

## Klimafaktorer for indsamling og genanvendelse af husholdningsaffald og husholdningslignende erhvervsaffald

Generiske klimafaktorer for genanvendelse af glas, plast, mad- & drikkekartoner, metal, madaffald, papir og pap

COWI, Brancheforeningen Cirkulær og DAKOFA

Oktober 2023



# Introduktion

## Baggrund

Følgende faktaark er iværksat af Klimanetværket ved DAKOFA med henblik på at udgive en række generiske klimafaktorer for genanvendelse af husholdningsaffald og husholdningslignende erhvervsaffald. Projektet er finansieret af Brancheforeningen Cirkulær.

Klimafaktorerne i rapporten er frit tilgængelige, hvormed kommuner, forsyninger, affaldsselskaber m.fl. har mulighed for at anvende dem. Klimafaktorerne kan anvendes til at beregne et estimat for den potentielle klimapåvirkning ved genanvendelse af husholdningsaffald og husholdningslignende erhvervsaffald. Anvendelse af de generiske værdier muliggør desuden at resultater på tværs af affaldsfraktioner, virksomheder og kommuner kan sammenholdes, idet de generiske klimafaktorer har samme afgrænsning og metode.

Projektet er udført af COWI i perioden juni – oktober 2023 ved Silje Kærn Berggreen og Line Geest Jakobsen. Data og antagelser anvendt til beregning af klimafaktorerne i faktaarkene er udarbejdet med sparring fra professor Thomas Fruergaard Astrup, DTU, som bl.a. har bidraget med input til den benyttede affaldssammensætning, transportafstande samt valg af affaldsbehandling for enkelte fraktioner. De øvrige medvirkende i projektet er Hanne Ørbæk Johnsen og Nana Winkler fra Brancheforeningen Cirkulær og Morten Carlsbæk fra DAKOFA.

## Indikation af klimaeffekt

De generiske klimafaktorer skal ses som en indikation for affald indsamlet i Danmark. Klimafaktorerne kan herved bruges til at give en indikation af, hvilken størrelsesorden klimaet påvirkes ved genanvendelse af de inkluderede affaldsfraktioner. Det skal understreges, at hvis en kommune, forsyning, eller et affaldsselskab ønsker at kende deres specifikke klimapåvirkning, eller hvis de bagvedliggende antagelser i beregningerne i denne rapport ligger langt fra, hvad der er tilfældet for kommunens, forsyningens eller affaldsselskabets affald, kan de generiske faktorer ikke benyttes. Her må der foretages beregninger med kommune- eller virksomhedsspecifikke forudsætninger.

## Inkluderede fraktioner

Faktaarkene indeholder på nuværende tidspunkt værdier for madaffald, papir, pap, metal, glas, plast, samt mad & drikkekartoner (MDK) indsamlet ved henteordninger.

Restaffald er udeladt, da fokus i første omgang var på genanvendelige fraktioner. Tekstiler og Farligt affald, som også skal indsamles husstandsært jf. affaldsbekendtgørelsen, er udeladt i første omgang, da et generisk datagrundlag for disse fraktioner er usikre.

## Klimafaktorer for ordningen

Klimafaktorerne er beregnet for affaldsordningen inkl. urenheder for de enkelte ordninger, dvs. at alt indholdet i den pågældende affaldsbeholder/-rum er inkluderet. Det betyder, at der for hver affaldsordning er inkluderet "target"-fraktionen (f.eks. glasskår i glasordningen), bi-fraktioner (f.eks. metallåg i glasordningen) og "non-target fraktioner" (fejlsorteringer, urenheder). For glasordningen kan sidstnævnte f.eks. være plast, pap, papir og madaffald. Klimafaktorerne i denne rapport kan således ikke sammenlignes direkte med specifikke klimafaktorer for "target"-fraktionen i sig selv.

## Indsamlingsordninger

Klimafaktorerne er beregnet ud fra, at den pågældende affaldsfraktion sorteres og indsamles i henteordninger fra husholdninger, som beskrevet i Vejledning nr. 9792 om indsamling af husholdningsaffald<sup>1</sup> og Vejledning nr. 9793 om sortering af husholdningsaffald<sup>2</sup>.

Der er taget udgangspunkt i særskilt indsamling for hver fraktion (undtagen for mad- og drikkekartoner). Ved kombinerede indsamlingsordninger må mindre afvigelse fra de fremførte klimafaktorer forventes.

Kombinerede indsamlingsordninger (f.eks. plast og metal) kræver et ekstra sorteringstrin, da fraktionerne skal separeres før yderligere finsortering er mulig. Dette ekstra trin giver et ekstra energiforbrug og kan i nogle tilfælde resultere i lavere andel affald til endelig genanvendelse. Til gengæld kan der være en besparelse andre steder i værdikæden, idet urenheder og fejlsorteringer frasorteres tidligt i processen. Disse forhold for kombineret indsamling vurderes samlet set typisk at have en mindre effekt for klimaeffekten i forhold til øvrige antagelser, og indgår ikke i beregningerne.

## Metode og data

De generiske klimafaktorer er beregnet på basis af en livscyklusvurdering (LCA), der starter fra indsamling af affaldet og slutter ved endt affaldsbehandling og oparbejdning af de genanvendelige affaldsfraktioner til sekundære råmaterialer samt affaldsbehandling af rejekt fra disse anlæg. Gevinsten ved genanvendelse er modelleret som undgået produktion (substitution) af primære råmaterialer.

Den funktionelle enhed er 1 ton affald indsamlet i ordningen i Danmark mellem 2020–2025, dvs. indsamling, transport i alle led, sortering, genanvendelse samt substitution af virgint materiale og altså inklusiv affaldsbehandling af non-target- og bi-fraktioner. Der tages udgangspunkt i aktuel 'best practice'.

## Opdatering af klimafaktorer

Data anvendt til klimafaktorerne bør opdateres løbende (som minimum hvert 3.-5. år), da ændringer i bl.a. energisystemet forventeligt har store konsekvenser for klimafaktorerne. Dette er særligt relevant, hvor der er større mængder rejekt til forbrænding (f.eks. for plastfraktionen). Ligeledes kan der ske udvikling af genanvendelsesteknologier.

Det er desuden endnu uvist, hvad implementering af det udvidede producentansvar for emballage vil have af konsekvenser for affaldsbehandlingssystemet. Efter indførelse af producentansvaret bør det vurderes, om der er behov for opdatering af væsentlige forudsætninger i beregningerne.

<sup>1</sup> <https://www.retsinformation.dk/eli/retsinfo/2022/9792>

<sup>2</sup> <https://www.retsinformation.dk/eli/retsinfo/2022/9793>

## Afgrænsning

Klimaberegningerne starter der hvor produkter bliver til affald, og slutter ved substitution af materialer og energi. Beregningerne omfatter affaldsindsamling, transport i alle led samt forbrug af elektricitet, varme, brændstof vand, og andre hjælpematerialer i processerne for sortering og genanvendelse af fraktionen, inklusive behandling af frasorterede emner. Ydermere medtages substitution af fortrængte materialer. I beregning af substitution tages højde for det materielle tab i genanvendelsesprocessen og en eventuel kvalitetsforskel imellem det sekundære og primære råmateriale.

Klimaaftrykket fra produktion af affaldsspande og affaldsposer samt konstruktion af behandlingsanlæg, indsamlingskøretøjer osv. er ikke inkluderet i analysen.

*Ikke inkluderede elementer:*



Der tages ikke højde for, om markedet er mættet eller ej (og derved om genanvendt materiale erstatter sekundært råmateriale i stedet for primært råmateriale). Der tages desuden ikke højde for cirkulariteten af materialet og dermed de eventuelle gentagne genanvendelses-loops.

Geografisk afgrænser klimaberegningen sig til indsamling i Danmark. Sortering og oparbejdning, inklusiv behandling af frasorterede emner foregår i Danmark eller udlandet. Der er lavet antagelser for den geografiske placering af behandlingen af de enkelte affaldsfraktioner, hvilke er baseret på de forskellige affaldsfraktioners typiske nuværende værdikæder. Dette er beskrevet i de enkelte faktaark.

Klimafaktorerne er ikke afrapporteret efter scope 1, 2, og 3 i FNs Green House Gas Protocol (GHG Protocol), men de er i stedet for afrapporteret efter en række definerede opdelinger af værdikæden: 'Indsamling og transport til første behandling', 'Sortering og behandling af rejekt', og 'Behandling inkl. substitution'. Årsagen hertil er, at afgrænsningen af scopes og dermed hvilke dele af værdikæden der er med heri, afhænger af hvem der afrapporterer. Ud fra en kommunes perspektiv (kommunen som virksomhed, *ikke* som geografi) vil hvert scope dækkes af flg. dele af værdikæden:

- Scope 1: Direkte emissioner fra indsamling og transport, hvis kommunen selv ejer og driver indsamlingsbilerne
- Scope 2: Hvis ikke kommunen ejer indsamlingsbilerne, vil emissioner fra indsamling og transport høre under scope 2. Hvor kommunen ejer sorterings- og/eller behandlingsanlæg, vil emissioner fra sortering og behandling høre under scope 2
- Nedstrøms scope 3: Hvis ikke kommunen selv ejer sorterings- og behandlingsanlæg, er emissioner forbundet med sortering og behandling dækket under nedstrøms scope 3. Substitution af materialer fra genanvendelse og energi fra forbrænding er desuden dækket under nedstrøms scope 3.
- Opstrøms scope 3: Produktion af materialer/energi til hele værdikæden. I dette projekt medtages miljøpåvirkningen forbundet med fremstilling af produkterne (inden de bortskaffes) ikke, da der i rapporten er taget en "zero-burden" tilgang, som oftest benyttes i affalds-LCA'er.

# Vejledning til brug af klimafaktorerne

*Det er vigtigt, at klimafaktorer benyttes og kommunikeres korrekt. Læs derfor hele introduktionen samt nedstående før benyttelse af klimafaktorer fremført i faktaarkene.*

Den potentielle klimapåvirkning er beregnet *per ton indsamlet affald* i de gældende ordninger, altså inklusiv behandling og evt. genanvendelse samt substitution af bi-fraktioner/fejlsorteringer (f.eks. metaller). Klimafaktorerne er beregnet ud fra de gennemsnitlige affaldssammensætninger, transportafstande og oparbejdningsdata vist ved hver affaldsfraktion. Afviger disse data væsentligt fra, hvad der er gældende i en specifik kommune eller virksomhed, må det forventes, at den generiske klimafaktor afviger mere eller mindre fra, hvad der er gældende i den enkelte kommune eller virksomhed. Typiske forskelle fra det modellerede, og den formodede klimamæssige konsekvens af dette, er beskrevet kvalitativt ved hver fraktion.

Klimafaktorerne **kan** eksempelvis bruges til følgende:

- ✓ Give en indikation, f.eks. til borgere, på klimaeffekten ved affaldshåndtering af gældende fraktioner.
- ✓ Inputs til klimaregnskab eller affaldsplaner for kommunens affaldshåndtering i tidligere år, hvor substitution af energi og materialer er inkluderet.
- ✓ Beregning af overordnede, generelle klimapåvirkninger ved genanvendelse af de gældende fraktioner.

Klimafaktorerne **kan ikke** bruges til følgende:

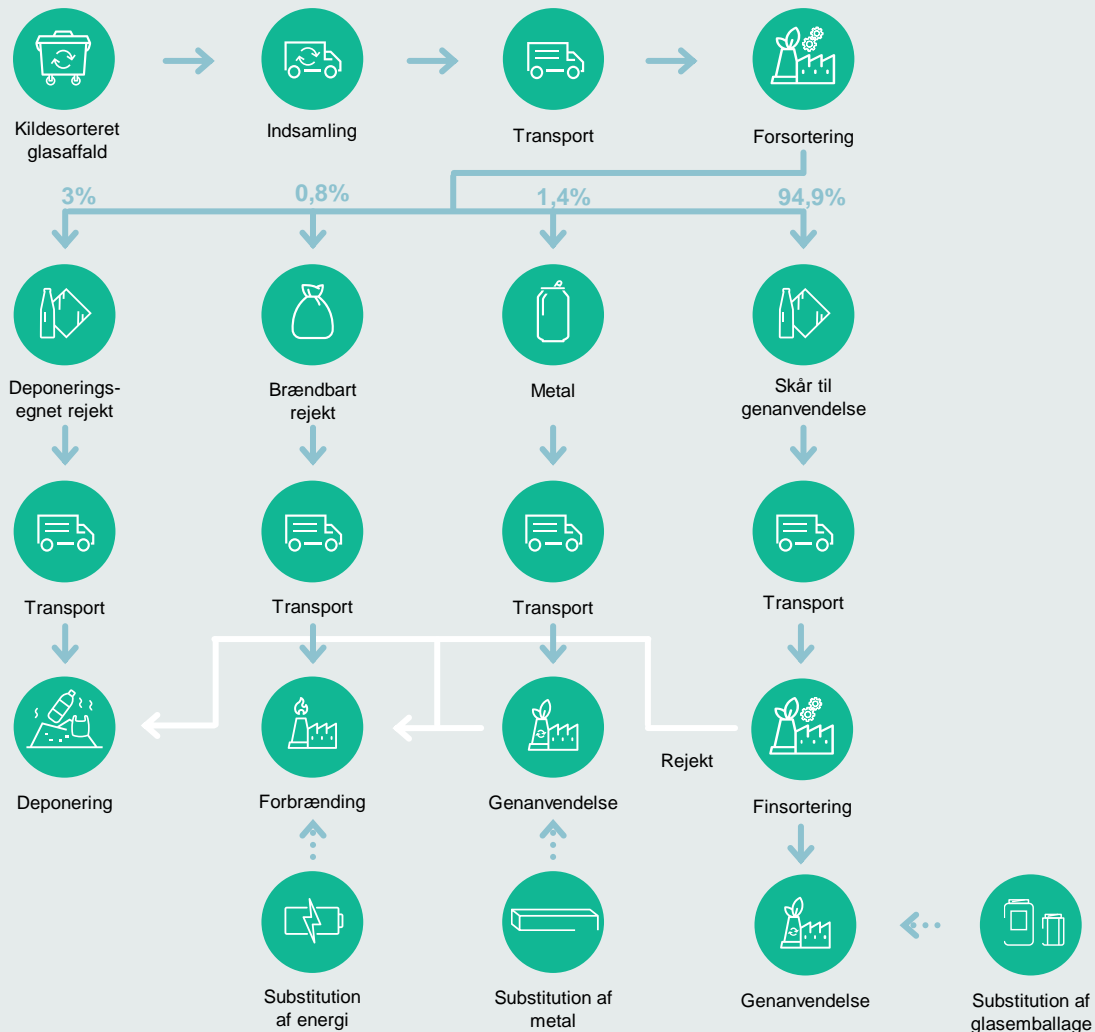
- ✗ Beregning af specifikke og præcise klimapåvirkninger ved genanvendelse af de gældende fraktioner i en bestemt kommune eller virksomhed.
- ✗ Vurdering af klimaeffekter ved ændringer af ordninger på baggrund af beregninger med rapportens klimafaktorer.
- ✗ Klimafaktorerne er inkl. substitution af materialer og energi og kan derfor ikke benyttes i klimaregnskaber, hvor substitution helt eller delvist tilskrives andetsteds (se evt. afsnittet Metode og data).
- ✗ Direkte sammenligning med klimafaktorer fra andre LCA-studier grundet forskelle i systemafgrænsning, metode, og andre forudsætninger.



GLAS



## Glasaffald - Procesdiagram



### Antagelser i LCA-modellen

#### Indsamling

Affald i glasordningen indsamles og transporteres til sortering og genanvendelse i Danmark.

#### Sortering og genanvendelse

Urenheder og metal til genanvendelse udsorteres. Glas og metal sendes videre til genanvendelse. Brændbart rejekt (f.eks. fejlsorteringer og etiketter) fra sortering behandles ved forbrænding, inert rejekt (f.eks. keramik) deponeres og glasstøv går til anden materialenyttiggørelse (bl.a. produktion af skumglas). I baggrundsdata er glasstøv modelleret som deponi af inert materiale. Dette forventes ikke at have nogen særlig betydning for klimafaktoren. De sekundære råmaterialer, skår og metal, substituerer hhv. jomfrueligt glas og metal. Genanvendelse af glas og metal samt behandling af rejekt foregår i Danmark.

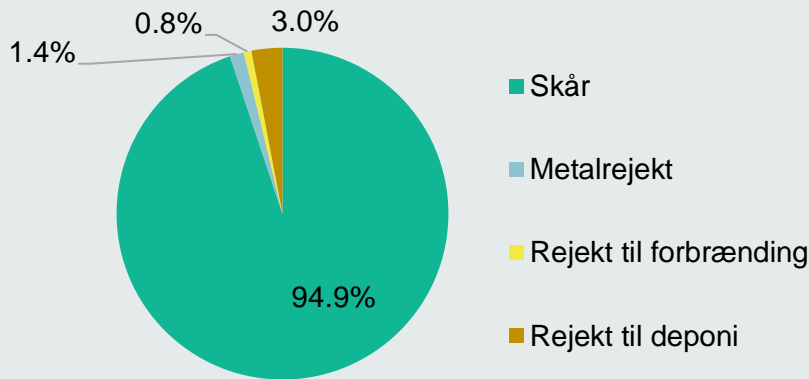
**Genbrug af glas** er ikke medtaget, hvormed klimafaktoren kun repræsenterer genanvendelse af skår.



GLAS



## Affaldssammensætning af glasordning



Metal-rejekt forudsættes at bestå af 2/3 stål og 1/3 aluminium. Rejekt til deponi består af glasstøv og keramik fra sorteringsprocessen. Rejekt til forbrænding forudsættes at bestå af etiketter og fejlsorteringer.

## Baggrundsdata og -forudsætninger

### Transportafstande

Transport omfatter transport til sortering samt for skår transport til genanvendelsesanlæg (glasfremstilling) og for rejekt transport til forbrændingsanlæg eller deponi. Yderligere transportafstande (f.eks. transport af flyve- og bundaske fra forbrænding) er ikke vist i tabellen, da de er af mindre betydning ift. klimapåvirkningen. Drivhusgasudledning fra indsamling er beregnet per ton indsamlet materiale og ikke per kørte km. Indsamling er derfor ikke vist i tabellen.

Proces	Transport til sortering	Transport fra forsoring til genanvendelse af skår	Transport fra forsoring til genanvendelse af metalrejekt	Transport af forsoringrejekt til forbrænding	Transport af forsoringrejekt til deponi
Lastbil, diesel	50 km	100 km	50 km	50 km	50 km
Skibstransport	100 km		3.750 km		

### Genanvendelse og substitution

Skår genanvendes til emballageglas med en genanvendelseeffektivitet på 100% (intet materiale-tab) og en substitutionsfaktor på 1 (ingen kvalitetsforskel imellem primær og sekundær glasemballage). Den anvendte baggrundsproces for produktion af fortrængt glasemballage inkluderer formning af selve emballagen. Dette stemmer overens med genanvendelsesprocessen, som også inkluderer formning af glasemballagen. Kombinationen af en høj effektivitet i genanvendelsesprocessen samt en høj substitutionsfaktor afspejler aktuel 'best practice' indenfor glasgenanvendelse.

Sekundært produkt	Oparbejdningseffektivitet (a-faktor)	Substitueret materiale	Proces for substitueret materiale	Substitutionsfaktor (b-faktor)
Glas/skår	100%	Glasemballage	packaging glass production, green, without cullet <sup>A</sup>	1,0

<sup>A</sup> Bemærk at den substituerede proces inkluderer produktion af selve glasproduktet. Denne proces er modregnet i genanvendelsesprocessen med et forbrug til fremstilling af glasemballagen. Kilde: ecoinvent LCI database

Baggrundsdata og -forudsætninger for genanvendelse af udsorteret metal er beskrevet under faktaark for metal.



GLAS



## Klimapåvirkning per ton affald

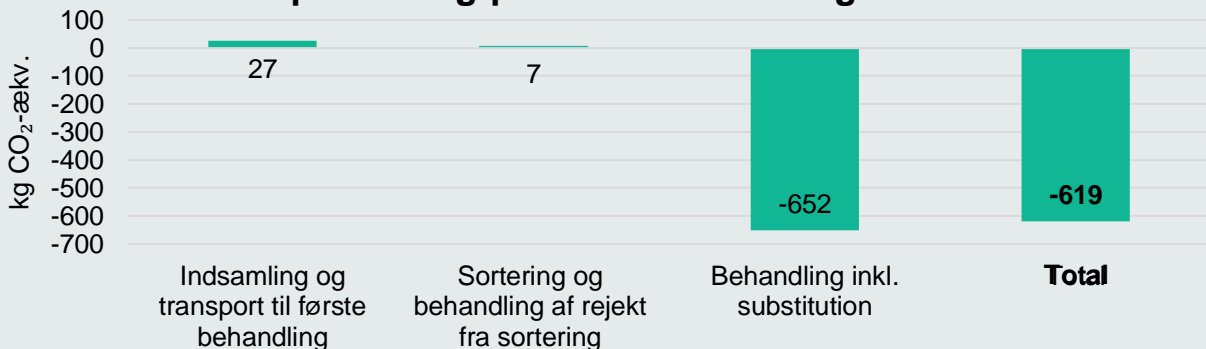
Indsamling, transport, og behandling af et ton affald fra glasordningen inkl. urenheder giver en samlet besparelse på

**-619 kg CO<sub>2</sub> ækvivalenter**

Indsamling og transport til første behandling udgør 4 % af den totale klimaeffekt <sup>A</sup>.

<sup>A</sup> Den totale klimaeffekt er summen af positive værdier (udledninger) og negative værdier (sparede emissioner). Af denne grund kan enkelte led i værdikæden (her behandling inkl. substitution) udgøre mere end 100 % af den totale CO<sub>2</sub> udledning.

### Klimapåvirkning per ton indsamlet og behandlet affald



"Transport til første behandling" inkluderer transport til forsortering, transport af glas til genanvendelse samt transport af rejekt til behandling efter sortering. Yderligere transport er inkluderet i "Behandling inkl. substitution"

### Opsummering af væsentlige parametre med betydning for klimafaktoren

Genanvendelsesprocessen for skår udgør en klimabelastning, og substitution af fortrængte materialer udgør en klimabesparelse. Genanvendelse (behandling inkl. substitution) har størst betydning for resultatet. Indsamling, transport, sortering og behandling af rejekt er af mindre betydning. Forbrug af energi i oparbejdning af glas har betydning, hvormed **energikilden** og dermed værdikæden er en væsentlig forudsætning for resultaterne (se mere om energi under afsnittet Metoder og data).

Afviser **affaldssammensætningen** fra de generiske antagelser kan det have betydning for resultaterne. Andel metallåg eller anden metal er væsentlig grundet betydelige CO<sub>2</sub>-besparelser forbundet med genanvendelse af metal. Øges mængden af metal med 1 %-point, stiger de samlede besparelser for glasordningen med 2 %. Andel af rejekt til forbrænding og deponering er væsentlig grundet en klimabelastning forbundet med disse behandlinger frem for en besparelse fra genanvendelse. Øges f.eks. forbrændingsegnet rejekt med 1 %-point, falder de samlede besparelser for glasordningen med 2 %.

Afviser **transportafstandene** fra de generiske antagelser vil det have betydning for resultatet. Mindre afvigelser vil dog ikke ændre væsentligt på resultatet. Transportafstanden til oparbejdning af glas har størst betydning, da skår udgør 94,9 % af den samlede mængde. Den samlede klimaeffekt falder med knap 2 %, når afstanden til glasgenanvendelse øges med 100 km.

Indsamles glasaffald i en **kombineret ordning** med metal forventes en ringere genanvendelsesgrad med et større glastab (10–15 % svind)<sup>1</sup>. Dette vil reducere klimabesparelsen for ordningen.

**Indsamlingsmetoden** har desuden stor betydning for kvaliteten af det indsamlede glas og dermed mængden, som kan genanvendes. Indsamling i komprimatorbiler giver et større svind end eksempelvis indsamling i kuber.<sup>1</sup> Indsamles glas i komprimatorbiler må den totale klimapåvirkning forventes at være reduceret ift. det fremførte resultat.

**Genbruges** glas vil det have betydning for den samlede klimapåvirkning fra ordningen (medregnes genbrug af glas vil klimabesparelsen øges i væsentligt omfang). Indsamling af glas i kuber sker med ladbiler og giver flere hele flasker uden skår, som kan genbruges, frem for en henteordning med almindelige komprimatorbiler som ved husstandsindsamling.

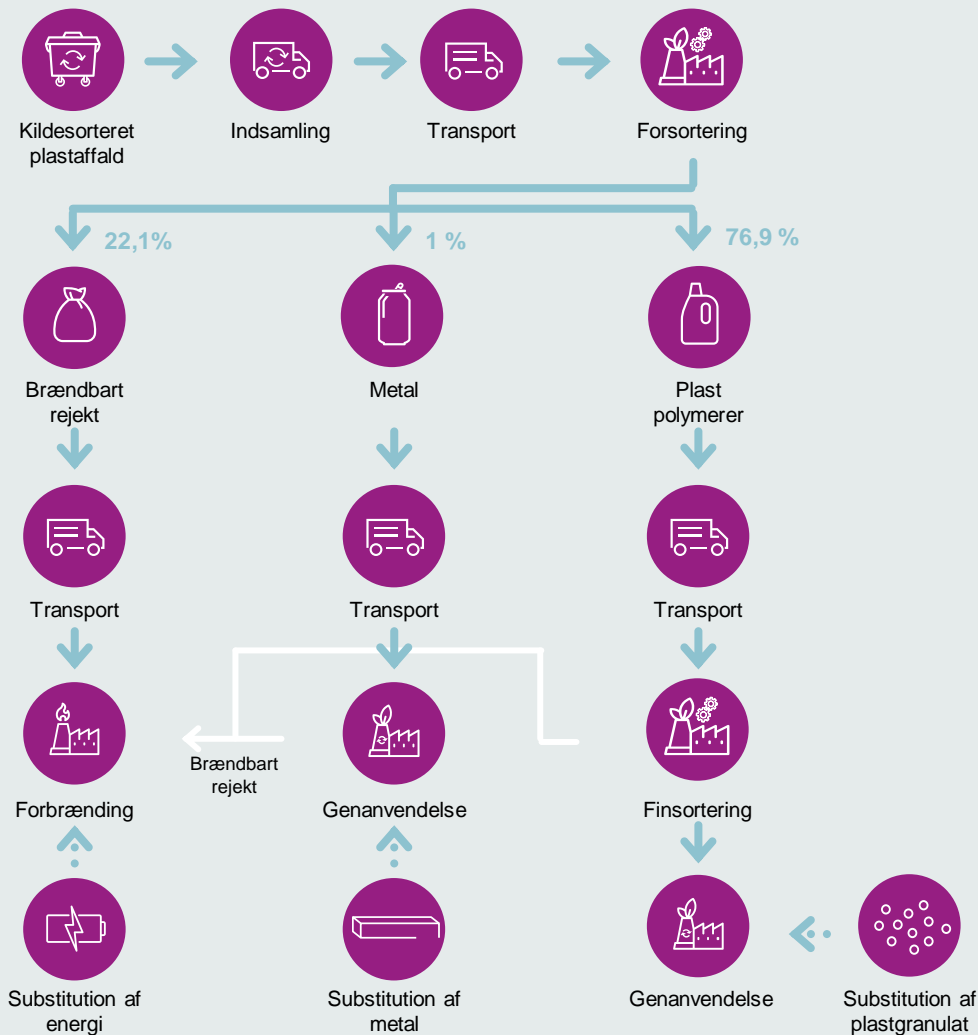




PLAST



## Plastaffald - Procesdiagram



### Antagelser i LCA-modellen

#### Indsamling

Affald i plastordningen indsamles og transporteres til sortering og genanvendelse i Europa (modelleret som Tyskland).

