

## Mikroplastforekomst i KOD biopulp

Vestergaard, Stine Lundbøl; Brogaard, Line Kai-Sørensen; Lindeneg, Susanne; Sandgaard, Monica Hamann; Andersen, Jacob Kragh; Palmqvist, Annemette

*Publication date:*  
2019

*Citation for published version (APA):*  
Vestergaard, S. L., Brogaard, L. K-S., Lindeneg, S., Sandgaard, M. H., Andersen, J. K., & Palmqvist, A. (2019). *Mikroplastforekomst i KOD biopulp*. Københavns Kommune.

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact [rucforsk@ruc.dk](mailto:rucforsk@ruc.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Københavns Kommune**

## **Mikroplastforekomst i KOD biopulp**

**Samarbejdsprojekt mellem Københavns Kommune,  
RUC og EnviDan A/S**

**Juni 2019**

**Titel:**

Mikroplastforekomst i KOD-biopulp

**Redaktion:**

Københavns Kommune, RUC & EnviDan A/S

**Illustrationer:**

Københavns Kommune, RUC & EnviDan A/S

**År:**

2019

**Kontaktoplysninger:**

Line Kai-Sørensen Brogaard, GB7Z@kk.dk  
Susanne Lindeneg, A02X@kk.dk

**Projektgruppe:**

Line Kai-Sørensen Brogaard, Københavns Kommune  
Susanne Lindeneg, Københavns Kommune  
Stine Lundbøl Vestergaard, EnviDan  
Jacob Kragh Andersen, EnviDan  
Monica Hamann Sandgaard, RUC  
Annemette Palmqvist, RUC

**Følgegruppe:**

Tak til følgegruppen, som bestod af følgende medlemmer:

Linda Bagge, Miljøstyrelsen  
Lars Ravn Nielsen, Gemidan Ecogi  
Jens Kern, HCS  
Kirsten Bojsen / Daniel Lynge Hansen, Vestforbrænding  
Ida Leisner, ARC  
Nick Ahrensberg, BIOFOS  
Ole Nielsen / Sara Rosendal, Frederiksberg Kommune

Rapporten må citeres med kildeangivelse: Lundbøl Vestergaard S., Kai-Sørensen Brogaard, L., Lindeneg, S., Hamann Sandgaard M, Kragh Andersen J, Palmqvist A. 2018. Mikroplastforekomst i KOD-biopulp. Mikroplastforekomst i KOD-biopulp. Juni 2019. Projektnr. 118 0917.

## Indholdsfortegnelse

1. English summary.....	4
2. Sammenfatning.....	6
3. Indledning.....	8
Samarbejdet.....	8
Partnernes bidrag.....	8
Formål.....	9
Afgrænsning af projektet.....	9
4. Baggrund.....	10
Ressourcestrategien.....	10
Københavns Kommunes Ressource- og affaldsplan.....	10
Potentialet.....	10
Lovgivning.....	10
5. Metode.....	11
Forbehandlingsanlæggene.....	11
Pilotanlægget.....	11
Prøvetagning.....	11
Prøveforberedelse.....	12
Optælling og analyse af plastikpartikler.....	13
6. Resultater og diskussion.....	14
7. Konklusion.....	20
8. Perspektivering.....	21
9. Referencer.....	22
10. Bilag.....	24
10.1 Bilag 1: Definitioner og begreber.....	24
10.2 Bilag 2: Tilpasning af forbehandlingsprotokol.....	27
10.3 Bilag 3: TS, TOM, TC, Total-P, Total-N indhold i prøverne.....	30
10.4 Bilag 4: Billeder fra mikroskopi og typiske FT-IR spektre.....	31
10.5 Bilag 5: Eksempler på typiske FT-IR spektre.....	32

## 1. English summary

The Danish national resource strategy aims at a 50 % recovery of 7 selected fractions of household wastes in 2022. The newly amended EU directive on waste also has a goal of 55 % recovery of municipal waste in 2025, 60 % in 2030 and 65 % in 2035 and a demand of separate sorting of biowaste before the end of 2023 (Affaldsrammedirektivet, 2018).

This has entailed an increased focus utilization of organic resources such as source-separated organic household waste (hereafter called biowaste) in the Danish Municipalities. The high demand of phosphorus in food production stresses the importance of phosphorus recovery from biowaste. Phosphorus is an essential plant nutrient that is limited which necessitates finding alternative sources, e.g. waste resources such as biowaste.

Another emerging issue is the occurrence of microplastics in our environment and the need to investigate the sources of this pollution. The new Danish legislation on utilization of waste products in agriculture *Affald til jord bekendtgørelsen* (BEK nr.1001 af 27/06/2018) emphasizes a rising agricultural demand for high quality organic waste, including anaerobically digested biowaste biopulp. *Affald til jord bekendtgørelsen* includes a maximum limit for the content of physical impurities (>2mm) in the biowaste digestate. Microplastics is included as a quality parameter in this study. The occurrence of microplastics in biowaste biopulp and the resulting biowaste digestate after anaerobic digestion is the parameter focused on. This project investigates the occurrence of microplastic particles between 100 µm and 5 mm.

The project only deals with the number of microplastic particles in biowaste biopulp and digestate, to have a first indication of the scale of the microplastics occurrence. The project does not deal with catchment area, choice of bags, pretreatment methods or effects of microplastic occurrence in biowaste biopulp or digestate.

The biowaste biopulp investigated in this study originates from two suppliers, Gemidan Ecogi A/S and HCS A/S. The pretreatment facilities receive source-separated biowaste from households in different catchment areas and the facilities uses different pretreatment methods. This project does not account for the differences in catchment areas nor pretreatment methods.

Sampling of biopulp from the plants at Gemidan Ecogi and HCS was done twice 3 weeks apart. Sampling from Gemidan Ecogi was done both before and after anaerobic digestion at a pilot biogas plant located at Avedøre wastewater treatment plant. 6 samples (3 samples each time x 2 sampling campaigns) were analysed in triplicates, making a total of 18 samples.

For determination of the microplastic particle occurrence in the samples a combination of microscopy and verification with Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) was used. Several databases (commercially available databases and databases created by Roskilde University) with reference spectrums from known materials (e.g. biobags, other waste bags, carrier bags, food packaging) were used to identify the particles' spectrums.

Microplastic particles were found in all analysed samples. The contents of microplastic particles were in the range of 50 to 200 particles per g total solids (TS). When comparing the occurrence of microplastic particles before and after anaerobic digestion it was found that the microplastics content per g TS increased after anaerobic digestion. This was partly due to the degradation of organic matter during anaerobic digestion.

When comparing the content of microplastic particles to the total phosphorous (TP) content the number of particles was unchanged after anaerobic digestion. Even a comparison of the types of microplastic particles did not indicate any major changes after the anaerobic digestion process. It can however, not be concluded that no degradation of bioplastics during anaerobic digestion, since degradation of some particles and fragmentation of others can have levelled out the total number.

The study unsurprisingly shows that an estimation of the occurrence of microplastic particles in organic resources is fairer when it is calculated based on the TP content. It is also more environmentally relevant to state the number of microplastic particles based on TP compared to TS or total organic matter (TOM) since fertilisers are applied on agricultural fields based on the TP content.

The calculation of the total number of microplastic particles per TS, TOM or TP do not reveal the types of particles and it is very likely that form, size and type of polymer influences the lifetime and environmental impact of the microplastic particles.

The most commonly found microplastic particles were flakes/foils followed by fibers. Most of the flakes/foils consists of polyethylene (PE). Most of the fibers were polyester (75 %) or nylon (18 %) fibers. The share of microplastic particles that origins from the biobags used throughout Copenhagen Municipality accounted in this study for less than 5 % of the total number of microplastic particles found.

RUC has in two prior studies, one together with EnviDan, investigated the content of microplastic particles in the sludge fraction from wastewater treatment at two different plants. The methods and analyses were the same as in the ones used in this study.

A comparison of the occurrence of microplastic particles in biowaste biopulp and wastewater sludge shows that there is 3-8 times higher number of particles in biowaste biopulp compared to sludge based on the TP content. When based on TS or TOM it is the other way around. This is due to the much lower TP content in biowaste compared to sludge (and higher TS). It is necessary to make further comparisons to be able to assess the quality of each of the types of organic fertilizer. This report does thus not evaluate whether the best choice of organic fertilizer is digested sludge or digested biopulp.

It is not possible from the number of microplastic particles to conclude whether application of the fertilizer product will cause problems in the fields and/or in the recipient waters as no effect studies were included in this study. Previously published studies on the effects of microplastic particles on different species of earthworms, however, indicate that there are no adverse effects on population relevant endpoints, such as survival, growth and reproduction, at environmentally realistic microplastic concentrations. The potential risk of microplastic in the terrestrial environment should, however, be further investigated with a focus on other important soil-associated organisms than earthworms.

## 2. Sammenfatning

Der er et stigende fokus på udnyttelse af organiske ressourcer som Kildesorteret Organisk Dagrenovation (KOD), som en del af kommunernes forpligtigelse om at leve op til Ressourcestrategien, hvor der i 2022 skal genanvendes 50 % af 7 udvalgte fraktioner i husholdningsaffald. Det nyligt reviderede Affaldsrammedirektiv indeholder også et mål om 55 % genanvendelse i 2025, 60 % i 2030 og 65 % i 2035 samt et krav til separat indsamling af bioaffald inden udgangen af 2023 (Affaldsrammedirektivet, 2018)

Genanvendelse af den organiske affaldsfraktion støtter herudover også op omkring imødekomme af den stigende fosforefterspørgsel i fødevarerproduktionen. Fosfor er et essentielt planteneringsstof, men en begrænset ressource, og det er derfor nødvendigt at finde alternative kilder til fosfat.

Hertil har der i de senere år været stort fokus på hvorledes mikroplast tilledes til og spredes i vores miljø og den nyeste Affald til jord bekendtgørelse (BEK nr.1001 af 27/06/2018) understreger et stigende krav til kvaliteten af de organiske affaldsfraktioner vi afhænder til landbrugsjord, herunder bioforgasset KOD biopulp. Den nye *Affald til jord bekendtgørelse* stiller som noget nyt krav i forhold til indholdet af fysiske urenheder (>2mm) i KOD afledte gødningsprodukter. Mikroplast ansues i dette studie som endnu en kvalitetsparameter for den organiske affaldsfraktion, og mikroplastforekomsten i denne og det resulterende digestat fra udrådning af materialet, er omdrejningspunktet for indeværende projekt. I dette projekt undersøges forekomsten af mikroplastpartikler mellem 5 mm og 100 µm.

Projektet omhandler alene en vurdering af antallet af partikler i KOD biopulp og digestat, for at få en første indikation af omfanget af mikroplastforureningen. Projektet inkluderer således ikke vurderinger af opland, posevalg, forbehandlingsmetoder eller effektstudier i relation til mikroplastforekomst i KOD biopulp eller digestat.

Den KOD-biopulp der undersøges i dette studie, oprinder fra to leverandører, hhv. Gemidan Ecogi A/S og HCS A/S. Hvert forbehandlingsanlæg modtager indsamlet KOD fra forskellige oplande og foretager forbehandlingen med forskellige teknikker. Dette studie forholder sig hverken til forbehandlingsteknik eller oplande.

Prøvetagning af KOD biopulp fra hhv. Gemidan Ecogis anlæg samt HCSs anlæg blev foretaget af to omgange, med ca. 3 ugers mellemrum. Prøvetagningen af KOD biopulp fra Gemidan Ecogi blev foretaget både før og efter endt udrådning på pilotanlæg (VARGA). Der analyseredes i alt 6 prøvematerialer, (3 prøvematerialer/prøvetagning x 2 prøvetagninger) i triplikat (i alt 18 prøver).

Til bestemmelse af mikroplast indholdet i de forbehandlede prøverne benyttedes en kombination af mikroskopi og verificering med Fourier-transform infrarød spektroskopi (FT-IR). Til at identificere partiklernes spektre, er der i dette projekt benyttet dels kommercielt tilgængelige biblioteker og dels biblioteker vi selv har oprettet med kendte materialer (f.eks. bioposer og andre affaldsposer, bæreposer og mad emballage).

Der blev fundet mikroplast (>100 µm) i alle analyserede prøver. Mikroplast partikel indholdet ligger i intervallet mellem ca. 50 og 200 partikler per g TS for alle analyser. Ved sammenligning af mikroplastforekomst, før og efter endt udrådning på pilotanlægget på Avedøre Renseanlæg under projekt VARGA ser det umiddelbart ud til at indholdet af mikroplast pr. g tørstof stiger under bioforgasningen. Det skyldes med stor sandsynlighed at det organiske materiale nedbrydes delvist under udrådningen.

