagning, der sikrer, at prøver udtaget fra en enkelt lokalitet dækker en rummelig variation over både kortere og længere afstande, samt et repræsentativt udsnit af partikelstørrelsesfordeling på samme lokalitet. Derudover er det formålet med opgaven at udarbejde en baseline for indhold af mikroplastik i danske landbrugsjorde, således, at landbrugsarealer, hvor der tilføres spildevandsslam med mikroplastik kan relateres til et baggrundsniveau.

2. Method

2.1 Projektets struktur

Projektet er opdelt i 3 arbejdspakker der hver munder ud i et kapitel i denne rapport.

Arbejdspakke 1 – Variabilitet af mikroplastik i jord. Udvikling af teknik til korrekt prøvetagning af mikroplastik i jord under hensyn til den rummelige variation over både kortere og længere afstande.

En korrekt prøveudtagning af mikroplastik i jord kræver, at variationen af mikroplastik i jorden er kendt. Rumlig variation skal være kendt over korte afstande (et par meter), såvel som længere afstande (en mark).

Til at afklare disse forhold, udtages der prøver på CRUCIAL marker, der har modtaget slam (CRUCIAL: "Closing the Rural-Urban Nutrient Cycle - Investigations through Agronomic Long-term experiments" ejet af Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Universitet). Herudover tages der prøver fra CRUCIAL marker, der ikke har modtaget slam, fra marker i Danmark, der ikke har modtaget slam og fra Natura 2000 områder.

Arbejdspakke 2 – Variabilitet af mikroplastik i jord. Udvikling af teknik til prøvetagning, der kan sikre, at prøvestørrelsen er tilstrækkelig til at dække alle partikelstørrelser repræsenteret i prøvefeltet.

En korrekt prøveudtagning af mikroplastik i jord kræver, at variationen af mikroplastik i jorden er kendt. Udover, at den rummelige variation skal være kendt, er det også nødvendigt at kende de typiske størrelsesfordelinger for at sikre, at prøvestørrelser er tilstrækkelige til at dække det partikelstørrelsesområde, som er antaget.

Udgangspunktet er her reglen om, at store partikler er forholdsvis mindre rigelige, og derfor kræver større prøvevolumener end mindre partikler.

Til besvarelse af dette spørgsmål benyttes de samme prøver som udtaget og analyseret i arbejdspakke 1.

Arbejdspakke 3 – Baseline for mikroplastik. Fastlæggelse af baseline for det terrestriske miljøes jorde, hvor der tilføres spildevandsslam, og hvortil prøver med mikroplastik kan relateres.

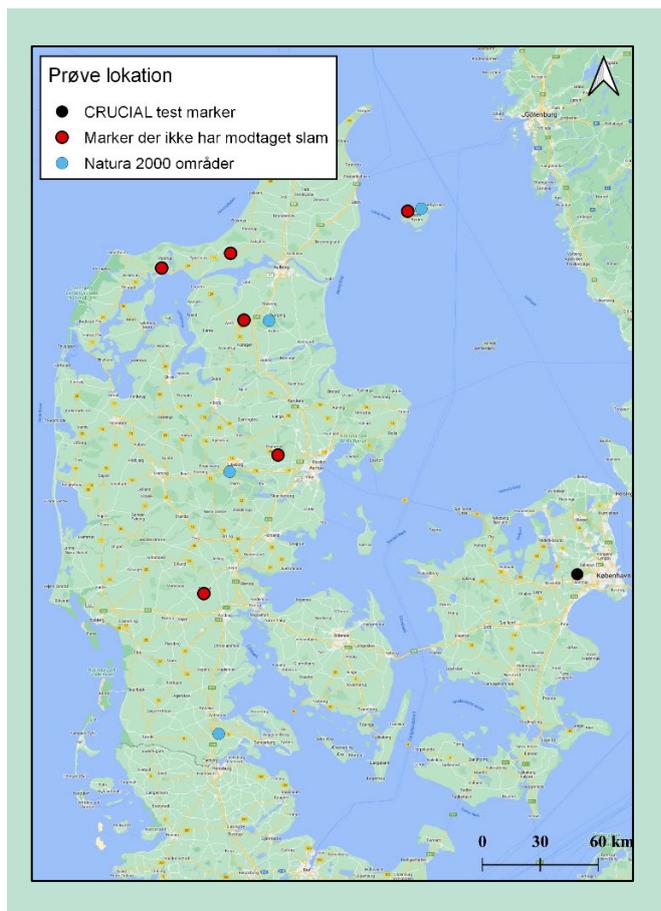
Der skal udarbejdes en baseline på baggrund af kendskabet til baggrundsmikroplastikkoncentrationsniveauer i jord, der ikke har modtaget slam eller andre organiske affaldsprodukter som gødning, hvor der kan have været indhold af mikroplastik.

Der skal således oprettes en baseline for at gøre det muligt at kvantificere generel baggrundskoncentration af mikroplastik på danske jorde, hvortil jord, der har modtaget slam eller andre organiske affaldsprodukter, som gødning kan holdes op imod.

Til besvarelse af dette spørgsmål benyttes prøver udtaget og analyseret i arbejdspakke 1 der stammer fra marker, der ikke har modtaget slam.

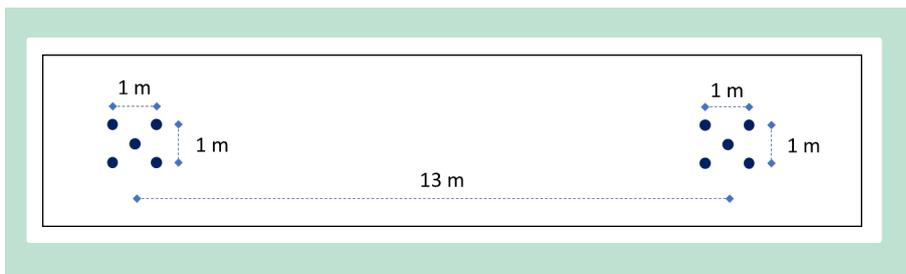
2.2 Prøvetagningslokaliteter

Der er udtaget prøver fra CRUCIAL forsøgsmarkerne på Sjælland såvel som andre danske marker (Figur 1). En oversigt over CRUCIAL forsøgsmarkerne er vist i Figur 3. Prøverne af de slambelastede marker er taget fra B3 Red-N, A10 Red-N og C5 Red-N, mens referenceprøverne er taget fra B2 Red-N og A7 Red-N, der har modtaget kvægmøg som gødning og D3 Red-N og A8 Red-N, der har modtaget NPK som gødning. Markerne B3, A10 og C5 har modtaget slam i perioden 2003-2012. I denne periode har der været udbragt P mængder svarende til estimeret 40 år, der er altså tale om accelererede forsøg. Herefter har udbringningen af slam været stoppet, og siden er der gødet med meget moderate mængder af N og S. Markerne D1, C6 og A9, markeret som "spildevandsslam ACC" på kortet, havde modtaget slam svarende til en acceleration ift. P på 214 år. Grundet den meget høje acceleration af slamdosering, blev disse ikke prøvetaget (López-Rayó et al., 2016).

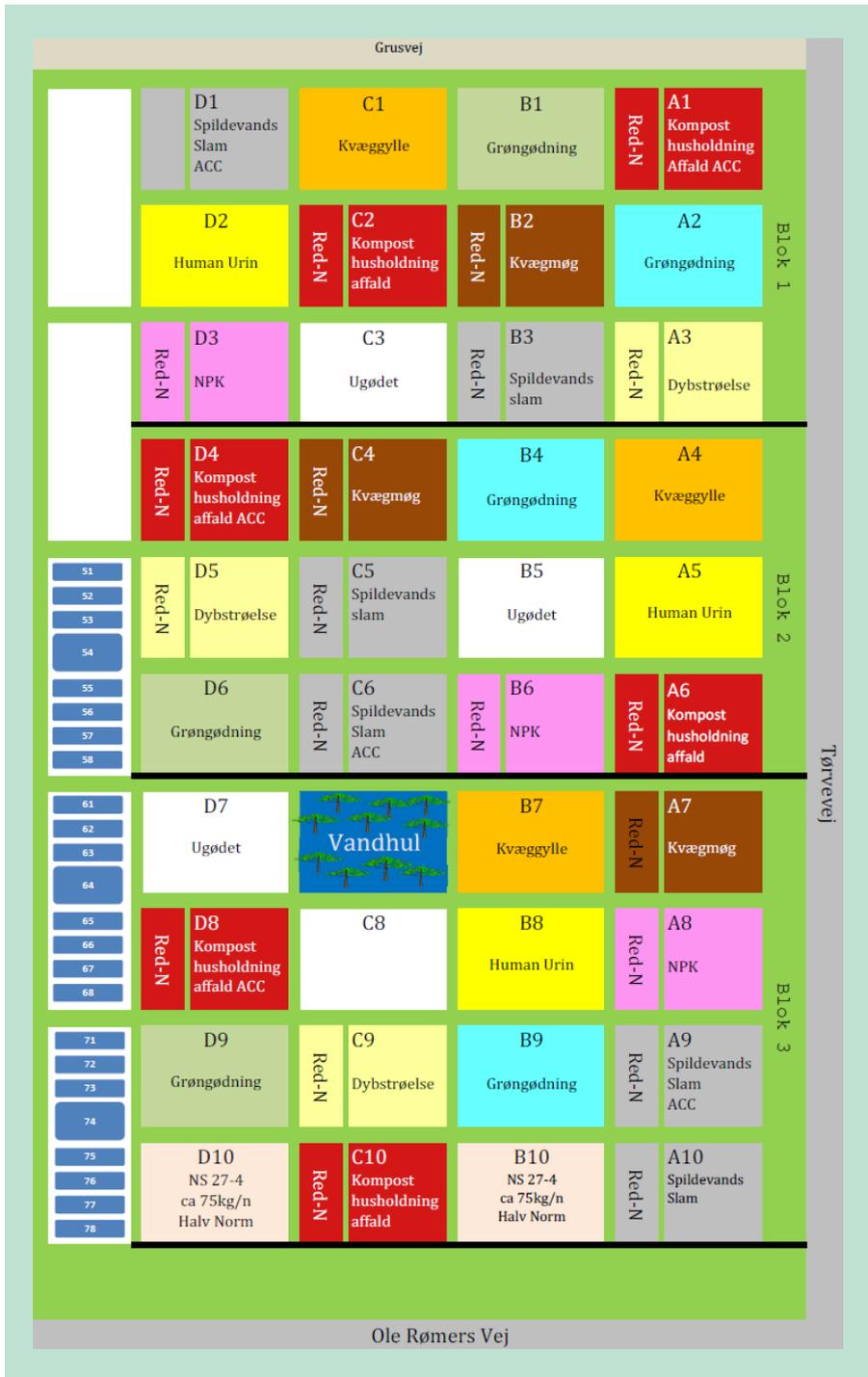


FIGUR 1. Oversigt over de forskellige prøvelokationer i Danmark

Prøverne fra de slambelastede marker (B3 Red-N, A10 Red-N og C5 Red-N) blev taget i hver sin ende af marken med 13 m mellem hvert prøvetagningsfelt. Hvert felt bestod af 5 delprøver udtaget i en kvadrant på 1×1 m (Figur 2), hvilket gav i alt 10 delprøver fra hver af markene B3 Red-N, A10 Red-N og C5 Red-N. For referenceprøverne (B2 Red-N, A7 Red-N, A8 Red-N og D3 Red-N) blev der udtaget 5 delprøver i en kvadrant på midten af marken, disse blev blandet til én prøve og analyseret. Hver delprøve bestod af cirka 1 L jord.



FIGUR 2. Prøvetagning på en CRUCIAL mark. På hver af markerne



FIGUR 3. Oversigt over CRUCIAL forsøgsmarker.

Ud over prøver fra CRUCIAL markerne er der udtaget prøver fra 6 marker og 4 fra Natura 2000 områder forskellige steder i Jylland (Figur 1). Disse er ligeledes udtaget som 5 delprøver á cirka 1 L i et felt på 1×1 m, blandet, og analyseret som én prøve.

Til kvalitetssikring af undersøgelsen har der været taget 3 felt blanke, 3 procedure blanke og 3 genfindingsforsøg, som er analyseret parallelt med jordprøverne.

2.3 Analysemetode

2.3.1 Baggrund

De seneste par år har forskning i kvantificering af mikroplastik ført til markant forbedrede analysemetoder og her i gennem en væsentlig øget troværdighed af de opnåede data. Dette er dels sket ved forbedrede metoder til oprensning af prøven og den efterfølgende kemiske kvantificering af de oprensede partikler, og dels ved en bevidsthed om, at en kvalificeret analyse skal følges af en kvantificering af kontaminering under analyseprocessen, samt en kvantificering af genfindingsraten ved den anvendte metode (Koelmans et al., 2019; Thomas et al., 2020; Prata et al., 2021). En analyse gennemført efter nutidens standard vil derfor, ud over at indeholde selve analyseresultatet, også indeholde en eller anden form for dokumentation og kvantificering af kontaminering under analysen, samt en eller anden form for dokumentation og kvantificering af genfindning for den anvendte analyse. Det er endvidere almindeligt anerkendt, at analyser i videst muligt omfang skal gennemføres under rene forhold for at begrænse kontaminering.

