

## NOTAT

Til Reno Djurs

Vedr. Miljøvurdering af håndtering af organisk affald og emballage af metal, glas og plast fra husholdninger

Fra Thomas F. Astrup, Anders Damgaard

12. January 2018

---

### 1. Indledning

I forbindelse med udarbejdelse af et debatoplæg om fordele og ulemper ved nye indsamlingsordninger ønsker Reno Djurs en opsamling af væsentlige miljøforhold knyttet til organisk affald samt glas, metal og plast fra husholdninger.

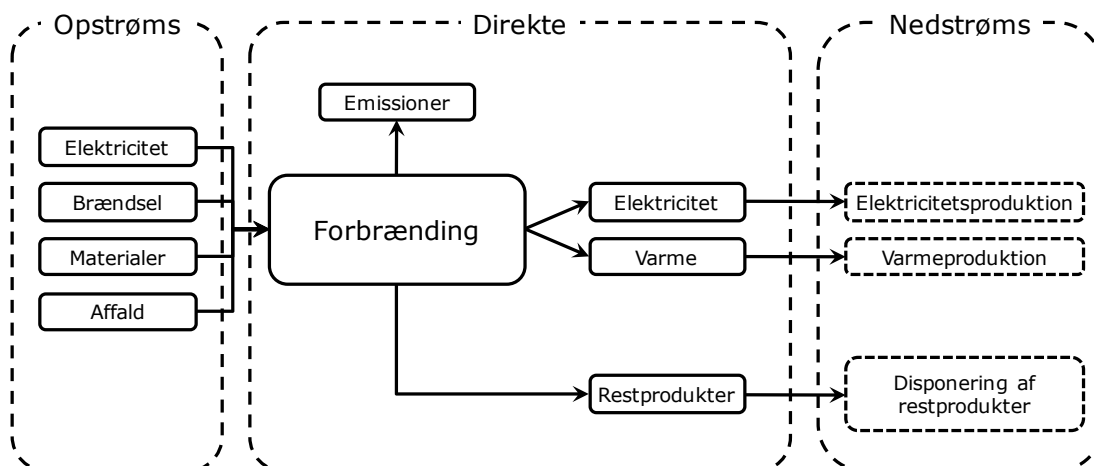
Notatet sammenfatter væsentlige resultater og problemstillinger baseret på eksisterende viden og tidligere livscyklusvurderinger udført af DTU Miljø. Fokus er på generelle og robuste konklusioner fra livscyklusvurderinger fremfor detaljer i enkelte undersøgelser. Notatet er udarbejdet af DTU Miljø i december 2017.

### 2. Miljø- og livscyklusvurdering generelt

Livscyklusvurdering er en metode til kvantitativ opgørelse af potentielle miljøpåvirkninger forbundet med et specifikt system. For affaldshåndtering omfatter systemet typisk hele kæden af aktiviteter fra sortering ved borgeren, indsamling og transport, oparbejdning, behandling og genanvendelse af affaldet, til slutdisponering af restprodukter fra affaldsbehandlingen.

En livscyklusvurdering omfatter ikke alle emissioner eller miljøpåvirkninger, men blot "kendte" emissioner som kan omsættes til miljøpåvirkninger. Emissioner og miljøpåvirkninger kan med fordel opdeles i tre typer: a) direkte emissioner og påvirkninger fra selve affaldshåndteringen (f.eks. udstødning via transport, emissioner fra et forbrændingsanlæg, osv.), b) opstrøms emissioner og påvirkninger forbundet med fremstilling af materialer, ressourcer, brændstof osv. anvendt i selve affaldssystemet, samt c) nedstrøms emissioner og påvirkninger, typisk i form af undgåede emissioner fra substitution af energi- og materialeproduktion uden for affaldssystemet.

Håndtering og behandling af affald inden for affaldssystemet udgør en miljøbelastning, enten via direkte emissioner til miljøet eller via ressourceforbrug med tilhørende opstrøms emissioner. Når energi, materialer, eller næringsstoffer fra affaldet udnyttes andetsteds i samfundet fortrænges den alternative produktion af de samme materialer, ressourcer, næringsstoffer, eller energi. Dette kaldes substitution. Håndteringen af affaldet bidrager derved til at undgå emissioner, som ellers ville være andetsteds i samfundet. Miljøpåvirkninger fra disse emissioner fratrækkes miljøpåvirkningerne forbundet med selve affaldshåndteringen.