Når man sammenligner antallet af mikroplast partikler på basis af total-P indhold i stedet bliver det således tydeligt at det totale antal partikler er stort set uændret i prøvematerialerne før og efter endt udrådning. Heller ikke ved sammenligning af de enkelte typer af mikroplast partikler før og ef-

ter udrådning, at der indikation på at udrådning har nogen effekt på mikroplast indholdet eller sammensætning af partikeltyper. Heraf kan dog ikke endeligt konkluderes at der ikke er sket noget med partiklerne under bioforgasningsprocessen, idet det er muligt at en samtidig nedbrydning af nogle partikler og fragmentering af andre kan have balanceret hinanden ud.

Undersøgelsen viser, ikke overraskende, at opgørelse af mikroplast i organiske ressourcer på basis af total-P giver en mere retvisende sammenligning på tværs af behandlinger og organiske affaldsfraktioner. Det er desuden mere miljømæssigt relevant at opgive mikroplastindholdet på basis af total-P end på basis af TS eller TOM, da gødningsprodukterne efterfølgende tilledes til landbrugsjorden på basis af fosfor.

Opgørelserne af totalt antal mikroplast partikler per TS, TOM eller total-P siger dog ikke noget om hvilken type partikler der er tale om, og det er sandsynligt at form, størrelse og polymertype kan have indflydelse på mikroplast partiklernes levetid og eventuelle effekter i miljøet.

De mest almindeligt forekommende mikroplast partikel former i prøverne var flager/folier efterfulgt af fibre. Langt den største del af flager/folier består i overvejende grad af polyethylen (PE). Den største del af fibrene i prøverne var af polymertypen polyester (75%), mens ca. 18 % af fibrene var nylon. Andelen af mikroplastpartikler der oprinder fra de anvendte bioposer udgjorde i dette studie mindre end 5 % af de samlede antal mikroplastpartikler.

RUC har i to tidligere projekter, det ene i samarbejde med EnviDan, undersøgt indholdet af mikroplast i slamfraktionen fra spildevandsrensning på to forskellige renseanlæg. Metoder og analyser anvendt i de tidligere projekter er sammenlignelige med de i dette studie anvendte analysemetoder.

Sammenligningen af mikroplastforekomst i KOD biopulp og spildevandsslam viser, at der er ca. 3-8 gange højere indhold af mikroplast partikler i KOD og bioforgasset KOD sammenlignet med slam fra spildevandsrensning når det opgøres på basis af total-P. Opgøres mikroplast indholdet på basis af TS eller TOM fremgår forholdet modsat. Dette skyldes at KOD indeholder væsentligt mindre total-P sammenlignet med spildevandsslam (og højere TS). Det kræver yderligere sammenligninger for at kunne vurdere kvaliteten af hvert af de organiske gødningsprodukter. Nærværende rapport forholder sig således ikke til, hvilket af de to organiske gødningsprodukter, der kvalitetsmæssigt er det bedre valg.

Det er umuligt alene på basis af antallet af partikler at sige noget om hvorvidt det målte omfang af forureningen vil udgøre et miljømæssigt problem for recipienten, da eventuelle effekter af plastpartiklerne på relevante jordbundsorganismer ikke er undersøgt i dette projekt. Andre studier af effekter af mikroplast på forskellige regnormearter indikerer dog, at der ikke er effekter på populationsrelevante parametre, som overlevelse, vækst og reproduktion, ved miljørealistiske mikroplast koncentrationer. Den potentielle risiko af mikroplast i det terrestriske miljø bør dog undersøges yderligere med særligt fokus på andre vigtige jordbundsorganismer end regnorme.



### 3. Indledning

Der har i de senere år været stort fokus på hvorledes mikroplast tilledes til og spredes i vores miljø jf. Miljøstyrelsens rapport ”Microplastics - Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark” fra 2015. Der er hertil gennemført en række andre både danske og udenlandske projekter der håndterer netop disse emner, og det understreger at mikoplast står højt på den politiske dagsorden og det er noget der har den almene borgers interesse.

Hertil er der et stigende fokus på udsortering, bioforgasning og udnyttelse af organiske ressourcer som Kildesorteret Organisk Dagrenovation (KOD), som en del af kommunernes forpligtigelse om at leve op til Ressourcestrategien hvor der i 2022 skal genanvendes 50 % af 7 udvalgte fraktioner i husholdningsaffald. Den organiske del af husholdningsaffaldet udgør en ganske stor del af den totale affaldsmængde (40-45 %) og det vurderes, at målet om 50 % genanvendelse kun kan nås, hvis også den organiske fraktion genanvendes. Den organiske fraktion anses som genanvendt, når den er anvendt på landbrugsjord.

Så derfor er det nærliggende at kombinere to meget relevante emner, nemlig mikroplastforekomst og KOD i en og samme undersøgelse. Det er netop hvad dette projekt gør.

#### Samarbejdet

Samarbejdet mellem RUC, Københavns kommune og EnviDan er udsprunget af Københavns Kommunes opslag: ”Invitation til partnerskaber med fokus på ressourceudnyttelse af bioaffald fra husholdninger”, og kom i stand da de involverede partnere var enige om at der var både behov og mulighed for at belyse mikroplastproblematikken i forhold til den rene KOD fraktion.

EnviDan og RUC indgår pt. i det meget omfattende projekt ”Plastfri Roskilde Fjord” under projektet ”Et hav af muligheder”, hvor kilder og årsager til plastikforurening i Roskilde Fjord kortlægges. Nærværende projekt tager derfor udgangspunkt i det allerede eksisterende samarbejde mellem RUC og EnviDan, og kobles til et igangværende projekt på Renseanlæg Avedøre, nemlig det MUDP-finansierede Fyrtårnsprojekt VARGA.

I VARGAs arbejdsplan 6 (WP6) udrådnes KOD biopulp i et pilotanlæg, hvorefter digestatet skal anvendes til dyrkningsforsøg/markforsøg hos økologiske bønder. Forsøgsopsætningen på Avedøre Renseanlæg, hvor den separate udrådning af KOD biopulp finder sted, kan derfor i uændret form indgå som platform i dette projekt. Indeværende projekt indgår dermed som en add-on til VARGAs WP6, og bidrager specifikt til viden om mikroplastforekomst i KOD biopulp og digestat.

KK har rejst de nødvendige midler til at udføre projektet og er en af de 15 ejerkommuner i BIOFOS, som er ansvarlig for driften af Renseanlæg Avedøre hvor VARGA-projektet pågår.

Projektet er gennemført i kalenderåret 2018.

#### Partnernes bidrag

Københavns Kommune bidrager med særlig viden og ekspertise vedrørende genanvendelse af organiske ressourcer i henhold til ressourcestrategien, indsamling af KOD, affaldsoplandene, konsekvenser ved posevalg samt forbehandling af KOD. Københavns Kommune bidrager endvidere med adgang til biopulpprøver fra to forskellige biopulp producenter, repræsentativ prøvetagning, forsøgsplanlægning, sparring ift. vurdering af resultater, afrapportering og formidling.

RUC bidrager med specialistviden og ekspertise vedrørende mikroplast som er omdrejningspunktet for dette samarbejdsprojekt. RUC bidrager herunder til forsøgsplanlægning, og er ansvarlige for den

praktiske gennemførelse af mikroplastanalyserne med optælling og identifikation af mikroplastpartikler samt vurdering og præsentation af analyseresultater, afrapportering og formidling.

EnviDan bidrager med særlig viden og ekspertise vedrørende praktiske og tekniske forhold i forbindelse med håndtering og udnyttelse af organiske ressourcer i renseanlægs- og biogasbranchen, herunder udrådning/bioforgasning af biopulp. EnviDan bidrager endvidere med prøvetagning på pilotanlægget på Renseanlæg Avedøre, forsøgsplanlægning, kvalitetssikring, sparring ift. vurdering af resultater, afrapportering, formidling og ikke mindst med den overordnede projektledelse.

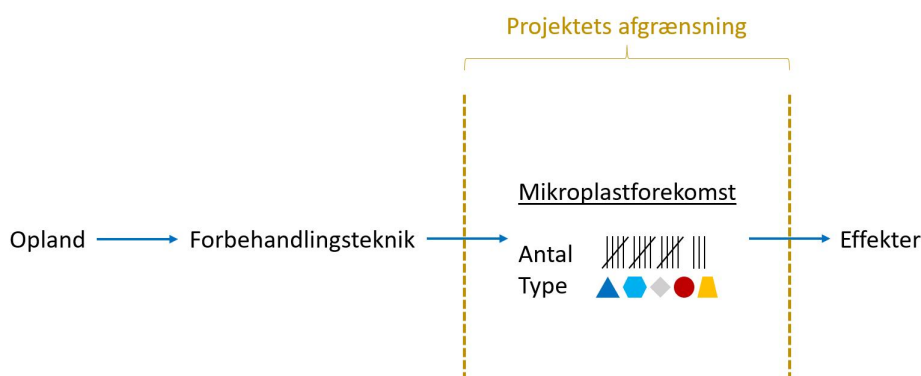
**Formål**

I nærværende projekt vil EnviDan og RUC i samarbejde med Københavns Kommune (KK), undersøge kvaliteten af KOD biopulp og KOD digestat med hensyn til mikroplastforekomst.

Formålet er at undersøge mikroplastforekomsten i 2 forskellige KOD biopulp, der har forskelligt opland og forskellige forbehandlingsmetode. Biopulpen leveret af HCS forbehandles til biopulp på hammermølle. Den anden biopulp stammer fra Gemidan som forbehandler KOD i en pulper. Hertil vil biopulpen fra Gemidan gennemgå udrådning på pilotanlægget på Avedøre Renseanlæg, således, at det er muligt at undersøge hvorvidt bioforgasning af biopulpen påvirker mikroplastindholdet i det resulterende digestat.

**Afgrænsning af projektet**

Indeværende projekt omhandler forekomst af mikroplast i KOD biopulp og det resulterende digestat, hvor fokus er på optælling og identifikation af plasttype. Projektet medtager således ikke overvejelser omkring eller vurderinger af opland og forbehandlingsteknikker, ej heller medtages effektstudier. Denne specifikke afgrænsning betyder at denne afrapportering skal opfattes som et første forsøg på at løfte vidensniveauet vedrørende mikroplastforekomst i KOD biopulp. Den giver indikationer om omfanget af mikroplastforureningen, men giver ikke svar ift. effekter i miljøet eller hvordan posevalg, boligtype og forbehandlingsteknologier påvirker mikroplastforekomsten. Der er altså på nuværende tidspunkt ikke belæg for at ændre på målet om at genanvende KOD, på baggrund af resultaterne i denne rapport.



Figur 1: Projektets afgrænsning

## 4. Baggrund

### Ressourcestrategien

Ressourcestrategien (Danmark uden Affald) har et overordnet mål om 50 % genanvendelse i 2022 af 7 udvalgte fraktioner i husholdningsaffald (organisk affald, papir-, pap-, glas-, plast-, træ-, og metalaffald). Den organiske del udgør en ganske stor andel af den totale dagrenovationsmængde (40-45 %). Målet om 50 % genanvendelse vil derfor med stor sandsynlighed kun kunne nås, hvis også den organiske fraktion genanvendes. Den organiske fraktion anses som genanvendt, når den er bragt tilbage til landbrugsjord (Miljøstyrelsen, 2013a).

En række kommuner har allerede etableret særlige affaldsordninger for organisk dagrenovation. I 2015 blev ca. 7 % af det samlede potentiale af organisk affald i dagrenovationen på landsplan kildesorteret til central biologisk behandling (primært til biogasanlæg), og efterfølgende anvendt som gødning og jordforbedringsmiddel (Miljøstyrelsen, 2015a).

I takt med at Ressourcestrategien bliver implementeret i de danske kommuner, bliver en stadigt stigende mængde Kildesorteret Organisk Dagrenovation (KOD) indsamlet. Den indsamlede KOD skal behandles på den bedst mulige måde i en cirkulær økonomisk kontekst. En af de tilgængelige metoder til behandling af KOD er bioforgasning med udbringning af det udrådnede KOD biopulp (digestatet) på landbrugsjord.

Det nyligt reviderede Affaldsrammedirektiv indeholder også et mål om 55 % genanvendelse i 2025, 60 % i 2030 og 65 % i 2035 samt et krav til separat indsamling af bioaffald inden udgangen af 2023 (Affaldsrammedirektivet, 2018).