Prøveforberedelse og oprensning af mikroplastikken fra prøven skal endvidere ske på en måde der sikrer, at mængde, masse og størrelse af mikroplastikken ikke ændres. Dette sikres dels ved at bruge en kombination af enzymbehandling, oxidation med brintoverilte, samt at holde temperaturen omkring eller under 50°C (Catarino et al. 2016; Löder et al. 2017). Hvilke enzymer der anvendes, samt hvilken kombination af enzymbehandling og oxidering, afgøres af den konkrete prøve. Således bør der bruges cellulase og protease i de fleste prøver, og for prøver med højt indhold af kitin, bør der bruges kitinase. I mange sammenhænge bruges der endvidere et anionisk tensid i de indledende oprensningstrin, typisk SDS ($\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$).

For jord gør det sig endvidere gældende, at den uorganiske fraktion skal skilles fra. Dette gøres ved densitetsseparation, hvor forskellige salte har været brugt til at skabe en væske af høj densitet, i hvilken lette partikler flyder og svære partikler synker. De lette partikler skimmes derpå af og tages videre til yderlige oprensning. Et af de første salte der blev brugt, er natriumklorid, men det viste sig hurtigt, at opløsninger heraf har alt for lav densitet til at kunne separere plastik i tilstrækkeligt omfang. For at opnå en effektiv densitetsseparation skal man bruge væsker med densiteter omkring 1.6-2.0 g/cm³. I dag bruges primært zinkklorid (ZnCl_2), men også natriumiodid (NaI) samt natriumpolytungstate ($3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) anvendes i nogle sammenhænge. Sidstnævnte salt, i daglig tale kaldet SPT, er markant dyrere end de andre, men til gengæld mere effektiv når det gælder separation. SPT benyttes rutinemæssigt i fx geologi til at separere mineraler, idet det er ugiftigt, har en lav viskositet ved høje koncentrationer, kan justeres fra 1 til 4.2 g/cm³, er miljømæssigt sikkert at håndtere, lugtfrit, samt ikke-korrosivt. Endvidere kan det relativt let oprenses og genbruges. På Aalborg Universitet er der blevet lavet sammenlignende forsøg med disse og andre kemikalier, og SPT har en række fordele primært knyttet til, at viskositeten af SPT er på linje med vand, selv ved høje densiteter. Zinkklorid opløsning, der generelt er den hyppigst anvendte, er mere tyktflydende når man kommer op på densiteter på 1,7-1,8 eller derover. Der er dog også ulemper knyttet til SPT, primært, at det let udkrystalliserer i prøven og i så fald interfererer med analysen. Endvidere har en zinkklorid opløsning den fordel, at den er let sur, og derved opløser kalkforbindelser.

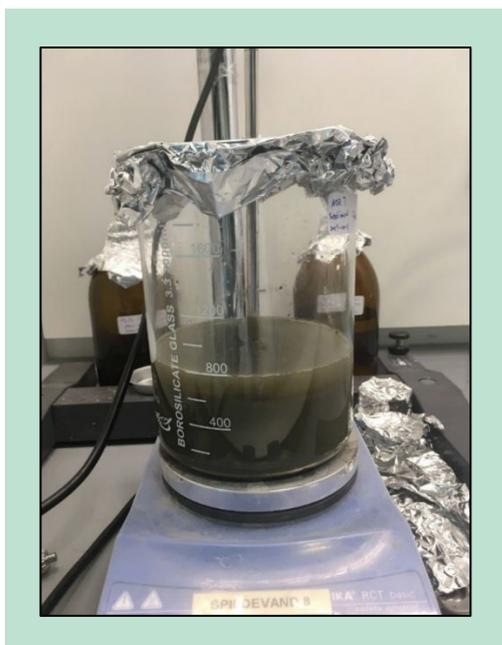
2.3.2 Prøveforberedelse og oprensning

Prøveforberedelsesprotokol er baseret på Aalborg Universitets erfaringer fra lignende prøver (blandt andet Liu et al. 2019b), og udføres som følger:

- a. Den udtagne jordprøve (enten den cirka 1 liter, eller blandingen af de 5 gange cirka 1 L) blandes grundigt.
- b. Vandindholdet i prøverne måles ved brug af et METTLER TOLEDO HE73 moisture Analyzer, herefter afvejes en mængde jord, således at en tørvægt på ca. 285 gram opnås. De konkrete tal er givet i Bilag 1.
- c. Den afmålte jord præoxideres ved gentagne gange at tilsætte mindre mængder af 50% H₂O₂ til en våd prøve (Figur 4). Præoxideringen betragtes som afsluttet, når der ikke sker nogen væsentlig reaktion ved tilsætning af yderligere H₂O₂, dog senest efter 7 dage.
- d. Det præoxideret sediment vådsigtets på først en 1 mm sigte ved brug af Milli-Q vand (filtreret på 1,2 µm GF filter) til at vaske prøven gennem filteret. Partikler på de to sigter samles og analyseres efterfølgende på ATR-FTIR (afsnit 2.5).
- e. Først filtreres størstedelen af vandet fra prøven med partikler på 10-1000 µm, hvorefter det resterende vand inddampes i en inkubationsovn ved 50°C. For at undgå at jorden klitrer sammen, bliver prøven ikke tørret fuldstændigt, men kun til den er let fugtig.
- f. Herpå overføres jorden til en separationstragt (Figur 5). Tragten fyldes delvist op med 2 L ZnCl₂-opløsning på 1,80 g/cm³, hvorpå tragten beluftes nedefra med tør, filtreret luft i 30 minutter. Tragten henstår derpå til sedimentation natten over.
- g. Det bundfældede materiale tappes af, og opsamles så det kan undergå en yderligere separation.
- h. Partikler der flyder på eller lige under overfladen (indtil cirka 3 cm under overfladen) opsamles for videre analyse. Partikler der sidder på tragtenes glasvæg vaskes omhyggeligt ned og medtages i den videre analyse.
- i. Jorden aftappet fra første separation påfyldes igen separationstragten, ZnCl₂ fyldes på, beluftes i 30 minutter, og henstår natten over.
- j. Partikler der flyder på eller lige under overfladen ved den anden separation opsamles og kombineres med flotatet fra første separation.
- k. Den aftappede væske filtreres på et 10 µm stålfiler (Figur 6), og filteret vaskes ren for overskydende ZnCl₂.
- l. Materialet på filteret tages af ved en kort sonikering og efterfølgende rensning, hvorpå prøven inkuberes i en 5% SDS-opløsning ved 50°C i 48 timer.
- m. Væsken filtreres igen og partiklerne overføres til 250 mL tris-buffer med 0,5 mL protease ved pH 8,2 og 50°C i 48 timer.
- n. Væsken filtreres igen og partiklerne overføres til 250 mL acetat-buffer med 0,5 mL cellulase og viscozyme ved pH 4,8 og inkuberes ved 50°C i 48 timer.
- o. Væsken filtreres igen og partiklerne overføres til 200 mL vand. For at fjerne yderligere organisk stof filtreres prøven igen, og prøven oxideres ved en Fenton proces (jernsulfat katalyseret H₂O₂ oxidation) (Figur 7) som følger: 145 mL 50% H₂O₂, 62 mL 0,1 M FeSO₄ og 65 mL af 0,1 M NaOH. Temperaturen holdes på 15-30°C og oxidationen forløber over 24 timer.
- p. Før denne sidste flotering bliver flotatet filtreret på et 500 µm filter og de store partikler gemmes for senere analyse på ATR-FTIR.
- q. For at fjerne rester af ler og silt fra prøven, gennemførtes endnu en flotering, men denne gang i en 150 mL separationstragt (Figur 8). Også denne beluftes i 30 minutter, prøven henstår over nat, og flotatet tages fra til videre analyse.
- r. Flotatet bliver igen filtreret på et 10 µm filter, og materialet overført til 50% HPLC grade ethanol. Prøven inddampes og præcis 5 mL 50% HPLC grade ethanol tilsættes, hvorefter prøven gemmes til efterfølgende analyse på µ-FTIR (10-500 µm) (afsnit 2.6). Figur 9 viser koncentratet fra tre sådanne prøver.
- s. Store partikler tørres i ovn ved 50°C før analyse på ATR-FTIR.

De tre procedure blanke blev behandlet med samme procedure som beskrevet ovenover, men i stedet for jord blev ca. 280 g udglødet sand brugt. For genfindingsforsøget blev PS kugler med diameter på henholdsvis 52 og 106 μm talt ved brug af FlowCam (FlowCam 8400, colour camera, 488 nm laser) og tilsat de ca. 280 g udglødet sand. Prøverne blev behandlet med samme procedure som beskrevet ovenover.

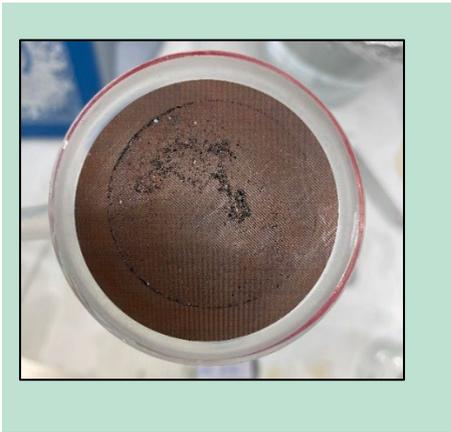
Som det ses af Figur 9 er der stor forskel på hvor 'rene' prøverne bliver efter oprensningen. Dette afspejler, at nogle af prøverne kan være meget rige på organisk stof og ler, der er vanskeligt at få helt ud af prøven. Der fører til, at der er ganske stor forskel på hvor vanskelige forskellige prøver er at oprense.



FIGUR 4. Præoxidering af en sedimentprøve med 50% H_2O_2



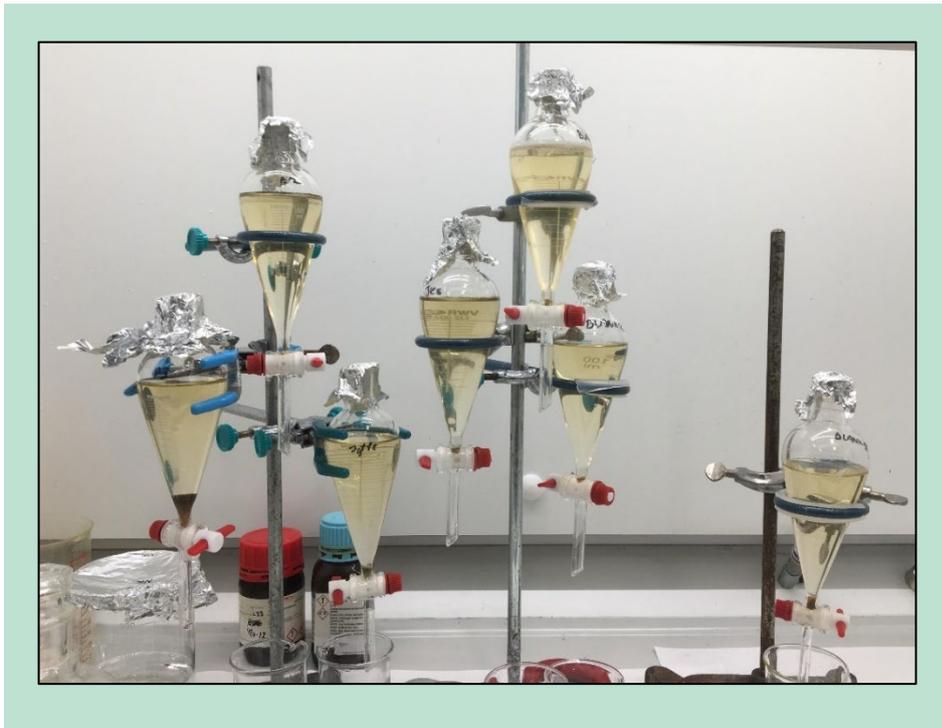
FIGUR 5. Separation af sediment i 2 liters separationstragte. ZnCl_2 som separationsvæske. Tragtene til venstre viser jord, hvor det er svært at separere fine uorganiske partikler fra, mens tragtene til højre viser jord der separerer fint.