#### Sortering og genanvendelse

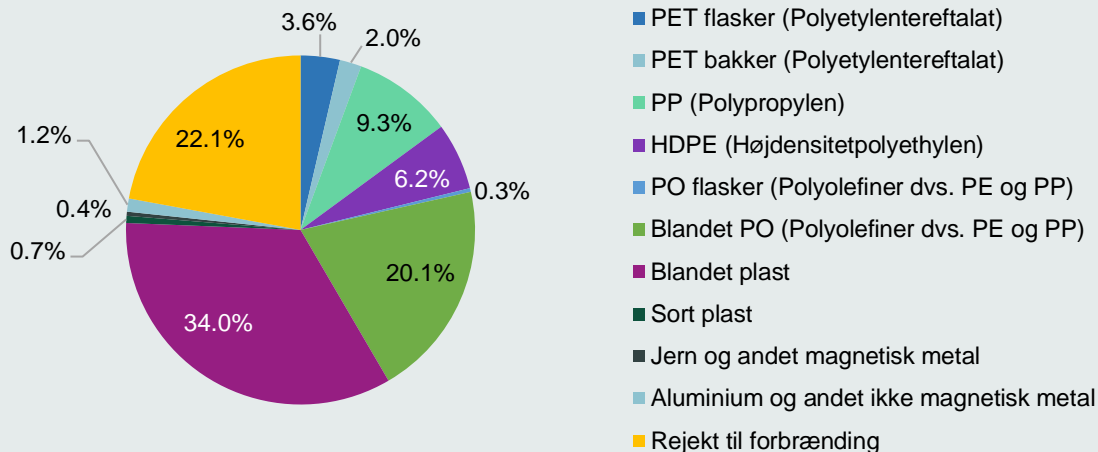
Plast, metal og rejekt sorteres, hvorefter metal og plast sendes videre til genanvendelse. Brændbart rejekt (f.eks. Ikke-genanvendelig plast og fejlsorteringer) fra sortering behandles ved forbrænding og substituerer energi. Sekundære råmaterialer, plast og metal, substituerer hhv. primært plastgranulat og metal. Genanvendelse af plast og behandling af rejekt foregår i Europe (modelleret som Tyskland).



## PLAST



### Affaldssammensætning af plastordning



Den store rejejtandel på 22,1% består hovedsageligt af plast, som er i en ikke-genanvendelig kvalitet. Dette sendes til forbrænding.

### Baggrundsdata og –forudsætninger

#### Transportafstande

Transport omfatter afstanden til sorteringsanlægget samt videre transport af plast og metal til genanvendelsesanlæg og rejejt til forbrænding. Yderligere transportafstande (f.eks. transport af flyve- og bundaske fra forbrænding) er ikke vist i tabellen, da de er af mindre betydning ift. klimapåvirkningen. Drivhusgasudledning fra indsamling er beregnet per ton indsamlet materiale og ikke per kørte km. Indsamling er derfor ikke vist i tabellen.

Proces	Transport til forsortering	Transport fra forsortering til plastgenanvendelse	Transport fra forsortering til metalgenanvendelse	Transport af forsorteringsrejejt til forbrænding
Lastbil, diesel	800 km	200 km	125 km	50 km

#### Genanvendelse og substitution

Tabet ved genanvendelse af plast forudsættes at være 5–25 % afhængigt af plasttypen. Det producerede granulat forudsættes at erstatte det substituerede materiale med en substitutionsfaktor på 90%. Det er forholdsvis højt ift. plastgenanvendelse. Dette skyldes, at en stor andel blandet plast, samt sort plast, forudsættes at substituere lavkvalitetsprodukter. Desuden antages det, at en del plast er af så dårlig kvalitet, at det ikke kan genanvendes (ender i rejejt). Typisk vil det forholde sig sådan, at des mere plast-rejejt (lav a-faktor) des højere kvalitet genanvendelse (høj b-faktor og jomfruelig substitueret materiale).

Sekundært produkt	Oparbejdningseffektivitet (a-faktor)	Substitueret materiale	Proces for substitueret materiale	Substitutionsfaktor (b-faktor)
PET flasker	85% <sup>A</sup>	PET-granulat	PET-granulate, bottle grade	0,9
PET bakker	85% <sup>A</sup>	PET granulat	PET-granulate, bottle grade	0,9
PP	85% <sup>A</sup>	PP granulat	PP-granulate	0,9
HDPE	85% <sup>A</sup>	HDPE granulat	HDPE-granulate	0,9
PS	92,5% <sup>A</sup>	PS, 3 typer (33% hver)	High impact/foam/extruded	0,9
PO flasker	85% <sup>B</sup>	PP-granulat	PP-granulate	0,9
Blandet PO	85% <sup>B</sup>	50% PP/ 50% genanvendt plast	PP-granulate/recycled plastics	0,9
Blandet plast	95% <sup>C</sup>	Blandet plastgranulat	Mixed plastic granulate	0,9
Sort plast	95% <sup>C</sup>	Blandet plastgranulat	Mixed plastic granulate	0,9

Baggrundsdata og -forudsætninger for genanvendelse af udsorteret metal er beskrevet under faktaark for metal.



PLAST



## Klimapåvirkning per ton affald

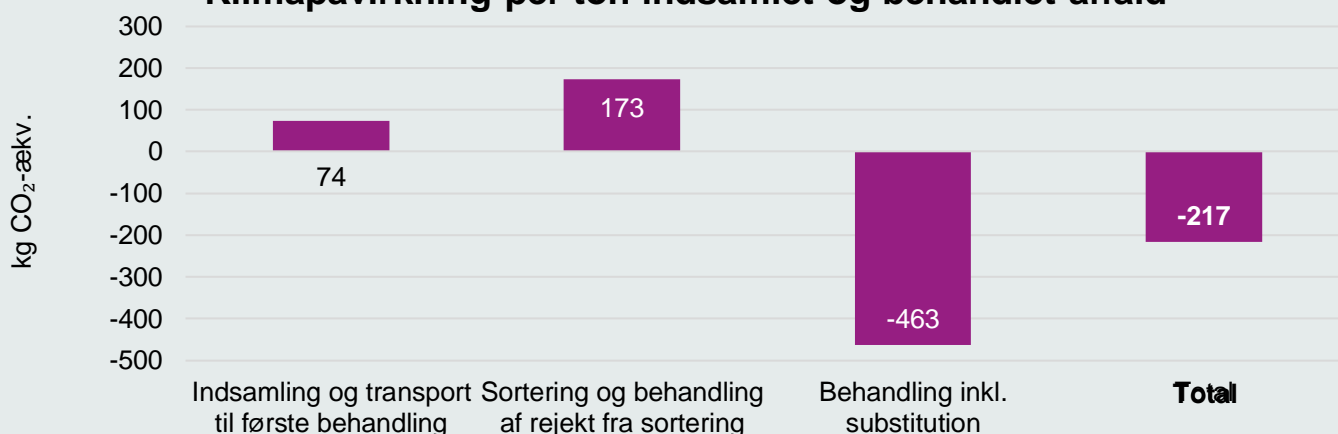
Indsamling, transport, og behandling af et ton affald fra plastordningen inkl. urenheder giver en samlet besparelse på

**-217 kg CO<sub>2</sub> ækvivalenter**

Indsamling og transport til første behandling udgør 26 % af den totale klimaeffekt <sup>A</sup>.

<sup>A</sup> Den totale klimaeffekt er summen af positive værdier (udledninger) og negative værdier (sparede emissioner). Af denne grund kan enkelte led i værdikæden (her behandling inkl. substitution) udgøre mere end 100 % af den totale CO<sub>2</sub> udledning.

### Klimapåvirkning per ton indsamlet og behandlet affald



"Transport til første behandling" inkluderer transport til forsoring, transport af plast til genanvendelse samt transport af rejekt til behandling efter sortering. Yderligere transport er inkluderet i "Behandling inkl. substitution"

### Opsummering af væsentlige parametre med betydning for klimafaktoren

Genanvendelse, dvs. behandling inkl. substitution, har størst betydning for resultatet. Genanvendelsesprocessen for plast udgør en klimabelastning, og substitution af fortrængte materialer udgør en klimabesparelse. Sorteringsprocessen samt forbrænding af rejekt udgør en stor andel af udledninger. Forbrug af energi i oparbejdning af plast har altså betydning, hvormed **energikilden** og derved værdikæden er en væsentlig forudsætning for resultaterne (se mere om energi under afsnittet Metode og data). Indsamling og transport udgør også en væsentlig andel af den totale udledning af klimagasser. Genanvendelse af blandet PO (herunder også LPDE folie) udgør den største andel af besparelserne ved plastgenanvendelse, da andelen af blandet PO er stor og giver en højere substitution end blandet plast, som ellers udgør den største mængde af sammensætningen efter sortering. Genanvendelse og substitution af PET, PP, HDPE og blandet plast udgør alle en væsentlig andel af de samlede besparelser ved plastgenanvendelse.

**Affaldssammensætningen** er vigtig for resultatet. Kvaliteten af den indsamlede plast varierer meget, og det har derfor betydning for det endelige resultat, hvilke plasttyper som indsamles og genanvendes. Desuden er der en signifikant effekt fra substitution af metal. Hvis 1%-point materiale flyttes fra blandet plast til metal (50% aluminium og 50% jern) giver det en yderligere besparelse på knap 18% af totalen. Derudover har det stor betydning, hvor meget affald som genanvendes henholdsvis forbrændes. Flyttes eksempelvis 1%-point PET bakker fra genanvendelse til rejekt/forbrænding, falder den totale besparelse med knap 11%. **Oparbejdningseffektiviteten** har også indflydelse på, hvor meget plast som ender med at blive forbrændt frem for genanvendt. Den specifikke genanvendelsesprocent (som kan variere meget, afhængigt af kvaliteten af den indsamlede plast) har altså betydning for det samlede resultat.

Den anvendte **substitutionsfaktor** er vigtig for resultatet og kan for plast variere betydeligt alt efter kvaliteten af den genanvendte plast. **Kvaliteten** af det genanvendte materiale har stor betydning for resultatet, da dette har indflydelse på, hvad der bliver substitueret. Produceres et lavkvalitetsmateriale i stedet, vil den overordnede besparelse falde grundet en lavere substitutionsfaktor. Det kan ofte ud fra et klimaperspektiv betale sig at sortere meget på plasten, så der opnås en lavere andel af højkvalitetsplast, selvom det betyder en mindre andel til genanvendelse.

Øges transportafstanden for plast til genanvendelse med 100 km giver det en knap 3% mindre besparelse. **Transportafstanden** betyder altså noget for resultatet, hvis den varierer væsentligt fra hvad der er forudsat i beregningerne.