### Københavns Kommunes Ressource- og affaldsplan

Københavns Kommunes målsætninger om genanvendelse af affaldsfraktioner er beskrevet i Ressource og affaldsplan 2024 (RAP24). RAP24 er en videreudvikling af det arbejde der blev igangsat med Ressource- og Affaldsplan 2018. Kildesortering i Københavns Kommune er i dag udbredt og de fleste københavnere har derfor mulighed for at kildesortere deres affald i flere fraktioner, herunder organisk dagrenovation. Københavns Kommune har således et mål om at 70 % af husholdningsaffaldet indsamles og genanvendes i 2024 samt et mål om at affaldshåndteringen skal bidrage med en 59.000 tons CO<sub>2</sub> reduktion i 2024 blandt andet med fokus på udnyttelse af bioaffald til biogas (Københavns Kommune, 2019).

### Potentialet

Ifølge Ressourcestrategien forventes det, at der på landsplan kan sorteres ca. 200.000 ton KOD (svarende til 35 kg/person/år) i 2018 og ca. 300.000 ton KOD (svarende til 53 kg/person/år) i 2022 (Miljøstyrelsen, 2015a).

Det samlede danske landbrugsareal i 2017 er 2.662.030 ha, således udnyttes ca. 62 % af vores samlede areal (Danmarks statistik) til landbrug, heraf udgør økologisk landbrug i 2016 216.794 ha, eller 8,1 % af landbrugsarealet (Landbrug og fødevarer, 2018). Den forventede KOD (digestat) mængde vil kunne dække 30-60.000 ha, hvilket svarer til 1,1-2,2 % af landbrugsarealet eller 13-27 % af det økologiske areal (Askegaard, M. 2017).

### Lovgivning

I forbindelse med udbringning af organiske ressourcer på landbrugsjord er der stort fokus på kvaliteten af gødningsproduktet, og især fysiske urenheder har stor årvågenhed for tiden. Den nye *Affald*

*til jord bekendtgørelse* (Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål, BEK nr. 1001 af 27/06/2018), som erstatter *Slambekendtgørelsen* (Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål, BEK nr. 1650 af 13/12/2006) sætter dermed krav til fysiske urenheder (plast, glas og komposit), specifikt i forbehandlet KOD biopulp og kompost.

Udviklingen i lovgivningen på området indikerer et øget fokus på kvaliteten af det organisk affald der anvendes til jordbrugsformål. I *Affald til jord bekendtgørelsen* er der således fokus på plast som forureningsemne, som en del af de fysiske urenheder. Den nye bekendtgørelse tegner således et billede af et øget fokus på plast som forureningsemne generelt, men omfatter endnu ikke specifikt mikroplastfraktionen.

Mikroplast som forskningsområde er nyt, men der er i dag allerede opnået viden og erfaring i relation til kilder, spredning i miljøet, effektstudier og ikke mindst selve mikroplastanalyserne. Særligt mikroplastanalyserne og metoderne er omdrejningspunkt for diskussion indenfor mikroplastproblematikken, fordi der, som det ser ud i dag, ikke foreligger standard målemetoder. Da der endnu ikke er bred enighed om analysemetoder og fremgangsmåder, betyder det, at de resultater der er tilgængelige, ikke nødvendigvis er direkte sammenlignelige, idet de afviger i brugen af oprensning-metoder, strategien for optælling, strategien for analyse af plasttype og ikke mindst hvilke størrelsesfraktioner der kigges på i det specifikke studie. Herudover forholder nogle mikroplaststudier sig kun til mikroplastforekomst, som masse, mens andre mikroplaststudier alene forholder sig til antallet af mikroplastpartikler, mens helt andre studier forholder sig til typen af mikroplast, eller kombinationer heraf. Der foreligger i dag resultater fra mikroplastanalyserne på flere forskellige materialer, herunder spildevandsslam, i salt- og ferskvand, drikkevand, sediment, jord, diverse fauna og affaldsfraktioner. Dog er der, endnu ikke, dette projekt bekendt, gennemført mikroplastanalyser på en ren KOD biopulp fraktion, så derfor vurderes dette projekt at være det første studie der specifikt kigger på denne fraktion.

## 5. Metode

### Forbehandlingsanlæggene

De to forbehandlingsanlæg som er med i nærværende undersøgelse, ejes af hhv. Gemidan Ecogi A/S og HCS A/S.

Gemidan Ecogi A/S driver et pulperanlæg i Holsted som behandler i omegnen af 40.000 tons affald om året. Der modtages pt. ca. 20.000 tons KOD/år fra Vestforbrændings opland. Resten af affaldet kommer fra Kara/Noverens opland samt fra Randers og Vejle kommune.

HCS A/S behandler KOD fra bl.a. Københavns kommune i et anlæg med en hammermølle som knuser og neddeler KOD'en. For tiden behandles i omegnen af 13.000 tons KOD/år fra Københavns Kommune.

### Pilotanlægget

Pilotanlægget består af en biogasreaktor som behandler KOD biopulp fra Gemidan Ecogi. KOD biopulpen omsættes i reaktoren ved en opholdstid på ca. 20 dage. Pilotanlægget er placeret på Renseanlæg Avedøre og drives ifm. Fyrtårnsprojektet VARGA (<https://projekt-varga.dk/>).

### Prøvetagning

Prøvetagning blev foretaget af to omgange fra hhv. Gemidan Ecogis anlæg (KOD biopulp var allerede hentet ifm. VARGA-projektet), HCSs anlæg samt fra pilotanlægget på Renseanlæg Avedøre. De to

forskellige prøvetagninger blev foretaget med 3 ugers mellemrum, hhv. 1/6-2018 og 20/6-2018, for at få forskellige batches til analyserne.

Prøverne blev udtaget af EnviDan og kørt direkte til RUC, hvor de blev sat på køl inden klargøring og prøveforberedelse.

Ved første prøvetagning blev prøveglassene grundigt rensat og til sidst skyllet med ultrafiltreret vand (MilliQ < 0,22 µm). Ved anden prøvetagning havde RUC allerede brændt glassene (550 °C i mindst 2 timer) inden udtagning.

Begge forbehandlingsanlæg blev bedt om at køre separate kørsler af ren KOD, således at prøverne består af KOD og ikke indeholder industri- og/eller serviceaffald.

### Prøveforberedelse

Efter modtagelse af prøvematerialerne på RUC, blev materialerne opbevaret på køl ved 1-3°C indtil udtagning og forbehandling forud for analyse af prøverne. Der analyseredes i alt 6 prøvematerialer (3 prøvematerialer/prøvetagning \* 2 prøvetagninger) i triplikat (i alt 18 prøver).

Til analyser af mikroplast indholdet blev der i triplikat afvejet materiale svarende til ca. 1 g TS fra hvert af de tre prøvematerialer (hhv. Gemidan Ecogi A/S (herefter refereret til som ECO) og HCS A/S (herefter HCS) anlæggene samt VARGA (herefter VAR) pilotanlægget på Renseanlæg Avedøre) per prøvetagning. Prøverne blev pH justeret til intervallet 5-5,5 med CaCO<sub>3</sub> (ECO og HCS) eller HCl (VAR) forud for tilsætning af 10 µL af enzymblandingen CTec2 (Sigma-Aldrich, Danmark), idet enzymerne i blandingen har optimale betingelser i dette pH interval. Efter tilsætning af CTec2 blev prøverne sat i varmeskab ved 50°C i ca. 72 timer. CTec2 er en enzymblanding bestående af cellulaser, hemicellulaser og β-glucosidaser, som tilsammen kan nedbryde cellulose og forskellige andre polysaccharider som er en del af planters cellevæg. Efter den enzymatiske nedbrydning af cellulose, blev prøverne ved hjælp af sugokolbe filtreret ud på muflede (550°C i 2 timer) 100 µm stålfiltre, som efterfølgende blev overhældt med 100°C varmt vand, for at fjerne fedtstoffer fra filtrene. Se endvidere bilag 2 for mere information om valg af forbehandlingsmetode. Hver prøve blev filtreret ud på flere filtre, for at sikre at materialet var spredt tilstrækkeligt ud til at kunne analyseres for plast partikler. Filtrene blev opbevaret individuelt i lukkede petriskåle ved stuetemperatur indtil den videre analyse (mikroskopering og FT-IR analyse).

Til bestemmelse af tørstofindhold (TS), glødetab (totalt organisk indhold; TOM), Total-P og CHN (heri indeholdt TC og Total-N) blev der ved begge prøvetagninger udtaget delprøver af alle tre prøvematerialer (ECO, HCS og VAR). Alle prøver blev udtaget og analyseret i triplikat.

Til bestemmelse af TS og TOM blev en mindre prøve (ca. 7-16 g vådvægt) overført til en udglødet (2 timer ved 550 °C) forvejet keramik digle. Diglerne med de våde prøver blev vejret inden de blev tørret ved 105 °C i ca. 24 timer. Efter tørring blev prøverne nedkølet i eksikator, vejret (TS) og udglødet ved 550 °C i 2 timer. Prøverne blev herefter nedkølet i eksikator over natten og vejret (TOM).

Til bestemmelse af total-P og CHN-indhold blev tre prøver (triplikat bestemmelse) fra hvert prøvemateriale udtaget og tørret ved 105 °C i 24 timer.

Total-P blev målt ved en spektrofotometrisk metode udviklet til måling af total-P på plantemateriale (metode udviklet i 1998 på Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet). Fra hver af de tørrede prøver blev en mindre delprøve (ca. 8-17 mg TS/prøve) afvejet og udglødet i 90 min ved 550 °C. Herefter blev der tilsat 10 ml 0,2 M HCl til prøverne, som efterfølgende blev kogt ved 100 °C i 1 time i varmeskab. Efter afkøling blev prøverne fyldt op til 40 ml med Milli-Q vand og der blev udtaget 2\*5 ml prøve (teknisk dobbeltbestemmelse) til reagensglas. Til hver af disse prøver blev der tilsat 0,5 ml blandingsreagens-R (bestående af en opløsning af ammonium heptamolybdat

tetrahydrat, svovlsyre, kalium antimonyltartrat hydrat og ascorbinsyre i demineraliseret vand), og efter 15 minutter blev prøvernes absorbans målt ved 882 nm på spektrofotometer. De målte absorbanser blev herefter omregnet til koncentration i måleopløsningen ved hjælp af en standardkurve, og idet der blev taget højde for eventuel fortyndingsfaktor.

Til bestemmelse af CHN blev en delprøve (ca. 3 mg) af hver af de tørrede prøver afvejet i en tinkapsel på 5\*9 mm. Kapslen blev med pincet lukket sammen til en lille kugle, og CHN-indholdet blev herefter bestemt ved afbrænding i en NCS-analysator (Thermo Scientific, Flash 2000). Størrelsen på toppene i det resulterende kromatogram omregnedes automatisk til det procentvise indhold af total-C (TC) og total-N ved kalibrering til en Methionin standardkurve.

### **Optælling og analyse af plastikpartikler**

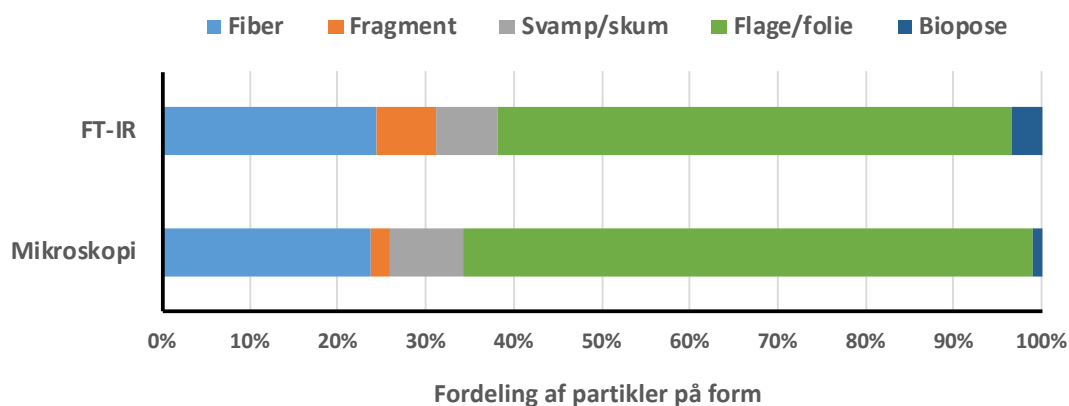
Til bestemmelse af mikroplast indholdet i prøverne benyttedes en kombination af mikroskopi og verificering med Fourier-transform infrarød spektroskopi (FT-IR). FT-IR er en analysemetode hvor prøven, som skal analyseres, gentagende gange belyses med en lysstråle bestående af lys med flere forskellige bølgelængder. Apparatet måler hvor meget af dette lys der enten reflekteres af eller transmitteres gennem prøven, og denne information bliver ved hjælp af en matematisk algoritme (Fourier transform) omsat til et spektrum som efterfølgende kan sammenlignes med et bibliotek af spektre fra kendte materialer. Til at identificere partiklernes spektre, er der i dette projekt benyttet dels kommercielt tilgængelige biblioteker og dels biblioteker vi selv har oprettet med kendte materialer (f.eks. bioposer og andre affaldsposer, bæreposer og mad emballage).