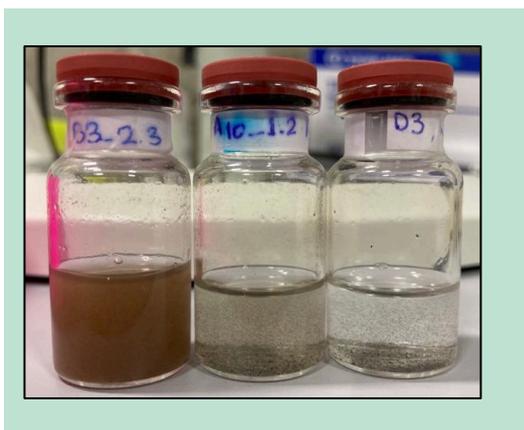
FIGUR 6. Materiale på et Ø47 stålfilter med 10 µm porestørrelse



FIGUR 7. Fenton oxidation.



FIGUR 8. Anden separation i 150 ml separationstragte. ZnCl₂ som separationsvæske



FIGUR 9. Partikelkoncentrat klar til scanning

2.4 Tiltag for at undgå kontaminering

Prøverne behandles i videst muligt omfang under ren-rumslignende forhold. Rum hvori der analyseres for mikroplastik er udstyret med luftrensning (Dustbox® Hochleistungsluftreiner, Tyskland, med et HEPA-filter (H14, 7,5 m²)). De mere følsomme dele af prøveforberedelsen foregår i et støvfrit laminar flow skab (Figur 10). Påklædning består af bomuld (laboratoriekitter, T-shirts, bukser). Al materiale, der bruges i analysen, består af metal, glas eller polymerer, der ikke indgår i analysen (teflon, idet teflon har en densitet på 2,2 g/cm³ og derfor alligevel ikke kan separeres ud fra de uorganiske partikler).

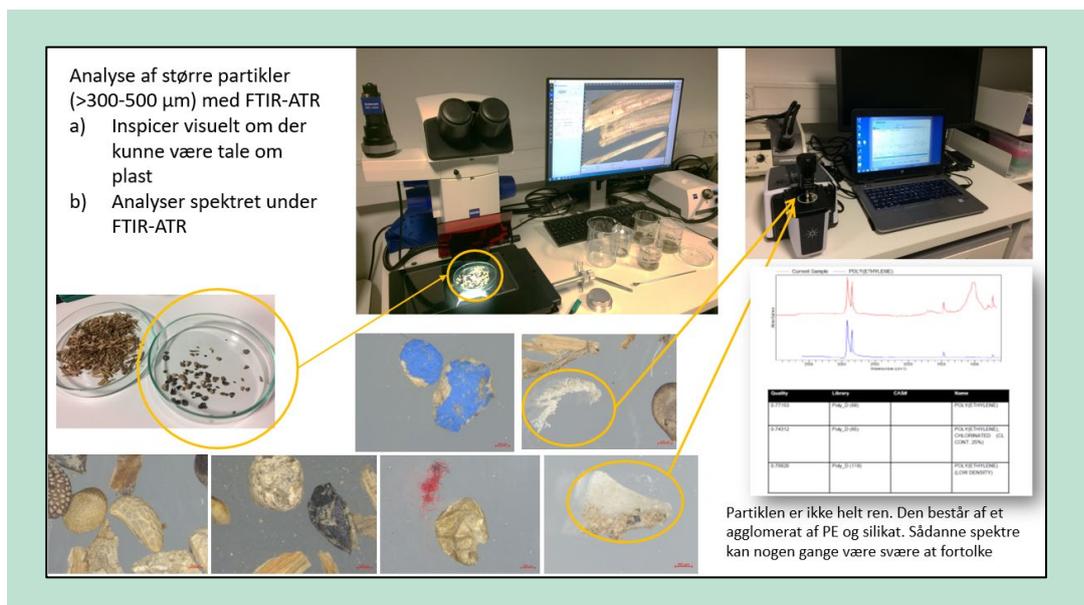


FIGUR 10. Laminar flow skab med luftrensning til at sikre renrumsforhold under mikroplastik analyse

2.5 Kemisk analyse af mikroplastik 500-5000 μm

Partikler over 500 μm analyseres manuelt partikel for partikel efter følgende fremgangsmåde:

- a. Alle partikler, der måske kan være af plastik, sorteres ud.
- b. Der tages et billede under stereomikroskop med størrelsesskala for at kunne bestemme partiklens størrelse.
- c. Partiklens kemiske sammensætning analyseres på FTIR-ATR (Cary 630, Agilent). Fremgangsmåden er illustreret i Figur 11.
- d. Hvis der er tale om en plastik partikel, bruges dimensionen til at estimere partiklens masse, på samme vis som for de mindre partikler.
- e. Partikler, der ikke kan analyseres med Cary 630 FTIR-ATR, idet de er for små i den mindste dimension (fx fibre), samles og analyseres efterfølgende som beskrevet under "Kemisk analyse af mikroplastik 10–500 μm ".
- f. Ud fra mikroskopbilledet, FTIR-analysen, samt vægten registreres følgende: Hver enkelt partikels størrelse (maksimal og minimal Feret diameter (dvs. længde og bredde)), polymertype, samt partiklens masse.

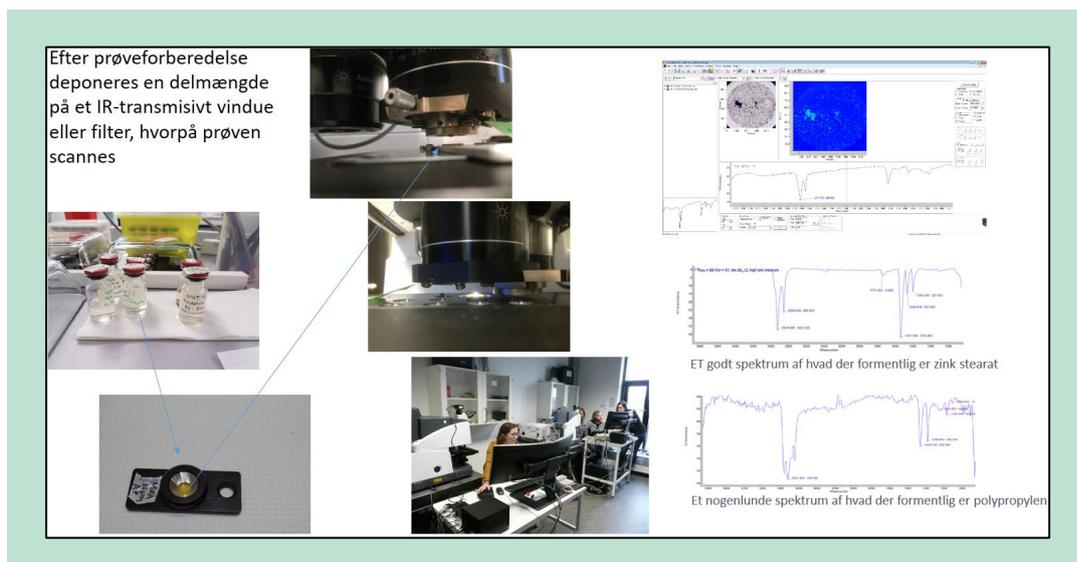


FIGUR 11. FTIR-ATR-analyse af partikler >500 μm

2.6 Kemisk analyse af mikroplastik 10-500 μm

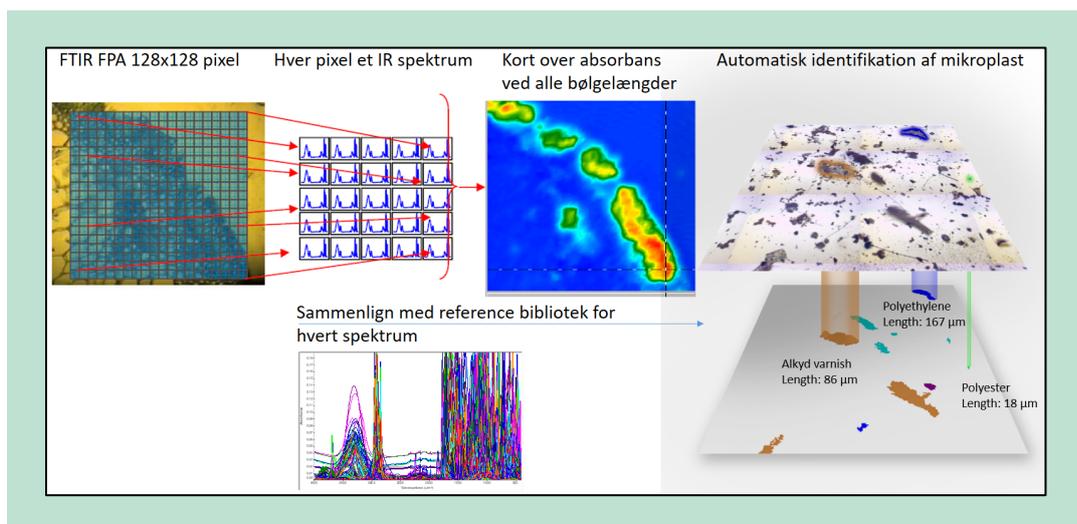
Arbejdsgangen for partikler mellem 10 og 500 μm er en del mere krævende og teknisk avanceret end for de større partikler. Arbejdsgangen er som følger:

- Prøven koncentreret i 5 mL 50% ethanol (Figur 9) homogeniseres ved forsigtig omrystning og en delprøve (50 eller 100 μL) deponeres på et IR transparent zink-selenid vindue. Vinduet sættes til tørring og inspiceres under stereomikroskop for at vurdere, hvor meget partiklerne fylder på vinduet. Hvis der er plads til flere partikler (set i forhold til den efterfølgende scanning, punkt b), gentages proceduren til vinduet er passende dækket med partikler. For at undgå kontaminering sker disse trin i en laminar flowbænk med indbygget HEPA støvfilter.
- Vinduet placeres på en μ -FTIR-imaging maskine (AAU har 2 styk Agilent 620/670 med 128 pixel FPA, hvilket er den hurtigste og mest nøjagtige maskine af denne type, der findes på markedet). Prøven på vinduet dækker arealet svarende til en cirkel på 10 mm, og scannes ved en pixel-opløsning på 5,5 μm . Proceduren er illustreret i Figur 12. Først scannes hele overfladen (10 \times 10 mm) med 5,5 μm pixel opløsning. Rent teknisk sker dette i felter af 128 \times 128 pixels (der bliver altså optaget 16384 IR spektre ad gangen). Disse felter sættes sammen til en mosaik dækkende hele arealet, altså totalt cirka 3,2 millioner spektre per scan.
- Data fra scanningen overføres til siMPle (tidligere kaldet MPhunter), der er et software udviklet på AAU i samarbejde med Alfred Wegener Institut i Tyskland (Helgoland). Programmet er freeware, inklusive alle nødvendige databaser. Det kan downloades på www.simple-plastics.eu og er i dag de-facto standarden for hvordan man analyserer mikroplastik med μ -FTIR samt μ -Raman-imaging (billedanalyse). Princippet er kort vist i Figur 12. Datamængden fra scanningen analyseres med siMPle ved at hvert spektrum sammenlignes med et referencebibliotek indeholdende de relevante plastikmaterialer samt naturlige materialer, der kan forveksles med plastik. For hver pixel opnås der herved en værdi for, hvor godt pixel-spektret korrelerer med hvert spektrum fra reference-biblioteket. Ud fra denne information konstrueres partiklen derpå. Detaljer herom kan findes i Liu et al. (2019a) samt på siMPle hjemmesiden.



FIGUR 12. Scanning for partikler <500 µm.

Valg af referencebibliotek er afgørende for en sikker bestemmelse af mikroplastik ved brug af såvel manuelle som automatiserede metoder. For de marine sedimenter benyttes et bibliotek, der blandt andet indeholder en lang række antifouling malinger, idet hidtidige undersøgelser tyder på, at maling fra skibe udgør en større andel af mikroplastik ved visse lokaliteter.