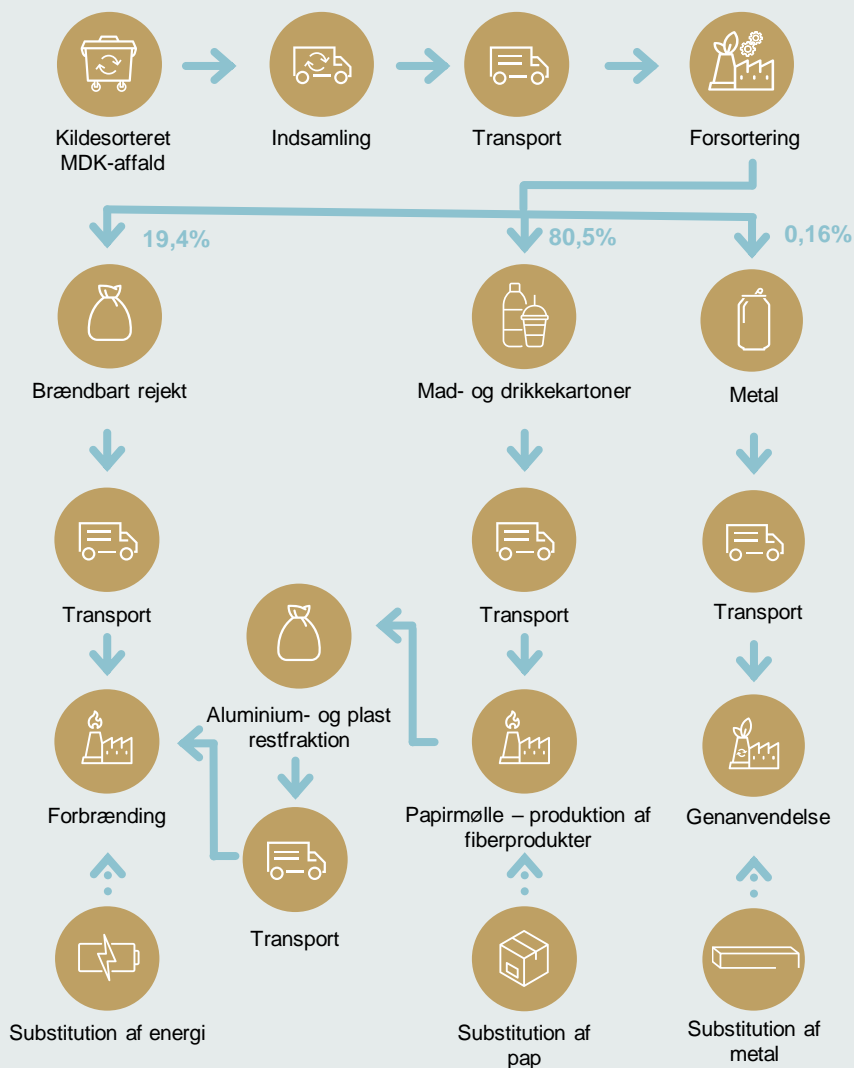
**Behandlingsstedet** for genanvendelse af plast har betydning for udledningen af drivhusgasser fra forbrug af energi. Sker selve genanvendelsen ikke i Europa (som forudsat i de bagvedliggende beregninger) må det forventes, at de samlede besparelser falder.



## MAD- & DRIKKE- KARTONER



# Mad- og drikkekartoner - Procesdiagram



### Antagelser i LCA-modellen

#### Indsamling

Affald i mad- og drikkekarton (MDK)- ordningen forudsættes indsamlet sammen med plastaffald i en kombineret ordning og transporteres til sortering og papgenanvendelse i Tyskland.

#### Sortering og genanvendelse

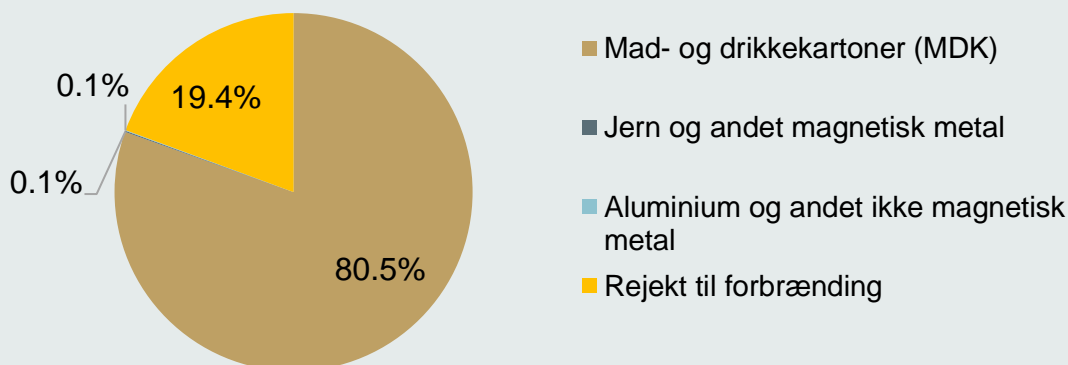
MDK sorteres, hvorefter MDK og en mindre andel metal sendes videre til genanvendelse. Rejekt afbrændes og substituerer energi. Papindholdet i MDK genanvendes til nye fiberprodukter, imens aluminium- og plastindholdet sendes til forbrænding, hvilket er aktuel, mest almindelige praksis.



## MAD- & DRIKKE- KARTONER



### Affaldssammensætning af MDK-ordning



Rejekt forudsættes at bestå af brændbart restaffald, f.eks. affaldsposer, samt en mindre del madaffald. Ud af de 80,5% MDK er papandelen forudsat at være 78%. Det er kun denne del som genanvendes. Resten (dvs. plast- og aluminiumsfolien) forudsættes sendt til forbrænding.

### Baggrundsdata og -forudsætninger

#### Transportafstande

Transport omfatter afstanden til sorteringsanlægget, samt herefter videre transport af MDK til genanvendelsesanlæg og rejekt til forbrænding. Yderligere transportafstande (f.eks. transport af flyve- og bundaske fra forbrænding) er ikke vist i tabellen, da de er af mindre betydning ift. klimapåvirkningen. Drivhusgasudledning fra indsamling er beregnet per ton indsamlet materiale og ikke per kørte km. Indsamling er derfor ikke vist i tabellen.

Proces	Transport til forsoring	Transport fra forsoring til MDK (pap) genanvendelse	Transport fra forsoring til genanvendelse af metalrejekt	Transport af forsøringsrejekt til forbrænding
Lastbil, diesel	800 km	200 km	125 km	50 km

#### Genanvendelse og substitution

Papandelen forudsættes at være 78%, plastfolie 20 % og aluminiumsfolie 2%. Oparbejdningseffektiviteten af pap er forudsat at være 92%. Den samlede genanvendelse af MDK-fractionen er derfor 72% (78% x 92%). Efter dette materialetab medregnes en substitutionsfaktor på 90% grundet kvalitetstab.

Sekundært produkt	Oparbejdningseffektivitet (a-faktor)	Substitueret materiale	Proces for substitueret materiale	Substitutionsfaktor (b-faktor)
Pap	92%	Pap	Containerboard, linerboard production, kraftliner, RER	0,9

Baggrundsdata og -forudsætninger for genanvendelse af udsorteret metal er beskrevet under faktaark for metal.



## Klimapåvirkning per ton affald

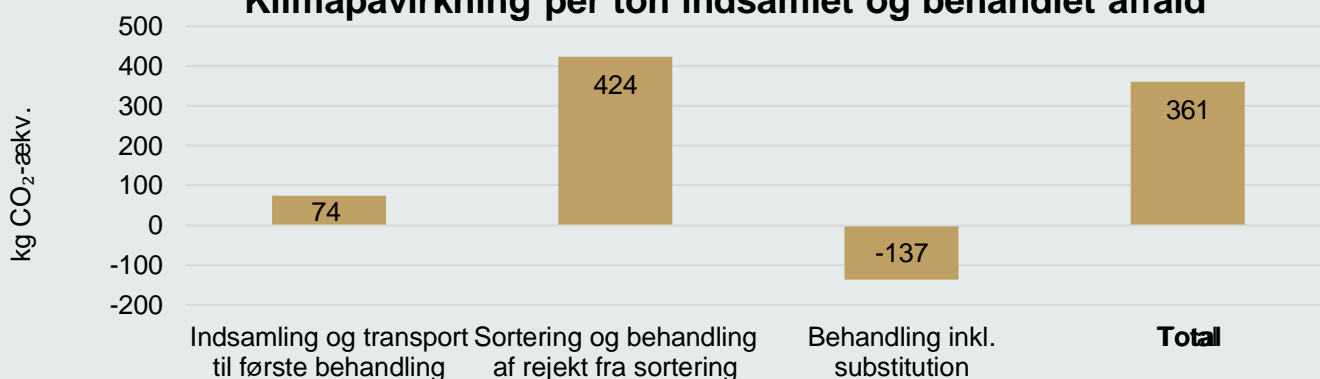
Indsamling, transport, og behandling af et ton affald fra MDK-ordningen inkl. urenheder giver en samlet udledning på

**361 kg CO<sub>2</sub> ækvivalenter**

Indsamling og transport til første behandling udgør 21 % af den totale klimaeffekt <sup>A</sup>

<sup>A</sup> Den totale klimaeffekt er summen af positive værdier (udledninger) og negative værdier (sparede emissioner). Af denne grund kan enkelte led i værdikæden (her sortering og behandling af rejekt fra sortering) udgøre mere end 100 % af den totale CO<sub>2</sub> udledning.

### Klimapåvirkning per ton indsamlet og behandlet affald



"Transport til første behandling" inkluderer transport til forsortering, transport af MDK til genanvendelse samt transport af rejekt til behandling efter sortering. Yderligere transport er inkluderet i "Behandling inkl. substitution"

### Opsummering af væsentlige parametre med betydning for klimafaktoren

Det ses, at MDK-genanvendelse med aktuell, mest almindelige praksis er en klimamæssig byrde med større fossile CO<sub>2</sub>-udledninger ved håndteringen end gevinster ved substitution. Den største andel af udledninger tilskrives sorteringen og især rejektbehandling, som mest består af plast sendt til forbrænding (direkte udledning af fossil CO<sub>2</sub>). Dette har større udledning end genanvendelse inkl. substitution (kun) af papfibre.

**Genanvendes plastfolien i stedet for at blive forbrændt som rejekt**, vil klimapåvirkningen ved genanvendelse af MDK ændres fra en øget CO<sub>2</sub>-udledning til en samlet klimabesparelse. Der er ved at blive etableret yderligere **fuldskalaanlæg til finsortering af den blandet rest af plast- og aluminiumsfolie** (efter genanvendelse af papdelen), så plast og aluminium i større omfang kan sendes til genanvendelse i fremtiden.

Især karternes plastandel på 20% har stor indflydelse på resultatet, da denne del brændes. Plastandelen på 20% er en generel antagelse, og giver med blot 1%-point ændring ca. 4% ændring af resultatet. Afviger de egentlige **karternes sammensætning** væsentligt, har det altså betydning for resultatet. Des højere plastindhold, des større udledning af drivhusgasser. Andelen af metal i ordningen har også stor betydning for den samlede klimapåvirkning. Øges mængden af metal i ordningen med 1%-point samt falder den samlede mængde MDK med 1%-point, falder udledningen af drivhusgasser med 11 %.

Afviger **transportafstandene** fra de generiske antagelser, vil det have betydning for resultatet. Mindre afvigelser vil dog ikke ændre væsentligt på resultatet. Øges transportafstanden for MDK med 100 km, stiger den samlede påvirkning med knap 2%.

**Behandlingsstedet** for genanvendelse af MDK har betydning for udledningen af drivhusgasser fra forbrug af energi. Sker selve genanvendelsen ikke i Europa (som forudsat i de beregningerne) må det forventes, at de samlede udledninger øges.

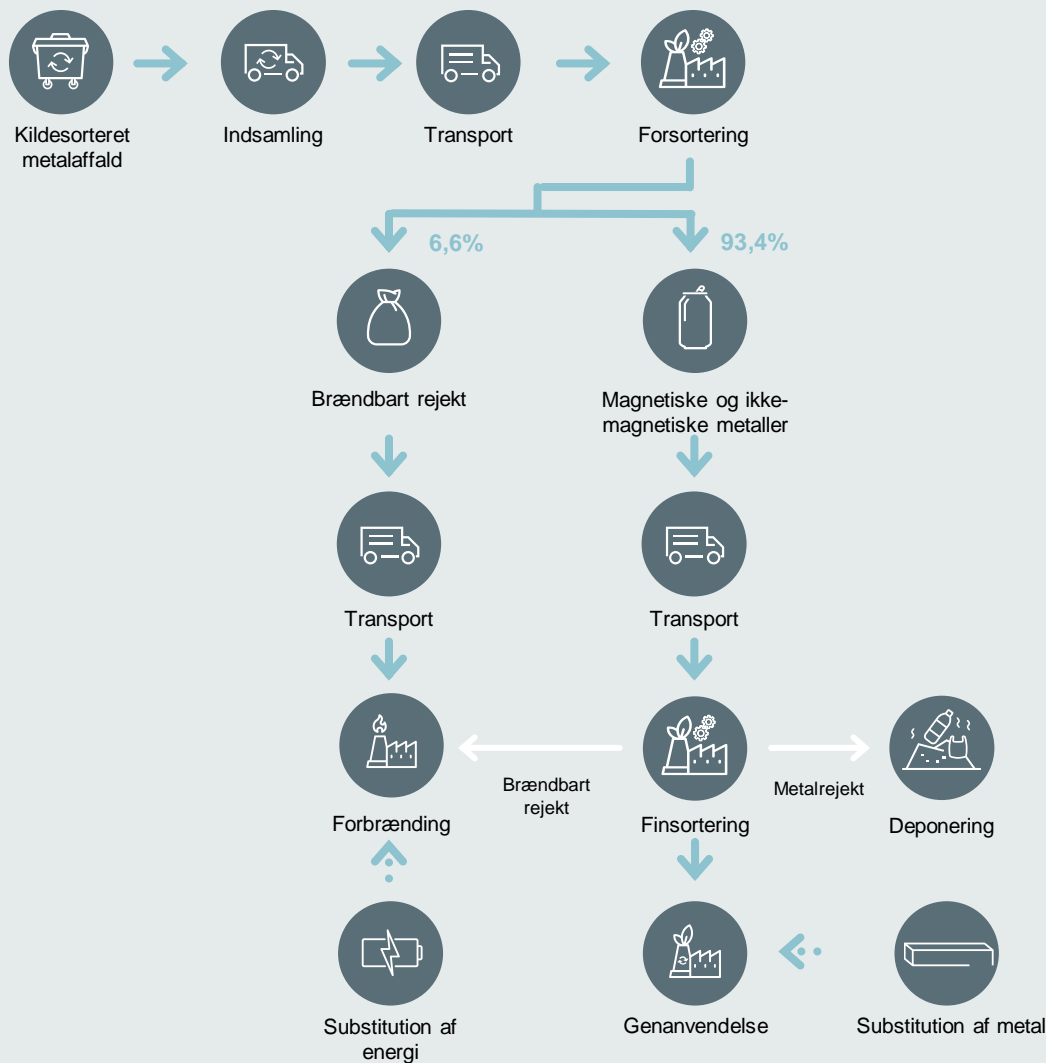
Klimapåvirkningen fremvist i dette faktaark er baseret på genanvendelse og er ikke en sammenligning af effekten af at **flytte behandlingen fra forbrænding til genanvendelse**. Det er muligt, at forbrænding af hele MDK-fraktionen (dvs. inklusiv papdelen) vil give anledning til en højere klimapåvirkning.