Først blev filtrene med de forbehandlede prøver gennemgået systematisk ved op til 270x forstørrelse under et stereomikroskop (Nikon SM218; 13,5x forstørrelse) monteret med et Nikon digital sight DS-U3 kamera (20x forstørrelse). Formodede plastikpartikler blev optalt og inddelt i kategorier efter type (fibre, flager/folier, fragmenter, svamp/skum og biopose) og farve (transparent, blå, rød, sort, gul, multifarvet og anden farve). Partikelantal opgives på tre forskellige måder, nemlig per gram tørstof (TS), per gram totalt organisk indhold (TOM) og per gram Total-P.

Efter mikroskopering blev et udvalg af de optalte partikler analyseret med FT-IR mikroskopi (på Perkin Elmer, Spotlight 200i MCT Frontier FT/IR mikroskop). Partiklerne til FT-IR mikroskopi blev udvalgt således at de repræsenterede fordelingen på form og farve af de optalte partikler (figur 2). Resultaterne fra FT-IR analyserne blev anvendt til at verificere at de partikler som er talt med i opgørelsen af plastikpartikler, også er plastik. I tilfælde af at en gruppe af formodede plastikpartikler ved efterfølgende FT-IR analyse viste sig ikke at være plastik er de fjernet helt fra opgørelsen. Hvis en andel af en gruppe af formodede plastikpartikler som blev analyseret med FT-IR ikke kunne matches til en plastikpolymertype, er tallene for de optalte partikler af denne type reduceret i henhold til den procentdel af de FT-IR analyserede partikler som viste sig ikke at være plastik. Forskellige partikler som ved mikroskopering umiddelbart kunne ligne plastik, men som ikke er talt med er ligeledes analyseret med FT-IR for at verificere at det var korrekt at de ikke blev medtaget i opgørelsen af plastikpartikler (se bilag 4 for eksempler).

## 6. Resultater og diskussion

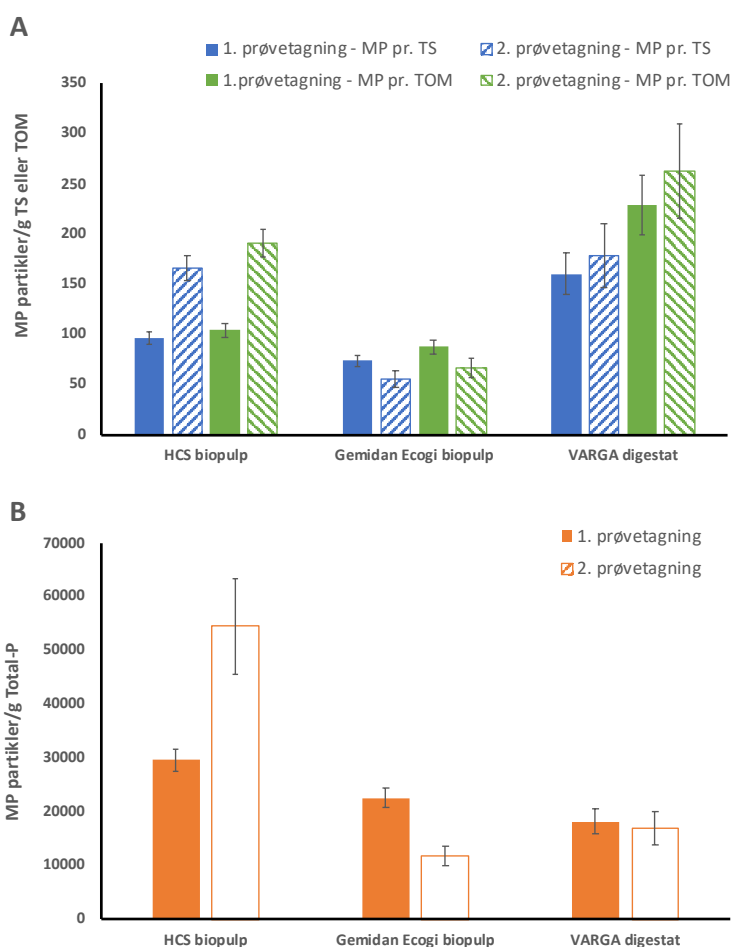
Ved udtagning af partikler til FT-IR analyse blev to partikeltyper, fragmenter og biopose udtaget i overrepræsentation i forhold til fordelingen af disse to typer i de optalte partikler (figur 2), fordi det var de to typer der var færrest af i den samlede optælling af partikler i alle prøver (henholdsvis 42 og 21 partikler).



Figur 2. Den procentvise fordeling på partikelform af optalte partikler under mikroskoperingen af alle analyserede prøver (nederst), og fordeling på form af partikler udvalgt til analysering med FT-IR (øverst).

Det var nødvendigt, pga. af de relativt få optalte partikler af disse to typer, at tælle en større procentvis andel af disse typer for at have nok partikler til at kunne bestemme polymertype med tilstrækkelig sikkerhed. Fragmenter var desuden overrepræsenteret i FT-IR analyserede partikler fordi disse partikler gav FT-IR spektre som ikke matchede nogen plastikpolymertyper, og det derfor var nødvendigt at sikre at det ville være korrekt at tage de optalte fragmenter helt ud af den endelige opgørelse af plastikpartikler. Bioposer havde særligt fokus i dette studium, og derfor var det vigtigt at sikre at disse blev talt korrekt ved mikroskoperingen, hvilket krævede at en større andel af de optalte partikler blev analyseret med FT-IR.

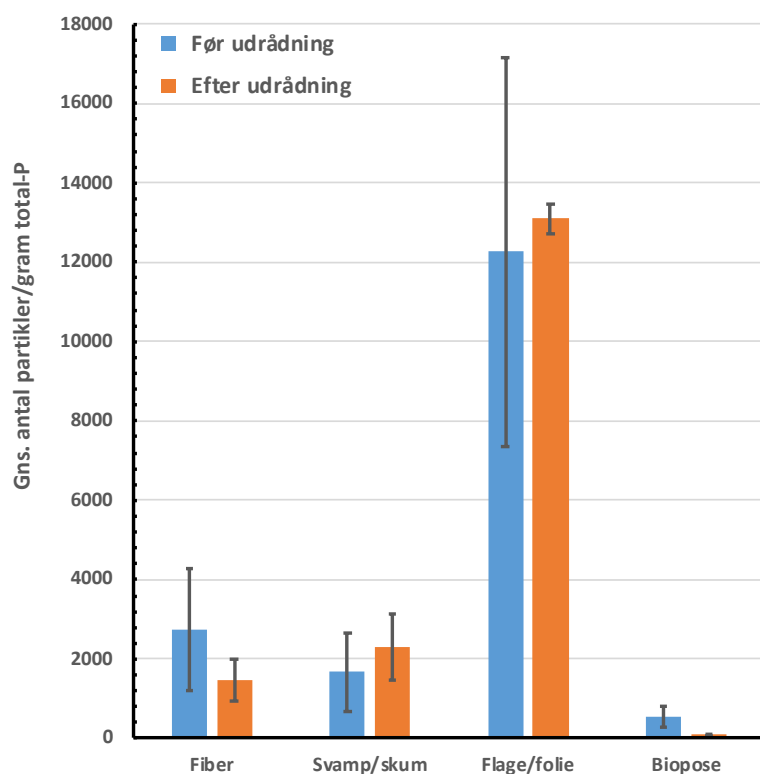
Der blev fundet mikroplast (>100 µm) i alle analyserede prøver. Figur 3 viser antallet af optalte plastpartikler i hver af de analyserede prøvematerialer. Plast indholdet er opgivet som antal partikler per gram tørstof (TS) og per gram total organisk materiale (TOM) (figur 3A) samt som antal partikler per gram total-fosfor (Total-P) (figur 3B). Værdier for TS, TOM, TC, Total-P og Total-N indholdet i de 6 prøvematerialer findes i bilag 3 (tabel B2). Opgørelsen af antal plastik partikler viser en tendens til at mikroplast indholdet i prøvematerialerne afhænger både af prøvetype og af tidspunktet for prøvetagningen. Mikroplast partikel indholdet ligger i intervallet mellem ca. 50 og 200 partikler per g TS. Til sammenligning fandt Weithmann et al (2018) for nylig mikroplast indhold i intervallet 20-146 partikler per kg TS i husholdningsaffald som enten var komposteret (20-24 partikler/kg TS) eller udrådnat til produktion af biogas (70-146 partikler/kg TS). Forfatterne analyserede kun for



Figur 3. Indhold af mikroplastpartikler i KOD biopulp fra HCS A/S og Gemidan Ecogi samt mikroplast indhold i KOD digestat fra forsøgsanlægget VARGA ved to prøvetagninger i juni. A) Indholdet opgivet som antal partikler per gram tørstof (TS) eller totalt organisk indhold (TOM) og B) indholdet opgivet som partikler per gram Total-P.

mikroplastpartikler >1mm, så studiet er ikke direkte sammenligneligt med nærværende studium, og forskellen i partikelstørrelse kan være forklaringen på at indholdet i nærværende studium er ca. en faktor 1000 højere. Selvom det i Weithmann et al (2018) ikke var det samme materiale som blev brugt i de to processer (kompostering og bioforgasning), foreslår forfatterne at en årsag, til at mikroplast partikelindholdet i digestatet fra bioforgasningen var væsentligt højere end indholdet i det komposterede affald, kunne være en mindre grad af nedbrydning af organisk materiale under komposteringen sammenlignet med udrådningens proces. VARGA digestatet er udrådnat KOD biopulp fra Gemidan Ecogi. Ved sammenligning af mikroplast indholdet i de to prøvematerialer på basis af enten tørstof eller total organisk materiale ser det umiddelbart ud til at indholdet stiger under bioforgasningen. Det skyldes dog med stor sandsynlighed at det organiske materiale nedbrydes delvist under udrådningen, hvorfor tørstofindholdet falder. Når man sammenligner antallet af mikroplast partikler på basis af total-P indhold i stedet bliver det således tydeligt at det





Figur 4. Indhold af forskellige typer af mikroplast partikler før og efter udrådning af KOD biopulp.

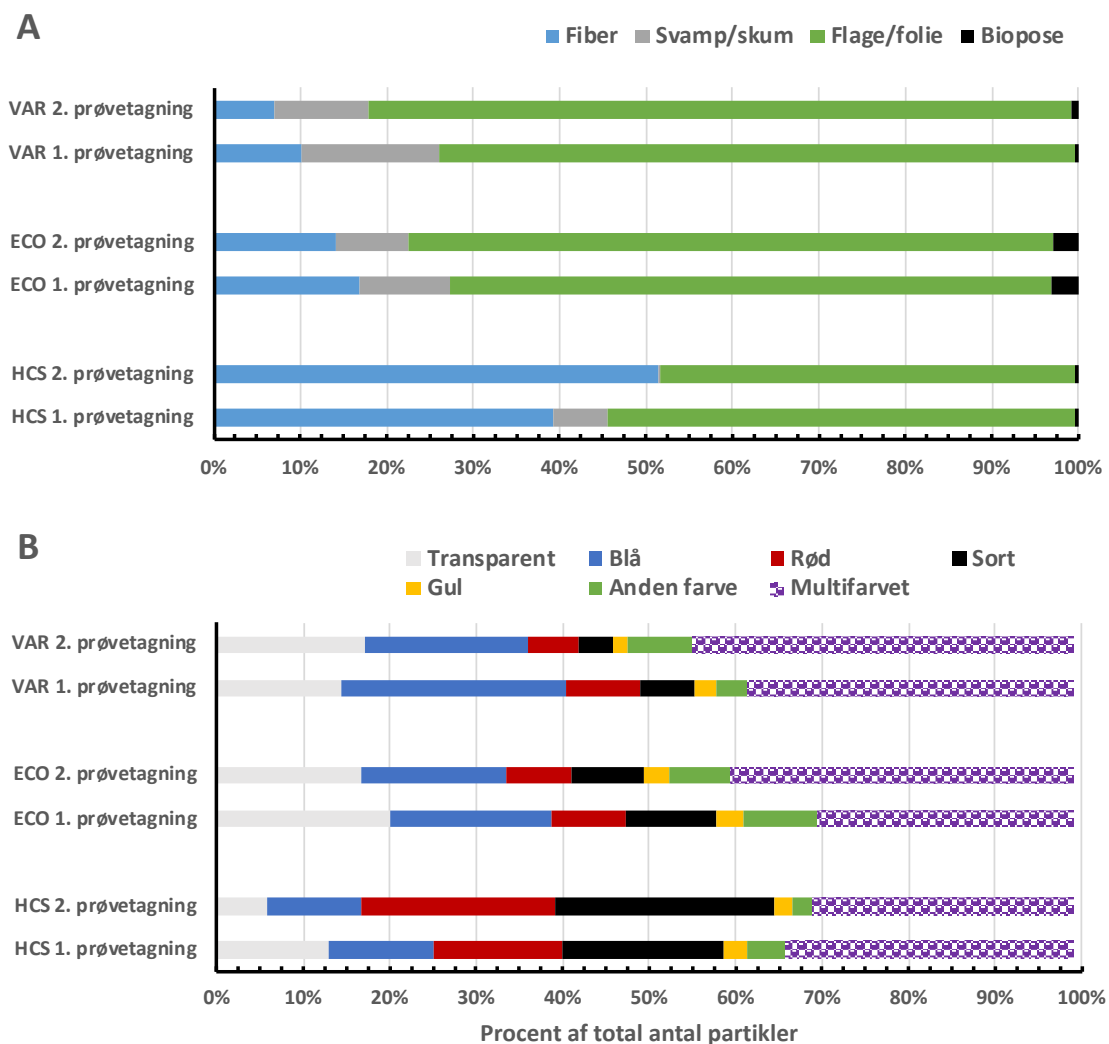
totale antal partikler er stort set uændret i prøvematerialerne før og efter udrådning (den tidlige variation i partikel indholdet er dog større i biopulpen end i digestatet). Heller ikke ved sammenligning af de enkelte typer af mikroplast partikler før (ECO) og efter (VAR) udrådning (figur 4), at der indikation på at udrådning har nogen effekt på mikroplast indholdet eller sammensætning af partikeltyper. Heraf kan dog ikke endeligt konkluderes at der ikke er sket noget med partiklerne under biofergasningsprocessen, idet det er muligt at en samtidig nedbrydning af nogle partikler og fragmentering af andre kan have balanceret hinanden ud. Det vil kræve yderligere undersøgelser enten af partikelstørrelsesfordeling eller af plastindholdet på vægtbasis, at få endegyldigt svar på om udrådning i et biogasanlæg medvirker til nedbryd-