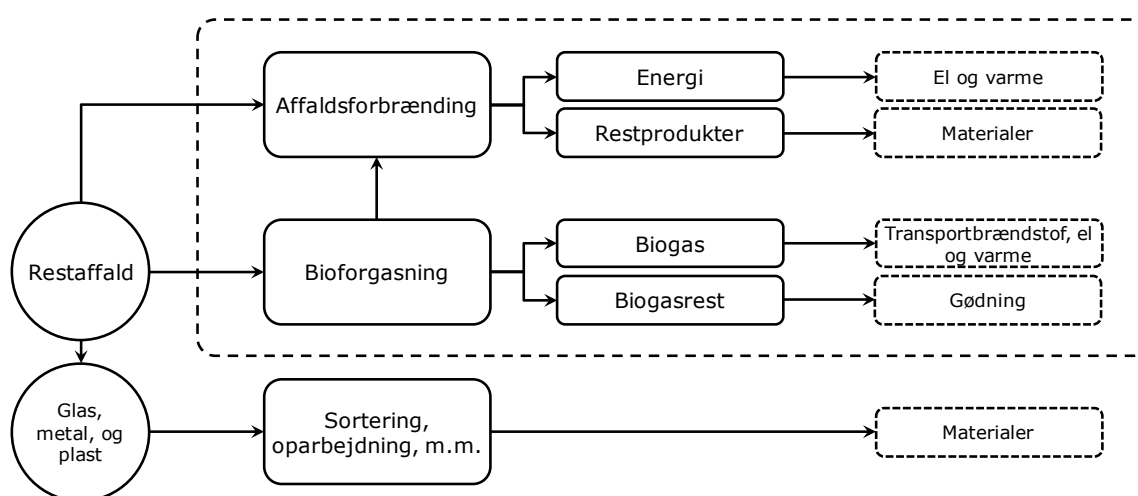


Figur 1. Opdeling af emissioner og miljøpåvirkninger i opstrøms, direkte og nedstrøms faser.

Ovenstående figur illustrerer opdelingen i direkte (a), opstrøms (b) og nedstrøms (c) miljøpåvirkninger for affaldsforbrænding som eksempel. Samme princip kan anvendes for andre affaldsteknologier.

De miljømæssige gevinster ved den nedstrøms udnyttelse af ressourcerne i affaldet er typisk væsentlig større end miljøbelastningen forbundet med håndteringen og behandlingen af affaldet i affaldssystemet. Herved opnås en netto miljøgevinst ved affaldshåndteringen. Den "miljømæssige værdi" af de genanvendelige materialer er således tæt knyttet til undgået produktion af de samme materialer. Herved får kvaliteten af de indsamlede materialer stor betydning, da netop kvaliteten afgør hvordan materialerne kan genanvendes, og dermed også hvilken produktion som fortrænges. Tilsvarende for energi og næringsstoffer.

De forskellige scenarier for restaffald kan illustreres med nedenstående figur, hvor det organiske affald enten kan sendes til forbrænding eller til bioforgasning, og de "tørre" fraktioner metal, glas og plast udsorteres til materialegenanvendelse.



Figur 2. Illustration af de undersøgte behandlingsalternativer for restaffaldet uden de tørre genanvendelige fraktioner: affaldsforbrænding og bioforgasning.