METAL



# Metalaffald - Procesdiagram



## Antagelser i LCA-modellen

### Indsamling

Affald i metalordningen indsamles og transporteres til sortering i Danmark og genanvendelse i Nordeuropa (modelleret som Danmark).

### Sortering og genanvendelse

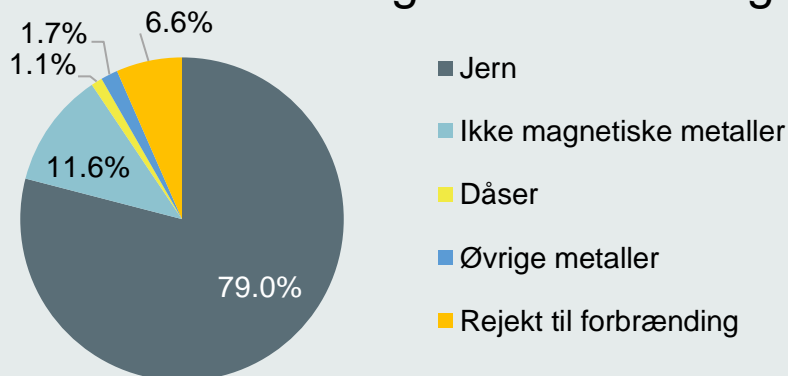
Urenheder og metal til genanvendelse udsorteres i sorteringsprocessen. Rejekt fra sortering (f.eks. fejlsorteringer) behandles ved forbrænding i Danmark. Metal sendes ofte til genanvendelse i enten Nordeuropa, Tyskland eller Tyrkiet. Metalrejekt fra genanvendelse forudsættes at blive deponeret. I de bagvedliggende beregninger for genanvendelse er der benyttet et dansk energimiks (repræsenterer genanvendelse i Nordeuropa). Benyttede transportafstande repræsenterer afstanden til Tyrkiet, hvor Danmark sender store mængder metalaffald til genanvendelse. Sekundære råmaterialer (forskellige typer metaller) produceret i genanvendelsesprocessen substituerer primært metal.



## METAL



### Affaldssammensætning af metalordning



Alle metalfraktioner (Jern, Ikke magnetiske metaller, Dåser, og Øvrige metaller) udsorteres til genanvendelse. Rejekt består af fejlsorteringer, som sendes til forbrænding i Danmark.

### Baggrundsdata og -forudsætninger

#### Transportafstande

Transport omfatter afstanden til sorteringsanlægget samt herefter videre transport af metaller til genanvendelse og rejekt til forbrænding. Yderligere transportafstande (f.eks. transport af flyve- og bundaske fra forbrænding) er ikke vist i tabellen, da de er af mindre betydning ift. klimapåvirkningen. Drivhusgasudledning fra indsamling er beregnet per ton indsamlet materiale og ikke per kørte km. Indsamling er derfor ikke vist i tabellen.

Proces	Transport til forsoring	Transport fra forsoring til genanvendelse af metaller	Transport af forsoringsrejekt til forbrænding
Lastbil, diesel	43,5 km	400 km	50 km
Skibstransport		3.750 km	

#### Genanvendelse og substitution

Der forudsættes et tab af materiale under genanvendelse på 7% for den ikke magnetiske andel (aluminium), mens der for de resterende materialefraktioner i affaldssammensætningen forudsættes et tab på 16%. Der medregnes ikke noget kvalitetstab herefter, hvorfor substitutionsfaktoren forudsættes til at være 100%.

Sekundært produkt	Oparbejdningseffektivitet (a-faktor)	Substitueret materiale	Proces for substitueret materiale	Substitutionsfaktor (b-faktor)
Jern	84%	Stål	Steel-low-alloyed steel production, converter, RER	1
Ikke magnetisk	93%	Aluminium	Aluminium primary, ingot, production, IAI area	1
Dåser	84%	Stål	Steel-low-alloyed steel production, converter, RER	1
Øvrige metaller	84%	Kobber	copper production, cathode, solvent extraction and electrowinning process, GLO	1





METAL



## Klimapåvirkning per ton affald

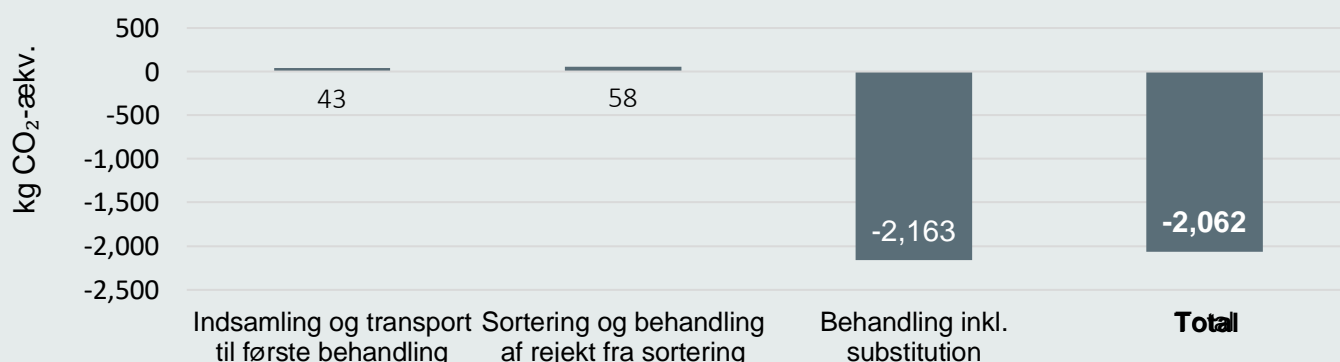
Indsamling, transport, og behandling af et ton affald fra metalordningen inkl. urenheder giver en samlet besparelse på

**-2.062 kg CO<sub>2</sub> ækvivalenter**

Indsamling og transport til første behandling udgør 2 % af den totale klimaeffekt <sup>A</sup>

<sup>A</sup> Den totale klimaeffekt er summen af positive værdier (udledninger) og negative værdier (sparede emissioner). Af denne grund kan enkelte led i værdikæden (her behandling inkl. substitution) udgøre mere end 100 % af den totale CO<sub>2</sub> udledning.

### Klimapåvirkning per ton indsamlet og behandlet affald



"Transport til første behandling" inkluderer transport til forsortering, transport af metal til genanvendelse samt transport af rejekt til behandling efter sortering. Yderligere transport er inkluderet i "Behandling inkl. substitution"

### Opsummering af væsentlige parametre med betydning for klimafaktoren

Det ses at det er særdeles klimamæssigt fordelagtigt at genanvende metaller, da der spares ca. 2 tons CO<sub>2</sub>-eq per ton metalaffald behandlet. De mindre udledninger forbundet med indsamling, transport og behandling er reelt ubetydelige grundet den store besparelse fra substitution. Graden af substitution er derfor også den vigtigste parameter, hvor materialetab og substitutionsfaktoren har stor indflydelse på resultatet. Dette gælder **især for aluminium**, da primær udvinding heraf bærer store klimamæssige omkostninger.

**Affaldssammensætningen** er dermed også vigtig for resultatet. Jern udgør den største andel af både sammensætningen og genanvendt materiale, mens aluminiumandelen på blot 11% medfører hele 35% af besparelserne. En ændring på 1%-point af jernet til rejekt medfører en lavere besparelse med ca. 1%. For aluminium er effekten større, hvor 1%-point mindre aluminium og mere rejekt giver en godt 3% lavere besparelse.

**Transportafstanden** betyder for metalgenanvendelse relativt lidt på trods af de over 4.000 km fragt fordelt på lastbil og skibstransport. Dette skyldes de høje besparelser ved substitution, som i sammenligning med transporten betyder meget mere.

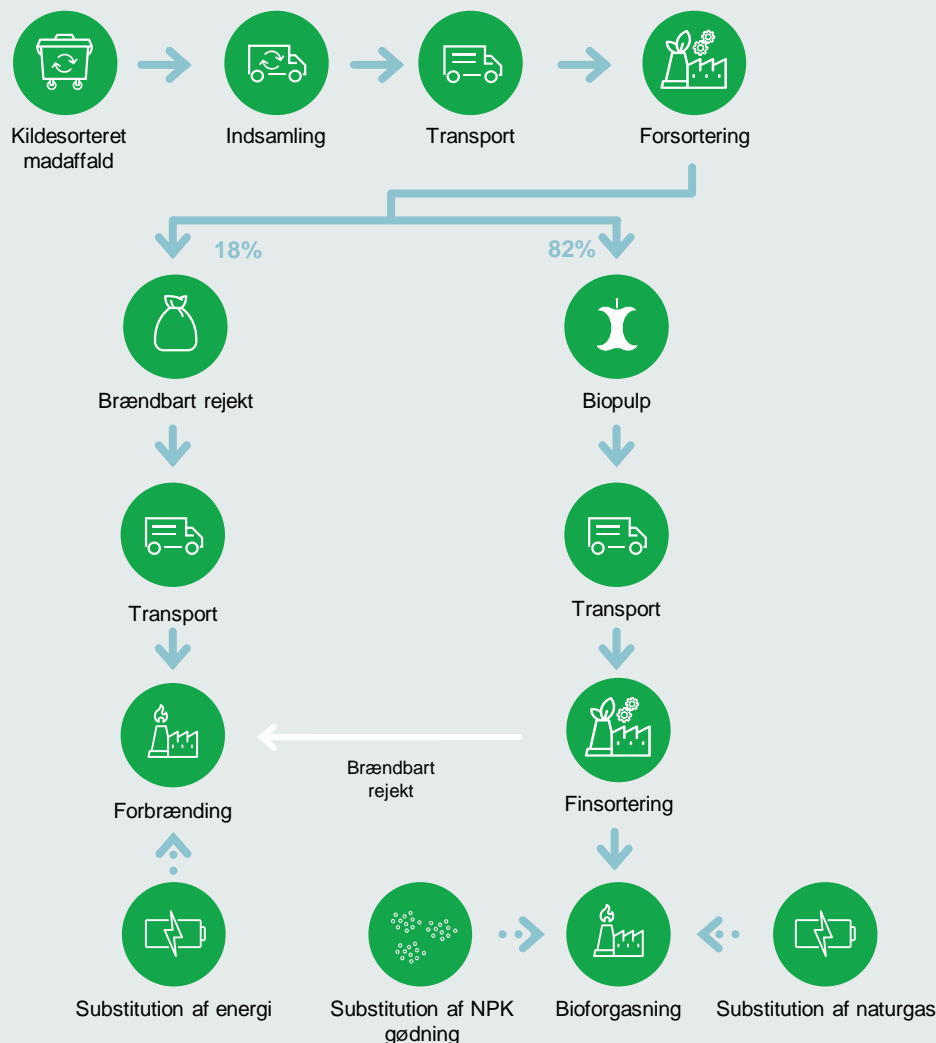
**Behandlingsstedet** for genanvendelse af metal har betydning for udledningen af drivhusgasser fra forbrug af energi. Sker selve genanvendelsen ikke i Nordeuropa (som forudsat i de bagvedliggende beregninger) må det forventes, at de samlede besparelser falder lidt. Det er dog som nævnt substitution af primær materialer, som har størst betydning, og det vurderes derfor ikke at have større betydning for det samlede resultat.



MADAFFALD



## Madaffald - Procesdiagram



### Antagelser i LCA-modellen

#### Indsamling

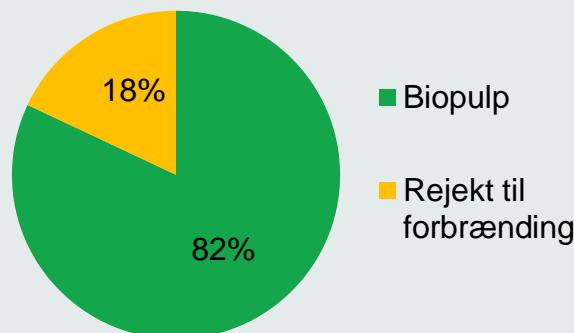
Madaffald indsamles og forudsættes at transporteres til både sortering og genanvendelse i Danmark med dertilhørende transportafstande og energimiks.