ning eller fragmentering af mikroplastpartikler.

Undersøgelsen viser, ikke overraskende, at opgørelse af mikroplast i organiske ressourcer på basis af total-P giver en mere retvisende sammenligning på tværs af behandlinger. Det er desuden mere miljømæssigt relevant at opgøre mikroplastindholdet på basis af total-P end på basis af TS eller TOM, da gødningsprodukterne efterfølgende tillædes til landbrugsjorden på basis af fosforindholdet.

Opgørelserne af totalt antal mikroplast partikler per TS, TOM eller total-P siger dog ikke noget om hvilken type partikler der er tale om, og det er sandsynligt at form, størrelse og polymertype kan have indflydelse på mikroplast partiklernes levetid og eventuelle effekter i miljøet.

De mest almindeligt forekommende mikroplast partikel former i prøverne var flager/folier efterfulgt af fibre (figur 5). I det ene prøvemateriale (HCS) var der dog en næsten ligelig fordeling mellem fibre og flager/folier, mens 70-80% af mikroplastpartiklerne i ECO og VAR prøverne, hvor VAR prøverne repræsenterer udrådet biopulp fra ECO, var flager/folier. Der blev også fundet enkelte flager (i alt 21 samlet for alle prøver; svarende til et gennemsnit på ca. 1.160 partikler per kg tørstof materiale) som direkte kunne henføres til at stamme fra den type bioposer der flere steder i landet anvendes til indsamling af organisk husholdningsaffald (KOD). Langt den største del af flager/folier har dog tilsyneladende en anden oprindelse, da de i overvejende grad består af polyethylen (PE) (figur 6). Af disse flager/folier er den overvejende del multifarvet (typisk prikket; se eksempler i bilag 4), og som det fremgår af figur 5B udgør disse multifarvede flager/folier mellem 30-45% af alle de plastikpartikler der er identificeret i prøverne.

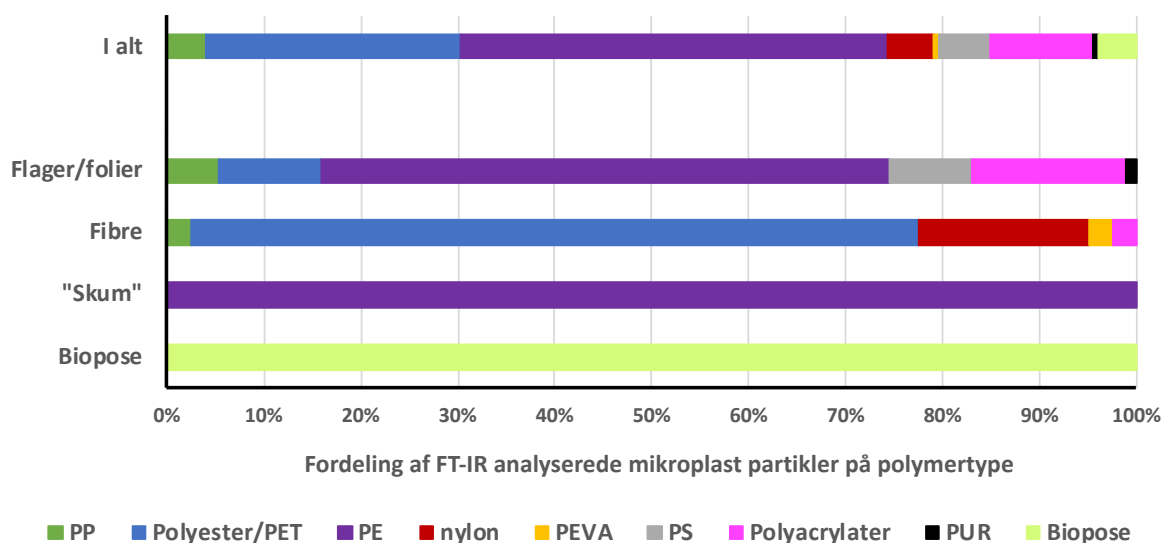


Figur 5. Fordeling af de optalte partikler på form (A) og farve (B). Fordelingerne er vist for de enkelte prøvematerialer (HCS, ECO og VAR) og tidspunkter for prøvetagningen (1. og 2. prøvetagning).

Det har desværre ikke været muligt at identificere kilden til disse multi-farvede flager/folier selv om mønsteret på partiklerne er meget karakteristiske (forskelligt farvede cirkelrunde pletter som ofte overlapper hinanden). Af de multi-farvede flager/folier indeholder ca. 18% polymeren polycaprolactone (PCL) som er en bionedbrydelig polyester, der bl.a. anvendes i nogle former for landbrugsplast, men den største andel af de multi-farvede flager/folier består dog af PE (57%) eller forskellige former for acrylat polymerer (24%).

Den største del af fibrene i prøverne var af polymertypen polyester (75%), mens ca. 18% af fibrene var nylon. Både polyester- og nylonfibre benyttes i mange forskellige former for tekstiler, og fibrene i prøverne kan derfor ikke henføres til særlige kilder.

De registrerede partikler under kategorien skum/svamp var alle af samme type, nemlig blå femkantede celleformede partikler (se bilag 4). Det har desværre heller ikke været muligt at identificere kilden til denne partikeltype.

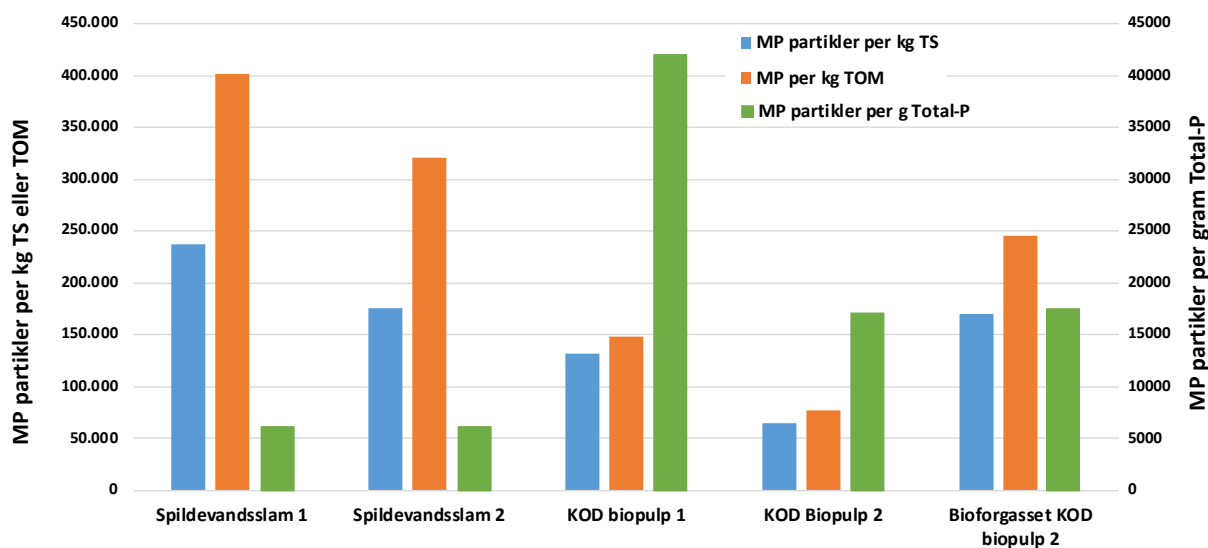


Figur 6. FT-IR analyserede partiklers fordeling på polymertyper. De identificerede polymertyper og grupper af polymerer var polypropylen (PP), Polyester/polyethylenteraptalat (PET), polyethylen (PE), nylon, polyethylen vinyl acetat (PEVA), polystyren (PS), polyacrylater, polyurethan (PUR) og biopose. Gruppen polyester dækker for flager/folier bl.a. over den bionedbrydelige polymer polycaprolactone. Gruppen polyacrylater indeholder flere forskellige typer af acrylat polymerer f.eks. methacrylater og modacrylat. Betegnelsen biopose dækker specifikt de flager som blev kategoriseret som biopose under optællingen, og som kunne matches med 'biopose' spektret i biblioteket.

Fosfor er et essentielt plantenæringsstof, men råfosfat, hvorfra fosfor til kunstgødning udvindes, er desværre en begrænset ressource, og det er derfor nødvendigt at finde alternative kilder til fosfat. Ligesom biogødning (slam fra spildevandsrensning) har kildesorteret organisk dagrenovation potentielle til at blive en central organisk ressource til recirkulering af fosfor til jordbrugsformål, og med udrulning af kildesortering af affald over hele landet åbnes der nu også mulighed for det. Men som tidligere nævnt er det naturligtvis en forudsætning for anvendelse af behandlet organisk affald til jordbrugsformål at det resulterende produkt er sikkert. Den nye *Affald til jord bekendtgørelse* stiller som noget nyt også krav i forhold til indholdet af fysiske urenheder (>2mm) i KOD afledte gødningsprodukter.

I dette projekt har der været fokus på fysiske urenheder i form af plastik helt ned til 100 µm, og resultaterne viser at der er plastik partikler tilstede i alle analyserede prøver, og at det i særlig grad er flager/folier, sandsynligvis rester fra poser og emballager, samt syntetiske fibre der findes i biopulpen og udrådet KOD. Det er umuligt alene på basis af antallet af partikler at sige noget om hvorvidt det målte omfang af forureningen vil udgøre et miljømæssigt problem for recipienten (landbrugsjord), da eventuelle effekter af plastpartiklerne på relevante jordbundsorganismer ikke er undersøgt i dette projekt. En sammenligning til biogødning fra spildevandsrensning kan give en indikation på kvaliteten af KOD som gødningsprodukt i forhold til andre organiske ressourcer. Det er dog vigtigt at være opmærksom på at forekomsten af mikroplast ikke alene er bestemmende for kvalitet og sikkerhed af produktet, og at nedenstående sammenligning ikke tager højde andre fremmedstoffer, gødningsværdi i det hele taget, eller eventuelle forskelle på partikeltyper i de to typer af produkter.

RUC har i to tidligere projekter, det ene i samarbejde med EnviDan, undersøgt indholdet af mikroplast i slamfraktionen fra spildevandsrensning på to forskellige anlæg. Metoder og analyser anvendt



Figur 7. Sammenligning af mikroplast indholdet i de to KOD biopulp prøvematerialer og den bioforgassede KOD biopulp med spildevandsslam fra to forskellige rensningsanlæg i Danmark (data fra Aagaard-Larsen et al. og Palmqvist et al., begge under udarbejdning).

i disse to projekter er tilstrækkeligt tæt på de metoder og analyser der er anvendt i nærværende projekt, til at tallene kan sammenlignes direkte. Sammenligningen viser at der er ca. 3-8 gange højere indhold af mikroplast partikler i KOD og Bioforgasset KOD sammenlignet med slam fra spildevandsrensning når det opgøres på basis af total-P (figur 7). Opgøres mikroplast indholdet på basis af TS eller TOM fremgår det af figur 7 at forholdet er modsat, hvilket skyldes at KOD indeholder mindre total-P sammenlignet med biogødning. Det kræver yderligere sammenligninger for at kunne vurdere kvaliteten af hver af gødningsprodukterne. Nærværende rapport forholder sig således ikke til, hvilket af de to organiske gødningsprodukter, der kvalitetsmæssigt er det bedre valg.