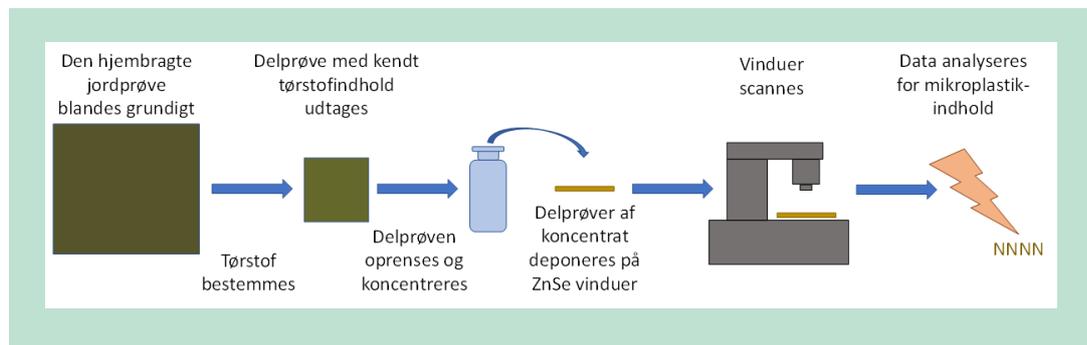
FIGUR 13. Princippet for fortolkning af µ-FTIR-imaging data

Analysen for mikroplastik <500 µm giver følgende informationer for hver enkelt partikel der identificeres:

- Polymertypen som partiklen består af (spektrene i databasen grupperes i hovedgrupper fx PE, PP, PVC, osv.).
- Størrelsen (maksimal Feret diameter).
- Bredden (dels som ækvivalent brede under antagelse af, at partiklen har en elliptisk form, og dels som minimal Feret diameter).
- Arealet som mikroplastik partiklen dækker.
- Et estimat af dens volumen (under antagelse af, at partikelykkelsen er en faktor gange den ækvivalente brede)
- Et estimat af massen ud fra partiklens volumen og densiteten af den bestemte polymer type.

- Partiklens form angivet som forholdet mellem dens længde og bredde.

En samlet oversigt over arbejdsgangen fra en prøve er bragt hjem og til data er frembragt er skematisk illustreret i Figur 14.



FIGUR 14. Oversigt over prøvebearbejdning og delprøvetagning

2.7 Kvalitetskontrol, falske positive

Falske positive har gennem tiderne været et stort problem i mikroplastik analyse, idet en meget stor del af de tidligere gennemførte undersøgelser ikke har været i stand til at skelne mellem egen-kontaminering af prøven og de faktiske plastikpartikler i prøven. I dag er der ved at være konsensus om, at en mikroplastik analyse skal følges af en kvalitetskontrol for egen-kontaminering.

Denne kvalitetskontrol gennemføres ved at analysere blanke prøver efter samme metode som jordprøverne. Blankprøven gennemgår den samme prøveforberedelse som jordprøverne, og prøverne scannes som beskrevet i afsnit 2.6. Mængden af plastik, der findes i de blanke prøver, betragtes som egen-kontaminering og dermed niveauet af falske positive i analysen.

2.8 Kvalitetskontrol, falske negative

På samme vis som falske positive, har de falske negative kun været vurderet i relativt få undersøgelser, og kun i den senere tid. Med andre ord, det har ofte ikke været vurderet, hvorvidt den anvendte ekstraktionsmetode faktisk er i stand til at trække en rimelig andel af plastikken ud af den analyserede matrix. I dag er der ved at være konsensus om, at en mikroplastik analyse bør følges af en kvalitetskontrol for genfinding, for herved at kunne vurdere omfanget af falske negative. Genfindingsforsøg for mikroplastik er dog ganske komplicerede, idet plastik består af mange materialer, partikelstørrelser, og forme. Indtil videre er der derfor kun meget få studier, der har forsøgt sig med genfinding, og ingen studier, der har præsteret en overbevisende vurdering af genfinding i en naturlig prøve.

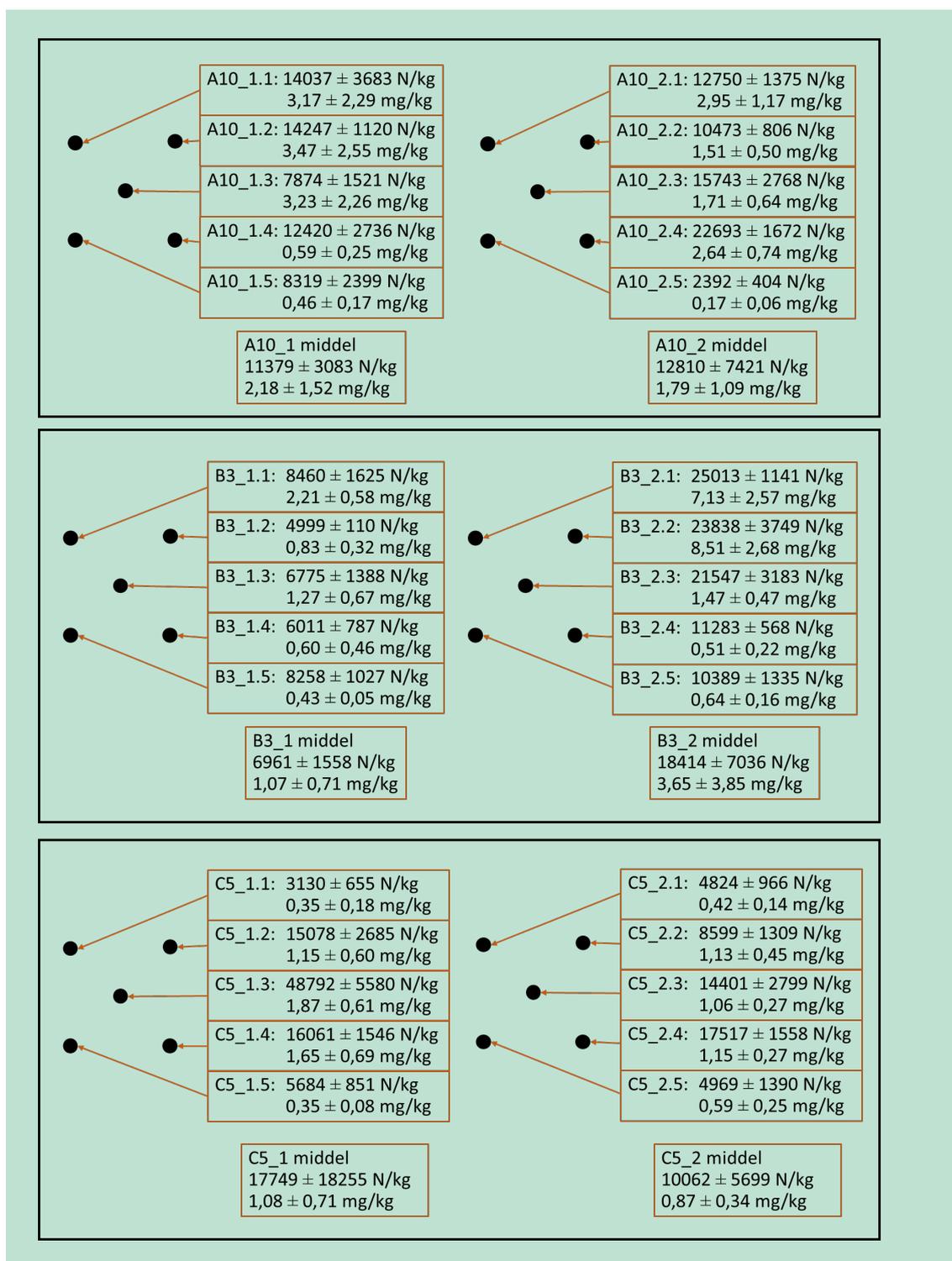
I nærværende undersøgelse blev genfinding vurderet ved at tilsætte PS kugler med diameter på henholdsvis 52 og 106 μm til udglødet sand, hvorefter prøven blev analyseret (afsnit 2.3.2).

3. Resultater

I alt 44 prøver blev analyseret (Bilag 1 – Tabel 1). Der blev taget omkring 285 g jord (tørvægt) i arbejde til hver prøveoprensning. For hver prøve blev der gennemført tre scanninger med μ -FTIR-maskinen (afsnit 2.6), som derpå blev databehandlet for at identificere mikroplastik. Mængden, der kan deponeres på et vindue, er styret af hvor mange partikler, der er i koncentratet, altså hvor meget andet end mikroplastik, der var i koncentratet. Selv med den grundige prøveoprensning anvendt i dette projekt, vil der altid være en vis mængde uønskede partikler i prøven, hvilket varierede fra prøve til prøve (Figur 9). De deponerede og derpå scannede delprøver udgjorde mellem ca. 1,9 og 36% af de oprensede koncentrat.

3.1 Variabilitet af mikroplastik i jord. Udvikling af teknik til korrekt prøvetagning af mikroplastik i jord under hensyn til den rummelige variation over både kortere og længere afstande.

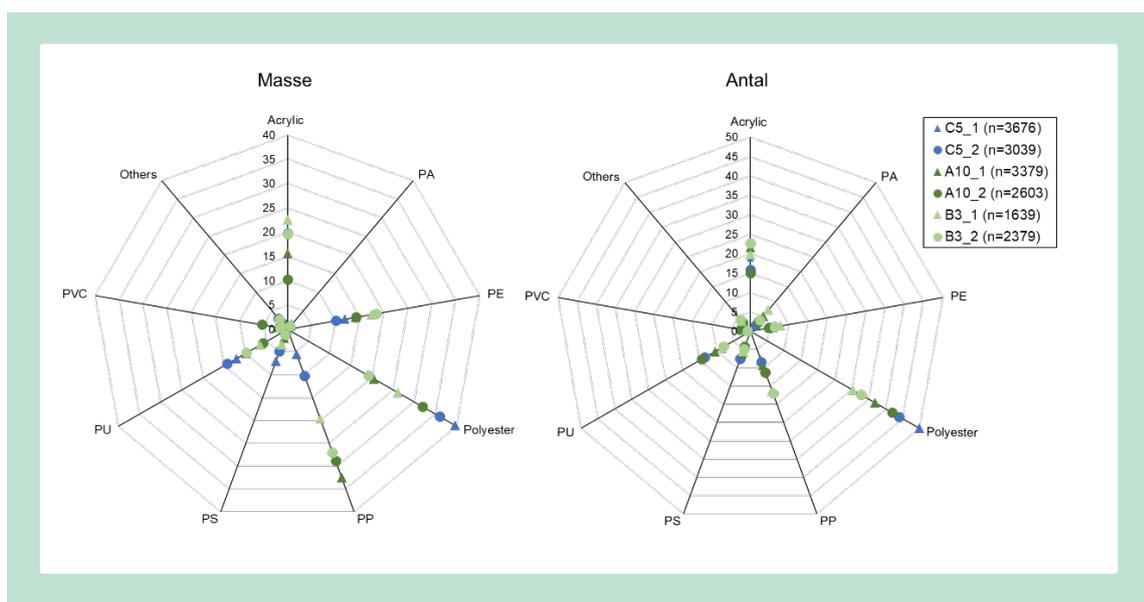
Undersøgelsen af den rumlige variation baserer sig på 30 prøver fra CRUCIAL markerne (B3, A10 og C5), der har modtaget spildevandsslam. Prøverne er taget i 2 felter per mark, altså 6 felter med 5 prøver per felt (Figur 15). De angivne standardafvigelser er beregnet på baggrund af de tre scanninger, der er lavet per prøve. Der er en del forskel på variationen mellem hvert sæt af de fem delprøver, samt for de individuelle scanninger for prøverne. For B3_2 varierede resultaterne for massen mellem 0,51 og 8,51 mg/kg med en middelværdi på $3,65 \pm 3,85$ mg/kg, hvilket svare til en standardafvigelse på 105% omkring middelværdien. For de resterende prøver ligger standardafvigelse for middel noget lavere med værdier mellem 39 og 65%, hvor C5 har både den lavest og den højeste, når man ser bort fra B3_2. Sammenlignes middelværdien for massen mellem de to udtagningssteder, er der cirka en faktor 1,2 forskel mellem A10_1 og A10_2, samt mellem C5_1 og C5_2, hvorimod der ses en faktor 4,3 forskel mellem B3_1 og B3_2. For middel antal var variationerne en factor 0,9, 2,6 og 1,8, for henholdsvis A10_1 og A10_2, B3_1 og B3_2 og C5_1 og C5_2. Sammenlignes de 3 marker (A10, B3 og C5) fås en middelværdi på $1,74 \pm 1,08$ for massen og 12866 ± 4450 for antallet, hvilket svare til en standardafvigelse omkring middel på henholdsvis 62 og 35%. Alt i alt er variationen indenfor de tre marker (A10, B3 og C5) af samme størrelsesorden som variationen mellem de tre marker.