#### Sortering og genanvendelse

Urenheder og fejlsorteringer udsorteres i sorteringsprocessen og sendes til forbrænding (bioposer til madaffald forudsættes at bestå af 55% biogent materiale). Energien herfra substituerer el og varme. Madaffaldets targetfraktion er det organiske materiale, som neddeles til en biopulp til biogasanlæg. Biogassen opgraderes og substituerer naturgas.



## Affaldssammensætning af madaffaldsordning



Biopulp består af madaffald som sendes til bioforgasning. Rejekt består af urenheder (f.eks. affaldsposer og en mindre del madrester samt fejlsorteringer såsom plast og pap) som sendes til forbrænding.

### Baggrundsdata og -forudsætninger

#### Transportafstande

Transport omfatter afstanden til sorteringsanlægget samt herefter videre transport af biopulpen til bioforgasningsanlægget og rejekt til forbrænding. Yderligere transportafstande (f.eks. transport af flyve- og bundaske fra forbrænding) er ikke vist i tabellen, da de er af mindre betydning ift. klimapåvirkningen. Drivhusgasudledning fra indsamling er beregnet per ton indsamlet materiale og ikke per kørte km. Indsamling er derfor ikke vist i tabellen.

Proces	Transport til forsoring	Transport fra forsoring til bioforgasning af biopulp	Transport af forsoringrejekt til forbrænding
Lastbil, diesel	24 km	100 km	24 km

#### Genanvendelse og substitution

Det forudsættes, at biopulp-digestat efter bioforgasning (7,0% N, 0,9% P, 1,9% K, % af tørstof) anvendes som - og dermed substituerer - kunstgødning. Biogas fra pulpen opgraderes til biometan (66 Nm<sup>3</sup> metan pr. ton madaffald i ordningen indsamlet til behandling), som substituerer fossil naturgas. Energiindhold i forbrændt rejekt substituerer dansk el og varme. Tab af metan er i beregningerne forudsat at være 1%. Denne værdi har stor betydning for resultatet.

Sekundært produkt	Substitueret materiale	Proces for substitueret materiale	Substitutionsfaktor (b-faktor)
Digestat fra bioforgasning af biopulp	N-gødning	Average N fertilizer Europa, 1997	0,4
	P-gødning	Average P fertilizer Europa, 1997	1
	K-gødning	Average K fertilizer Europa, 1997	1
Opgraderet biogas	Naturgas	heat, central or small-scale, natural gas, heat production, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW, Europe without Switzerland	1



## Klimapåvirkning per ton affald

Indsamling, transport, og behandling af et ton affald fra madaffaldsordningen inkl. urenheder giver en samlet besparelse på

**-147 kg CO<sub>2</sub> ækvivalenter**

Indsamling og transport til første behandling udgør 18 % af den totale klimaeffekt <sup>A</sup>

<sup>A</sup> Den totale klimaeffekt er summen af positive værdier (udledninger) og negative værdier (sparede emissioner). Af denne grund kan enkelte led i værdikæden (her behandling inkl. substitution) udgøre mere end 100 % af den totale CO<sub>2</sub> udledning.

### Klimapåvirkning per ton indsamlet og behandlet affald



"Transport til første behandling" inkluderer transport til forsoring, transport af madaffald til genanvendelse samt transport af rejekt til behandling efter sortering. Yderligere transport er inkluderet i "Behandling inkl. substitution"

### Opsummering af væsentlige parametre med betydning for klimafaktoren

Resultaterne fra LCA-modellen viser, at indsamling, behandling og substitution overordnet set har en klimamæssig gevinst, hvor produktion og substitution af kunstgødning og energi/biogas giver besparelsen. Dermed har både affaldssammensætningen, dvs. hvor meget biopulp der forgasses, samt indholdet af næringsstoffer til gødningsformål betydning. Ændres **affaldssammensætningen** med 1%-point, hvor denne i stedet går til rejekt, fører dette til en reduceret besparelse på ca. 2%.

**Transportafstanden** betyder noget for resultatet. Øges afstanden med 100 km reduceres besparelsen med 4%. Er transportafstanden længere end forudsat i beregningerne, kan det have betydning for den totale klimapåvirkning af ordningen.

Andelen af biogas produceret (effektiviteten) og tabt til omgivelserne (lækage) ved et specifikt biogasanlæg har betydning for resultatet. Lækage af metan er især vigtig at monitorere og holde på et lavt niveau, da metan er en potent drivhusgas. Er tabet af metan forskelligt fra hvad der er forudsat i beregningerne, har det stor indflydelse på resultaterne. Stiger metantabet f.eks. til 10 %-point vil den totale klimapåvirkning ligge omkring 0 kg CO<sub>2</sub> ækv. pr indsamlet og behandlet ton affald i madordningen.

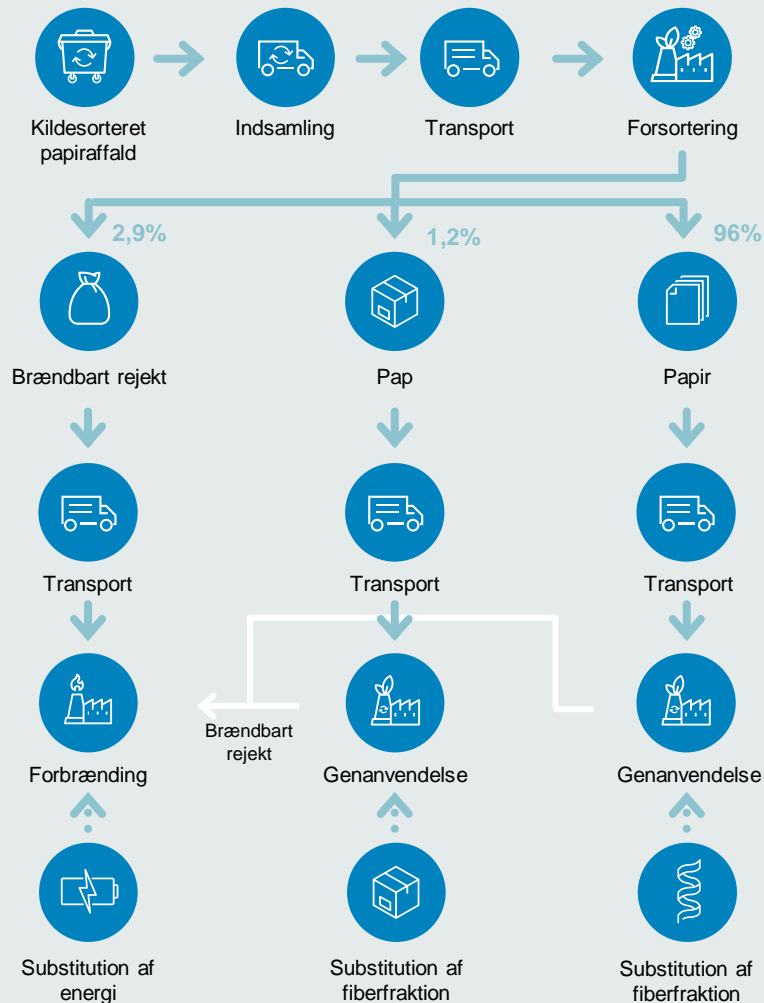
Klimafaktoren er uden genanvendelse af plastposen, som madaffaldet indsamles i. Genanvendes denne, vil det have en effekt på klimafaktoren for ordningen. Det vurderes, at dette er af mindre betydning.



PAPIR



## Papiraffald - Procesdiagram



### Antagelser i LCA-modellen

#### Indsamling

Affald i papirordningen indsamles og forudsættes transporteret til sortering og genanvendelse i Nordeuropa (modelleret med dansk energimiks).

#### Sortering og genanvendelse

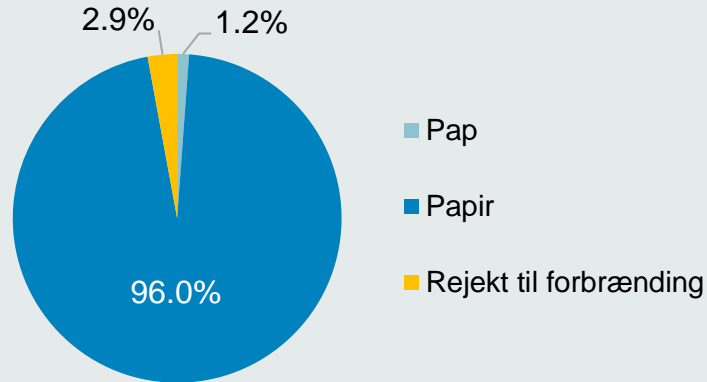
Affaldet i papirordningen sorteres i papirfraktionen, fejlsorteringer af pap samt et rejekt. Papir og pap sendes til genanvendelse og rejekt til forbrænding. Det forbrændte rejekt substituerer dansk energi. Oparbejdet papir og pap substituerer produktion af fibermateriale.



## PAPIR



### Affaldssammensætning af papirordning



Rejekt består af de brændbare urenheder der findes i papirordningen, eksempelvis madrester, poser mv.

## Baggrundsdata og -forudsætninger

### Transportafstande

Transport omfatter afstanden fra sorteringsanlægget til genanvendelsesanlægget samt det fraserede rejekt til forbrænding. Yderligere transportafstande (f.eks. transport af flyve- og bundaske fra forbrænding) er ikke vist i tabellen, da de er af mindre betydning ift. klimapåvirkningen. Drivhusgasudledning fra indsamling er beregnet per ton indsamlet materiale og ikke per kørte km. Indsamling er derfor ikke vist i tabellen. Sortering er antaget at ske ved genanvendelsesanlægget.

Proces	Transport til sortering og genanvendelse	Transport af sorteringsrejekt til forbrænding
Lastbil, diesel	800 km	50 km

### Genanvendelse og substitution

Der medregnes i genanvendelsen et materialetab på 14% for papir (og 8% for pap). Det er generelt forudsat, at genanvendelige materialer substituerer nye materialer. En mindre del af papiret substituerer produktionen af genanvendt printerpapir, mens langt størstedelen af papiret substituerer nyt avispapir. Den samlede substitutionsfaktor antages at være 1, hvor en andel er forudsat at substituere genanvendt materiale.

Sekundært produkt	Oparbejdningseffektivitet (a-faktor)	Substitueret materiale	Proces for substitueret materiale	Substitutionsfaktor (b-faktor)
Papir	86%	Primær avispapir	Virgin paper newsprint production, RER	0,925
	86%	Produktion af genanvendt printerpapir	Graphic paper, 100% recycled, graphic paper production, RER	0,075

Baggrundsdata og -forudsætninger for genanvendelse af udsorteret pap er beskrevet under faktaark for pap.



PAPIR



## Klimapåvirkning per ton affald

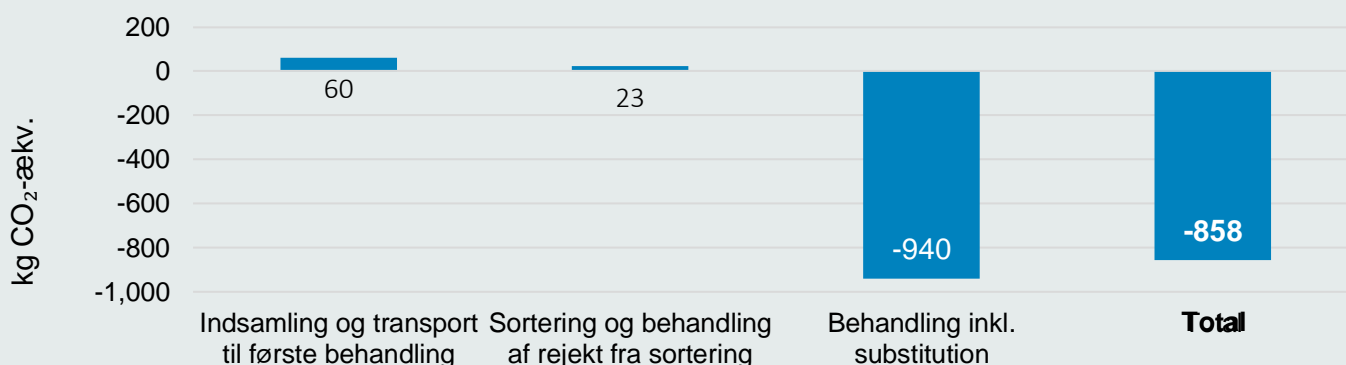
Indsamling, transport, og behandling af et ton affald fra papirordningen inkl. urenheder giver en samlet besparelse på

**-858 kg CO<sub>2</sub> ækvivalenter**

Indsamling og transport til første behandling udgør 7 % af den totale klimaeffekt <sup>A</sup>

<sup>A</sup> Den totale klimaeffekt er summen af positive værdier (udledninger) og negative værdier (sparede emissioner). Af denne grund kan enkelte led i værdikæden (her behandling inkl. substitution) udgøre mere end 100 % af den totale CO<sub>2</sub> udledning.