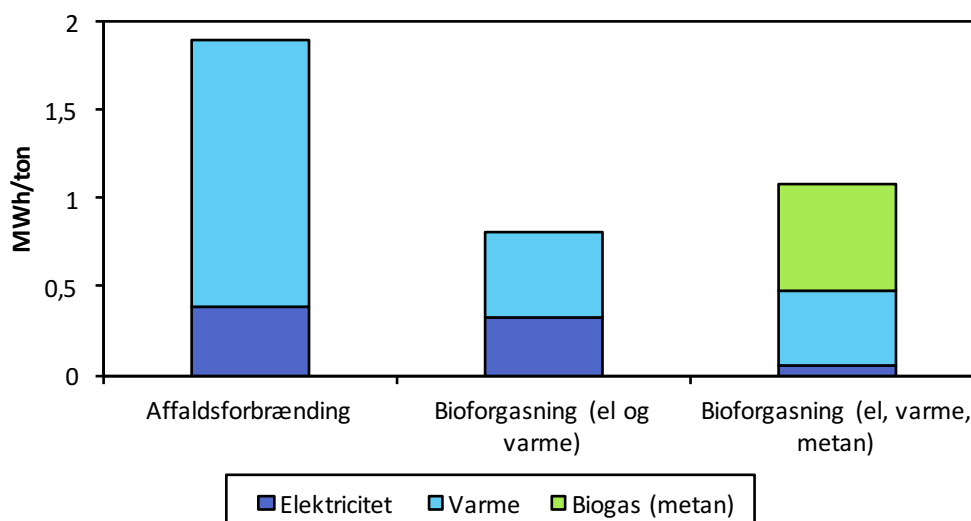
### 3. Organisk affald

Problemstillingen omkring organisk affald knytter sig typisk til en eventuel separat indsamling af organisk affald fra husholdningerne med efterfølgende bioforgasning og udbringning af biogasrest (rådnerest) på landbrugsjord. Alternativet hertil er typisk affaldsforbrænding i Danmark.

#### Energiudbytte

Energiudbyttet spiller en væsentlig rolle både for bioforgasning og forbrænding. Ved bioforgasning fremstilles en biogas, som potentielt anvendes enten til el og varmeproduktion eller opgraderes til transport eller naturgaskvalitet. Ved forbrænding fremstilles el og varme direkte. Anvendes biogassen til el- og varmeproduktion substitueres de samme energikilder som ved forbrænding. Klimagevinsten vil i dette tilfælde afhænge af energieffektiviteten for den samlede proces. I den biologiske proces består energikonverteringen af to trin: omsætning af det organiske materiale til biogas og dernæst forbrænding af biogassen samt fremstillingen af el og varme. Ved forbrænding foregår denne konvertering i et enkelt trin. Affaldsforbrænding vil typisk give et højere samlet energiudbytte (el og varme), mens der ved bioforgasning kan opnås en øget andel af el i forhold til varme sammenlignet med forbrænding. Opgraderes biogassen til transportbrændsel eller naturgaskvalitet sker et yderligere konverteringstab. Det samlede energiudbytte vil da være mindre end for konvertering til el og varme.

Det samlede energiudbytte ved bioforgasning af det organiske affald vil typisk højst være omkring halvdelen af energiudbyttet ved forbrænding. Dette er illustreret i nedenstående figur med to eksempler på udnyttelse af biogassen: enten udelukkende el- og varmeproduktion, eller el- og varmeproduktion samt udnyttelse af metan som transportbrændsel.