FIGUR 15. Total mikroplastik koncentration i prøver taget på CRUCIAL marker der har modtaget slam. Sorte cirkler indikerer prøver analyseret. Standardafvigelsen er beregnet på baggrund af de tre scanninger der er lavet for hver prøve. Enheden N/kg står for antal mikroplast per kg, mens mg/kg angiver den tilsvarende massekoncentration af mikroplast i prøven

Ser man på polymerfordelingen (Figur 16) ses, at for alle tre marker er over 50% af de fundne polymer typer enten akryl eller polyester. Den største spredning for antal ses ved polyester, hvor C5 har mere polyester end A10 og B3. For masse kan den største spredning observeres ved PP, hvor der er fundet markant mindre PP i mark C5 sammenlignet med A10 og B3. Generelt er den procentvise fordeling af polymertyper, både når der ses på masse og antal, mere

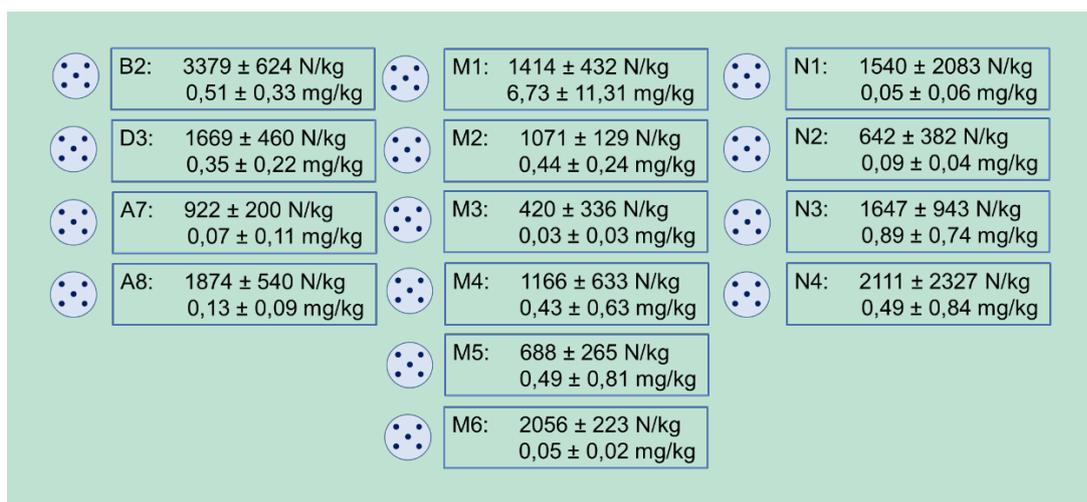
eller mindre det samme, dog med et par enkelte afvigere. Det samme gør sig gældende hvis man sammenligner de tre marker indbyrdes (Bilag 2).



FIGUR 16. Polymerfordeling i prøver taget på CRUCIAL marker der har modtaget slam for både masse og antal. Kun de ofte observerede polymertyper er vist. Resten er samlet i gruppen 'Other'. n angiver antallet af partikler som procenterne er beregnet ud fra.

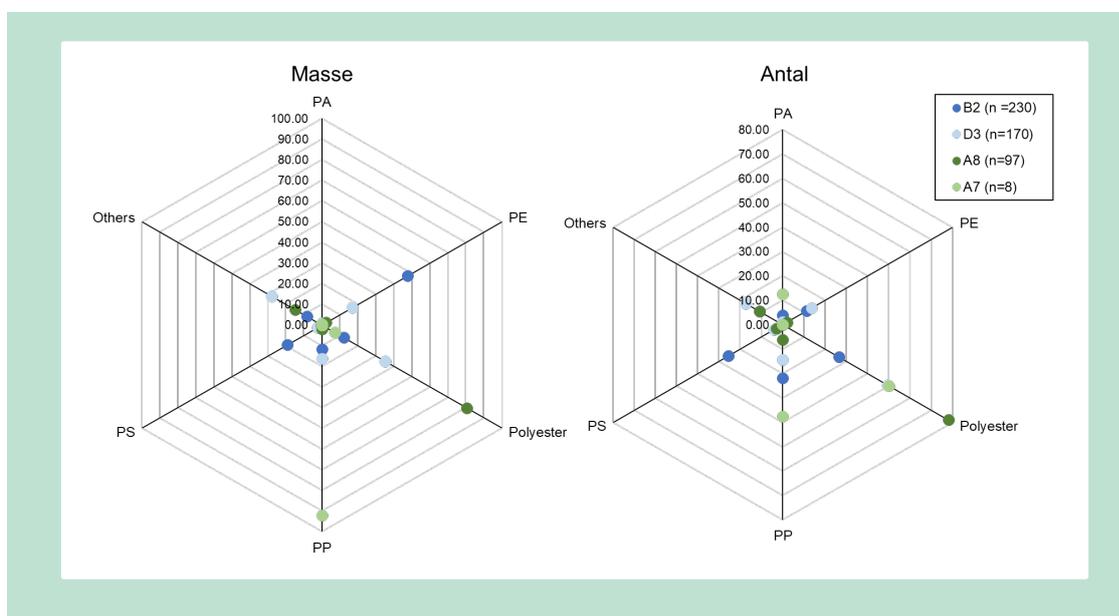
I tillæg til de 30 prøver fra de tre marker, der har modtaget slam, blev der taget blandeprøver på fire CRUCIAL marker, der ikke havde modtaget slam (B2, D3, A7 og A8), samt seks andre danske landbrugsmarker (M1, M2, M3, M4, M5 og M6) og fire prøver fra Natura 2000 områder (N1, N2, N3 og N4). Indholdet af mikroplastik i sidstnævnte 14 prøver var lavere end i markerne der havde modtaget slam (Figur 17). Niveaueet i de 14 prøver er ganske sammenligneligt på trods af at prøverne blev udtaget forskellige steder i landet og det samme gør sig gældende for variation mellem de tre scanninger. Det er dog vigtigt at bemærke at for M3, M6 og alle prøverne fra Natura 2000 områderne, at der kun scannet ganske få procenter af det samlede prøvevolumen. Denne ekstrapolering gør, at disse prøver er behæftet med en større usikkerhed end prøverne fra markerne, der havde modtaget slam.

Polymersammensætningen i de 14 marker, der ikke havde modtaget slam, var fattigere end dem, der havde modtaget slam, hvor de 4 CRUCIAL marker dog havde en lidt mere varieret sammensætning end de seks andre danske marker. Der er også større variation indbyrdes i de forskellige marker, specielt når der kigges på markerne, der ikke har modtaget slam fra CRUCIAL markerne. Her er der for eksempel stor forskel på, hvor den største procentdel af massen kommer fra, hvor det på A7 var PP, på A8 var polyester og på B2 var PE (Figur 18). For antallet var fordeling mere lige mellem de fire marker.

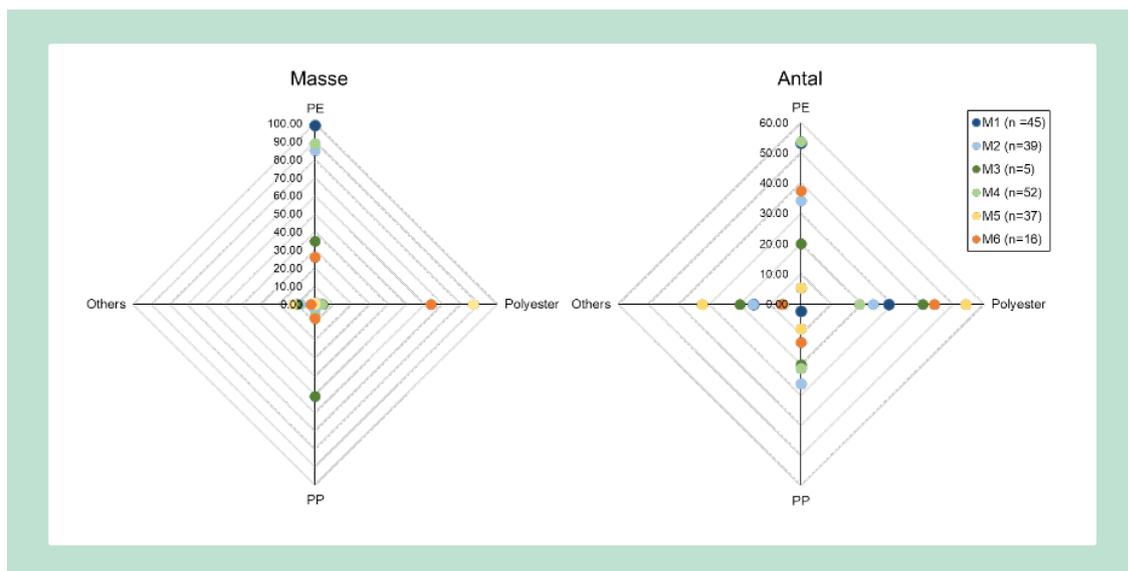


FIGUR 1712. Total mikroplastik koncentration i prøver taget på 4 CRUCIAL marker der ikke har modtaget slam, de seks andre danske landbrugsmarker, samt de fire prøver fra Natura 2000 områder. Fem delprøver udtaget som vist i Figur 2 blev samlet til én blandeprøve og analyseret. Standardafvigelsen er beregnet på baggrund af de tre scanninger, der er lavet for hver prøve.

Polymersammensætningen for de seks marker der ikke var behandlet med slam fra forskellige steder i Danmark, var fattigere end prøverne taget på CRUCIAL markerne. Det er også hver at bemærke at der er stor spredning i sammensætningen for de forskellige marker (Figur 19), hvilket kan skyldes forskellig behandling af de respektive marker. En general tendens er dog, at der er observeret langt mere PE i disse marker, sammenlignet med prøverne fra CRUCIAL markerne.

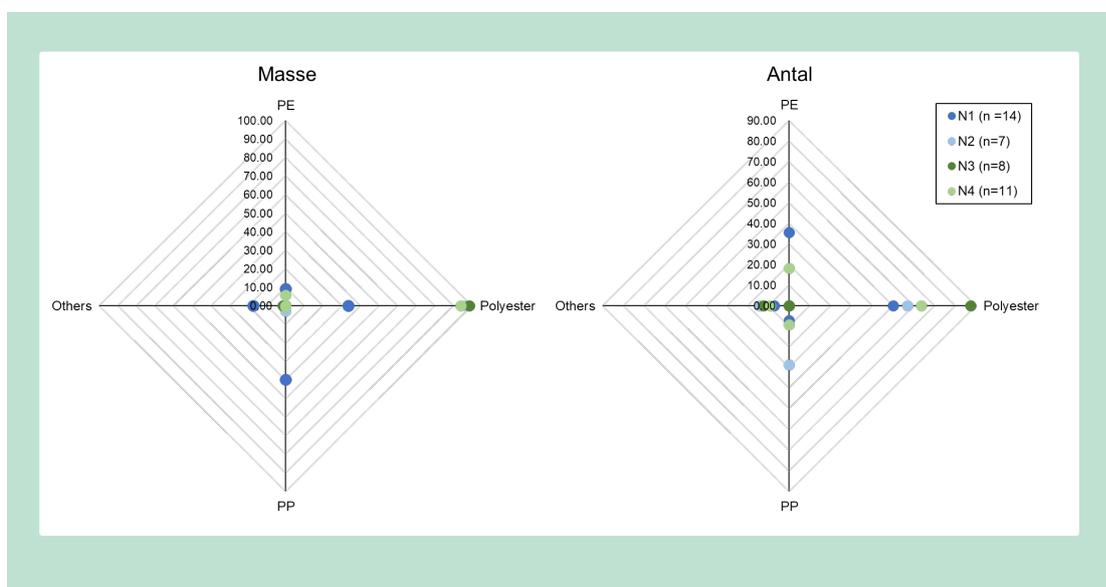


FIGUR 138. Polymerfordeling i blandeprøver taget på CRUCIAL marker, der ikke har modtaget slam. Kun de ofte observerede polymertyper er vist. Resten er samlet i gruppen 'Other'. n angiver antallet af partikler som procenterne er beregnet ud fra.



FIGUR 1914. Polymerfordeling i blandeprøver taget fra seks danske markere, der ikke har modtaget slam. Kun de ofte observerede polymertyper er vist. Resten er samlet i gruppen 'Other'. n angiver antallet af partikler som procenterne er beregnet ud fra.

For prøverne taget fra Natura 2000 områder, var den primære polymertype for både masse og antal polyester (Figur 20) og derved endnu mere fattig i sammensætningen end de resterende prøver. Kigges der på antallet af partikler som procent beregninger er lavet ud fra, er dette meget lille, hvilket også betyder, at der er en vis usikkerhed associeret med disse beregninger, da tallene er baseret på ret få partikler.



FIGUR 20. Polymerfordeling i blandeprøver taget fra fire Natura 2000 områder. Kun de ofte observerede polymertyper er vist. Resten er samlet i gruppen 'Other'. n angiver antallet af partikler som procenterne er beregnet ud fra.

Den foreløbige konklusion på variationen på markerne, der har modtaget slam, synes derfor at være, at mens der er nogen variation mellem prøverne taget på de forskellige lokationer, så er der tale om tilfældig (stokastisk) variation, hvor variationen mellem prøvetagningspunkterne er af samme størrelsesorden som variationerne over lidt længere afstand. Det er endvidere muligt at se en forskel på markerne, der havde modtaget slam, og dem der ikke havde. Dels ved

at der var lidt højere koncentrationer i de første, og dels ved at sammensætningen af polymer-typer var mere varieret. Specielt for prøverne fra Natura 2000 områderne er kun en relativt lille mængde scannet af det totale volumen. Denne ekstrapolering betyder, at der er en større usikkerhed på disse prøver, end på prøver fra marker der har modtaget slam.