I nærværende projekt er det ikke undersøgt om der er negative effekter af mikroplast på relevante jordbundsorganismer ved anvendelse af organiske ressourcer, som KOD, til gødningsformål. Regnorme er vigtige jordbundsorganismer, som bidrager til nedbrydning af organisk materiale og konditionering af jorden for bedre plantevækst. Enkelte publicerede studier af effekter af mikroplastik på regnorme indikerer at eksponering til mikroplastik kan resultere i effekter på disse (f.eks. Lwanga et al 2016, Cao et al 2017). Fælles for de studier, hvor der er observeret effekter af mikroplast på regnorme er dog, at effekterne typisk er observeret ved koncentrationer som er væsentligt højere end hvad der, i henhold til værdier målt af Vollertsen & Hansen (2017) og Ljung et al (2018), må forventes at være realistiske mikroplast koncentrationer på almindelig landbrugsjord. I flere andre studier af mikroplast effekter på forskellige regnormearter er der ikke fundet negative effekter af mikroplast på overlevelse, vækst eller reproduktion ved miljørelevante koncentrationer (Palmqvist et al 2019, Karling 2018, Rodriguez-Seijo et al 2017). Der er således ikke på nuværende tidspunkt nogen indikation på at mikroplast vil udgøre en risiko for regnorme ved almindelig anvendelse af organiske ressourcer som gødningskilde på landbrugsjord. Der er dog stadig behov for yderligere undersøgelser af potentielle negative effekter af mikroplast på andre vigtige jordbundsorganismer end regnorme, før det endeligt kan konkluderes at mikroplast ikke kan udgøre en risiko for det terrestriske miljø.

## 7. Konklusion

Der blev fundet mikroplastpartikler (>100 µm) i alle analyserede prøver. Det betyder at anvendelsen af udrådnet KOD-biopulp (digestat) som gødning på landbrugsjorder vil medføre tilførsel af mikroplastpartikler til landbrugsjorden og dermed miljøet.

Antallet af mikroplastpartikler ændres ikke ved udrådning. Heraf kan dog ikke endeligt konkluderes at mikroplastpartiklerne *ikke* nedbrydes under bioforgasningsprocessen, idet der sideløbende med en eventuel nedbrydning af mikroplastpartikler samtidig potentielt sker en fragmentering af de større mikroplastpartikler til mindre, således at de to processer, nedbrydning og fragmentering, balancerer hinanden. Det vil kræve yderligere undersøgelser enten af partikelstørrelsesfordeling eller af plastindholdet på vægtbasis, at få endegyldigt svar på om udrådning i et biogasanlæg medvirker til nedbrydning eller fragmentering af mikroplastpartikler.

Ved sammenligning mellem mikroplastforekomst i KOD biopulp/resulterende digestat og spildevandsslam viser det sig, at der er mere plastik per fosfor-ækvivalent i KOD (biopulp og digestat) sammenlignet med spildevandsslam. Således viser denne undersøgelse, at der er ca. 3-8 gange højere indhold af mikroplast partikler i KOD og bioforgasset KOD sammenlignet med slam fra spildevandsrensning når det opgøres på basis af total-P. Undersøgelsen viser desuden at fordelingen mellem partikeltyper er forskellige KOD/digestat og spildevandsslam imellem. Opgørelser af mikroplastindholdet i organiske ressourcer til gødningsformål bør således opgives på basis af total-P og ikke tørstof, for at kunne sammenligne gødningsprodukternes kvalitet ift. mikroplastforekomst.

Det kræver yderligere sammenligninger for at kunne vurdere kvaliteten af hver af gødningsprodukterne. Nærværende rapport forholder sig således ikke til, hvilket af de to organiske gødningsprodukter, der kvalitetsmæssigt er det bedre valg.

Undersøgelser af potentielle negative effekter af mikroplast i det terrestriske miljø er stadig begrænset. På baggrund af publicerede studier på regnorme er der ikke for nuværende indikation på at der vil være negative effekter af mikroplast på regnorme populationer ved miljørealistiske koncentrationer. Den potentielle risiko ved udledning af mikroplast til det terrestriske miljø bør dog undersøges yderligere bl.a. ved studier ved miljørealistiske koncentrationer på andre jordbundsorganismer end regnorme.

Genanvendelsen af KOD-biopulp og det resulterende digestat til gødningsformål må fortsat være en målsætning, idet de fundne resultater ikke kan begrunde en ændring i anbefalingen om at genanvende ressourcen. Resultaterne i denne undersøgelse peger dog på, at der bør gennemføres en yderligere afdækning af mikroplast i KOD, for at kunne foretage en afvejning mellem gunstige effekter ved recirkulering af næringsstoffer - særligt fosfor - og potentielle miljømæssige problemer ved at der ledes mikroplastik ud i miljøet. Fremadrettet vil effekter af mikroplast i vores terrestriske og akvatiske miljø derfor blive retningsgivende for den videre anvendelse af organiske affaldsfaktioner på vores landbrugsjorder.

## 8. Perspektivering

Denne rapport giver de første indikationer på mikroplastforekomst i KOD biopulp og digestat. Som tidligere beskrevet giver rapporten ikke svar ift. hvor stort et problem dette må tænkes at udgøre. Vi har blot skrabet i overfladen ift. viden om mikroplastforekomst i KOD biopulp. Derfor er der yderligere arbejde som skal udføres for at give et helhedsbillede af udfordringerne med mikroplastforekomst i KOD biopulp.

Forslag til yderligere studier:

- Yderligere udvikling af metoder til bestemmelse af mikroplastforekomst i forskellige substrater. Der arbejdes både med metoder til bestemmelse af antallet af mikroplastpartikler samt massen af mikroplastpartikler og metoderne forfines hele tiden. Men der er stadig lang vej til der foreligger en standard for måling af mikroplast.
- Graden af nedbrydning (i miljøet) af de forskellige typer partikler der findes i KOD og digestat, når materialerne anvendes til gødningsformål. Der udtages jordprøver fra markforsøg fra fyrtårnsprojektet VARGA, således at dette kan undersøges senere. Disse markforsøg har fået tilført det digestat, som er undersøgt i denne rapport.
- En massebalance ind over rådnetanken (biogasanlægget), for at redegøre for i hvilket omfang ændringer i partikelantallet skyldes fragmentering og/eller egentlig nedbrydning. Dette kræver en massebaseret vurdering.
- Relationer mellem mikroplastpartikler >2 mm (fysiske urenheder) og mikroplastpartikler med størrelser fra f.eks. 0,1-2 mm fordelt på plasttyper.
- Diverse spørgsmål omkring potentielle biologiske effekter ved anvendelse af KOD'en som gødningsressource (effektstudier).

## 9. Referencer

- (Affaldsrammedirektivet, 2018). EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV (EU) 2018/851 af 30. maj 2018 om ændring af direktiv 2008/98/EF om affald. Tilgået d. 27/2-2019: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=DA>.
- (Askegaard, M. 2015) Økologiens udfordringer i forhold til at få fat i næringsstofferne Økologikonferens, 25-26. november, 2015, Vingsted.
- (Askegaard, M. 2017) Økologisektionens årsmøde d. 26. oktober, Fødevarerpark Skjern Enge, Skjern.
- (Miljøstyrelsen, 2013a). Danmark uden affald, Genanvend mere, forbrænd mindre. Ressourcestrategien. Tilgået d. 30/7-2018. [http://mst.dk/media/mst/Attachments/Ressourcestrategi\\_DK\\_web.pdf](http://mst.dk/media/mst/Attachments/Ressourcestrategi_DK_web.pdf)
- (Cao et al 2017). Cao D, Wang X, Luo X, Liu G, Zheng H. Effects of polystyrene microplastics in the fitness of earthworms in an agricultural soil. 2017. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 61: 012148. Doi: 10.1088/1755-1315/61/1/102148.
- (Danmarks statistik). Statistik over arealudnyttelse i Danmark, Tilgået 31/7-2018 <https://www.dst.dk/da/Statistik/nyt/NytHtml?cid=24323>
- (Karling, 2018). Karling ND. 2018. Investigating the effects of different fertilizing treatments on earthworms - View on potential impacts of microplastic. Master Thesis, Roskilde University, Denmark (ikke offentliggjort, dele af resultaterne forventes at blive indsendt til publicering i et internationalt tidsskrift i 2019).
- (Landbrug og fødevarer, 2018), Tilgået 31/7-2018 <https://www.lf.dk/viden-om/oekologi/om-okologi>
- (Ljung et al 2018). Ljung E, Olesen KB, Andersson P-G, Fältström E, Vollertsen J, Wittgren HB, Hagman M. 2018. Mikroplaster i kretsloppet. Rapport Nr. 2018-13. Svenskt Vatten AB.
- (Lwanga et al 2016). Lwanga EH, Gertsen H, Gooren H, Peters P, Salánka T, van der Ploeg M, Beseling E, Koelmans AA, Geissen V. 2016. Microplastics in the terrestrial ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). Environmental Science and Technology 50, 2685-2691. Doi: 10.1021/acs.est.5b05478.
- (Miljøstyrelsen, 2015a). Kortlægning af forbehandlings- og biogaskapacitet af organisk affald, Miljøprojekt nr. 1728, 2015, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet
- (Miljøstyrelsen, 2016). Danmarkskort over indsamlingsordninger <http://genanvend.mst.dk/kommuner/affaldsordninger-i-parcelhuse-og-sommerhuse/>. Tilgået d. 31/7-2018
- (NaturErhvervsstyrelsen, 2015). Vejledning om økologisk jordbrugsproduktion. Tilgået d. 30/7-2018. [http://naturerhverv.dk/fileadmin/user\\_upload/NaturErhverv/Filer/Indsatsomraader/Oekologi/Jordbrugsbedrifter/Vejledning\\_til\\_oekologisk\\_jordbrugsproduktion/OEkologivejledning\\_\\_januar\\_2015.pdf](http://naturerhverv.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Indsatsomraader/Oekologi/Jordbrugsbedrifter/Vejledning_til_oekologisk_jordbrugsproduktion/OEkologivejledning__januar_2015.pdf)
- (Københavns Kommune, 2019) Ressource- og affaldsplan 2024, Høringsudkast, tilgået 05/02-2019, <https://www.kk.dk/sites/default/files/edoc/a17cf45f-c9d6-499b-a2d5-4201861b1e05/d2caa948-83b3-4761-ad72-e895c3422488/Attachments/20672141-27795535-24.PDF>
- (Palmqvist et al 2019). Palmqvist A, Sandgaard MH, Magid J. 2019. Mikroplast i jord: Undersøgelse af langtidseffekter og undvigeadfærd hos den naturligt forekommende endogæiske regnormeart *Aporrectodea caliginosa*. Projekt rapport forventes offentliggjort af Brancheorganisationen Genanvend Biomasse i 2019.

(Ressourcestrategien, 2013). Ressourcestrategien, Danmark uden affald, oktober 2013, Regeringen. Tilgængeligt 31/7-2018. [http://mfvm.dk/fileadmin/user\\_upload/MFVM/Miljoe/Ressourcestrategi\\_DK\\_web.pdf](http://mfvm.dk/fileadmin/user_upload/MFVM/Miljoe/Ressourcestrategi_DK_web.pdf)

(Rodriguez-Seijo et al 2017). Rodriguez-Seijo A, Lourenco J, Rocha-Santos TAP, da Costa J, Duarte AC, Vala H, Pereira R. 2017. Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia Andrei Bouche*. *Environmental Pollution* 220, 495-503. Doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.092.

(Vollertsen & Hansen, 2017). Vollertsen J, Hansen AA. 2017. Microplastic in Danish wastewater - Sources, occurrences and fate. Environmental Project No. 1906. The Danish Environmental Protection Agency. ISBN: 978-87-93529-44-1.

(Weithmann et al., 2018). Weithmann N, Möller JN, Löder MGJ, Piehl S, Laforsch C, Freitag R. 2018. Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. *Science Advances* 4: eaap8060.