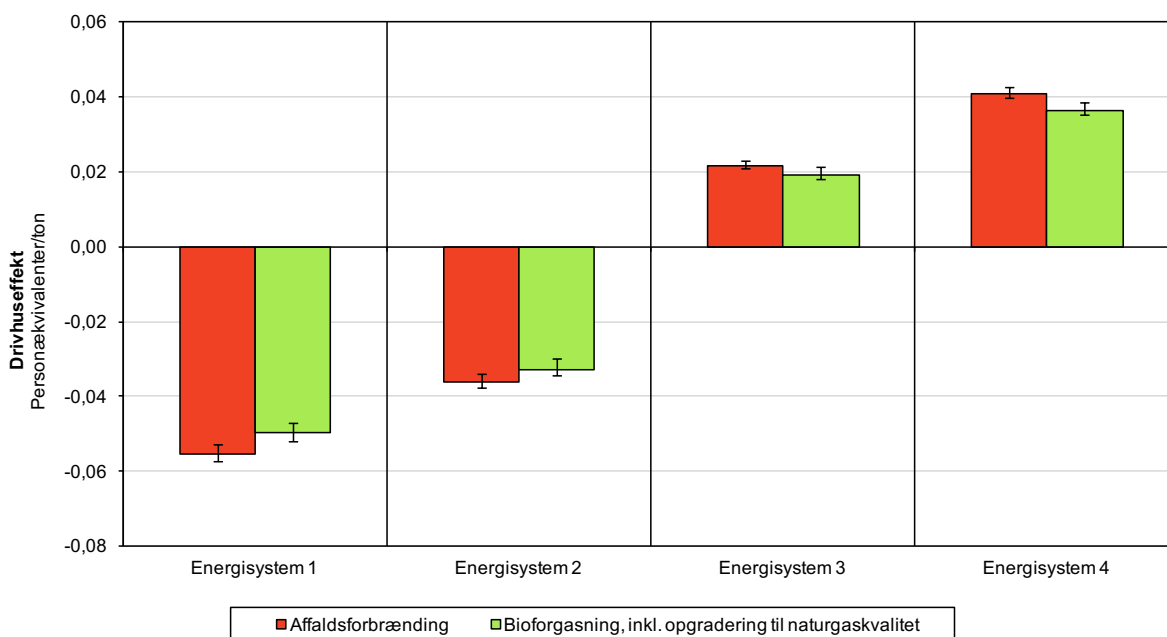


Figur 3. Typisk energiudbytte per ton affald for behandling af organisk husholdningsaffald via forbrænding henholdsvis bioforgasning.

## Drivhuseffekt

Drivhuseffekten vil ligesom en række andre miljøpåvirkninger (f.eks. fotokemisk ozondannelse/smog, forsurening) være tæt knyttet til det samlede energiudbytte. Uanset om el og varme fremstilles via biologisk eller termisk konvertering af affaldet, så vil miljøgevinsterne afhænge af miljøprofilen for den erstattede energiproduktion. Det er derfor ikke væsentligt, om energien udnyttes i form af biogas eller ej. Effektiviteten af den samlede konvertering er derimod væsentlig.

Klimagevinsten vil typisk være størst ved forbrænding fremfor bioforgasning af det organiske affald i et overvejende fossilt energisystem. Udnyttes biogassen i stedet til transportbrændsel fremfor til el og varme vil klimagevinsten typisk være mindre. Hvis el- og varmeproduktionen derimod er baseret på vedvarende energikilder (herunder biomasse såfremt denne ressource opfattes som ubegrænset tilgængelig), så vil klimagevinsten ved substitution af fossile transportbrændsler typisk være større. I et sådant energisystem vil transportbrændslerne populært sagt udgøre den fossile rest, som samfundet ønsker udfaset. Klimapåvirkningerne er illustreret i nedenstående figur for en række forskellige "energisystemer", som repræsenterer overgange fra fossil til vedvarende energiforsyning.



Figur 4. Netto drivhuseffekt (personækvivalenter) ved håndtering af restaffald, inkl. den organiske fraktion. Figuren medtager to forskellige scenarier: a) affaldsforbrænding af alt restaffald, samt b) bioforgasning af kildesorteret organisk affald (ca. 30 % af affaldet) og forbrænding af det resterende affald. Intervaller angivet med lodrette sorte streger illustrerer usikkerheder. Energisystem 1 repræsenterer en situation, hvor udelukkende fossile energikilder erstattes i energisystemet, mens Energisystem 4 repræsenterer en situation, hvor udelukkende vedvarende energikilder erstattes. Energisystem 2 og 3 repræsenterer henholdsvis overvejende fossil og overvejende vedvarende situationer.

Affaldshåndteringen udgør en samlet gevinst for klimaet, når energisystemet er fossilt. Er energisystemet (el og varme) derimod vedvarende så vil affaldshåndteringen være en

klimabelastning. Bioforgasning af den organiske fraktion og substitution af transportbrændsel (diesel og naturgas) vil derved udgøre en klimamæssig fordel i et vedvarende energisystem. Dog kan øget transport af organisk affald eller pulp i et vedvarende energisystem fjerne denne fordel, således at affaldsforbrænding også her bliver klimamæssigt bedst.

Med den nuværende energiforsyning i Danmark svarer situationen i grove træk til et sted mellem energisystem 2 og 3 i figuren ovenfor. Affaldsforbrænding af den organiske fraktion vil i dag givetvis bidrage med den største klimagevinst. I fremtidige energisystemer baseret udelukkende på vedvarende energi, vil såvel affaldsforbrænding som bioforgasning være en klimamæssig belastning. Hvilken konkret teknologi som i en fremtidig situation vil være mest klimabelastende vil afhænge af en lang række parametre.

### **Næringssaltbelastning**

Bioforgasning og udbringning af biogasresten på landbrugsjord muliggør udnyttelse af fosfor og nitrogen i det organiske materiale. Herved substitueres produktion og forbrug af kunstgødning. Udbringning af biogasrest til landbrugsjord øger dog risikoen for udvaskning af nitrat til omgivelserne, da de gødningsmæssige egenskaber og udbringningspraksis er forskellig fra kunstgødning. Typisk forudsættes en substitution af omkring 80 % af fosfor og 40 % af nitrogen i det organiske materiale tilført bioforgasningen. I forhold til næringssaltbelastningen er den øgede nitratudvaskning fra biogasresten væsentlig. Samlet set medfører bioforgasning af det organiske affald derfor en øget næringssaltbelastning. Udledning af NO<sub>x</sub> fra forbrænding medfører også næringssaltbelastning, dog er de undgåede NO<sub>x</sub> emissioner fra den alternative energiproduktion typisk større. Affaldsforbrænding vil derfor typisk medføre en netto gevinst i forhold til næringssaltbelastning, når der sammenlignes med bioforgasning.

### **Toksiske effekter**

Både forbrænding og bioforgasning medfører toksiske effekter, dvs. giftvirkning overfor mennesker og natur af stoffer ved udledning til miljøet, uanset at gældende grænseværdier overholdes. Biogasresten indeholder metaller (f.eks. bly, Pb, zink, Zn, og kobber, Cu), som medfører toksiske effekter ved udbringning. Kunstgødning medfører også spredning af metaller, men udbringning af biogasrest fra bioforgasning af kildesorteret organisk affald medfører en netto belastning, dog afhængig af renheden. Affaldsforbrænding medfører toksiske effekter primært via røggasemissioner, hvor særligt kviksølv (Hg) og krom (Cr) har betydning. Metaludvaskning fra forbrændingsasker har dog også betydning.

Både forbrænding og bioforgasning har, som indikeret ovenfor, miljømæssige fordele og ulemper. Valget mellem forbrænding og bioforgasning af den organiske fraktion har kun lille klimamæssig betydning i forhold til den samlede håndtering af borgernes affald. For andre miljøpåvirkninger som næringssaltbelastningen og de toksiske effekter kan håndteringen af den organiske fraktion dog godt have en reel betydning også i det samlede billede.

### **4. Genanvendelige materialer (glas, metal og plast)**

Miljøgevinsten ved genanvendelse opnås typisk ved et mindre ressourceforbrug forbundet med oparbejdningen af affaldet til sekundære råmaterialer sammenlignet med den alternative primærproduktion af de samme råmaterialer. Oparbejdningen medfører til gengæld et materialetab,

hvorved ikke alt genanvendeligt materiale i affaldet substituerer primærproduktion. Jo mere miljøbelastende den primære produktion er, jo større miljøgevinster kan opnås ved genanvendelsen. Jo renere de genanvendelige materialer er, jo større er chancen for reel substitution og miljøgevinst.

### **Drivhuseffekt**

Klimagevinsten ved genanvendelse er typisk knyttet til den samlede energibesparelse ved oparbejdning og efterfølgende anvendelse af de sekundære råmaterialer. Jo mere energikrævende og jo mere fossilt baseret den primære produktion er, jo større er potentialet for klimagevinster. Indsamling, transport, oparbejdning og behandling af affaldsmaterialerne forinden genanvendelsen er en klimabelastning i sig selv, men bidragene her er typisk små i forhold til klimagevinsterne forbundet med undgået primærproduktion af de samme materialer. Overordnet set vil klimagevinsterne per vægt ved genanvendelse typisk findes i følgende faldende rækkefølge: aluminium >> stål/jern > kobber > plast > papir > glas. Den reelle klimagevinst vil afhænge af mængderne, deres renhed og den faktiske substitution.

### **Næringssaltbelastning**

Materialegenanvendelsen medfører kun sjældent en væsentlig påvirkning af næringssaltbelastningen sammenlignet med håndteringen f.eks. af det organiske affald. Eventuelle bidrag til næringssaltbelastning er typisk relateret til emissioner fra energiproduktion og vil derfor følge drivhuseffekten.

### **Toksiske effekter**

Toksiske effekter forbundet med genanvendelsen er i langt overvejende grad forbundet med primærproduktion af de substituerede materialer. Dette kan være emissioner f.eks. forbundet med metaludvinding og -smelteprocesser. Ved genanvendelsen undgås disse emissioner, hvilket medfører en miljøgevinst i forhold til toksiske effekter. Disse bidrag fra materialegenanvendelsen er dog små sammenlignet med eventuelle toksiske effekter fra udbringning af biogasrest til landbrugsjord.

### **Ressourcekvalitet**

Ressourcekvaliteten af materialerne er en af de vigtigste parametre for miljøgevinsterne ved genanvendelse. Ressourcekvaliteten er relateret til materialeegenskaberne, i særlig grad renhed og materialernes potentielle anvendelighed. Jo renere genanvendelige materialer, jo større anvendelsesmuligheder for materialerne, og dermed potentielt større miljøgevinster forbundet med genanvendelsen. Ressourcekvaliteten kan opgøres som et "materiale-tab" i oparbejdningen af affaldet til færdige sekundære råmaterialer af en bestemt kvalitet. Videre kan det forudsættes, at substitutionen er mindre end 1:1. Begge dele repræsenterer et "tab", hvorved der substitueres mindre primærproduktion end den indsamlede mængde af genanvendeligt materiale. Den reelle ressourcekvalitet, og dermed substitution, afhænger naturligvis af det konkrete indsamlingssystem og den anvendte indsamlings-, sorterings- og oparbejdningsteknologi.

For glas er genanvendelsen relativ simpel. Typisk forudsættes relativt små tab under 10 % af vægten for det udsorterede glas. Metal er mere kompliceret, da ressourcekvaliteten her afhænger af metalsammensætning, smelteprocesser og tilstedeværelsen af (forskellige) legeringer m.v. Typisk forudsættes tab svarende til 10-20 % af vægten. Metal udsorteret fra slagger fra affaldsforbrænding

karakteriseres ofte med en lavere kvalitet eller med større tab end for metal udsorteret direkte fra affaldet. Der findes dog kun få undersøgelser, som har adresseret disse tab og effekten af forbrændingsprocesserne for metalkvaliteten er uklare. Typisk forudsættes et materialetab på 20-40 % for metal fra slagge.

Situationen for plast er yderligere kompliceret, da plast for at genanvendes på et kvalitetsniveau svarende til det oprindelige plastprodukt skal holdes separat fra andre plastemner. Forringelse af plastkvaliteten kan ske via forurening med andre plasttyper og farver, eller via forurening med andre materialer. Plastgenanvendelse af høj kvalitet forudsætter i praksis, at plasten kan godkendes til fødevarer. Dette sker reelt ikke for plast fra husholdninger, med delvis undtagelse af drikkevareemballage i retursystemet. Genanvendelsen sker derved i vid udstrækning "til et lavere kvalitetsniveau" end den oprindelige plast, selvom plasten sorteres i separate polymertyper. Substitutionen for plastgenanvendelsen er derfor, at "en vis genanvendelse" er mulig, men at det i dag kun bidrager til substitution af lavere plastkvaliteter. Typisk forudsættes et tab svarende til 20-35 % af vægten for plast. Der findes undersøgelser som argumenterer for, at genanvendelsen reelt bidrager til et øget samlet forbrug (som følge af billigere råmaterialer), hvorved den reelle miljøgevinst for genanvendelse er lavere end ellers antaget.

Der er risiko for diffus spredning af miljøfremmede og uønskede stoffer i de indsamlede materialer til genanvendelse. Dette gælder i særlig grad plast, der kan indeholde problematiske stoffer både i selve materialet og gennem andre produkter og materialer, som følger med plasten til genanvendelse.

### **Indsamlingssystemer**

Fra et miljømæssigt og ressourcemæssigt perspektiv har indsamling og transport af husholdningsaffald ingen praktisk betydning for valg af indsamlingssystem. Det vigtigste er, at de genanvendelige materialer udnyttes effektivt og substitutionen af primærprodukt maksimeres. Jo mere sammenblanding af materialerne, jo større risiko for at ressourcekvaliteten forringes.

Fra et miljømæssigt perspektiv er kildesortering og/eller kildeopdelt indsamling overordnet set en fornuftig måde at sikre en tilstrækkelig kvalitet af materialerne. For genanvendelige materialer som også kan energiudnyttes (f.eks. plast, papir, og pap) bør fokus på længere sigt være at sikre høj kvalitet i genanvendelsen af udvalgte materialekategorier og produkttyper, fremfor en strategi med større mængder til genanvendelse i lav kvalitet.