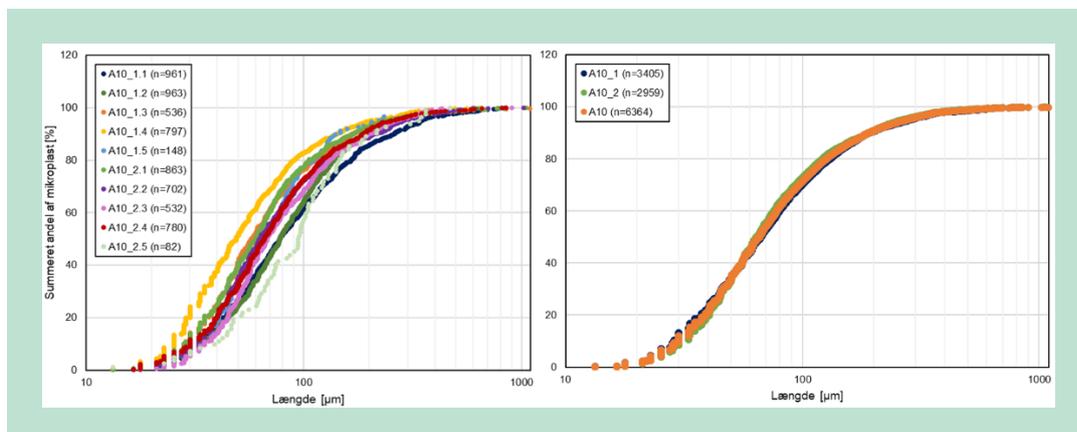
3.2 Variabilitet af mikroplastik i jord. Udvikling af teknik til prøvetagning, der kan sikre, at prøvestørrelsen er tilstrækkelig til at dække alle partikelstørrelser repræsenteret i prøvefeltet.

Mængden af jord der prøvetages, og som efterfølgende inddrages i analysen, skal være tilstrækkelig til at kunne konkludere på koncentrationen af mikroplastik partikler. Før dette udsagn kan blive operationelt, skal det nuanceres yderligere, idet antallet af "store" stykker mikroplastik er mindre end antallet af "små" stykker mikroplastik. Hvis man således har et ønske om at kunne kvantificere mikroplastik i fx intervallet 1–5 mm, skal der tages og analyseres mere volumen, end hvis ønsket er at kvantificere fx i intervallet 10–100 µm.

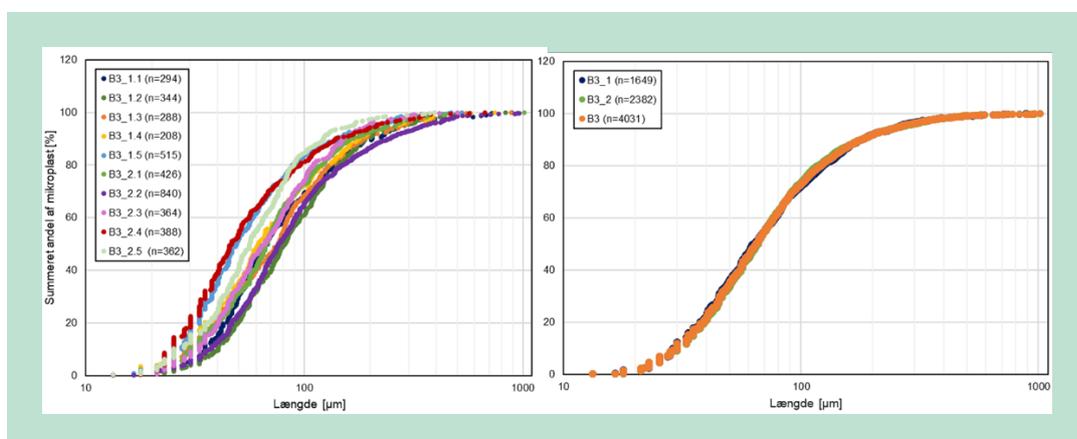
Oven i denne principielle problemstilling kommer det praktiske forhold, at man typisk kun analyserer en delprøve af, hvad der er udtaget. En sådan "delprøvetagning" sker enten før oprensningen af jorden påbegyndes, undervejs under oprensningen, eller efter den er afsluttet. Man kan vælge at udtage en større jordprøve, og derpå hjemme i laboratoriet homogenisere den, for så at udtage en mindre delprøve, på hvilken man gennemfører prøveoprensningen og efterfølgende den kemiske analyse af hele prøve. Man opnår herved en mindre og lettere håndterbar delprøve, som man håber repræsenterer den store oprindelige prøve. Hvor godt dette i praksis fungerer er svært at sige, idet det er notorisk vanskeligt at homogenisere jordprøver. Det er endvidere muligt at neddele sin prøve undervejs i oprensningsforløbet, fx efter præoxidationen. Den anden vej er at oprense hele den oprindelige prøve, for derpå at udtage en delprøve af koncentratet fra oprensningen. Dette er mere omstændigt, men giver en mere homogen delprøvetagning, idet man nu står med en nemmere matrix at udtage sin delprøve fra. Med andre ord, man kan forvente at opnå en mere repræsentativ delprøvetagning ved sidstnævnte end førstnævnte. Samtidigt tillader denne tilgang, at man, om nødvendigt, kan gennemføre kemisk analyse på hele prøven ved gentagne analyser af delprøver. En ulempe er dog, at det er teknisk vanskeligere at oprense en stor prøve til samme kvalitet som en lille prøve, og man risikerer derfor at få en ringere oprensning, der derpå gør den efterfølgende kemiske analyse mere usikker. Sluttelig kan man vælge at kombinere de to tilgange, altså hjemtage en relativt stor prøve, udtage en delprøve, der er ma-kant større end man forventer sluttelig at analysere kemisk, oprense den, og derpå udtage delprøver af koncentratet til kemisk analyse.

Mens ovenstående problemstilling omkring homogenisering og delprøvetagning selvsagt spiller en rolle, så er det væsentligt at holde sig for øje, at det i sidste ende er antallet af mikroplastik partikler man rent faktisk har fundet, der giver svaret på spørgsmålet: "hvor meget prøve er tilstrækkelig". Hvis man i en given analyse blot har fundet et par mikroplastik partikler i det størrelsesinterval, man er interesseret i, så har man formentlig analyseret for lidt prøve eller for få delprøver af den oprensede prøve. Har man derimod fundet hundredvis eller tusindvis, så har man formentlig analyseret tilstrækkeligt. Hvor mange præcist er tilstrækkeligt, afhænger også af hvad man gerne vil have besvaret. Er det alene et spørgsmål om den samlede masse og antal partikler, så kan man nøjes med færre fundne partikler, end hvis man samtidigt ønsker information om polymersammensætningen. Dette illustreres af resultatet i Figur 18 omkring polymerfordeling i blandeprøve B3 taget på CRUCIAL, der ikke har modtaget slam. Bag ved værdien for PE ligger fundet af få men store partikler, der bidrager 48% af al mikroplastik masse i prøven, men kun 11% af antallet (der blev fundet 230 mikroplastik partikler i analysen bag figuren).

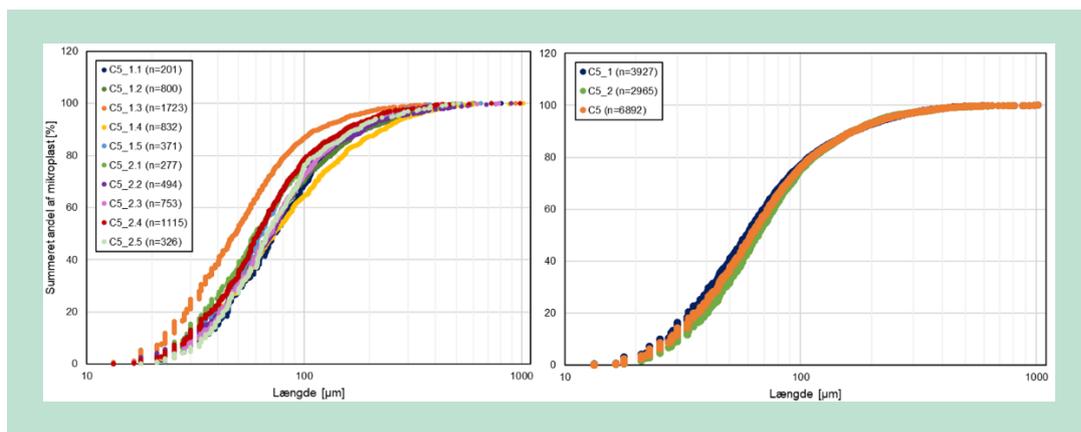
Figur 21, Figur 22, og Figur 23 viser mikroplastik størrelsesfordelingen for prøverne udtaget på henholdsvis CRUCIAL marken A10, B3 og C5 som den akkumulerede størrelsesfordeling. Det ses, at ensartetheden mellem alle datasættene bliver mere udtalt jo flere data man samler. Lægger man alle partikler sammen, for eksempel for prøverne fra A10 marken, får man et datasæt bestående af 6364 mikroplastik partikler. Dette datasæt er opstået ved at oprense 2853 g tør jord og udtage delprøver svarende til samlet 18,2% heraf til analyse. Delprøverne er udtaget som beskrevet i afsnit 2.6 punkt a og Figur 14. For mark C5 ligger ni af datasættene relativt tæt, men et af datasættene ser ud til at have relativt mindre partikellængde end de resterende datasæt (Figur 23).



FIGUR 21. Mikroplastik størrelsesfordeling på CRUCIAL A10 marken. Til venstre ses størrelsesfordelingen for alle 10 prøver. Til højre ses den samlede størrelsesfordeling fra felt A10_1, A10_2, og hele marken A10

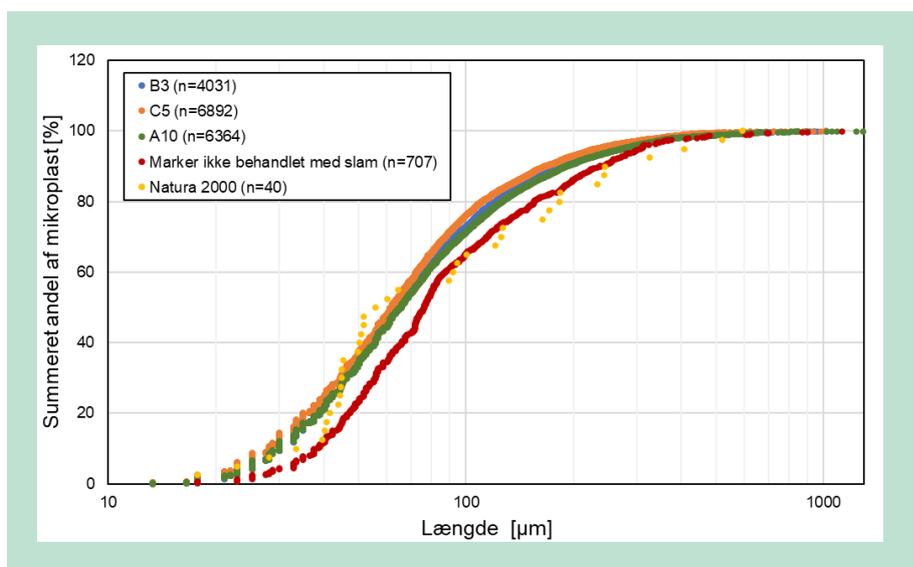


FIGUR 22. Mikroplastik størrelsesfordeling på CRUCIAL B3 marken. Til venstre ses størrelsesfordelingen for alle 10 prøver. Til højre ses den samlede størrelsesfordeling fra felt B3_1, B3_2, og hele marken B3. n angiver antallet af mikroplastpartikler



FIGUR 23. Mikroplastik størrelsesfordeling på CRUCIAL C5 marken. Til venstre ses størrelsesfordelingen for alle 10 prøver. Til højre ses den samlede størrelsesfordeling fra felt C5_1, C5_2, og hele marken C6. n angiver antallet af mikroplastpartikler

Fra Figur 24 kan ses, at der ikke er nogen synderlig forskel på størrelsesfordelingen i de slambehandlede marker. Sammenlignes størrelsesfordelingen af marker, der har modtaget slam (A10, B3, og C5), med henholdsvis marker, der ikke har modtaget slam og Natura 2000 områder, ser det ud til, at der generelt findes mindre mikroplastik partikler i de marker, der har modtaget slam i forhold til dem, der ikke har modtaget det. Her er det dog vigtigt at bemærke, at datasættet for A10, B3, og C5 er betydeligt større end for de to andre, hvilket godt kan have indflydelse på fordelingen.