### Klimapåvirkning per ton indsamlet og behandlet affald



"Transport til første behandling" inkluderer transport til forsoring, transport af papir og pap til genanvendelse samt transport af rejekt til behandling efter sortering. Yderligere transport er inkluderet i "Behandling inkl. substitution"

### Opsummering af væsentlige parametre med betydning for klimafaktoren

Indsamling, transport, behandling og substitution ved papirordningen fører samlet set til en klimamæssig gevinst. Ved genanvendelse af papir betyder transportafstanden mindre. Desuden er klimapåvirkningen fra sortering og behandling af rejekt af mindre betydning, da især andelen af rejekt er lav, og der er dermed ikke større udledninger fra forbrænding af denne. Besparelsen forbundet med substitution er langt højere end udledningerne ved genanvendelse. Substitution af papir er dermed den mest betydningsfulde parameter ved behandling af papirordningen. Den anvendte substitutionsfaktor er i den høje ende og afspejler derved '**best practice**' indenfor fibergen anvendelse. Substitution af papir har en højere effekt end for pap, da klimapåvirkningen ved papirfremstilling er højere end ved fremstilling af pap. Af denne grund er gevinsten ved papirgenanvendelse højere end ved papgenanvendelse.

**Affaldssammensætningen** har betydning for resultatet. Andelen af genanvendt materiale versus rejekt til forbrænding har betydning. Ved 1%-point mere rejekt i stedet for papir til genanvendelse reduceres klimabesparelsen med ca. 2%. Andelen af fejlsorteret pap versus papir i papirordningen betyder mindre for resultatet, da papret også forudsættes genanvendt.

**Behandlingsstedet** har betydning for resultaterne. De bagvedliggende beregninger antager at behandling foregår i Nordeuropa (energimiks modelleret som Danmark). Såfremt dette ikke er tilfældet, og **energimikset** har en større klimaemissionsfaktor end forudsat, vil besparelsen falde.

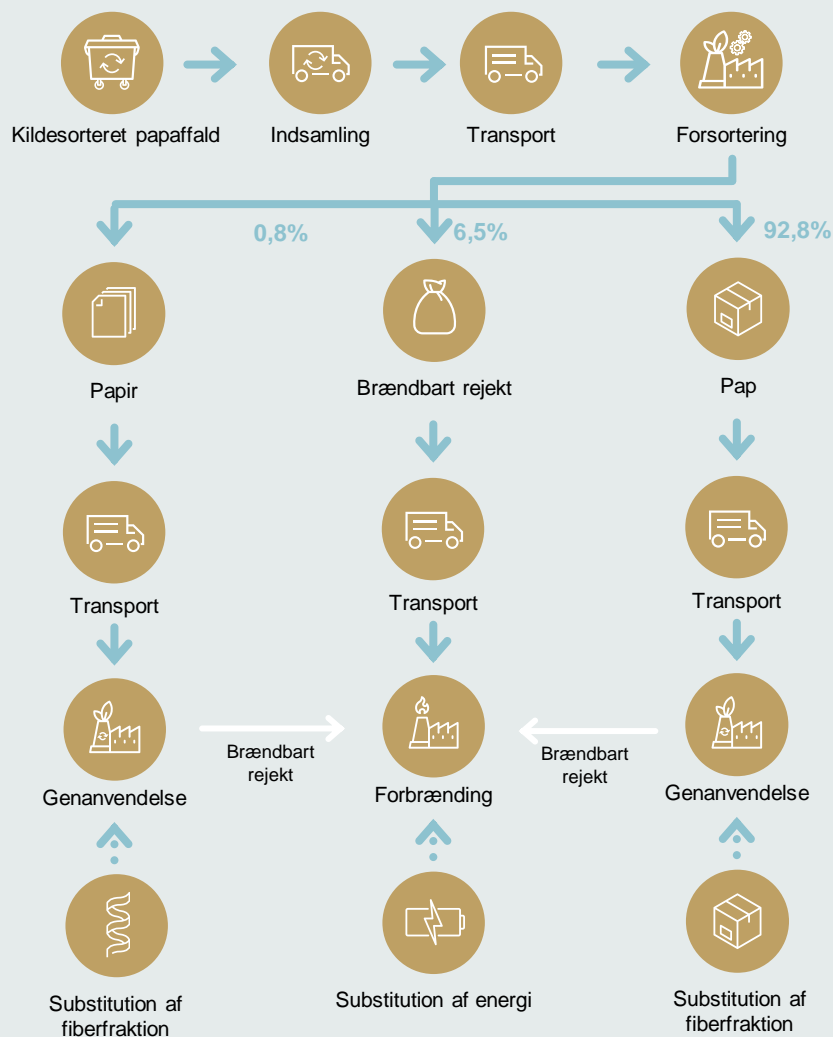
**Transportafstanden** betyder mindre sammenlignet med besparelserne forbundet med genanvendelse og substitution. Øges transportafstanden med 100 km, falder den totale besparelse med knap 1%.



PAP



## Papaffald - Procesdiagram



### Antagelser i LCA-modellen

#### Indsamling

Affald i papordningen indsamles og forudsættes transporteret til sortering og genanvendelse i Nordeuropa (modelleret med dansk energimiks).

#### Sortering og genanvendelse

Affaldet i papordningen sorteres i papfraktionen, fejlsorteringer af papir samt rejekt. Pap og papir sendes til genanvendelse og rejekt til forbrænding. Det forbrændte rejekt substituerer dansk energi. Oparbejdet pap og papir substituerer produktion af fibermateriale.

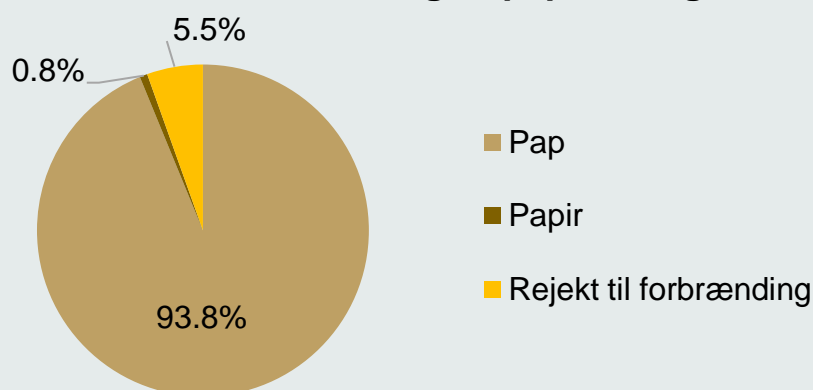




PAP



## Affaldssammensætning af papordning



Rejekt består af de brændbare urenheder der findes i papordningen, eksempelvis madrester, plast mv.

## Baggrundsdata og -forudsætninger

### Transportafstande

Transport omfatter afstanden fra sorteringsanlægget til genanvendelsesanlægget samt det frasorterede rejekt til forbrænding. Yderligere transportafstande (f.eks. transport af flyve- og bundaske fra forbrænding) er ikke vist i tabellen, da de er af mindre betydning ift. klimapåvirkningen. Drivhusgasudledning fra indsamling er beregnet per ton indsamlet materiale og ikke per kørte km. Indsamling er derfor ikke vist i tabellen. Sortering er antaget at ske ved genanvendelsesanlægget.

Proces	Transport til sortering og genanvendelse	Transport af sorteringsrejekt til forbrænding
Lastbil, diesel	700 km	50 km

### Genanvendelse og substitution

Der medregnes i genanvendelsen et materialetab på 8% for pap (og 14% for papir). Genanvendeligt materiale substituerer nye materialer. For pappet regnes en substitutionsfaktor på 0,9 pga. et lavt kvalitetstab.

Sekundært produkt	Oparbejdningseffektivitet (a-faktor)	Substitueret materiale	Proces for substitueret materiale	Substitutionsfaktor (b-faktor)
Pap	92%	Pap	Containerboard, linearboard production, kraftliner, RER	0,9

Baggrundsdata og -forudsætninger for genanvendelse af udsorteret papir er beskrevet under faktaark for papir.



PAP



## Klimapåvirkning per ton affald

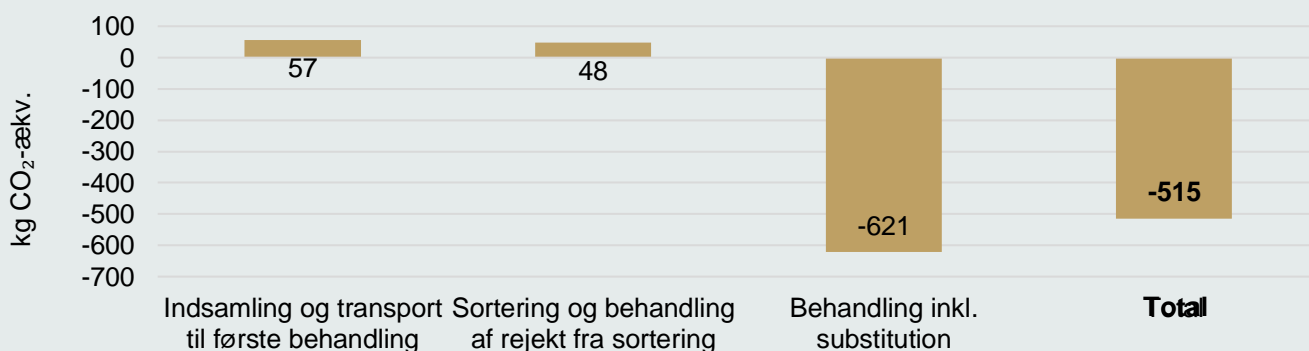
Indsamling, transport, og behandling af et ton affald fra papordningen inkl. urenheder giver en samlet besparelse på

**-515 kg CO<sub>2</sub> ækvivalenter**

Indsamling og transport til første behandling udgør 11 % af den totale klimaeffekt <sup>A</sup>

<sup>A</sup> Den totale klimaeffekt er summen af positive værdier (udledninger) og negative værdier (sparede emissioner). Af denne grund kan enkelte led i værdikæden (her behandling inkl. substitution) udgøre mere end 100 % af den totale CO<sub>2</sub> udledning.

### Klimapåvirkning per ton indsamlet og behandlet affald



"Transport til første behandling" inkluderer transport til forsoring, transport af pap og papir til genanvendelse samt transport af rejekt til behandling efter sortering. Yderligere transport er inkluderet i "Behandling inkl. substitution"

### Opsummering af væsentlige parametre med betydning for klimafaktoren

Indsamling, transport, behandling og substitution ved papordningen fører samlet set til en klimamæssig gevinst. Ved genanvendelse af pap betyder transportafstanden samt sortering og behandling af rejekt noget, men stadig en mindre del, for den totale klimapåvirkning. Besparelsen forbundet med substitution er langt højere end udledningerne ved genanvendelse. Substitution af pap er den mest betydningsfulde parameter ved behandling af papordningen. Den anvendte substitutionsfaktor er i den høje ende og afspejler derved **'best practice'** indenfor fibergen anvendelse. Substitution af pap har en lavere effekt end for papir, da klimapåvirkningen ved papirfremstilling er højere end ved fremstilling af pap. Af denne grund er gevinsten ved papgenanvendelse lavere end ved papirgenanvendelse.

**Affaldssammensætningen**, og dermed andelen af pap, papir, og rejekt, har betydning for resultatet. Ved 1%-point mere rejekt og mindre pap reduceres den totale besparelse med knap 3%. Andelen af fejlsorteret papir versus pap i papordningen betyder mindre for resultatet, da papiret også forudsættes genanvendt.

**Behandlingsstedet** har betydning for resultaterne. De bagvedliggende beregninger antager, at behandling foregår i Nordeuropa (energimiks modelleret som Danmark). Såfremt dette ikke er tilfældet, og **energimikset** har en større emissionsfaktor end forudsat, vil besparelsen falde.

**Transportafstanden** betyder mindre sammenlignet med besparelserne forbundet med genanvendelse og substitution. Øges transportafstanden med 100 km, falder den totale besparelse med godt 1%.

# Sammendrag af resultater

Generiske klimafaktorer for genanvendelse af husholdningsaffald og husholdningslignende erhvervsaffald giver en indikation af klimabesparelsen (negativ værdi) henholdsvis udledningen (positiv værdi). Den totale klimafaktor er vist i tabellen nedenfor sammen med en fordeling mellem opdelingerne: 'Indsamling og transport til første behandling', 'Sortering og behandling af rejekt', og 'Behandling inkl. substitution'.

Bemærk at resultaterne i tabellen udelukkende er et udtryk for klimaeffekten ved genanvendelse og således ikke et udtryk for besparelsen ved at flytte affald fra en behandling til en anden. Endvidere skal resultaterne ses i forhold til den totale indsamlede affaldsmængde for hver ordning (dvs. inkl. fejlsorteringer), fordi klimaeffekterne af alt affald i ordningen medregnes.

## **Klimaeffekten for indsamling og behandling af udvalgte affaldsfraktioner i dansk husholdningsaffald (udledning i kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter per ton affald indsamlet i henteordningen for den givne affaldsfraktion)**

Affaldsordning	Indsamling og transport til første behandling (kg CO <sub>2</sub> ækv. / ton)	Sortering og behandling af rejekt fra sortering (kg CO <sub>2</sub> ækv. / ton)	Behandling inkl. substitution (kg CO <sub>2</sub> ækv. / ton)	Total CO <sub>2</sub> ækv. (kg CO <sub>2</sub> ækv. / ton)
Glas	27	7	-652	<b>-619</b>
Plast	74	173	-463	<b>-217</b>
Mad- & drikkekartoner	74	424*	-137	<b>361*</b>
Metal	43	58	-2.163	<b>-2.062</b>
Madaffald	19	26	-193	<b>-147</b>
Papir	60	23	-940	<b>-858</b>
Pap	57	48	-621	<b>-515</b>

*\*) Effekten skyldes primært forbrænding af fossil plast i rejektet (efter genanvendelse af pap-delen), hvilket er aktuel, mest almindelige praksis. Der er ved at blive etableret yderligere kapacitet i Europa til finsortering af rejektet for at kunne genanvende dets indhold af plast og aluminium.*

# Metode og data

## Livscyklusvurdering (LCA)

En LCA er en kvantitativ vurdering af et produkts eller en ydelses potentielle miljøpåvirkning gennem hele dets livscyklus fra udvinding af råmaterialer til bortskaffelse. I en affalds-LCA, som f.eks. anvendt i nærværende rapport, er afgrænsningen dog anderledes (se side 4 om afgrænsning).

Miljøpåvirkningerne forbundet med fremstilling af selve produkterne (*inden* de blev bortskaffet) er ekskluderet, hvilket betegnes "zero-burden"-tilgang, som ofte anvendes i affalds-LCA'er.

Kravene til LCA er beskrevet i de internationale standarder ISO 14040 og ISO 14044. Denne LCA følger, men ikke til fulde, de overordnede metoder i standarderne. I denne LCA er anvendt en såkaldt tilskrivnings-LCA (på engelsk "attributional LCA"), der har til formål at identificere miljøbelastninger og –besparelser for et afgrænset system mhp. eksempelvis dokumentation. Tilskrivnings-LCA anvender gennemsnitlige data for energimix, materialer m.m.

Resultater fra en tilskrivnings-LCA kan ikke sammenlignes med resultater, hvor en konsekvens-LCA er den anvendte metode. Det skyldes, at der benyttes forskellige metoder til beregning af de to LCA typer. Tilskrivnings-LCA benyttes ofte ved miljøregnskaber (altså ved tilbageblik), hvorimod konsekvens-LCA ofte benyttes, hvis der skal tages en beslutning omkring forbedring af et system (altså når der kigges frem). Metoden fastlægges på baggrund af formålet med studiet.

Der findes en række forskellige, offentligt tilgængelige værktøjer og rapporter til beregning af klimaudledninger i Danmark. Her beskrives kort forskelle og ligheder til disse i forhold faktaarkene i nærværende rapport:

- [Energi- og CO<sub>2</sub> regnskabet, Energistyrelsen](#). Inkluderer til dels scope 1 og 2 ifølge metoden GHG Protocol, dvs. udelukkende affaldsanlæg, der ligger i kommunen. Det inkluderer lukkede deponier og biogasanlæg, hvor de nationale udledninger fordeles ligeligt ud på kommunerne ift. indbyggerantal – dvs. data er ikke kommunespecifikke. Herudover medtages affaldsforbrændingsanlæg, der ligger i kommunen, delvist, idet el- og varmeproduktionen herfra er med. Faktaarkene i nærværende rapport inkluderer alle scopes, og opdelingen sker ikke på samme vis, idet der ses på den samlede værdikæde uden at skele til, hvem udledning og besparelser tilfalder. I begge tilfælde bruges tilskrivnings-LCA.
- [Klimakompasset, Erhvervsstyrelsen](#). Udviklet til brug for virksomheder og inkluderer bl.a. affaldshåndtering af virksomhedernes affald. Data er baseret på LCA-databasen Exiobase. Data formodes at være baseret på generiske værdier i en større regional kontekst, såsom Europa. I forhold til faktaarkene i nærværende rapport er de altså mere generiske. I begge tilfælde bruges tilskrivnings-LCA.
- [Den store klimadatabase, CONCITO](#). Dækker over produktion af fødevarer for værdikæden fra produktion frem til supermarkedet. Databasen anvender også metoden tilskrivnings-LCA, ligesom faktaarkene i nærværende rapport gør.

- [Miljøprojekt 2059, Miljøstyrelsen 2019](#). En baggrundsrapport for den nuværende nationale affaldshåndteringsplan. Benytter konsekvens-LCA, idet Miljøstyrelsen har skulle tage en beslutning omkring fremtidig system for affaldshåndtering med indgribende konsekvens for affalds- og energisystemet i Danmark. Til forskel fra faktaarkene i nærværende rapport er resultaterne altså beregnet med en anden metode og kan derfor ikke sammenlignes med disse faktaark.
- Nogle kommuner eller virksomheder har gennemført konsekvens-LCA, hvor formålet har været at se på ændringer i det/deres overordnede system. Eksempelvis hvad det vil betyde at flytte en affaldsfraktion fra én affaldsbehandling til en anden. Formålet kan f.eks. være til beregning af konsekvensen af ændringer foreslået i affaldsplaner. Denne metode afviger fra metoden benyttet i nærværende faktaark.

I beregningen af de generiske klimafaktorer er drivhusgasemissionerne (ud over CO<sub>2</sub> f.eks. metan og lattergas) langs værdikæden kvantificeret og konverteret til CO<sub>2</sub>-ækvivalenter (enheden for påvirkningskategorien for klimaforandring). FN's klimapanel's anbefalede metode (IPCC 2013) er anvendt til beregning af klimapåvirkningen, hvilket bl.a. betyder, at biogen CO<sub>2</sub> uanset oprindelse forudsættes klimaneutral, og derfor indgår i beregningen med en emissionsfaktor på nul. De andre drivhusemissioner, såsom biogen metan, er dog inkluderet med en særskilt emissionsfaktor. Andre miljøpåvirkningskategorier, såsom partikeludledning og forsurening, er ikke medtaget i analysen i nærværende rapport.

Klimafaktorerne fremvist i faktaarkene er udelukkende et udtryk for klimapåvirkningen ved genanvendelse. Klimafaktorerne er altså *ikke* et udtryk for påvirkningen af at flytte behandlingen af en affaldsfraktion fra anden behandling (f.eks. forbrænding) til genanvendelse. Skal denne gevinst regnes, må klimaeffekten fra forbrænding af fraktionen kendes, hvorved differencen kan beregnes.

## Energi

Der indgår et forbrug og substitution af elektricitet i en række processer i beregningerne. I de bagvedliggende beregninger benyttes et gennemsnitligt energimiks fra 2020 for henholdsvis "Nordeuropa" repræsenteret af Danmark og "Europa" repræsenteret af Tyskland (se tabel på næste side).

For varmeproduktion benyttes et fjernvarmemiks fra region hovedstaden (2020 data).

Den anvendte effektivitetsgrad i rapporten for produktionen af el og varme ved forbrænding repræsenterer et gennemsnitlig nordeuropæisk affaldsforbrændingsanlæg repræsenteret af Danmark og et europæisk affaldsforbrænding repræsenteret af Tyskland (se tabel på næste side).

Det benyttede energimiks har stor betydning for resultaterne. Genanvendes affaldet i et andet land end forudsat i modellen vil det, alt efter hvor stor forskel der er på energimikset, have en større eller mindre betydning for resultatet. Tilsvarende vil fjernvarmenettet i en konkret (dansk) kommune have betydning for fordelingen mellem el- og varmeproduktionen ved affaldsforbrænding, hvilken kan have en vis betydning for resultaterne.

### Anvendte elmiks for Danmark (DK) og Europa (forudsat Tyskland)

Brændsel	DK elmiks 2020 <sup>1</sup>	DE elmiks 2020 <sup>2</sup>
Vind (land, hav)	45 %	29 %
Hydro	15 %	2 %
Biomasse (træflis, træpiller)	13 %	4 %
Kul (inkl. brunkul)	9 %	20 %
Naturgas	5 %	14 %
Affald	5 %	0 %
Sol	4 %	25 %
Atomkraft	3 %	4 %
Olie	1 %	2 %

### Anvendte energieffektivitet for affaldsforbrænding i Danmark (DK) og Europa (forudsat Tyskland)

Energi	DK <sup>3</sup>	Europa (DE) <sup>4</sup>
Effektivitet, el	18 %	30 %
Effektivitet, varme	85 %	0 %
Effektivitet, total	103 %	30 %

## Datagrundlag

Datagrundlaget til klimafaktorerne er som udgangspunkt baseret på en model til beregning af klimateffekten ved behandling af husholdnings- og husholdningslignende affaldsfraktioner for Københavns Kommune fra 2021. Følgende er bibeholdt fra København Kommunes model og baserer sig herved på Københavns Kommunes værdikæde:

- Behandlingslande, herunder valg af energimiks. Det har ikke været muligt, inden for rammerne af projektet, at ændre på værdikæden for oparbejdning (og har derved ikke været muligt at ændre på det benyttede energimiks i de respektive behandlingsprocesser).
- Oparbejdningprocesser, genanvendelseseffektivitet og substituerede materialer.

Hvor nødvendigt og muligt, er der foretaget ændringer i data for at repræsentere en gennemsnitlig dansk kontekst bedst muligt. Dette indbefatter ændring i:

- Transportafstande. Disse er baseret til dels på [Miljøprojekt nr. 2059, Miljøstyrelsen 2019](#), og til dels på vurdering af COWI og af professor Thomas Fruergaard Astrup, DTU.
- Affaldssammensætning. Disse er baseret på en affaldsanalyse af dansk husholdningsaffald foretaget af Econet og udgivet i [Miljøprojekt nr. 2234, Miljøstyrelsen 2023](#). Hvor data ikke var detaljeret nok, som f.eks. for sammensætning på polymer-niveau af plastaffald, er data fra Københavns Kommunes model benyttet som supplement.
- Valg af affaldsbehandling. I nogle få tilfælde inkluderede Københavns Kommunes model data for flere forskellige affaldsbehandlinger. Den behandling, der er anvendt i dette projekt, fremgår under den enkelte fraktion.

<sup>1</sup> Energinet (<https://energinet.dk/EI/Gron-el/Deklarationer>)

<sup>2</sup> Clean Energy Wire ([Germany's energy consumption and power mix in charts | Clean Energy Wire](#))

<sup>3</sup> ARC Årsrapport 2020 og personlig korrespondance med ARC juli 2023.

<sup>4</sup> Tabel 3 i: Bisinella, V., Hulgaard, T., Riber, C., Damgaard, A., Christensen, T.H. 2021. Environmental assessment of carbon capture and storage (CCS) as a posttreatment technology in waste incineration. Journal: Waste Management.

# Opdateringspotentialer

## Opdatering af inkluderede faktaark

Opdateringspotentialer er identificeret i forbindelse med kvalitetssikring af professor Thomas Fruergaard Astrup, DTU. Disse er noteret og leveret til Brancheforeningen Cirkulær og DAKOFA, så de har overblik over og mulighed for senere at få opdateret disse data.

Opdateringspotentialer inkluderer bl.a.:

- Værdikæde/energimiks. Værdikæden benyttet til at bestemme landespecifikke energimiks benyttet i oparbejdningsprocesser er for nogle fraktioner vurderet at variere fra, hvad der er forudsat i Københavns Kommunes model. Værdikæden, og derved de landespecifikke energimiks, bør derfor opdateres for at gøre klimafaktorerne mere generiske (især vurderet relevant for pap, papir og metal).
- Genanvendelseseffektivitet (a-faktor): Genanvendelseseffektivitet er for glas og plast vurderet til at være i den høje ende. Det anbefales, at disse reduceres i en senere opdatering af klimafaktorerne.
- Substitutionsfaktorer (b-faktor): Der er generelt benyttet relativt høje substitutionsfaktorer (især relevant for aluminium, papir og plast). Det anbefales, at disse reduceres i en senere opdatering af klimafaktorerne.

En opdatering af ovenstående vurderes at have en indflydelse på relevante klimafaktorer. I hvilken størrelsesorden er svært at afgøre, og det vil afhænge af den specifikke ændring.

Opdateringspotentialer er ikke diskuteret yderligere i faktaarkene.

## Inspiration til videre arbejde

Det vil være relevant at foretage klimaberegninger og opstille generiske CO<sub>2</sub>-ækv. på flere områder. Dette omfatter bl.a.:

- Yderligere affaldsfraktioner (f.eks. haveaffald, storskrald, tekstiler, bleer, elektronik, restaffald til forbrænding samt alle fraktioner på genbrugsstationerne).
- Inkludere flere affaldsbehandlinger, så det f.eks. er muligt at se, hvad det giver at flytte affald fra forbrænding til genanvendelse. Yderligere kan genbrug (f.eks. for glas/glasflasker) og forebyggelse være relevant.
- Yderligere opdeling af resultater (bl.a. opdeling af substitution og genanvendelse samt opdeling i scopes).
- Opgivelse af resultater i et interval, som viser usikkerheden på beregningerne.
- Beregning på fraktionsniveau (sammensætningen i ordningen), så der kan indstilles på sammensætning og urenheder.
- Opdeling af rejekt i de enkelte indsamlingsordninger, så der gives en CO<sub>2</sub> faktor for hver rejektandel.
- Opdatering af modellen, når det udvidede producentansvar for emballage er indført.
- Udvidelse med kombinerede indsamlingsordninger.



GLAS



MAD- & DRIKKE-  
KARTONER



PLAST



MADAFFALD



METAL



PAPIR



PAP