## 10. Bilag

### 10.1 Bilag 1: Definitioner og begreber

#### Affald til jord bekendtgørelsen

Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål (BEK nr. 1001 af 27/06/2018) eller blot Affald til jord bekendtgørelsen afløser den tidligere "Slambekendtgørelse". Affald til jord bekendtgørelsen fastsætter regler om i hvilket omfang affald kan anvendes til jordbrugsformål. På listen over affald med jordbrugsmæssig værdi (Affald til jord bekendtgørelsen, bilag 1) er anført både Kildesorteret Organisk Dagrenovation (KOD) samt slam fra offentlige spildevandsanlæg. Der opstilles i bekendtgørelsen en række kvalitetskrav som skal overholdes for at fraktionerne kan afhændes til jordbrugsformål.

#### Anaerob

Anaerobe miljøer er defineret som iltfrie. Specifikke typer af bakterier laver biogas i en række procestrin.

#### Bioforgasning/udrådning

Betegner den proces der forløber i renseanlæggets rådnetanke og biogasanlæggets reaktortanke, ved enten termofil eller mesofil

temperatur, hvor mikroorganismer omsætter det organiske materiale til biogas.

#### Biogas

Biogas er betegnelsen for den gas der produceres i rådnetanken/ biogasanlægget. Hovedbestanddelene i rå biogas er ca. 2/3 metan og 1/3 kuldioxid. Biogas kan udnyttes i f.eks. en gasgenerator, der kan producere el og varme.

#### Biobaseret plast

Biobaseret plast er et alternativ til almindeligt plast baseret på fossilt materiale. Biobaseret plast er modsat almindeligt plast, ikke produceret fra olie og gas, men fra fornybare ressourcer som biomasse (sukkerroer, sukkerrør, majs og halm mv.). Biobaseret plast er ikke nødvendigvis bionedbrydeligt.

#### Bionedbrydeligt plast

Bionedbrydelig plast er særlige plasttype. Bionedbrydelig plast kan sagtens være lavet hovedsageligt af olie og naturgas. De københavnske bioposer til madaffald består af bionedbrydeligt plast og er delvist biobaserede.

#### Dagrenovation

Affald, som hovedsageligt består af køkkenaffald, hygiejneaffald og mindre emner af kasserede materialer, der typisk frembringes

af private husholdninger. Herunder madaffald og restaffald i form af kartoner til mælk, juice og lignende, snavset papir, pap og plast m.v., og som ikke er omfattet af andre ordninger (definition: Affaldsbekendtgørelsen, BEK nr. 1309 af 18/12/2012).

#### Digestat

KOD biopulp eller anden organisk biomasse der har gennemgået enten termofil eller mesofil udrådning, som således udgør det organiske gødningsprodukt som kan tilbageføres til landbruget såfremt de opstillede kvalitetskriterier overholdes.

#### Forbehandlingsanlæg

Et forbehandlingsanlæg oparbejder KOD biomasse til en pumpbar KOD biopulp ved at neddele materialet (ved at kværne, presse eller rive), frasortere poser, fejl-sorteringer og urenheder og tilsætte vand.

### Fysiske urenheder

Fysiske urenheder: Ved fysiske urenheder forstås den totale mængde uønskede materialer i biopulpen, som f.eks. metal, glas, gummi, plast mv. (definition: Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål, BEK nr. 1001 af 27/06/2018).

### Hygiejnisering

Affald til jord bekendtgørelsen og biproduktforordningen stiller krav om, at KOD biopulpen varmebehandles ved minimum 70 °C i en time eller tilsvarende valideret alternativ hygiejniseringsmetode, inden materialet udbringes på landbrugsjord.

### KOD

Kildesorteret Organisk Dagrenovation (KOD), i Københavns Kommune kaldet bioaffald, er den organiske fraktion af dagrenovation, som er udsortet ude hos borgeren og indsamlet. Den indsamlede KOD mængde kan leveres til oparbejdning på et forbehandlingsanlæg.

### KOD Biopulp

KOD Biopulp er KOD som er blevet neddelat i et forbehandlingsanlæg, rensat for urenheder og tilsat vand til et pumpbart materiale.

### Mikroplast

Der foreligger ingen international vedtaget definition af hvilken størrelsesfraktion mikroplast udgør, men det er almindeligt anvendt internationalt at mikroplast defineres som plast der er mindre end 5 mm.

### Mesofil

Mesofil udrådning foregår typisk ved 35-40 °C. Mesofile bakterier er den primære bakteriegruppe i intervallet 15-45 °C og varetager omsætningen af organisk materiale til biogas.

### Miljøfremmede stoffer

Miljøfremmede stoffer er en betegnelse for en meget stor gruppe af vidt forskellige stoffer der er uønskede i miljøet, og kendetegnes ved at forekomme på steder og/eller i koncentrationer der ikke er naturlige. Affald til jord bekendtgørelsen indeholder grænseværdier for stofgrupperne LAS, PAH, NPE og DEHP.

### Opholdstid

Opholdstiden i en rådnetank eller i en reaktortank er defineret ved volumenet af tanken (m<sup>3</sup>) divideret med den tilførte mængde biomasse (m<sup>3</sup>/d).

### Primært mikroplast

Primær mikroplast er plastpartikler der er produceret i en lille størrelse, og som har et specifikt formål, f.eks. slibemiddel i tandpasta eller skrubbcremer. Se også sekundært mikroplast.

### Plast (fossilt)

Plast betegner en gruppe af kunststoffer der er fremstillet fra olie og gas, plast tilsættes mange forskellige additiver, for at opnå specifikke egenskaber.

### Reaktortank

Betegner den tank hvor den anaerobe udrådning finder sted på et biogasanlæg, almindeligvis ved meso- eller termofil udrådning, funktionen adskiller sig således ikke fra rådnetanken på renseanlægget, men har blot en anden betegnelse og den anvendes oftest til andre affaldsfraktioner som husdyrgødning, organiske restfraktioner mv. kan udrådnos.

### Rådnetank

Betegnelsen for den tank der anvendes til enten mesofil eller termofil anaerob udrådning på et renseanlæg, funktionen adskiller sig således ikke fra tanken på biogasanlægget, men har blot en anden betegnelse og der udrådnos oftest spildevandsslam.

### Separat udrådning

Betegnes her som udrådning hvor KOD biopulp udrådnes for sig selv, og dermed ikke blandes med andre organiske fraktioner eller spildevandsslam.

### Sekundært mikroplast

Den slags mikroplast der oprinder fra slid eller brud på større plastemner betegnes sekundær mikroplast. Se også primært mikroplast.

### TC

TC (Total Carbon), betegner den totale mængde kulstof (Carbon) i en prøve. TC indholdet måles på en CHN analysator efter tørring ved 60 °C i 24 timer og homogenisering af prøvematerialet.

### Termofil

Termofil udrådning foregår typisk ved 50-55 °C. Thermofile bakterier er den primære bakteriegruppe i intervallet 40-65 °C, og varetager omsætningen af organisk materiale til biogas.

### TOM

TOM (Total organic matter) måles som glødetab ved udglødning af tørrede prøver i 2 timer ved 550 °C. TOM værdien vil være tæt på VS værdien.

### Total-N

Udtryk for den samlede mængde af kvælstof i en prøve. Total-N måles på en CHN analysator efter tørring ved 60 °C i 24 timer og homogenisering af prøvematerialet.

### Total-P

Udtryk for den samlede mængde af fosfor i en prøve. Total-P måles ved hjælp af spektrofotometri efter udglødning af prøvematerialet i 1½ time ved 550 °C.

### TS

Total Solids (TS) er betegnelsen for tørstofindhold. TS måles som det materiale der er tilbage efter opvarmning (105 °C i 24 timer).

### Tungmetaller

Tungmetaller udgør en række af grundstofferne, og

er kendetegnet ved at have en høj massefylde og fremstår på fast form ved stuetemperatur, men der ligger ikke en fast definition af hvad tungmetaller er. Tungmetaller indgår som kvalitetsparametre i Affald til jord bekendtgørelsen med tungmetallerne (Cd) Cadmium, (Hg) kviksølv, (Pb) Bly, (Ni) Nikkel, (Cr) Chrom, (Zn) zink og (Cu) Kobber.

### VS

Volatile Solids (VS) er den organiske del af TS. VS måles som det materiale der er forsvundet efter 1 time ved 550 °C. Det er denne del som nedbrydes i udrådningssprocessen, med biogasproduktion til følge. VS værdien vil være tæt på TOM værdien.

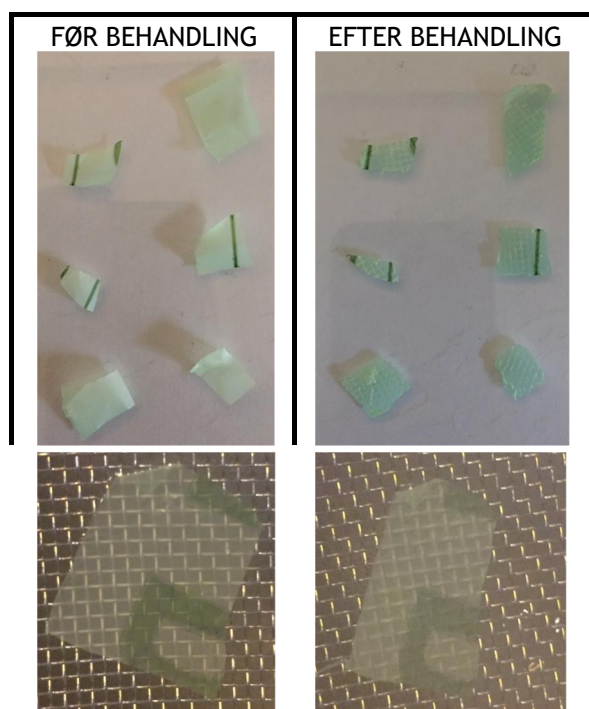
### Økologiforordningen/positiv listen

Økologiforordningen sætter rammerne for økologisk produktion, mærkning og kontrol. Gødnings- eller jordforbedringsmidler som ikke er optaget på Økologiforordningens positivliste må ikke anvendes på de økologiske marker.

## 10.2 Bilag 2: Tilpasning af forbehandlingsprotokol

Ved tidligere analyser af mikroplast type og indhold i organiske ressourcer (spildevandsslam og komposteret slam), foretaget på RUC, har der ikke været anledning til særlig fokus på om rester af bioposer, i form af MP og større synlige urenheder, blev bevaret ved behandling af prøverne. Analyse af MP-forekomst besværliggøres af tilstedeværelsen af organisk materiale, idet organisk materiale forøger antallet af filtre hver prøve skal filtreres ud på for at undgå dels at filtrene klogger til under filtreringen og dels at det organiske materiale efterfølgende skygger for MP-partiklerne. Organisk materiale i prøverne forøger således analysetiden per prøve og sikkerhed i bestemmelsen, og ønskes derfor fjernet under forbehandlingen. I forbindelse med analyser af MP i spildevandsslam og komposteret slam har forbehandlingen bestået i nedbrydning af organisk materiale med en basisk hypokloritopløsning (bestående af kaliumhydroxid (KOH), natriumtripolyfosfat ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) og Natriumhypoklorit ( $\text{ClNaO}$ ) i Milli-Q vand), forud for filtrering og efterfølgende behandling af prøverne på filtrene med 100°C varmt vand (for at fjerne fedtstoffer på filtrene).

Da bioposerne må forventes at nedbrydes lettere end de fleste andre typer af plastmateriale, og der er særligt fokus på dem i dette projekt, blev det besluttet at undersøge eventuelle effekter af forbehandling på bioposerne forud for behandling og analyse af de indsamlede prøver. Formålet med denne undersøgelse var således at balancere graden af forbehandling med bevarelse af relevante urenheder i form af bioposer i prøvematerialet forud for analysen.



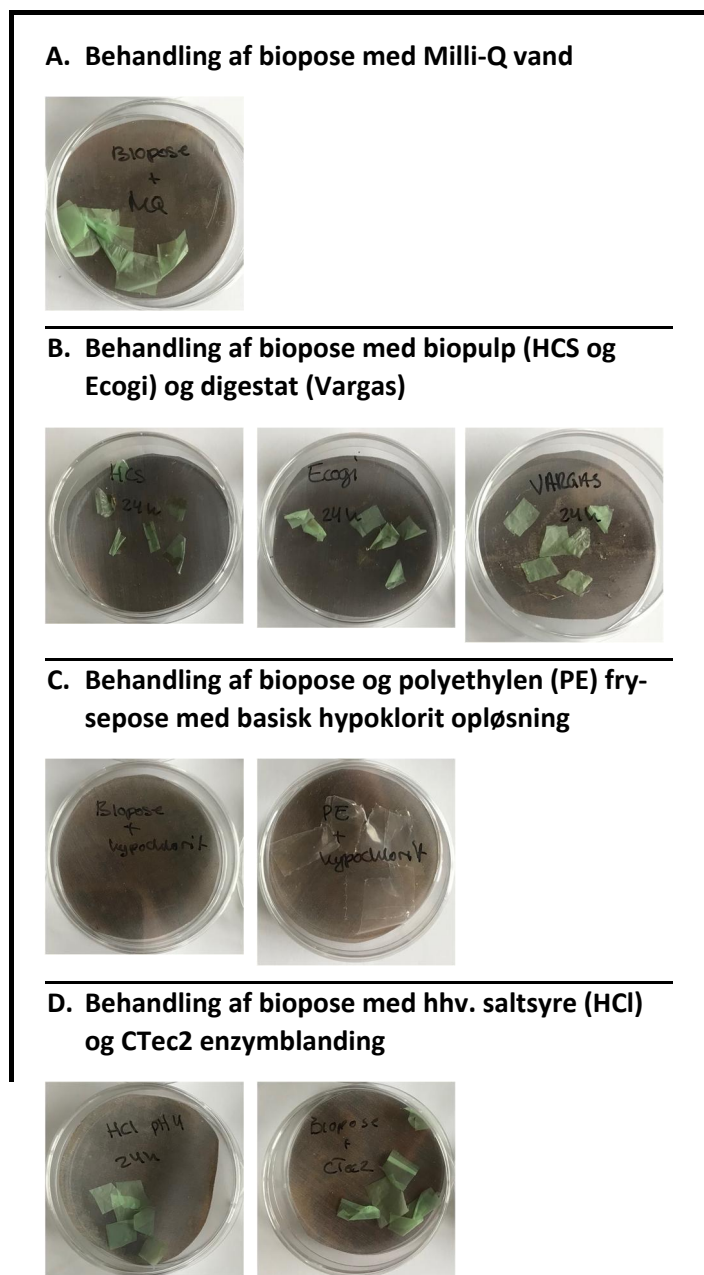
Figur B1.1. Stykker af biopose før og efter kortvarig behandling med kogende vand. Filterstørrelse på de nederste billeder er ca. 1mm.

I et pilotstudium, blev stykker af bioposer således enten placeret på et filter og kortvarigt overhældt med kogende vand (figur B1.1) eller behandlet med forskellige væsker i 24 timer og derefter filtreret ud på et 100  $\mu\text{m}$  stålfiler (figur B1.2). Ved hver test blev der anvendt 6 stykker biopose.

Som det fremgår af figur B1.1, bliver bioposer ikke opløst eller tilstrækkeligt møre til at de løber gennem filteret ved kortvarig behandling med kogende vand. Ved en nærmere sammenligning af før og efter billederne bliver det tydeligt at biopose stykkerne trækker sig lidt sammen (figur B1.1 nederst) og tager overfladestruktur efter filteret (figur B1.1 øverst). Som følge af at materialet trækker sig sammen bliver biopose flagerne endvidere stivere i strukturen ved behandling med kogende vand.

Ved behandling af bioposerne med forskellige væsker, benyttedes en kontrol i form af behandling med Milli-Q vand i 24 timer (figur B1.2A), for at sikre at eventuelle observerede ændringer i form, struktur eller stabilitet af biopose flagerne ikke simpelthen skyldtes at flagerne blev udsat

for et fugtigt miljø i 24 timer. Testen viste at biopose flagerne ikke blev påvirket af behandlingen med Milli-Q vand, idet hverken struktur, form eller stabilitet af flagerne ændredes i løbet af de 24 timers behandling. Selv om det allerede tidligt blev klart at der findes biopose i biopulp (før udrådning) og digestat (efter udrådning af biopulpen), var vi interesserede i at undersøge om biopulp og



Figur B1.2. Billeder af bioposeflager efter 24 timers behandling med MilliQ vand (A; kontrol), KOD biopulp og digestat (B), basisk hypokloritopløsning (C) og hhv. CTec2 og HCl (D) og efterfølgende filtrering af poserne på et 100  $\mu\text{m}$  stålfilter. Endvidere billede af polyethylen flager behandlet med basisk hypokloritopløsning og efterfølgende filtreret på 100  $\mu\text{m}$  filter (C).

påvirker form, struktur eller stabilitet af bioposeflagerne. Enzymerne i CTec2 har en optimal pH værdi i intervallet 5-5,5, og derfor blev det desuden testet om et surt miljø (pH=4 i 24 timer) påvirker bioposerne, hvilket viste sig ikke at være tilfældet (figur B1.2D).

digestat på kort sigt (24 timer) i sig selv påvirker bioposerne (figur B1.2B). Ud fra forsøget kan det konkluderes at biopulp og digestat på kort sigt ikke påvirker bioposeflagerne form, struktur eller stabilitet, men det kan ikke udelukkes at bioposerne ville mørnes og fragmenteres eller evt. helt nedbrydes ved længere tids ophold i prøvematerialerne. Som tidligere nævnt er der, med god balance mellem en effektiv nedbrydning af organisk materiale og bevarelse af MP-partikler, tidligere anvendt en basisk hypoklorit opløsning til forbehandling af spildevandsslam på RUC. Det fremgår dog af figur B1.2C at denne forbehandling ikke er velegnet til behandling af prøvematerialer, hvor der er et ønske om at kunne detektere flager af biopose, idet flagerne bliver så mørre at de kan skylles gennem et 100  $\mu\text{m}$  stålfilter ved filtrering af prøven (figur B1.2C til venstre). Forud for filtrering kunne flagerne tydeligt observeres i væsken, og det var ikke umiddelbart tydeligt forud for filtreringen at bioposeflagerne havde ændret stabilitet ved behandlingen. Til sammenligning blev flager klippet af polyethylen (PE) fryseposer ikke nedbrudt af den basiske hypokloritopløsning (figur B1.2C til højre). Det kan ikke konkluderes ud fra dette pilotforsøg om det er det basiske miljø eller den oxiderende effekt af hypoklorit opløsningen som mørner bioposerne.

Da hypoklorit opløsningen ikke er egnet som forbehandling, hvis man er interesseret i at bevare eventuelle bioposeflager i prøverne, blev det besluttet at teste om behandling med cellulase kunne benyttes uden væsentlig påvirkning af bioposerne. Figur B1.2D (til højre) viser at behandling af bioposer med CTec2 (en blanding af cellulaser, hemicellulaser og  $\beta$ -glucosylaser) i 24 timer ikke

På basis af pilotforsøget blev det besluttet at prøverne af KOD biopulp og digestat skulle forbehandles med enzymblandingen CTec2 for at fjerne cellulose fibre, som udgør en relativt stor andel af det organiske materiale i prøverne. For at sikre at en tilstrækkeligt stor andel af cellulosen fjernes forlængedes behandlingstiden dog til ca. 72 timer. I KOD biopulp og digestat prøverne er der desuden store mængder fedtstoffer til stede, og dette nedbrydes hverken ved behandling med cellulase eller basisk hypokloritopløsning. For at undgå at indføre et ekstra behandlingstrin med f.eks. lipaser (enzymer som nedbryder fedtstoffer) er den letteste metode til at fjerne fedtrester fra filtrene at overhælde disse kortvarigt med kogende vand. På baggrund af den begrænsede påvirkning kogende vand har på bioposerne valgte vi at benytte denne metode til at fjerne fedtresterne. Det kan dog ikke udelukkes at reduktionen i størrelse, om end begrænset, som følge af behandlingen med kogende vand kan have betydet at enkelte biopose partikler, med en udgangsstørrelse på ca. 100 µm, er kommet ned på en størrelse, hvor de er blevet skyllet gennem filteret ved overhældning med kogende vand.

### 10.3 Bilag 3: TS, TOM, TC, Total-P, Total-N indhold i prøverne

Tabel B2. Tabellen viser tørstof procent (TS %), andelen af tørstof som udgøres af organisk materiale (TOM) samt andelen af tørstoffet som udgøres af hhv. kulstof (TC), fosfor (total-P) og nitrogen (total-N) for hver af de tre typer prøvemateriale og for hver prøvetagningsdato.

Prøvemateriale	Dato	TS %	TOM % af TS	TC % af TS	Total-P % af TS	Total-N % af TS
HCS A/S	1. juni	23,2 (0,703)	92,5 (0,50)	55,1 (0,110)	0,25 (0,004)	2,6 (0,057)
HCS A/S	20. juni	13,4 (0,118)	86,8 (2,53)	46,9 (0,286)	0,34 (0,021)	2,9 (0,088)
Gemidan Ecogi A/S	1. juni	9,1 (0,044)	83,9 (0,21)	43,3 (1,166)	0,33 (0,025)	3,1 (0,096)
Gemidan Ecogi A/S	20. juni	14,0 (0,204)	84,8 (0,20)	44,6 (0,390)	0,48 (0,007)	3,7 (0,022)
VARGA	1. juni	3,2 (0,067)	70,0 (0,62)	39,5 (0,144)	0,88 (0,010)	4,2 (0,105)
VARGA	20. juni	2,8 (0,004)	67,9 (0,21)	36,9 (0,632)	1,13 (0,587)	4,7 (0,178)

Alle prøver er udtaget i juni 2018. Værdier er angivet som middelværdi (Standardafvigelse) af 3 analyser.



### 10.4 Bilag 4: Billeder fra mikroskopi og typiske FT-IR spektre

Eksempler på plastik partikler og partikler som ikke er talt med som plastik partikler

EKSEMPLER PÅ PLASTIK PARTIKLER	
<b>Fibre</b> Almindeligt fund	
<b>Svamp/skum</b> Relativt almindeligt fund Alle som på billeder	
<b>Flage/folie</b> Meget almindeligt fund - særligt multi-farvede flager	
<b>Biopose</b> Relativt sjældent fund	
<b>'Glimmer'</b> (kategoriseret som flage/folie) Meget sjældent fund	

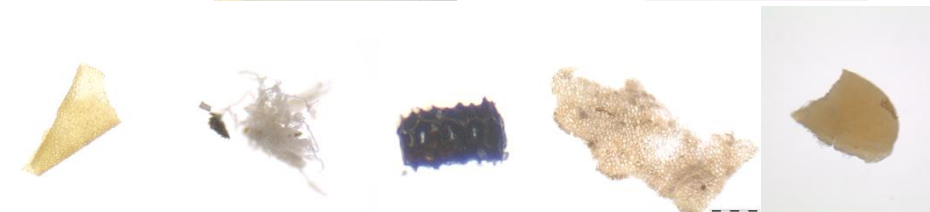
#### Typiske eksempler på partikler som ikke er talt med som plastik

##### Fragmenter

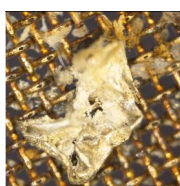
Sandsynligvis af mineralisk oprindelse (kan være glas)



##### Plantemateriale



##### 'Sølvpapir'





### 10.5 Bilag 5: Eksempler på typiske FT-IR spektre

**EKSEMPLER PÅ TYPISKE FT-IR SPEKTRE** (spektre af målte partikler vises som røde spektre, mens det referencespektrum der gav det bedste match er vist i sort under eksemplet)

<p><b>Biopose</b></p>		<p>Eksemplet er formodet biopose flage fra 1. indsamling af KOD fra Gemidan Ecogi A/S.</p> <p>Referencespektret er af grøn bionedbrydelig pose og er fra et pose- og emballage FT-IR bibliotek som blev specielt fremstillet til dette projekt.</p>
<p><b>Nylon</b></p>		<p>Eksemplet er spektret af en sort fiber fra 2. indsamling af KOD fra Gemidan Ecogi A/S.</p> <p>Referencespektret er Nylon 6/12 (polyhexamethylene dodecanediamide) og fra et kommercielt tilgængeligt FT-IR bibliotek.</p>
<p><b>Polyester</b></p>		<p>Eksemplet er spektret af en sort fiber fra 2. indsamling af KOD fra HCS A/S (spektret har meget støj).</p> <p>Referencespektret er af polyester (uspecificeret) og fra et kommercielt tilgængeligt fiber FT-IR bibliotek.</p>

<p><b>Polyethylen</b></p>		<p>Eksemplet er spektret af en multifarvet folie fra 2. indsamling af KOD fra Gemidan Ecogi A/S.</p> <p>Referencespektret er klorineret (42%) polyethylene og fra et kommercielt tilgængeligt FT-IR bibliotek.</p>
<p><b>Polystyren</b></p>		<p>Eksemplet er spektret af en blå flage fra 1. indsamling af digestat fra VARGA anlægget.</p> <p>Referencespektret er en polystyren standard fra et kommercielt tilgængeligt FT-IR bibliotek.</p>
<p><b>Polypropylen</b></p>		<p>Eksemplet er spektret af en klar folie fra 2. indsamling af KOD fra HCS A/S.</p> <p>Referencespektret er en polypropylen standard fra et kommercielt tilgængeligt FT-IR bibliotek.</p>