FIGUR 24. Mikroplastik størrelsesfordeling på for B3, C5 og A10 marker samt for marker der ikke er behandlet med slam og Natura 2000 områder. n angiver antallet af mikroplast partikler

Alle de ovenstående data stammer fra scan med μ -FTIR, altså efter metoden beskrevet i afsnit 2.6. Grunden til, at der her fandtes partikler $>500 \mu\text{m}$, er at de fundne partikler har en diameter mindre end $500 \mu\text{m}$, og derfor kunne passere $0,5 \text{ mm}$ sigten, der blev brugt til at skille de store fra de små. Kun en enkelt mikroplastik partikel blev fundet tilbageholdt på $0,5 \text{ mm}$ sigten, og derfor håndteret som beskrevet i afsnit 2.5. Dette var en PE-partikel i prøve B3_2.1.

Som indledningsvis diskuteret så afhænger den nødvendige prøvestørrelse af:

- I. Den øvre grænse for partikelstørrelse man ønsker at dække med analysen.
- II. Ønske om alene at bestemme samlet indhold, eller også polymerfordeling.

- III. Hvor meget mikroplastik der er i prøven.
- IV. Hvor stor en del af den udtagne prøve, der sluttelig bliver analyseret.
- V. Graden af egen kontaminering af prøven under udtagelse og analyse.

For at svare på hvor stor en prøvemængde der skal udtages og analyseres, skal der dermed gøres nogle valg. Det væsentligste er størrelsen af partiklerne, der ønskes fundet. Resultaterne fra markerne viser, at der kun blev fundet få partikler over 1 mm, nærmere betegnet var 16 ud af 18034 større end 1 mm, og kun 2 større end 2 mm fordelt på alle 44 prøver. Hvis man således ønsker at kvantificere op til en øvre grænse på 1 mm, skal der analyseres ret store jordmængder. Eller mere præcist: Antages det, at der skal være mindst 10 partikler større end den største partikelstørrelse i hver prøve, man ønsker at kvantificere, vil det i gennemsnit betyde, at der skal findes i alt ca. 11270 partikler i hver prøve før man har kvantificeret op til 1 mm i partikelstørrelse.

Skulle man efter samme logik kvantificere op til 1 mm for marken M3, hvor der blev fundet mindst plastik (420 styk per kg tør jord, Figur 17), ville dette svare til, at cirka 27 kg jord skulle tages i arbejde, og analyseres helt i bund. Til sammenligning blev der taget 0,298 kg i arbejde, hvoraf 4% blev scannet, idet denne jordprøve viste sig meget svær at analysere. Fuld analyse af en så stor jordprøve vil være urealistisk, idet arbejdsindsatsen, og dermed prisen, ville være voldsom. For det første skulle der oprenses cirka 90 gange så meget jord, som der rent faktisk blev oprenset for denne prøve. For det andet, skulle der skannes cirka 750 delprøver (der blev i nærværende undersøgelse scannet 3 delprøver, Bilag 1). For at illustrere det involverede arbejde, så tager det cirka 5 timer at scanne en delprøve, og der kan i praksis scannes 2 prøver om dagen per maskine. En enkelt prøve ville således tage cirka et år at scanne, ifald der skannes alle lørdage, søndage, helligdage og ferieperiode. Her til kommer den tid det tager at analysere de scannede data, for ikke at glemme den tid det ville tage at forberede prøverne i laboratoriet.

Vælger man i stedet at kvantificere op til en øvre grænse på fx 0,3 mm (300 µm), ændrer billedet sig en del. Nu er der for alle delprøver for markerne A10, B3 og C5, altså dem der har modtaget slam, mange partikler større end den satte grænse. Her bliver det dermed overkommeligt at scanne et par flere delprøver for at kunne kvantificere op til de 300 µm. Lidt anderledes ser de ud med de marker, der ikke har modtaget slam. Her havde markerne (M1, M2, M3, M4, M5, M6, B3, D3, A7 og A8) i gennemsnit ca. 4 mikroplastik partikler over 300 µm, mens prøverne fra natura 2000 områder lå noget under med et gennemsnit på 1.

Et andet problem for specielt prøverne fra Natura 2000 områderne og to af prøverne fra marker der ikke har modtaget slam (M3 og M6) er, at disse var meget svære at oprense, hvilket også resulterede i at kun en meget lille delmængde af prøven blev analyseret. Grunden var et ret stort indhold af meget fine partikler, hvilket illustrerer, at mængden der kan analyseres, også afhænger af jordtypen, der tages i arbejde. Det er således markant lettere at analysere fx sand end ler. Vanskelige jordtyper skaber derfor en øget usikkerhed på analysen, idet det bliver nødvendigt at ekstrapolere data, når masse og antal beregnes.

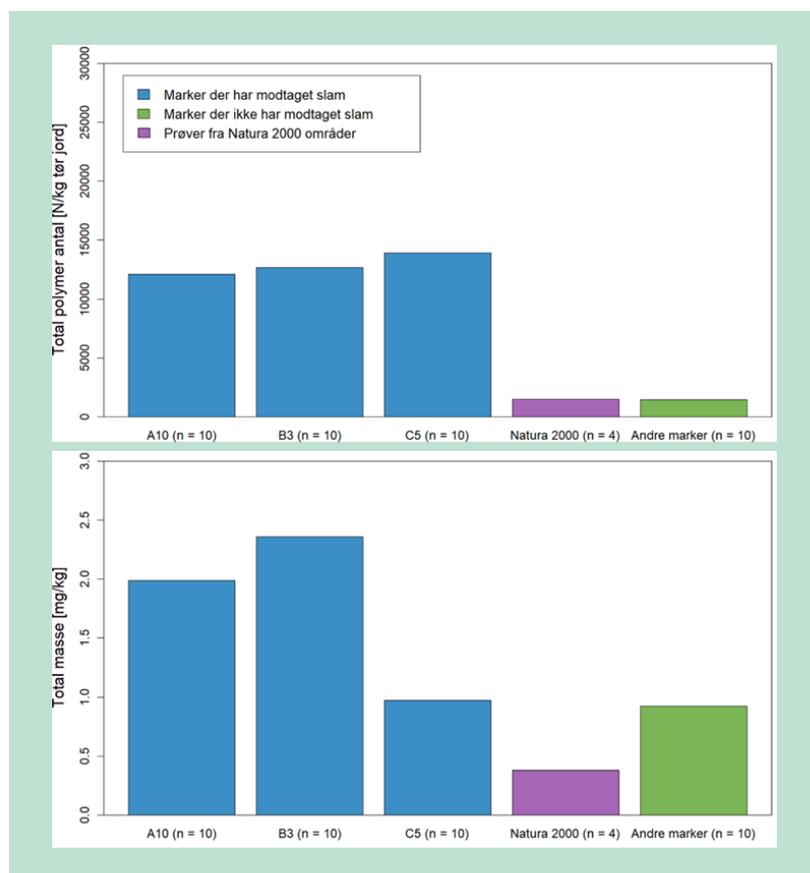
Sammenfattende skal der dermed træffes nogle valg, der afvejer arbejdsindsats og dermed ressourceforbrug med det opnåede resultat. Et rimeligt bud på nødvendigt prøvevolumen og analyse kunne være:

- Udtag mindst fem jordprøver á mindst 1 L indenfor det areal, der ønskes analyseret. Bland dem til én prøve.
- Homogenisere jordprøven i lab, udtage en delprøve på 200-300 g tørvægt til efterfølgende analyse.
- Oprens delprøven til ét koncentrat.
- Analysere delprøver af koncentratet til ét af to kriterier er opfyldt:
 - Der er fundet mindst 200 mikroplastik partikler.

- 20% af ekstraktet er analyseret.
- I nogle tilfælde er det umuligt at oprense prøven til et niveau hvor 20% kan analyseredes, idet de mest vanskelige prøver kun tillader 1% af prøven, eller nogle gange endda mindre, at blive deponeret per gang. Antallet af scanninger for at nå op på 20% kan derfor blive uoverkommeligt, og i sådanne tilfælde skal dette forhold bemærkes i analyse-rapporten.

3.3 Baseline for mikroplastik. Fastlæggelse af baseline for det terrestriske miljøes jorde, hvor der tilføres spildevandsslam, og hvortil prøver med mikroplastik kan relateres.

Baselinen for mikroplastik baserer sig på i alt fire prøver: 4 fra CRUCIAL marker der har modtaget henholdsvis kvægmøg (B2 og A7) og NPK (D3 og A8) som gødning, samt 6 fra marker i Jylland (M1, M2, M3, M4, M5 og M6). Yderligere var prøver fra fire Natura 2000 områder analyseret (N1, N2, N3, og N4). Ingen af disse har på noget tidspunkt modtaget spildevandsslam eller andre organiske affaldsprodukter som gødning. Prøverne fra jorde der ikke har modtaget slam, indeholdt tydeligt mindre end CRUCIAL markerne, der havde modtaget slam (Figur 25).



FIGUR 25. Mikroplastikindhold i jord der har modtaget slam, sammenlignet med jord, der ikke har. Øverst ses antal partikler, nederst den korresponderende masse

I snit indeholdt jordene, der ikke havde modtaget slam, 1466 mikroplastikpartikler/kg, svarende til 0,92 mg/kg. For prøverne der ikke har modtaget slam, virker den gennemsnitlige masse højere grundet en enkel stor PE-partikel fundet i M1. Prøverne fra Natura 2000 områder indeholdt 1485 mikroplastikpartikler/kg, svarende til 0,38 mg/kg. Jord der havde modtaget slam indeholdt ca. 8,5 gange mere mikroplastik partikler målt som antal, og ca. 6 gange mere målt som masse, hvis der ses bort fra den ene store PE-partikel i M1. Her skal det dog huskes, at de målte marker med slam har været udført som accelererede forsøg, og at disse har ligget i 8

år uden at have modtaget slam. Koncentrationsniveauet i jord, der har modtaget slam, skal derfor tages med et vist forbehold i forhold til hvor meget slamudbringning påvirker landbrugsjord. Dels fordi der har været udbragt slam svarende til ca. 40 års P-belastning, altså ret store mængder, og dels at det er 8 år siden, og at en ukendt andel af mikroplastikken udbragt med slammet markerne derfor kan forventes at være blevet nedbrudt til partikler under detektionsgrænsen af den anvendte rense-teknologi, eller måske ligefrem mineraliseret. Man kan dermed ikke bare dividere med en 'accelerationsgrad' for at slutte tilbage til marker, der har modtaget en mere almindelig form for slam-dosering.

3.4 Kontaminering

Der vil altid være en vis kontaminering med plastik partikler under prøvetagning, oprensning og analyse. Denne er bestemt ved at udføre tre laboratorie blankprøver. De viste, at en hel prøve i snit er blevet forurenet med 107 partikler per prøve, svarende til 8,3 µg mikroplastik. Det skal bemærkes, at forureningen er relateret til en prøveforberedelse, og ikke mængden af materiale, der indgik i denne. For den prøve, hvor der blev fundet mindst mikroplastik, nemlig M3, blev der udtaget 298 g tør jord, hvor disse kan være forventet forurenet med de 107 partikler, svarende til 8,3 µg. Per kg er forureningen dermed 376 mikroplastikpartikler, svarende til 29 µg. Jorden er derfor tæt på, men stadig et par gange over, detektionsgrænsen som estimeret ved egen kontaminering. De andre prøver ligger markant over, specielt dem der har modtaget slam.

3.5 Genfinding

Da prøveforberedelsen er lang og kompliceret, er det umuligt ikke at miste partikler undervejs. For at finde ud af hvor meget mange partikler der mistes, blev tre genfindingsforsøg udført. I prøverne blev der i gennemsnit tilsat 727 ± 149 PS kugler med diameter på 52 µm og 226 ± 70 PS kugler med diameter på 106 µm. Efter prøveforberedelsen blev partiklerne talt igen og 350 ± 93 PS kugler med diameter 52 µm og 119 ± 38 PS kugler med diameter på 106 µm blev genfundet. Dette svarer til, at der er et tab af partikler på $48 \pm 8\%$ og $53 \pm 4\%$, for de to typer af PS- kugler. Data er ikke blevet korrigeret for genfinding, idet genfinding af PS kugler ikke nødvendigvis afspejler genfinding for alle mulige andre former og materialer af mikroplast. Tallet er dermed alene indikativ for genfindingen. Det skal endvidere bemærkes, at variationen (spredningen på middelværdien) på genfindingen var lille, og analysen dermed har en høj præcision.

4. Referencer

- Catarino AI, Thompson R, Sanderson W, Henry TB (2016). Development and optimization of a standard method for extraction of microplastics in mussels by enzyme digestion of soft tissues. *Environ. Toxicol. Chem.*, 36(4): 947-951
- Koelmans AA, Nor NHM, Hermesen E, Kooi M, Mintenig S, de France J (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155: 410-422, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
- Liu F, Olesen KB, Borregaard AR, Vollertsen J (2019a). Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds. *Science of the Total Environment*, 671, 992-1000. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.416>
- Liu F, Vianello A, Vollertsen J (2019b). Retention of microplastics in sediments of urban and highway stormwater retention ponds. *Environmental Pollution*, 255: 113335; <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113335>
- Löder MGJ, Imhof HK, Ladehoff M, Löschel LA, Lorenz C, Mintenig S, Piehl S, Primpke S, Schrank I, Laforsch C, Gerdtz G (2017). Enzymatic purification of microplastics in environmental samples. *Environ. Sci. Technol.*, 51 (24), pp. 14283-14292
- López-Rayo S, Laursen KH, Lekkfeldt JDS, Grazie FD, Magid J (2016). Long-term amendment of urban and animal wastes equivalent to more than 100 years of application had minimal effect on plant uptake of potentially toxic elements. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 231: 44–53, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.019>
- Olesen, KB, Stephansen DA, van Alst N, Vollertsen J (2019). Microplastics in a Stormwater Pond. *Water* 2019, 11(7), 1466; <https://doi.org/10.3390/w11071466>
- Prata JC, Reis V., da Costa JP, Mouneyrac C, Duarte AC, Rocha-Santos T (2021). Contamination issues as a challenge in quality control and quality assurance in microplastics analytics. *Journal of Hazardous Materials*, 403:123660, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123660>
- Thomas D, Schütze B, Heinze WM, Steinmetz Z (2020). Sample Preparation Techniques for the Analysis of Microplastics in Soil—A Review. *Sustainability* 2020, 12, 9074; <https://doi.org/10.3390/su12219074>

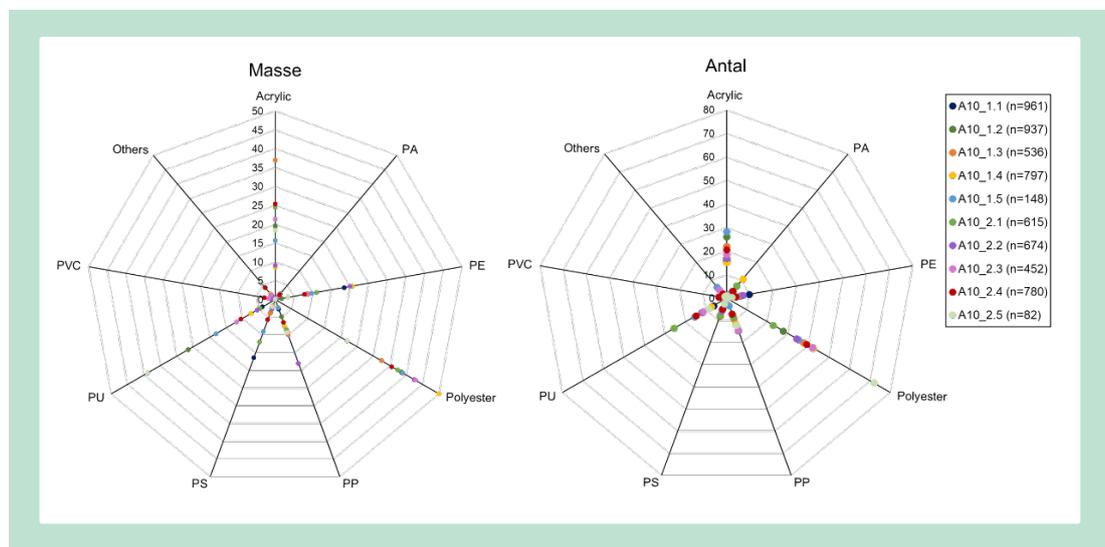
Bilag 1. Analyserede jordprøver

TABEL 1. Analyserede jordprøver

Lokalitet	Slam	Prøvenummer	Prøvemængde (tørstof)	Vandindhold	Scanninger	Scannet andel
A10_1	Ja	A10_1.1	282 g	6,00%	3	24%
		A10_1.2	282 g	5,97%	3	24%
		A10_1.3	284 g	5,27%	3	24%
		A10_1.4	291 g	6,03 %	3	22%
		A10_1.5	297 g	5,82 %	3	6%
A10_2	Ja	A10_2.1	282 g	5,93%	3	24%
		A10_2.2	279 g	6,98%	3	24%
		A10_2.3	284 g	6,51%	3	12%
		A10_2.4	286 g	4,67%	3	12%
		A10_2.5	286 g	6,24%	3	12%
B3_1	Ja	B3_1.1	280 g	7,74%	3	12%
		B3_1.2	287 g	5,91%	3	24%
		B3_1.3	283 g	7,95%	3	15%
		B3_1.4	288 g	6,29%	3	12%
		B3_1.5	283 g	7,53%	3	22%
B3_2	Ja	B3_2.1	285 g	8,21%	3	6%
		B3_2.2	294 g	5,79%	3	12%
		B3_2.3	282 g	8,19%	3	6%
		B3_2.4	287 g	6,26%	3	12%
		B3_2.5	290 g	5,63%	3	12%
C5_1	Ja	C5_1.1	292 g	6,54 %	3	22 %
		C5_1.2	295 g	7,99 %	3	18 %
		C5_1.3	294 g	6,98 %	3	12 %
		C5_1.4	288 g	6,72 %	3	18 %
		C5_1.5	298 g	8,23 %	3	22 %
C5_2	Ja	C5_2.1	287 g	7,59 %	3	20 %
		C5_2.2	287 g	7,71 %	3	20 %
		C5_2.3	290 g	6,43 %	3	18 %
		C5_2.4	289 g	4,87 %	3	22 %
		C5_2.5	298 g	6,71 %	3	22 %
B2	Nej	B2	284 g	8,85%	3	24%
D3	Nej	D3	293 g	6,15%	3	36%
A7	Nej	A7	289 g	6,83%	3	3%
A8	Nej	A8	296 g	5,31%	3	18%
M1	Nej	M1	265 g	16,62%	3	12%
M2	Nej	M2	296 g	25,20%	3	12%
M3	Nej	M3	298 g	12,27%	3	4%
M4	Nej	M4	279 g	10,82%	3	16%
M5	Nej	M5	269 g	15,45%	3	20%
M6	Nej	M6	259 g	22,05%	3	3%
N1	Nej	N1	291 g	3,99%	3	3%
N2	Nej	N2	272 g	12,24%	3	4%
N3	Nej	N3	259 g	21,02%	3	1,9 %
N4	Nej	N4	278 g	8,69%	3	1,9%

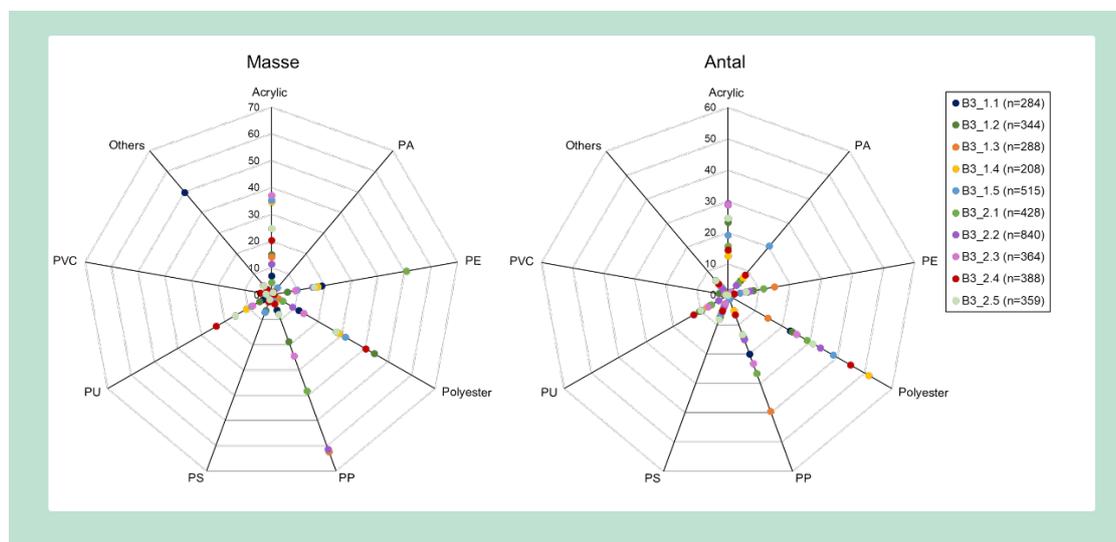
Bilag 2. Polymer fordeling for mark A10, B3, og C5

Bilag 2.1 Polymerfordeling A10



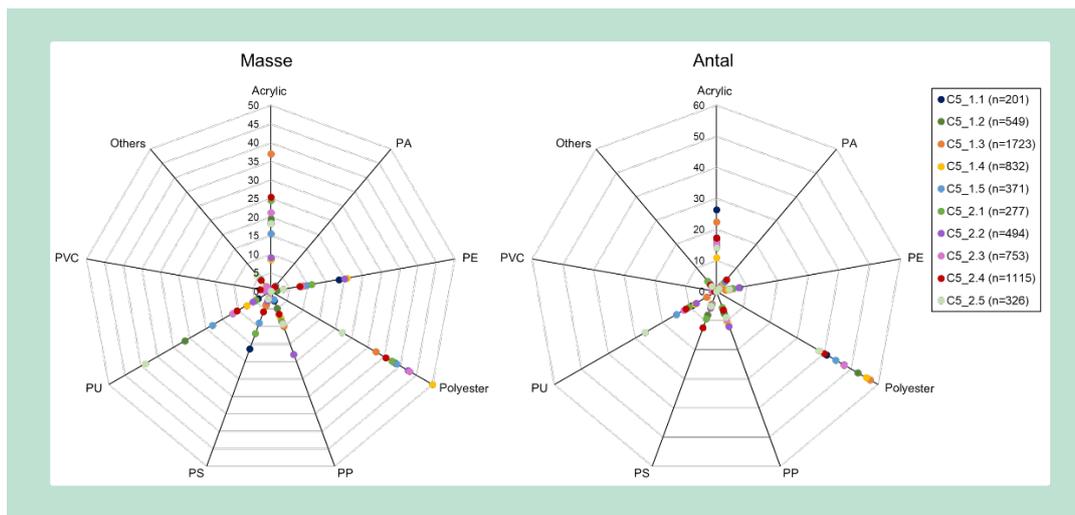
FIGUR 26. Polymerfordeling i prøverne taget fra CRUCIAL A10 mark, der har modtaget slam. Kun de ofte observerede polymertyper er vist. Resten er samlet i gruppen 'Other'. n angiver antallet af partikler som procenterne er beregnet ud fra

Bilag 2.2 Polymerfordeling B3



FIGUR 27. Polymerfordeling i prøverne taget fra CRUCIAL B3 mark, der har modtaget slam. Kun de ofte observerede polymertyper er vist. Resten er samlet i gruppen 'Other'. n angiver antallet af partikler som procenterne er beregnet ud fra.

Bilag 2.3 Polymerfordeling C5



FIGUR 28. Polymerfordeling i prøverne taget fra CRUCIAL C5 mark, der har modtaget slam. Kun de ofte observerede polymertyper er vist. Resten er samlet i gruppen 'Other'. n angiver antallet af partikler som procenterne er beregnet ud fra

Forskning og vidensdannelse omkring mikroplastik i spildevandsslam udspreddt på landbrugsjorde

Spildevandsslam indeholder fosfor, der er en begrænset og ikke-fornybar ressource. For at genanvende fosforet bruges slammet som gødning på landbrugsjord. Slammet indeholder dog en række miljøfremmede stoffer, herunder mikroplast.

Undersøgelser har vist, at hovedparten af mikroplasten i spildevand tilbageholdes i renseanlæggets slam og når slammet bruges som gødning, overføres mikroplasten til jorden. Den faktiske mængde og spredning af mikroplastik i marker gødet med spildevandsslam er dog forholdsvis udokumenteret.

Formålet med projektet er at tilvejebringe ny viden om mikroplast i slambehandlede marker. Variabiliteten af mikroplast i marker blev undersøgt for at udvikle en metode til repræsentativ prøvetagning af jord til mikroplastanalyse.

Størrelsesfordelingen af mikroplast i prøverne blev brugt til at bestemme, hvor meget prøve der skal udtages for at kunne dække et ønsket partikelstørrelsesinterval. Der gives således et kvalificeret bud på, hvordan en prøve udtages, hvordan prøven behandles, før og under prøveforberedelse og hvordan den analyseres kemisk efter oprensning.

For at vurdere hvor meget mikroplast der stammer fra spildevandsslam, blev en baseline for mikroplast bestemt ud fra prøver taget fra landbrugsjorde, der ikke har modtaget spildevandsslam, herunder Natura 2000 områder.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk