

Miljøregnskap for innsamling og gjenvinning av ruter



FORFATTERE

REGINA SKATTENBORG OG ANDREAS
BREKKE

RAPPORTNUMMER

OR.08.23

ÅRSTALL

2023

ISBN NR.
978-82-7520-912-0

ISSN NR.
2535-812X

RAPPORTTYPE
Oppdragsrapport

TILGJENGELIGHET
Lukket



PROSJEKTNUMMER

3386

PROSJEKTNAVN

Miljøregnskap for innsamling og gjenvinning av ruter

OPPDRAUGSGIVER

Ruteretur

KVALITETSSIKRER

Kari-Anne Lyng

ANTALL SIDER

68

EMNEORD

Vinduer, innsamling, behandling, gjenvinning, LCA

BILDE FORSIDE

Ruteretur

Sammendrag

På oppdrag fra Ruteretur har NORSUS, Norsk institutt for bærekraftsforskning, gjennomført et prosjekt med analyser av miljøprestasjonen til ulike systemer for innsamling og behandling av vinduer, med både glass og karmen. Analysene er utført ved hjelp av livsløpsvurderinger, som av og til også kalles livsløpsanalyser, (eller LCA, fra engelsk Life Cycle Assessment).

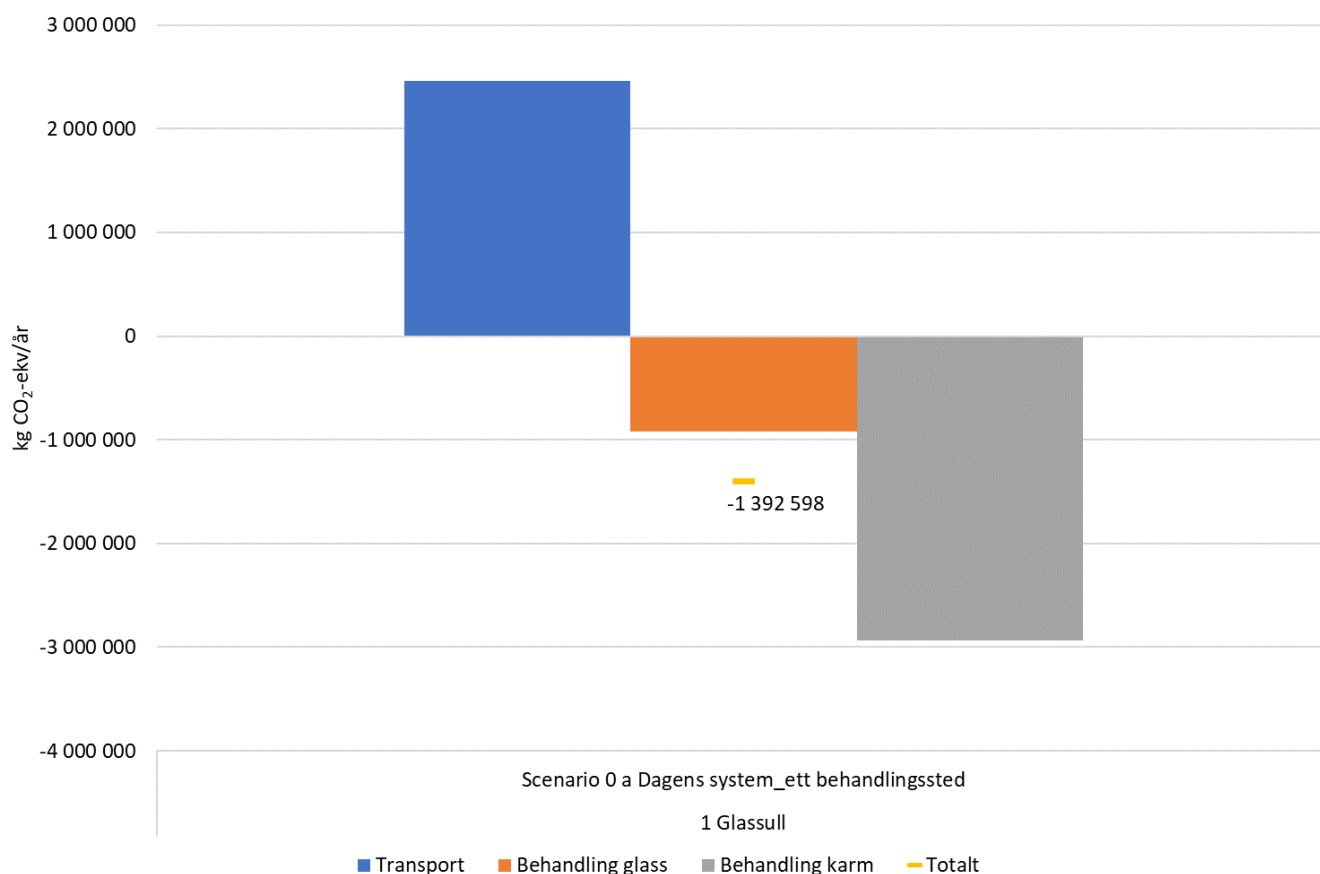
Analysene viser:

- Materialgjenvinning til glassull eller planglass vil være det beste alternativet miljømessig både nå og i fremtiden.
- Riktig behandling kan veie opp en del av miljøulempene ved produksjon av vinduer.
- Dagens system for PCB-ruter med materialgjenvinning til glassull er positivt for miljøet i alle undersøkte kategorier, det være seg klima, forurensning, arealbruk, forbruk av ressurser og flere andre.
- Dagens system med innsamling og behandling av alle de ca. 630 000 vinduene som er antatt gir en potensiell reduksjon i klimagassutslipp på nesten 1 500 tonn CO₂-ekvivalenter per år. Dette tilsvarer det gjennomsnittlige årlige utslippet fra ca. 200 personer i Norge.
- Innsamling og behandling av PCB-vinduer står for en potensiell reduksjon på ca. 377 tonn CO₂-ekvivalenter per år, eller det gjennomsnittlige årlige utslippet fra ca. 50 personer i Norge.
- Miljøgevinsten ved gjenvinning kunne vært enda høyere om man hadde hatt noen flere anlegg hvor karmen ble fjernet fra vinduene og dermed mer effektiv logistikk for glass i systemet.
- Energigjenvinning av hele vinduer vil i flere tilfeller føre til negative miljøvirkninger, mens det samme bare gjelder i noen ytterst få tilfeller for materialgjenvinning.
- Jo flere ruter som materialgjenvinnes, jo bedre blir miljøprestasjonen.
- Det finnes ikke per i dag gode måter å vise eventuell forskjell mellom gjenvinning til planglass eller glassull, siden de benytter samme råvarer i produksjonen, men det er større sjanse for at det i fremtiden vil være mulig å gjenvinne glassull til glassull og dermed bevare verdien for planglass ved å gjenvinne til samme funksjon.
- Sand som ressurs var et viktig punkt for Ruteretur, men har ikke blitt ordentlig innarbeidet i prosjektet. Når det gjelder tilgang til ressurser, er ikke sand i dag beskrevet som en knapp ressurs i tilgjengelige databaser, selv om man må dra stadig lenger fra Europa for å finne sand som egner seg til planglass- og glassullproduksjon. En bedre metode for å belyse dette, ville gjøre materialgjenvinning enda mer fordelaktig enn forbrenning.

Valget mellom materialgjenvinning til glassull eller planglass er ikke åpenbart ut fra analysene presentert her. Planglass gir bedre miljøprestasjon per kg glass som gjenvinnes, men systemet krever lenger transportdistanser av glasset fra brukte vinduer. I dagens system forbrennes trekarmen fra såkalte PCB-vinduer i Sverige og Tyskland. Miljønyttene ved å forbrenne trekarmen, spesielt i Tyskland, med dertil tilhørende utskifting av fossile energikilder til fjernvarmeproduksjon, har mye å si for miljøgevinsten ved gjenvinning til glassull. I fremtiden går denne nytten ned på grunn av mindre fossile energikilder som erstattes i fjernvarmesystemet.

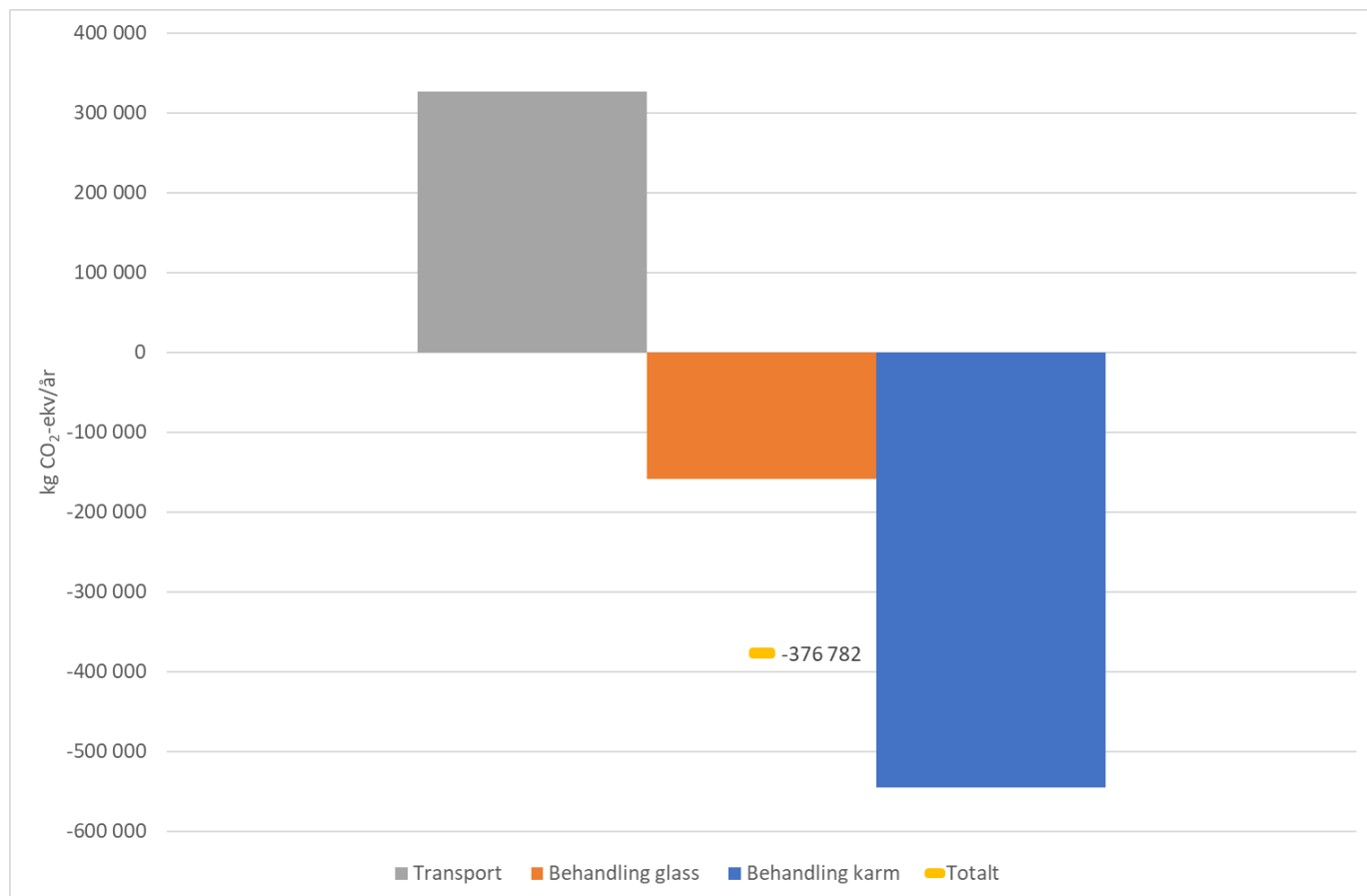
Det er i prosjektet gjort en analyse av dagens system med innsamling av såkalte PCB-ruter, hvor det også samles inn og behandles en del klorparafinruter (produsert eller importert etter PCB-ruteperioden, men før 1990) og ruter produsert etter 1990. I dag går alt glasset i rutene til produksjon av glassull, men det jobbes med løsninger for gjenvinning til nytt planglass. En heldig bieffekt av dagens løsning er at mange trekarmen

forbrennes i Tyskland hvor fjernvarmen produsert ved forbrenningsanlegget erstatter fjernvarme fra fossile energikilder. Faktisk vil gevinsten ved erstatning av energikilder langt overgå gevinsten ved erstatning av materialer til glassullproduksjon når det gjelder klimapåvirkning, slik vi kan se i figur A nedenfor.



Figur A. Belastninger og gevinster knyttet til klimapåvirkning fordelt på ulike livsløpstrinn knyttet til dagens innsamling av PCB. Den gule streken angir det totale resultatet for klimapåvirkning per år for dagens system med faktiske mengder glass og karmen til gjenvinning.

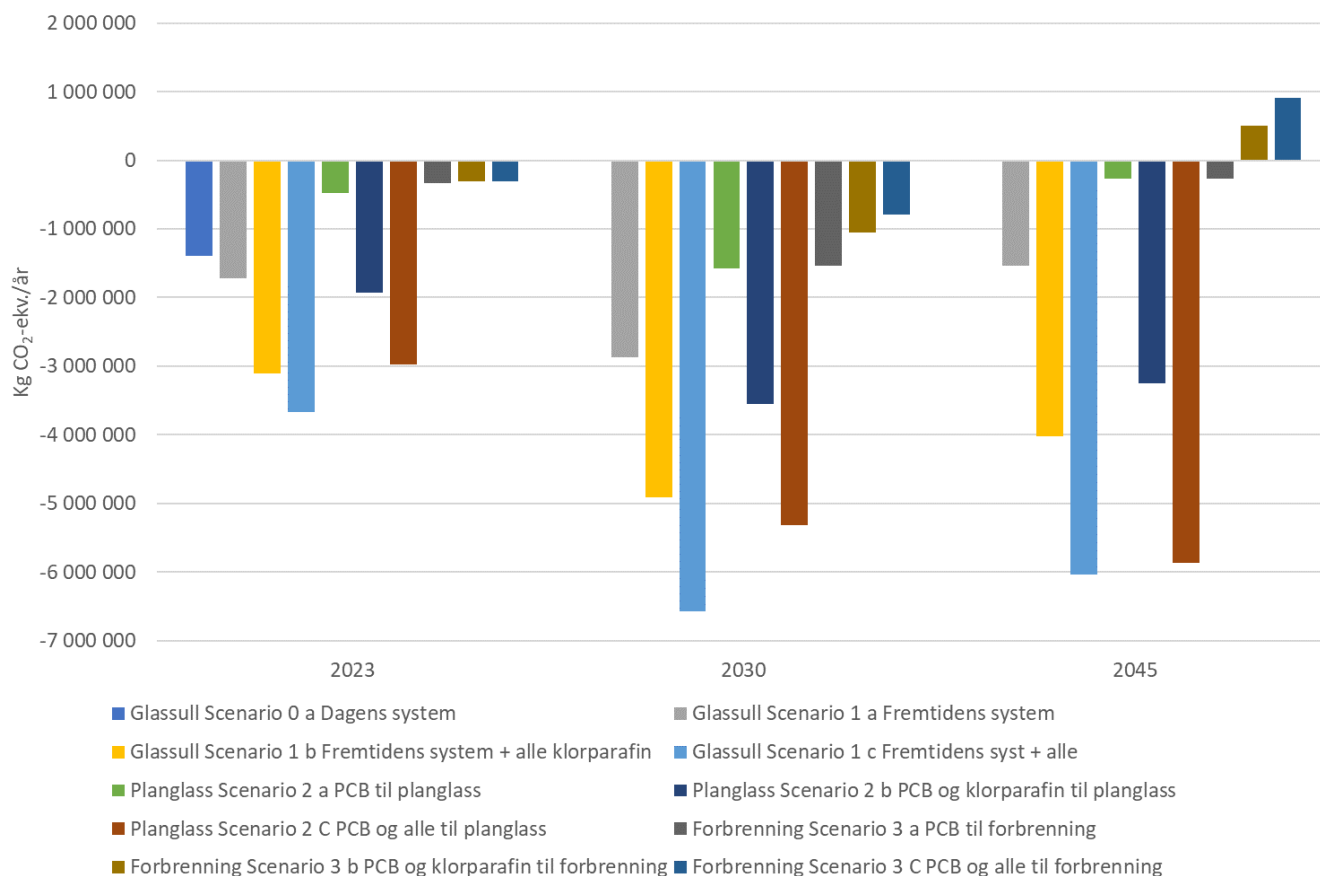
Figuren viser at det er forbrenning av karmen med tilhørende erstatning av energikilder benyttet til fjernvarme som har størst effekt i dagens system. Transporten har større belastning enn gevinsten man oppnår ved bare materialgjenvinningen av glass. Litt senere i sammendraget presenteres systemenes klimapåvirkning dersom karmene utelates fra analysen, altså både i transport og behandling. Figur A viste belastningene og gevinstene fra innsamling og behandling av alle vinduer i dagens system, hvor det er antatt at disse til sammen utgjør rett i overkant av 630 000. Dersom vi ser på gevinst og belastning fra bare den andelen vinduer som er produsert i perioden 1965 – 1975, altså såkalte PCB-vinduer, får vi en graf som vist i figur B.



Figur B. Belastninger og gevinster knyttet til klimapåvirkning fordelt på ulike livsløpstrinn knyttet til dagens innsamling av bare PCB-vinduer. Den gule streken angir det totale resultatet for klimapåvirkning per år for dagens system med faktiske mengder glass og karmen fra PCB-vinduer til gjenvinning.

Vi kan se fra denne figuren at innsamling og behandling av PCB-vinduer fører til en klimagevinst på ca. 377 tonn per år, det vil si det gjennomsnittlige årlige klimagassutslippet fra 50 personer i Norge.

For å undersøke miljøeffekten av innsamling og behandling av vinduer i fremtiden er det satt opp systemer med ulike mengder innsamlede vinduer, som går til ulike behandlingsløsninger, for i dag (2023), 2030, og 2045. Mer detaljerte beskrivelser av de ulike trinnene i systemene og hvilke mengder som går hvor er gitt i rapporten. Der er det også beskrevet hvilke endringer som er modellert i underliggende systemer, som transport- og energisystemet, fra i dag til 2045. I figur B vises den årlige klimapåvirkningen for de ulike scenarioene på ulike tidspunkt.



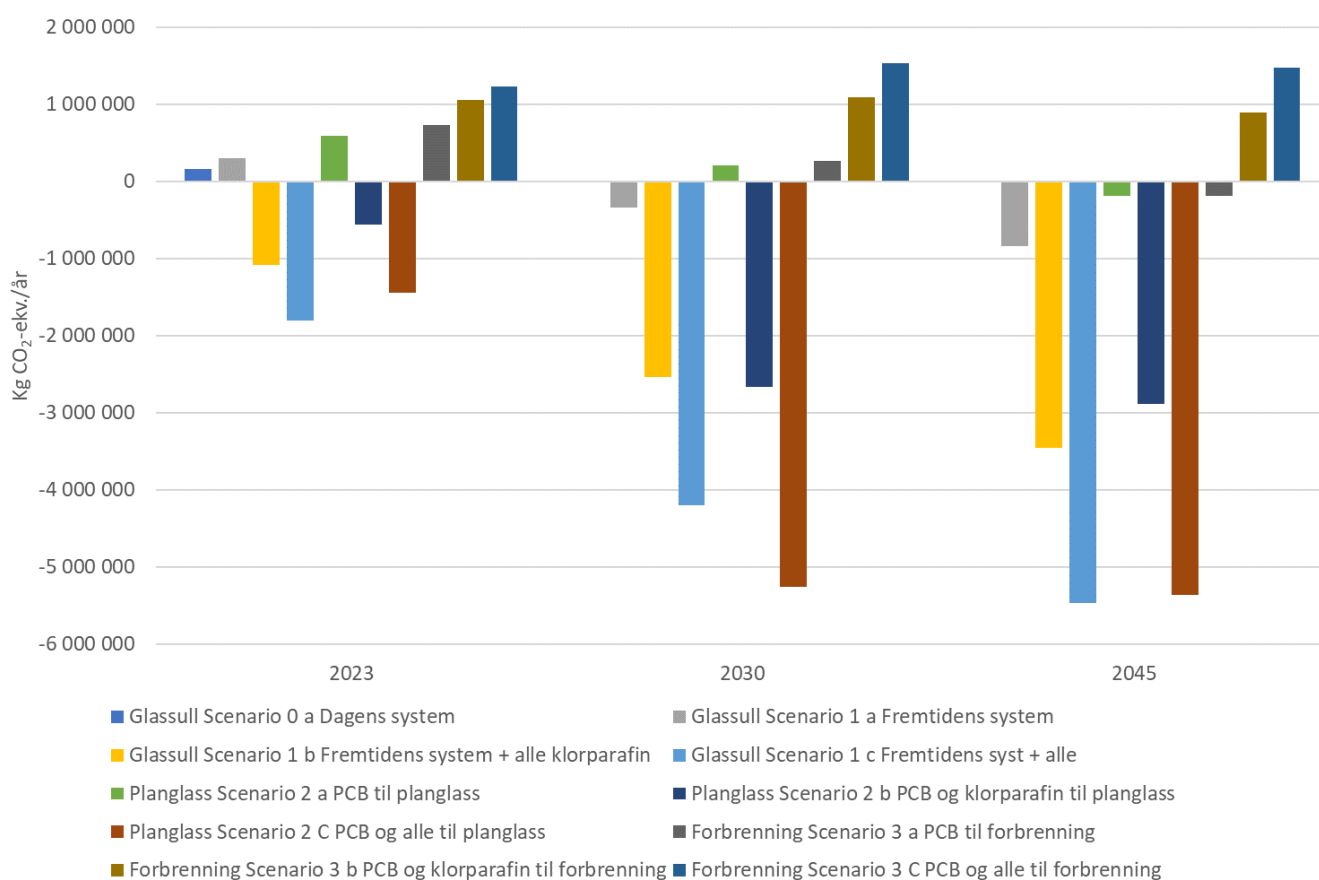
Figur B. Klimapåvirkning for alle scenarier på alle tidspunkter.

Denne grafen oppsummerer hele prosjektet, men kan være vanskelig å lese. Den aller første blå stolpen betegner dagens system med innsamling og behandling av vinduer. De tre neste stolpene (grå, gul, og lyseblå) for hvert tidspunkt er knyttet til fremtidig behandling hvor glass materialgjenvinnes til glassull, og karter behandles enten som i dagens system med forbrenning i Tyskland og Sverige for PCB-ruter, og ved forbrenning nært sentral oppsamling for klorparafinruter og ruter produsert etter 1990. Den gråe stolpen helt til venstre på hvert tidspunkt i scenario 1 er knyttet til relative mengder til materialgjenvinning som i dag, altså hvor alle PCB-ruter og en andel klorparafinruter og ruter produsert etter 1990 samles inn. Den gule stolpen til høyre for denne er knyttet til at alle PCB- og klorparafinruter samles inn, eller relative mengder som i dagens system når det blir flere vinduer i framtiden, mens den lyseblå stolpen er knyttet til at alle vinduer går til materialgjenvinning til glassull. De tre neste stolpene til høyre (lysegrønn, mørkeblå, og rustrød) er knyttet til materialgjenvinning til planglass og det er samme mengdeanslag fra høyre til venstre som for materialgjenvinning til glassull. De tre siste stolpene (mørk grå, brun, og mørkeblå) er knyttet til forbrenning av hele vinduer ved regionale mottak i Norge, og det er også samme mengder fra høyre til venstre for disse. Vinduer som ikke går inn i ett av disse systemene er tenkt at forbrennes på norske regionale mottak.

Fremtidens systemer er modellert med endringer både knyttet til transport, med en større andel elektriske kjøretøy, og knyttet til energisystemer, med en utfasing av fossile energikilder. For verden utenfor Europa er det tenkt at denne omstillingen tar enda lenger tid, så for eksempel for produksjon av kjøretøy eller uttak av sand andre steder i verden, er det fortsatt regnet med en viss bruk av fossile energikilder.

Ser vi på resultatene, er det tydelig at materialgjenvinning til glassull gir de beste resultatene for årlig klimapåvirkning med til dels store besparelser og enda større jo flere vinduer som går til denne behandlingen. Jo flere vinduer som samles inn og jo lenger vi kommer inn i fremtiden, jo bedre presterer materialgjenvinning til planglass. Dette er knyttet til at transporten blir mindre fossildrevet og at det er større fordeler ved selve materialgjenvinningen. Frem til og med 2030 får materialgjenvinning til glassull ekstra store fordeler på grunn av kortere transportavstander og større bruk av fossile drivstoff i transporten. Vinduer til forbrenning er det dårligste alternativet for alle scenarier på alle tidspunkter og for hvert årstall blir miljøprestasjonen dårligere, jo flere vinduer som går til dette alternativet.

Fordi energigjenvinning av karmen i mange tilfeller er veldig viktig, har vi også, som i figur C presentert resultater uten at karmen inngår i systemene.



Figur C. Klimapåvirkning for alle scenarier på alle tidspunkter hvor ikke karmen er inkludert i systemene.

Dersom man sammenligner figurene B og C, vil man se at karmene har mye å si for klimapåvirkningen knyttet til materialgjenvinning til glassull. I dagens system blir det til og med klimagassutslipp knyttet til ordningen om vi ikke tar med fordelene av å forbrenne karmene. Et annet viktig poeng er at materialgjenvinning til planglass blir relativt bedre sammenlignet med materialgjenvinning til glassull. Det kan kanskje oppleves litt søkt at resultatene viser at det i dag gir veldig stor gevinst å kjøre trekarmer til Tyskland for å forbrenne dem der, men de vil da hjelpe Tyskland til å erstatte fossile energikilder som i dag benyttes til fjernvarmeproduksjon. I Norge og Sverige har vi en større andel fornybare energikilder i fjernvarmeproduksjon allerede i dag, og erstatningen har derfor mindre effekt. Hovedpoenget med figur C er likevel hvor tydelig den viser at materialgjenvinning er det gunstigste alternativet og hvordan det blir mer gunstig, jo flere ruter som gjenvinnes.

Prosjektet har undersøkt en lang rekke andre mulige miljøbelastninger enn klimapåvirkning, blant annet forsurening, eutrofiering (overgjødning), og bruk av arealer. For alle de undersøkte miljøbelastningskategoriene, unntatt én, gir systemene med materialgjenvinning miljønytte på alle tidspunkter. Den ene kategorien handler om forbruk av abiotiske (ikke-fossile) ressurser. Der er det slik at større innslag av elektrifisering i transporten vil føre til større bruk av sjeldne jordarter og større forbruk av abiotiske ressurser for transporten enn den gevinsten som oppnås ved materialgjenvinning av sand og soda og andre innsatsmidler til glasull- og planglassproduksjon. På tross av dette ene diskusjonspunktet kan vi slå fast at materialgjenvinning av glass gir positiv miljønytte i dag og enda større miljønytte i framtiden!

Når det gjelder miljøbelastningskategorier med stadig større viktighet, sånn som arealbruk (med tilknytning til biologisk mangfold) og ressursbruk (med tilknytning til sirkulær økonomi), er disse enda under utvikling og vi har i løpet av prosjektet identifisert at det mangler data på hvor store miljøbelastninger som er knyttet til uttak av sand og muligheter for å fastslå hva som er beste gjenvinningsløsning for et materiale som glass.

Forskerne ønsket også å inkludere toksisitet (giftighet) da det er mye av begrunnelsen for dagens system og det ville være fint å vise hvordan riktig innsamling kan hindre spredning av farlige stoffer. Det var imidlertid ikke mulig å finne gode modeller for å tallfeste giftigheten av klorparafiner og kategorien ble derfor utelatt. Det er likevel trygt å si at innsamlings- og behandlingssystemer for vinduer vil ha positive effekter også knyttet til toksisitet.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	i
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål for prosjektet.....	2
2 Metode (Miljøregnskap og LCA).....	3
2.1 Life cycle assessment.....	3
2.2 Miljøbelastningskategorier.....	3
2.2.1 Lesing av resultater.....	6
2.3 Begrensninger med studien.....	6
3 Systembeskrivelser for innsamling og gjenvinning av ruter	8
3.1 Begrepsbruk.....	8
3.2 Ulike behandlingstyper for vinduer og ruter	9
3.2.1 Gjenvinning av ruter til glassull	9
3.2.2 Gjenvinning av ruter til nytt planglass.....	10
3.2.3 Forbrenning av glass	10
3.3 Ulike vindustyper.....	10
3.3.1 PCB-ruter	10
3.3.2 Klorparafinruter	11
3.3.3 Ruter fra etter 1990.....	11
3.4 Ulike tidsepoker.....	11
3.4.1 Fremtidsscenario 2030	12
3.4.2 Fremtidsscenario 2045	13
3.5 Ulike scenarioer	13
3.5.1 Dagens system for innsamling og gjenvinning av ruter (scenario 0a) basert på krav om innsamling av PCB-ruter	16
3.6 Andre elementer som inngår i presentasjonen av resultatene.....	17
4 Resultater	18
4.1 Resultater for alle scenarioer og årstall.....	18
4.2 Resultater for gjenvinning av ruter per 2023 med ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsformer	20
4.3 Resultater for gjenvinning av ruter per 2030 med ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsformer	25
4.4 Resultater for gjenvinning av ruter per 2045 med ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsformer	30
4.5 Resultater fordelt på livsløpstrinn	36
4.5.1 Dagens situasjon.....	36
4.5.2 Scenario 2030	39

4.5.3 Scenario 2045	41
4.6 Resultater uten inkludering av karm	44
4.7 Resultater for utvikling i utslipp fra transport og energi til 2030 og 2045	46
5 Diskusjon og konklusjoner.....	50
5.1 Diskusjon: Hva betyr resultatene?.....	50
5.1.1 Hva betyr det om stolpene er positive eller negative?	50
5.1.2 Hvilke andre forhold kunne eller skulle vært behandlet?	51
5.1.3 Hvor viktige er transportsystemene for resultatene?	51
5.2 Diskusjon: i hvor stor grad kan vi stole på funnene?.....	51
5.3 Konklusjoner fra analysene	52
6 Referanser	53
Vedlegg 1 Intervjuguide til gjenvinningsbedrifter, innsamlere og produsenter av ruter eller produkter fra gjenvinning av ruter	54
Vedlegg 2 Behandlingstyper og antall i hvert scenario	57

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Myndighetene og byggebransjen har et mål om at samfunnet i stadig større grad skal bli sirkulært. Dette innebærer at ressursene utnyttes så godt som mulig slik at man unngår unødvendig bruk av jomfruelige ressurser samtidig som at farlige stoffer ikke spres i samfunnet eller naturen. Det betyr at de riktige ressursene må gå i sirkler, mens de stoffene vi ikke ønsker blir tatt ut og håndtert på forsvarlig måte.

I følge gjeldende nasjonal handlingsplan for bygg og anleggsavfall, skal 80 % av bygg- og anleggsavfall innen 2023 leveres i kvaliteter som er egnet for materialgjenvinning. Ved å styrke kunnskapsgrunnlaget til miljøprestasjonen til avfallshåndtering av vinduer kan Ruteretur tydeliggjøre sin posisjon som en sentral aktør innen sirkulær økonomi.

I Norge har vi et system for innsamling av såkalte PCB-ruter. Dette er vinduer og andre glassprodukter der fugen mot karm kan inneholde miljøgiften PCB i fugelimet. Organisasjonen Ruteretur er ansvarlig for innsamling av PCB-ruter i Norge. PCB ble brukt i en periode på 1960- og 1970-tallet og alle norske avfallsmottak må sortere ut isoleerglassvinduer og andre ruter som er produsert i perioden 1965 til 1975 i Norge, eller i utlandet fram til og med 1979. Disse rutene er farlig avfall og er viktige å få behandlet på en forsvarlig måte.

Per i dag sendes PCB-ruter til Øra utenfor Fredrikstad, hvor glasset skjæres ut av rammene og sendes til gjenvinning, mens karmen med fuger og det som kan inneholde PCB sendes til Tyskland eller Sverige for forbrenning ved godkjent anlegg. Etter hvert som stadig flere hus fra denne perioden renoveres og vinduer skiftet ut, vil antallet ruter som krever slik forsvarlig behandling bli færre og færre. Mellom 1975 og 1990 ble PCB i mange tilfeller erstattet med såkalte klorparafiner. Produkter som inneholder klorparafiner må også deklarerer som farlig avfall, men krever derimot en mindre streng behandling enn PCB-ruter og norske forbrenningsanlegg kan håndtere disse. For andre vinduer enn PCB-vinduer er det ingen returordning og man regner med at mellom 3 av 10 vinduer fra denne perioden går til materialgjenvinning (Ruteretur, 2023). For alle isolerglassvinduer, uavhengig av produksjonsår, gjelder imidlertid at de anses som farlig avfall dersom de er punktert, og de må dermed fraktes hele til det nærmeste stedet der karmen kan fjernes fra glasset eller vinduene forbrennes hele (Glass og Fasadeforeningen, 2019).

Ruteretur er et returselskap som samler inn kasserte PCB-ruter og sørger for at disse blir trygt behandlet. Med dette prosjektet ønsket de å få oversikt over miljøregnskapet for gjenvinning av vinduer – for PCB-ruter, klorparafinruter og andre type ruter – og studere hvordan miljøprestasjonen varierer med type håndteringsløsning som benyttes.

1.2 Mål for prosjektet

Målet med prosjektet har vært å gi Ruteretur oversikt over miljøprestasjonen til dagens returordning sammenliknet med miljøprestasjonen dersom løsningen for gjenvinning endres. Tre ulike løsninger for gjenvinning av glasset er undersøkt: 1) til glassull; 2) til planglass; og 3) til forbrenning. Som en del av dette har det vært nødvendig å undersøke hvordan transportlogistikken vil endre seg med de ulike løsningene for gjenvinning, hvilke belastninger som er knyttet til hver av håndteringsmåtene, og hvilke produkter som kan erstattes ved material- og energigjenvinning.

Resultatene fra prosjektet skal bidra med beslutningsgrunnlag for mulig utvidelse av Rutereturs system til å samle inn flere typer vinduer enn bare PCB-ruter for gjenvinning av materialer. Det skal tallfestes hvilke miljømessige fordeler og ulemper dette kan gi.

I det neste kapitlet gis en kortfattet beskrivelse av metodikken og forutsetningene i analysene. Kapittel 3 beskriver systemene som er undersøkt i rapporten, det vil si ulike behandlingsløsninger, ulike typer ruter, og ulike framtidige systemer. De framtidige systemene er beskrevet som øyeblikksbilder i henholdsvis 2030 og 2045. Disse øyeblikksbildene har forsøkt å ta høyde for at det vil skje store endringer i hvilke energikilder vi bruker i transport og industri i nær framtid. Dette henger igjen sammen med ambisiøse politiske mål om utslippskutt de neste 20-30 år. Hvilke endringer vi har gjort i forskjellige datasett er beskrevet. Kapittel 4 presenterer resultatene fra analysen, både resultater fra hovedscenarioene og mer detaljerte resultater for å peke på hvordan viktige forutsetninger slår ut. Resultatene og hvordan disse henger sammen med valg og forutsetninger er diskutert i kapittel 5, og her presenteres også de viktigste konklusjonene.

2 Metode (Miljøregnskap og LCA)

2.1 Life cycle assessment

Denne studien har benyttet livsløpsmetodikk (LCA, fra engelsk life cycle assessment) til å utføre miljøregnskap for innsamling og gjenvinning av ruter.

LCA er en metode som tar sikte på å kartlegge alle material- og energistrømmer for livsløpet til produkter og kvantifisere hvordan disse påvirker miljøet. Det betyr at man ser på ressursforbruk, på avfallsgenerering, og på utslipp til luft, jord, og vann. Slike inn- og utstrømmer «oversettes» til den effekten de kan ha på miljøet – for eksempel ved at utslipp av klimagasser samles i en kategori for klimabelastning mens bruk av sekundære råvarer samles i en kategori for et gitt aspekt av sirkulær økonomi. LCA skal gjøre det mulig å unngå såkalte problemskifter. Problemskifter betyr at man flytter et problem til et annet sted, til en annen tid, eller til en annen type miljøproblem.

I henhold til ISO 14040/14044 kan et LCA-prosjekt deles opp i fire steg: mål og omfang, inventaranalyse, miljøeffektvurdering og tolkning av resultater. Prosessen er iterativ, siden det ofte er nødvendig å gå tilbake til tidligere trinn og gjøre justeringer underveis i prosjektet, for eksempel en tilpasning av mål og omfang, når man ser hvilke data som er realistiske å samle inn i inventaranalysen, eller tilbake til inventaranalysen når man ser viktigheten av enkeltprosesser under tolkningen av resultatene.

Resultatene fra en LCA presenteres per funksjonelle enhet. Den funksjonelle enheten representerer en kvantifisering av den funksjonen som produktet eller tjenesten yter. I denne studien er funksjonell enhet definert som *innsamling og forsvarlig håndtering av vinduer og/eller ruter i løpet av ett år, inkludert nytten ved at avfallet brukes til å generere energi som kan erstatte andre energibærere og/eller resirkulert materiale som kan erstatte jomfruelig materiale.*

Når et avfallssystem skal analyseres er det vanlig å starte analysen idet avfallet oppstår, og å inkludere livsløpsfasene innsamling og videre transport, avfallsbehandling og eventuelle substitusjonseffekter. Substitusjonseffekt er nytten ved at en avfallsressurs kan brukes til å produsere energi og resirkulert materiale. Denne nytten inkluderes ved å vurdere hvilke energibærere som erstattes av den genererte energien, og i hvor stor grad det resirkulerte materialet kan erstatte jomfruelige materialer. Erstattet energi/materiale inkluderes som negative (reduerte) utslipp.

2.2 Miljøbelastningskategorier

En av styrkene ved LCA er at metoden muliggjør adressering av flere ulike miljøproblemer parallelt. Dette skjer i LCIA-steget (life cycle impact assessment) i LCA. Først kobles alle input og output fra hver enkelt prosess i LCA-modellen til en eller flere miljøbelastningskategorier (der klimaendringer er et eksempel på en kategori). Deretter karakteriseres substansene etter hvilken relativ effekt de har på miljøbelastningskategorien i forhold til en referanse. For klimagassutslipp måles påvirkningen i kg CO₂-ekvivalenter, og referansen er kg CO₂. De karakteriserte verdiene adderes, og den totale summen gir uttrykk for systemets samlede belastning på den utvalgte miljøbelastningskategorien. Ved å inkludere flere

miljøbelastningskategorier kan en unngå såkalte problemskifter der et tiltak for å redusere belastningen på en miljøbelastningskategori kan gi økt belastning for en annen miljøbelastningskategori.

Standarden ISO 14044 (ISO 2006) som beskriver utførelsen av LCA, viser til at valg av miljøbelastningskategorier skal samsvare med hensikten til studien. I denne studien er hensikten å kartlegge miljøprestasjonen til Ruteretur sitt nåværende og mulige fremtidige system for innsamling av ruter. Hensikten sier ikke noe om hva som ligger i miljøprestasjon, men vi bør ta utgangspunkt i at valget av miljøindikatorer skal gjenspeile et fullstendig sett av miljøforhold i tilknytning til systemet returordning for ruter. I tillegg stiller standarden krav til bl.a. bruk av internasjonalt anerkjente kategorier, at kategoriene skal være vitenskapelig og teknisk gyldig, og at de bør være miljømessig relevante.

Å inkludere for mange kategorier kan være ineffektivt og gi uklare konklusjoner (Steinmann, Schipper, Hauck, & Huijbregts, 2016), slik at det er hensiktsmessig å velge ut færre kategorier. Det finnes metoder for normalisering og vekting som skal kunne si noe om hvilke indikatorer som relativt sett er viktigst for det gitte systemet og dermed hvilke som bør inkluderes, men disse metodene er i aller høyeste grad verdibasert og ikke alltid anbefalt (Prado-Lopez et al., 2014). Det finnes også andre metoder for å beregne hvilke indikatorer som bør inkluderes (bl.a. Principal Component Analysis (PCA), multivariabel statistisk analyse av LCIA-resultater, representative index (RI)). Det er ikke rom for å utføre slike analyser i dette prosjektet og vi vil derfor plukke ut relevante kategorier på bakgrunn av eksisterende rammeverk.

For å finne aktuelle miljøbelastningskategorier kan vi for eksempel se til «EPD-standard» NS-EN 15804+A2 (CEN, 2019). EPD-er er sterkt utbredt i byggebransjen og kan være bra å skjele til for å finne aktuelle miljøbelastninger for innsamling av ruter. Standarden beskriver 13 hovedkategorier som må inkluderes i en EPD for et produkt. Blant disse finner vi indikatorer som angitt i Figur 1 Indikatorer for ulike miljøpåvirkninger som angitt i en EPD etter standarden NO-EN 15804+A2. Figur 1 og som brukes til å beskrive effekten på ulike miljøbelastningskategorier.

ILCD¹ har i tillegg klassifisert indikatorene etter tre nivåer: Type I-indikatorer er anbefalt og uten forbehold, mens type II og type III er anbefalt, men trenger forbedringer eller må brukes med forsiktighet. I dette prosjektet vil det være hensiktsmessig å velge blant indikatorer av type I. Der finner vi kun tre indikatorer:

- Globalt oppvarmingspotensial (GWP)
- Potensial for nedbryting av stratosfærisk ozon (ODP)
- Potensial for sykdomstilfeller knyttet til partikkelutslipp (PM)

Av disse er to de øverste i gruppen «kjerneindikatorer» iht. NS-EN 15804+A2, mens sistnevnte er i gruppen «supplerende indikatorer».

¹ ILCD (International Life Cycle Data System) er et initiativ utviklet av Joint Research Centre og Directorate General Environment. ILCD skal støtte utviklingen og kvalitetssikring av LCA.

Indikator	Enhet
 GWP-total	kg CO ₂ -eq
 GWP-fossil	kg CO ₂ -eq
 GWP-biogenic	kg CO ₂ -eq
 GWP-luluc	kg CO ₂ -eq
 ODP	kg CFC11 -eq
 AP	mol H ⁺ -eq
 EP-FreshWater	kg P -eq
 EP-Marine	kg N -eq
 EP-Terrestrial	mol N -eq
 POCP	kg NMVOC -eq
 ADP-minerals&metals ¹	kg Sb -eq
 ADP-fossil ¹	MJ
 WDP ¹	m ³

Figur 1 Indikatorene for ulike miljøpåvirkninger som angitt i en EPD etter standarden NO-EN 15804+A2.

I vår tid, der klimaendringer er den kategorien som får mest oppmerksomhet, gjøres det mye for å redusere den potensielle påvirkningen på akkurat denne kategorien. Det er også en miljøbelastningskategori som det finnes veletablerte og omforente metoder for å adressere. IPCC utgir jevnlig oppdaterte karakteriseringsfaktorer for klimaendringer, og den nyeste metoden er basert på IPCC sin sjette hovedrapport fra 2021.

Avfallslogistikk, og spesifikt systemet for innsamling av ruter, er også relevant og viktig for overgangen fra en lineær økonomi til en sirkulær økonomi. Dette gjelder særlig fordi byggebransjen er en av de viktigste områdene for overgang til en sirkulær økonomi (Departementene, 2021). Det er derfor ønskelig å inkludere en miljøbelastningskategori som adresserer prestasjonen til systemet i et sirkulærøkonomisk perspektiv. LCA gir ikke per i dag en indikator for hvor sirkulær en løsning er, men det finnes to indikatorer som angir forbruk av ikke-biologiske ressurser: «Abiotic Depletion Potential (ADP)» - der det skilles mellom ADP for fossile energiresurser (ADPE) og ADP for mineraler og metaller (ADPM). Disse indikatorene dekker ikke alle sirkulærøkonomiske strategier, men ser på uttak av ressurser som finnes i begrenset tilgjengelighet på jorden. For ADPE brukes MJ som enhet og indikatoren angir det direkte og indirekte forbruket av energiresurser brukt både som energibærere og råvarer (som f.eks. olje, naturgass, kull og torv). ADPM angir forbruket av

mineraler og metaller og uttrykkes i antimonekvivalenter (Sb-ekvivalenter). Antimon er et sjeldent metall og alle ressurser beregnes ut ifra hvor sjeldne de er relativt til antimon. En ulempe ved disse to indikatorene er at det er knyttet høy usikkerhet til resultatene, samt at det er begrenset erfaring med bruk av indikatorene.

Tap av natur og biologisk mangfold har blitt en av vår tids største problemer. I desember 2022 signert verdens land en global naturavtale der vi forplikter oss til å verne 30 % av verdens hav- og landområder innen 2030. Arealbruk er derfor en indikator som vil få økende betydning når vi skal oppnå disse målene. NO-EN 15804+A2 angir SQP (Soil Quality Points) som en valgfri indikator for arealbruk. Indikatoren angir et produkt eller system sin påvirkning på jordkvalitet som et mål på arealbruk og er dimensjonsløs.

I og med at formålet med innsamling av PCB-ruter er å sikre forsvarlig håndtering og destruering av miljøgiften PCB, ville det i utgangspunktet være veldig aktuelt å se på toksisitet (eller giftighet) som en miljøbelastningskategori. For toksisitet finnes det for eksempel en metode med vitenskapelig konsensus kalt «UseTox2». Metoden er utviklet av et team med internasjonale forskere underlagt UNEP/CETAC Life Cycle Initiative og uttrykker toksisitet i form av menneskelige effekter (kreftfremkallende/ikke-kreftfremkallende) og effekter på økosystemet (ferskvann). For menneskelige effekter uttrykkes effekten på menneskelig helse i enheten DALY (Disability-adjusted life year). 1 DALY uttrykker tap av ett år med normal helse. I metoden finnes det karakteriseringsfaktorer for PCB og ftalater, men ikke for klorparafiner. Dermed er det ikke mulig å kvantitativt beregne effekten klorparafiner har på toksisitet. Metoden er også klassifisert av ILCD som type II/III, altså med stor grad av usikkerhet. Vi vil derfor i denne rapporten bare vurdere toksisitet (fra for eksempel PCB, klorparafiner, og ftalater) kvalitativt i diskusjonen.

De valgte miljøindikatorene for analysen er gitt i Tabell 1.

Tabell 1 Valgte miljøpåvirkningskategorier i analysen

Tema	Miljøpåvirkningskategori	Miljøindikator	Enhet
Klima	Potensiell påvirkning på klimaendringer	GWP-fossil	kg CO ₂ -ekv
Sirkulærøkonomi	Utarming av ikke-biologiske ressurser – fossile energiresurser	ADP-fossil	MJ
	Utarming av ikke-biologiske ressurser – Mineraler og metaller	ADP-minerals&metals	Kg Sb-ekv
Forurensing	Fotokjemisk oksidantdannelse (bakkenær ozon)		Kg eten-ekv.
	Forsuring		Kg SO ₂ -ekv.
	Eutrofiering (overgjødning)		Kg PO ₄ ²⁻ ekv.
Natur/areal/biologisk mangfold	Arealbruk	Jordkvalitet	Pt (står for «point», men betyr dimensjonsløs)
Toksisitet		Kvalitativ beskrivelse	-

2.2.1 Lesing av resultater

Resultatene fra analysene vil vises som stolpegrafer med verdier for belastningen i de ulike kategoriene. Ettersom vi undersøker et system for behandling av avfall, eller altså materialer som har nådd slutten av ett livsløp, så er det allerede investert en mengde materialer og energikilder i de produktene vi ser på. Som en følge av dette vil mange av resultatene være negative, det vil si at vi sparer utslipp og miljøbelastninger ved de systemene vi ser på sammenlignet med en verden der disse ressursene ikke hadde blitt brukt på nytt. Det er altså viktig å understreke at systemene i seg selv ikke gir negative utslipp eller miljøpåvirkninger, men at dette skyldes at de erstatter materialer eller energikilder som ellers ville bli brukt.

2.3 Begrensninger med studien

LCA er velegnet for å undersøke potensiell miljøpåvirkning for et produkt eller en tjeneste, men kan ikke brukes til å undersøke risiko eller terskelverdier. Opprinnelig var det planlagt å undersøke også hvilke negative effekter eventuell mangelfull innsamling av ruter med henholdsvis PCB, klorparafin, eller ftalater kan ha for miljøet. Da måtte vi ha satt opp gjennomsnittlige verdier for innhold i ruter i ulike tidsperioder og beregnet ulempen ved at disse hadde endt opp i naturen. Dessverre finnes det ikke gode data for toksisitet av klorparafiner i de LCA-metodene vi benytter og det ville derfor være et gap mellom PCB-ruter og ftalatruter

på den ene siden og klorparafinruter på den andre siden. På grunn av denne vesentlige mangelen, er det valgt å se bort fra toksisitet i undersøkelsen.

3 Systembeskrivelser for innsamling og gjenvinning av ruter

Dette kapitlet presenterer de metodiske valgene som er gjort for gjennomføring av analysene og hvilke aktiviteter og som er involvert i dagens, og kan bli involvert i fremtidige, løsninger for innsamling og gjenvinning av vinduer og ruter. I prosjektet har vi jobbet med tre ulike dimensjoner knyttet til innsamling og gjenvinning av vinduer og ruter:

1. tre ulike typer behandlingsløsninger (glass til gjenvinning til glassull eller planglass, eller til forbrenning).
2. tre ulike typer vinduer («PCB-ruter», «klorparafinruter», og vinduer etter 1990); og
3. tre ulike tidspunkter (2023, 2030, og 2045).

Disse dimensjonene er satt sammen i ulike scenarioer slik at vi har fått fram 27 forskjellige alternativer som sammenlignes. I dette kapitlet er hver av de tre dimensjonene og en oversikt over de ulike scenarioene beskrevet. Dagens situasjon er spesielt beskrevet, både fordi denne er utgangspunkt for mye av analysen, men også fordi man kan ta med seg resultatene fra denne for å si hvilken miljønytte man får fra innsamling og behandling av vinduer i dag. Data for både dagens system og fremtidige systemer er basert på informasjon innhentet fra Ruteretur (2023), Ronny Andresen i Norsk Gjenvinning (2023), Oskar Storm i Saint Gobain (2023), Fortum (2023), Ragn-Sells (2023), og Mads Rikardsen og Fredrik Johnsen i Glava (2023). Det er også mot slutten av kapitlet pekt på andre elementer som vises frem i resultatdelen for å gi bedre forståelse av systemene. Men aller først kommer et lite avsnitt om begrepsbruk.

3.1 Begrepsbruk

Det er viktig med presise begreper for å være sikker på at man diskuterer de samme systemgrensene i et system for innsamling og gjenvinning av ruter. Det er derfor viktig å definere hva vi mener med ruter og hvordan dette forholder seg til vinduer og til ulike materialer som kan gjenvinnes.

Et vindu består av en glassrute, som oftest to eller tre lag med glass, med en ramme rundt. Rammen igjen består av ulike materialer. Det er metaller som benyttes i åpne- og lukkemekanismer i tillegg til tre, plast, eller metaller i selve rammen. Flere av disse materialene vil gjenvinnes fra asken i forbrenningsovnene, men det kan hende man kunne fått bedre gjenvinning ved andre løsninger. Behandling av materialene i rammen er ikke et stort fokus i prosjektet, men må undersøkes for å være sikker på at ikke noen av løsningene tilskrives mer eller mindre ulemper eller fordeler enn de skal ha. Det er forutsatt at rammer er laget av tre, da det er materialet som benyttes i langt de fleste rammer.

Det er antatt at standard vekt på et vindu er 40 kg, hvor 20 kg regnes som glass og 20 kg som karm laget av tre. Det er noen forskjeller mellom ulike vinduer, men tallmaterialet vi har fått inn fra dagens systemer gir ikke grunn til å endre stort på denne forutsetningen. De 20 kiloene med glass regnes som helt rent glass for videre behandling, mens de 20 kiloene med karm vil inneholde også noe glass, metaller og fugelim i tillegg til hovedmaterialet i karmen. Eventuelle giftige komponenter sitter i fugelimet og det er derfor essensielt at dette uansett fjernes før glasset går til gjenvinning. Dette er det tatt hensyn til ved energigjenvinning av karm.

3.2 Ulike behandlingstyper for vinduer og ruter

I hovedsak dreier dette prosjektet seg om gjenvinning av glass fra vinduer, som her refereres til som ruter, og det er tre ulike behandlingsformer som skal undersøkes:

1. gjenvinning av glass til glassull;
2. gjenvinning av glass til nytt planglass; og
3. forbrenning av hele vinduer inkludert glass.

Den første og den siste av disse to alternativene skjer med mye av glasset i rutene i dag, mens alternativ 2 er en nyere løsning som ikke er fullt i drift. Vi har tatt utgangspunkt i eksisterende løsninger for å beregne den geografiske lokaliseringen av innsamlingssteder og behandlingsanlegg.

Analysene inneholder også hva som skjer med resten av vinduet, det vil si karmen, som vi for alle typer vinduer antar er laget av tre og vi ser også bort fra åpne-og-lukke-mekanismen som gjerne er laget i metall. Uavhengig av hvilken tidsepoke vi ser på, så regner vi med at karmen forbrennes og gir energigjenvinning. Det vil si at metallet kan tas ut som slagg i ovnen og selv om det nok i framtiden kan finnes systemer som bedre tar vare på materialene og kanskje til og med kan føre til materialgjenvinning av trevirket, så er ikke det en del av studiene her.

3.2.1 Gjenvinning av ruter til glassull

I dagens system har Norsk Gjenvinning og Glava et samarbeid om mottak av ruter i Stjørdal til anlegget i Stjørdal, og på Øra, til anlegget i Askim. Mottaket i Stjørdal kan ikke ta imot såkalte PCB-ruter (se neste delkapittel), men tar imot både såkalte klorparafinruter (produsert mellom 1980 og 1990) og ruter fra etter 1990. Det er i utgangspunktet 18 mottakssteder spredt over hele landet som tar imot ruter fra nesten 400 lokale mottak. Klorparafinruter og ruter fra etter 1990 som samles inn via Norsk Gjenvinning sitt system fra Kristiansund og nordover sendes til Stjørdal. PCB-ruter fra hele landet og klorparafinruter og ruter fra etter 1990 som samles inn via Norsk Gjenvinning sitt system fra Kristiansund og sørover sendes til Øra. Der fjernes karmene, som så sendes til Tyskland (ca. 2/3) eller til Sverige (ca. 1/3) for PCB-ruter, sammen med eventuelle knuste ruter, for forbrenning. Karmer fra vinduer produsert etter PCB-perioden forbrennes i anlegg nært Norsk Gjenvinning sine sorteringsanlegg. Glasset knuses og sendes til Askim for gjenvinning til glassull. Vår informant i Glava trekker fram fordelene ved «lokal» gjenvinning av vinduer som et fortrinn ved glassullproduksjon, altså at man ikke må sende glasset til utlandet for gjenvinning og dermed unngår transport.

Material- og energibruk knyttet til mottak, sortering, og knusing av glass er innhentet fra Norsk Gjenvinning, mens material- og energibruk, og også hvilke materialer og energikilder som eventuelt erstattes ved produksjon av glassull er innhentet fra Glava.

For fremtidige systemer er det forutsatt at glassullproduksjon fortsatt vil foregå i Stjørdal og i Askim, mens det er lagt opp til 5 sentrale mottakssteder som sender glasset til gjenvinning ved det anlegget som ligger nærmest mottaksstedet.

For transport frem til det stedet der ruter og karmer separeres, er det beregnet at vinduene må fraktes stående for å forbli hele, og denne transporten er 1/5 så effektiv som transport av bare glass eller karmer.

3.2.2 Gjenvinning av ruter til nytt planglass

Saint Gobain holder på å lage et testanlegg i Sverige for gjenvinning av planglass til nytt planglass. Fra Sverige sendes knust planglass til et glassverk i Tyskland eller Polen litt over 1000 km unna anlegget i Sverige. Vi har i analysen benyttet 560 kilometer som vektet avstand fra 5 regionale mottak til anlegget i Sverige og en gjennomsnittsavstand på 1121 kilometer derfra og videre til glassverk i Tyskland eller Polen.

Det er de samme materialene som erstattes ved planglassproduksjon som ved glassullproduksjon. En forskjell ved behandlingsløsningene er at man ved glassproduksjon hos Saint Gobain benytter naturgass i produksjonen av planglass, mens Glava bruker elektriske ovner. Det betyr at man i 2023 og 2030 får erstattet noe mer fossile energikilder i planglassproduksjon enn i glassullproduksjon.

Vår informant i Saint Gobain forklarer at planglass bare kan bruke gammelt planglass til gjenvinning og mener at glassull burde kunne produseres fra utrangert glassull, og at det å holde verdien på produktet oppe bør være viktigere enn å gjenvinne «lokalt».

For transport frem til det stedet der ruter og karmen separeres, er det beregnet at vinduene må fraktes stående for å forbli hele, og denne transporten er 1/5 så effektiv som transport av bare glass eller karmen.

3.2.3 Forbrenning av glass

I dagens system er det mange vinduer som går til forbrenning. Det er 18 forbrenningsanlegg i Norge, og disse ligger ganske nært de 18 regionale mottaksstedene i systemet for PCB-ruter. Vi har regnet med at alle vinduer som ikke går inn i gjenvinningssystemet forbrennes ved de regionale mottakene, slik at disse slipper et transportledd til mottakssted.

I et framtidig system for forbrenning av vinduer med glass, er det beregnet at alle vinduer forbrennes ved fem sentrale anlegg for forbrenning. Der er det videre antatt at karmene går til energigjenvinning og erstatter produksjon av fjernvarme i Norge. Vår informant ved forbrenningsanlegget fortalte at glasset har en positiv effekt på forbrenningen i ovnen og «glasserer» ovnen på en måte som gjør at man unngår en suppe av slag, som igjen tærer på ovnsfóringer. Han mente likevel at det ville være spekulativt å beregne at dette glasset skulle ses som erstatning for andre materialer, da også sand og andre materialer har samme effekt. Det er derfor ikke beregnet noen effekt av glasset ved selve forbrenningen, men det er lagt til at slagget må deponeres i etterkant og at deponiet må opprettes, vedlikeholdes, og avsluttes.

I det framtidige systemet vil det altså være lenger avstander til forbrenning enn hva tilfellet er i dagens system.

3.3 Ulike vindustyper

Når man i miljøsammenheng snakker om vinduer i Norge i dag, kan man grovt dele disse inn i tre ulike typer:

1. PCB-ruter;
2. Klorparafinruter; og
3. Ruter fra etter 1990

3.3.1 PCB-ruter

PCB-ruter er en betegnelse på isolerglassruter produsert i Norge fra og med 1965 til og med 1975 eller importert til og med 1979. I tetningslister mellom glass og karm er det brukt PCB for å gjøre vinduene helt

tette og holde vinduene sammen. Ruteretur holder oversikt over hvor mange ruter (og vinduer) som samles inn i denne kategorien og det har ligget stabilt rundt 30 000 noen år. Denne kategorien vinduer vil fases ut etter hvert, men også vinduer produsert senere benytter fugelim og fugemasser som inneholder potensielt farlige stoffer.

3.3.2 Klorparafinruter

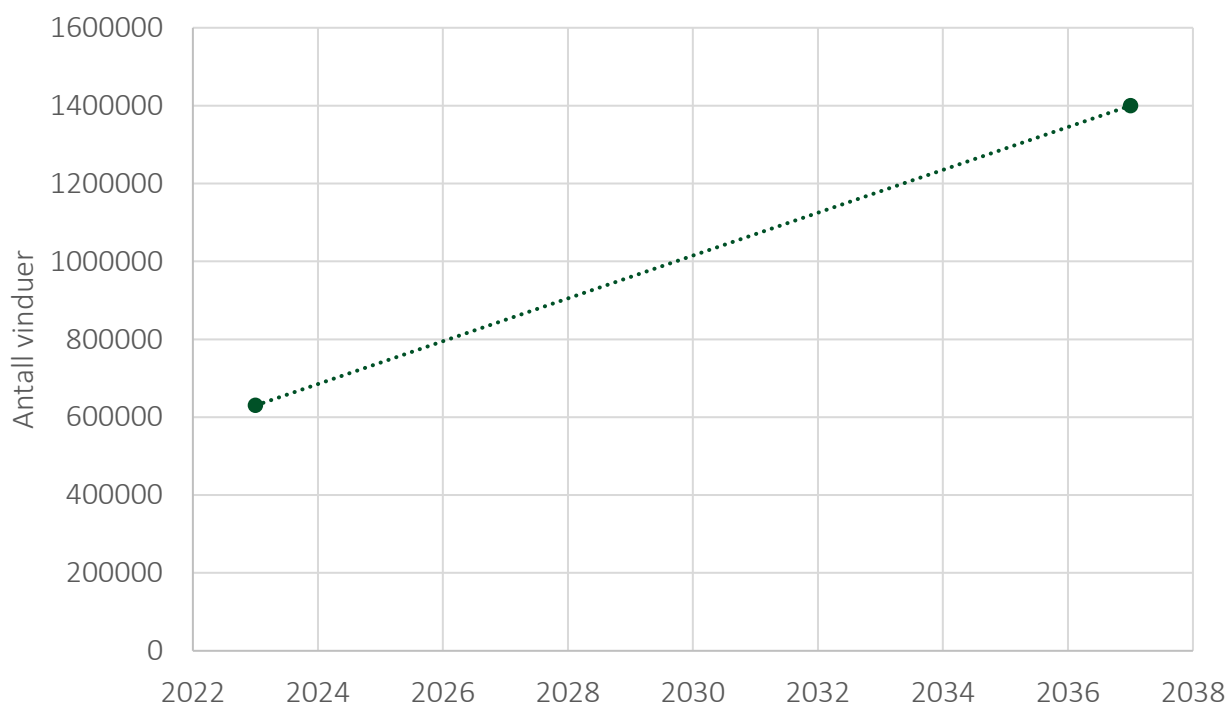
Klorparafinruter er isolerglassruter produsert i Norge mellom 1976 og 1990, eller importert til Norge mellom 1980 og 1990. Disse regnes som farlig avfall og derfor må de fraktes på stativ og behandles som om de potensielt er farlig avfall. Det er ikke nok kunnskap i bransjen i dag til at alle privatpersoner og entreprenører som behandler vinduer og ruter vet om dette, så mange klorparafinruter går nok direkte til forbrenning på anlegg. Det er antatt at det er ca 350 000 klorparafinvinduer i dagens system.

3.3.3 Ruter fra etter 1990

Også etter 1990 er det benyttet farlige stoffer i fugelim og fugemasser, slik som ftalater. Disse regnes ikke som farlig avfall så lenge de er hele, men dersom de er knust, vil de være farlig avfall, og de må derfor fraktes hele til rute og karm separeres eller hele vinduet behandles. I dagens system antar man at det er ca 250 000 utrangerte vinduer produsert etter 1990. Det har imidlertid vært en stor økning i antall vinduer som er installert fra 1990 og fremover til i dag og vi antar at denne mengden kommer til å øke til ca 1 400 000 utrangerte vinduer om ca 15 år.

3.4 Ulike tidsepoker

Vi ønsker å se på hvordan miljøprestasjonen til scenarioene potensielt vil være i fremtiden, og har valgt å ta utgangspunkt i to årstall: 2030 og 2045. Til grunn for analysene ligger en antakelse om lineær vekst i antall innsamlede ruter fra 633 000 i 2023 til utflating på 1,4 millioner vinduer i 2037 som vist i Figur 2. Det gir 1 165 000 vinduer i 2030 og 1,4 millioner vinduer i 2040. Antallet ruter vil da være ca. 2 millioner, da det i mange tilfeller er flere ruter per vindu. Disse tallene er beheftet med en viss usikkerhet, både når det gjelder akkurat hvor mange ruter og vinduer som er sluppet på markedet, men ikke minst hvordan utviklingen i utskifting vil være, da dette i tillegg til levetid har sammenheng med for eksempel økonomiske konjunkturer eller ENØK-krav, og hvor ofte man ønsker å pusse opp og skifte vinduer.



Figur 2 Antatt utvikling i antall vinduer som kasseres i Norge årlig til det flater ut på 1,4 millioner i 2037.

Det antas at den relative fordelingen av innsamlede ruter kontra ruter som ikke samles inn er den samme som i dagens system for de scenarioene der dagens system beholdes for en viss rutetype (for eksempel antas det at det i dag sorteres 124 000 av 350 000 klorparafinvinduer – eller 35 %, og at de andre havner i restavfallet og forbrennes ved regionale mottak). For PCB-vinduer har vi framskrevet mengden innsamlet i 2030 til å være 10.000 vinduer, og at det ikke vil være noen PCB-vinduer igjen i 2045. Den totale mengden vinduer som samles inn og går til gjenvinning i dag er anslått å være ca 223 500 av totalt ca 633 000 vinduer.

For dagens scenario har vi brukt gjennomsnittlige lastebiler som beskrevet i LCA-databasen ecoinvent (ecoinvent centre 2023), vi har hentet statistikk for fjernvarmeproduksjon fra nasjonale oversikter i Norge, Sverige og Tyskland og hentet produksjonsprosesser for fjernvarme og for elektrisitet fra LCA-databasen ecoinvent. Dagens scenario er både satt opp slik som systemet ser ut i dag, med 18 mottakssteder, men er også satt med en fremtidig variant med 5 mottakssteder.

3.4.1 Fremtidsscenario 2030

I 2030 og 2045 vil fortsatt 35 % av klorparafinruter sorteres ut i scenario a), mens de resterende om lag 65 prosentene går til forbrenning. Det er bare 10 000 PCB-vinduer som samles inn årlig, hvor karrer sendes til Tyskland og Sverige. I 2030 antas det at elektrisitetsmiksen og fjernvarmemiksen i Norge, Sverige og Tyskland har redusert de fossile komponentene med 50 %, ettersom dette ligger inne i de målene som er rapportert både til FNs klimapanel og i tilknytning til EUs klimalov. Dette inkluderer fossile komponenter både som innsatsfaktorer i produksjon og transport, samt fordeler ved gjenvinning (spart produksjon). Det antas at drivstoffordelingen til bruk i transport i 2030 er 40 % diesel, 30 % biodrivstoff og 30 % elektrisitet (i alle land). Det antas også at elbiler produseres i Tyskland (karosseri), mens elbilbatteriene produseres i Norge i 2030. Miljøbelastningen ved produksjon av underliggende materialer (f.eks. soda og kalk) antas uendret.

3.4.2 Fremtidsscenario 2045

I 2045 antas det at antall vinduer som samles inn er 1,4 millioner. Det er framskrevet at det ikke lenger er PCB-vinduer i systemet. Selv om det sannsynligvis ikke er mange PCB-ruter igjen i bygg og i innsamlingssystemet, og selv om det sikkert også er få klorparafinruter, har vi brukt de samme kategoriene med relative mengder (altså multiplisert med en faktor på 1,4 millioner delt på dagens antall vinduer) i scenarioene merket med «a» (PCB-ruter) og «b» (PCB- og klorparafin-ruter).

Elektrisitetsmiksen og fjernvarmemiksen i Norge, Sverige og Tyskland er helt fossilfri, da dette ligger inne i landenes nasjonale mål. Det er også lagt opp til at transporten er 100 % elektrisk i 2045. Det antas også at elbiler produseres i Tyskland (karosseri), mens elbilbatteriene produseres i Norge i 2045. Miljøbelastningen ved produksjon av underliggende materialer (f.eks. soda og kalk) antas uendret.

3.5 Ulike scenarioer

Ved hjelp av informasjonen beskrevet i de foregående delkapitlene er det laget tre hovedscenarioer for fremtidige systemer, ett for hver hovedbehandlingsmetode, med underscenarioer knyttet til mengder innsamlet som beskrevet i de kommende avsnittene. I tillegg er det laget et scenario for dagens system – kalt scenario 0, med de beskrivelser som gjelder for dagens system i de tidligere delkapitlene i kapittel 3 og i delkapittel 3.5.1 presentert litt senere.

Scenario 1 Alle ruter som samles inn benyttes til produksjon av glassull

- a. PCB-ruter samles inn, karmene går til Tyskland og Sverige og glasset til glassullproduksjon. For resten av karmen og glass fra klorparafinruter og vinduer fra etter 1990 går en andel til gjenvinning og en andel til forbrenning/deponi. Forbrenning av karmen skjer ved lokalt anlegg i nærheten av sentralt sorteringsanlegg. Vinduer som ikke samles inn, går til forbrenning ved regionalt mottak. Dette tilsvarer dagens løsning.
- b. PCB-ruter samles inn, karmene går til Tyskland og Sverige og glasset til glassullproduksjon. Klorparafinruter samles inn på 5 regionale mottak hvor karmen går til forbrenning ved mottak og glass går til glassullproduksjon. Karmen og glass fra vinduer fra etter 1990 går til glassull og forbrenning/deponi med andeler som i dagens løsning. Vinduer som ikke samles inn, går til forbrenning ved regionalt mottak.
- c. PCB-ruter samles inn, karmene går til Tyskland og Sverige og glass til glassullproduksjon. Klorparafinvinduer og vinduer fra etter 1990 samles inn på 5 regionale mottak hvor karmen går til forbrenning ved mottak og glass går til glassull.

Scenario 2 Alle ruter som samles inn går til produksjon av planglass

- a. PCB-ruter samles inn, hvor karmen går til Tyskland og Sverige og glass til planglass, resten av karmen og glass fra klorparafinruter og vinduer fra etter 1990 går til en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/deponi som i dag. Vinduer som ikke samles inn, går til forbrenning ved regionalt mottak.
- b. PCB-ruter samles inn, hvor karmen går til Tyskland og Sverige og glass til planglass, klorparafinruter samles inn på 5 regionale mottak hvor karmen går til forbrenning ved mottak og glass går til planglass,

- karmer og glass fra vinduer fra etter 1990 går til en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/deponi som i dag. Vinduer som ikke samles inn, går til forbrenning ved regionalt mottak.
- c. PCB-ruter samles inn, hvor karmer går til Tyskland og Sverige og glass til planglass, klorparafinvinduer og vinduer fra etter 1990 samles inn på 5 regionale mottak hvor karmer går til forbrenning ved mottak og glass går til planglass.

Scenario 3 Alle ruter som samles inn går til forbrenning og så til deponi

- a. PCB-ruter samles inn og sendes til Tyskland og Sverige for forbrenning, resten av karmer og glass fra klorparafinruter og vinduer fra etter 1990 går til en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/deponi som i dag.
- b. PCB-ruter samles inn og sendes til Tyskland og Sverige for forbrenning, karmer og glass fra klorparafinruter sendes til Sverige for forbrenning, vinduer fra etter 1990 går til en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/deponi som i dag.
- c. PCB-ruter samles inn og sendes til Tyskland og Sverige for forbrenning, karmer og glass fra klorparafinruter og fra vinduer fra etter 1990 sendes til Sverige for forbrenning.

De ulike variantene av de tre scenarioene for fremtidssystemer er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2 Oversikt over scenarioene som er undersøkt.

Scenario	Type rute	a. Innsamling av PCB-ruter	b. Innsamling av PCB- og klorparafinruter	c. Innsamling av alle ruter (PCB-, klorparafin- og ruter fra etter 1990)
Scenario 1 Gjenvinning av glass til glassull	PCB-ruter	Karmer går til Tyskland og Sverige, glass til glassullproduksjon		
	Klorparafinruter	Dagens løsning: en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/deponi	Samles inn på 5 regionale mottak, karmer går til forbrenning ved mottak, glass går til glassullproduksjon	Samles inn på 5 regionale mottak hvor karmer går til forbrenning ved mottak, glass går til glassullproduksjon
	Vinduer fra etter 1990		Dagens løsning: en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/ deponi	Samles inn på 5 regionale mottak, karmer går til forbrenning ved mottak, glass går til glassullproduksjon
Scenario 2 Gjenvinning av glass til planglass	PCB-ruter	Karmer går til Tyskland og Sverige, glass til planglassproduksjon		
	Klorparafinruter	Dagens løsning: en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/ deponi	Samles inn på 5 regionale mottak, karmer går til forbrenning ved mottak, glass går til planglass-produksjon	Samles inn på 5 regionale mottak hvor karmer går til forbrenning ved mottak og glass går til planglass-produksjon
	Vinduer fra etter 1990		Dagens løsning: en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/ deponi	
Scenario 3 Glass til forbrenning og deponi	PCB-ruter	Sendes til Tyskland og Sverige for forbrenning		
	Klorparafinruter	Dagens løsning: en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/ deponi	Forbrennes ved regionalt mottak	Forbrennes ved regionalt mottak
	Vinduer fra etter 1990		Dagens løsning: en andel gjenvinning og en andel til forbrenning/ deponi	

I tillegg til de ulike behandlingsformene som er angitt i de ulike radene, vil kolonnene gi store forskjeller i logistikksystemene og her forventer vi å finne store forskjeller i miljøprestasjonen mellom de ulike scenarioene.

Tabellen over scenarioene vil også forekomme i tre varianter:

- For 2023: som gjenspeiler dagens situasjon med tanke på antall vinduer av hvilket slag, hvor de samles inn og hvordan de fraktes fra første mottakssted til oppsamling og videre til behandling, hvilke energikilder som benyttes i transport og til produksjon av elektrisitet og fjernvarme.
- For 2030: der antall vinduer har vokst til 1 165 000, mens antall PCB-vinduer årlig har sunket til 10 000, hvor det er 5 sentrale mottakssteder i stedet for 18, og hvor transportmidler og energikilder er oppdatert i henhold til forventede endringer

- For 2045 (der antall vinduer har vokst til 1 400 000, mens det ikke er noen PCB-vinduer igjen i systemet, hvor det fortsatt er 5 sentrale mottakssteder i stedet for 18, og hvor transportmidler og energikilder er ytterligere endret siden 2030).

Hvor mange ruter som sendes i hvilke retninger er gitt i tabellform i vedlegg 2.

3.5.1 Dagens system for innsamling og gjenvinning av ruter (scenario 0a) basert på krav om innsamling av PCB-ruter

Dagens system for innsamling og gjenvinning av ruter er primært knyttet til å unngå at farlig avfall skal komme på avveie. Derfor finnes det et godt system for å håndtere isolerglassruter produsert i Norge fra og med 1965 til og med 1975 eller importert til Norge fra 1965 til og med 1979. For disse såkalte «PCB-rutene» ligger det farlige stoffet, altså PCB, i fugemassen, hvilket betyr at man skjærer ut glasset og brenner rammene ved høy temperatur for å destruere PCB-en. Glasset, som ikke inneholder farlige stoffer, kan dermed gjenvinnes. I dag er det bare Norsk Gjenvinning sitt anlegg på Øra utenfor Fredrikstad som mottar PCB-ruter. Disse må fraktes hele, stående på bil, fra 18 mottakssteder over hele landet. Glasset som er skåret ut fraktes til Glava for gjenvinning til glassull. Rammene fraktes til Tyskland (ca 2/3) eller Sverige (ca 1/3). I Tyskland og Sverige brennes rammene ved høy temperatur. Det er tatt utgangspunkt i at cirka 33 000 vinduer med PCB-ruter blir samlet inn og sendt til gjenvinning til glassull i dagens system.

For isolerglassruter produsert i Norge fra og med 1976 til 1990, eller importert til Norge fra og med 1980 til 1990, var PCB i fugelim erstattet med klorparafiner, og ruter fra denne tidsperioden skal også leveres til avfallsmottak og registreres som farlig avfall med klorparafiner. Det er imidlertid ikke like strenge krav til behandling av klorparafinruter og disse kan gå i forbrenningsovner med lavere temperatur enn hva tilfellet er for karmen med PCB, som må sendes til Tyskland eller Sverige. Norsk Gjenvinning gjenvinner glasset i såkalte «klorparafinruter» både på Øra og i Stjørdal. Begge steder sendes glasset til Glava, hvor det sendes til Askim fra Øra, mens Glavas anlegg i Stjørdal håndterer glasset fra Norsk Gjenvinnings anlegg i samme område og nordenfor. Det er tatt utgangspunkt i at cirka 124 000 vinduer med klorparafinruter blir samlet inn og sendt til gjenvinning til glassull i dagens system. I tillegg er det antatt at ca 226 000 vinduer med klorparafinruter går til forbrenning på regionale anlegg.

Også vinduer produsert etter 1990 skal registreres som farlig avfall dersom de ikke er hele. Det betyr at de registreres på avfallsmottak, men det er ingen krav til videre behandling, og det er sannsynlig at mange av disse rutene havner i avfallsforbrenningsovner. Norsk Gjenvinning gjenvinner også disse rutene både på Øra og i Stjørdal. Det er tatt utgangspunkt i at cirka 66 500 vinduer produsert etter 1990 blir samlet inn og sendt til gjenvinning til glassull i dagens system, mens 186 000 vinduer produsert etter 1990 går til forbrenning på regionale anlegg.

Oversikt over logistikksystemet med antall mottakssteder og hvor mye som samles inn ved hvert av dem er oppgitt av Norsk Gjenvinning. Der har vi fått oppgitt mengder mottatt ved hvert av 18 regionale mottakssteder og hvor disse er plassert. Faktiske avstander mellom disse 18 mottaksstedene og Øra og Stjørdal respektivt er benyttet for å beregne vektete avstander fra regionale mottakssteder og videre til behandling. Faktisk avstand mellom Øra og glassullproduksjon i Askim, forbrenning av karmen i Tyskland, og forbrenning av karmen i Sverige er benyttet.

For de første transportetappene er det benyttet avstander som oppgitt i tidligere avfallsstudier gjennomført av NORSUS, som bygger på en detaljert analyse fra Raadal og kolleger (2009). Den første etappen fra byggeplass til kommunalt mottak er derfor antatt å være 19 kilometer, mens det fra kommunalt mottak til

18 oppsamlingsmottak er antatt å være 50 kilometer. Den vektete avstanden fra de 18 oppsamlingsplassene til Øra er beregnet til 329 kilometer. Transporten frem til Øra skjer på stativ og det er her beregnet at bilene bare kan være 1/5 fulle sammenlignet med gjennomsnittlig fyllingsgrad. Gjennomsnittlig fyllingsgrad er benyttet for alle transportetapper etter at vinduet går til behandling, det vil si at også videre transport fra Øra benytter gjennomsnittlig fyllingsgrad for transport. De samme forutsetninger gjelder for alle fremtidige scenarioer, der transporter frem til behandling av vinduet benytter 1/5 fyllingsgrad for å ta høyde for frakt på stativ, mens all transport av glass og karm etter at disse er separert benytter gjennomsnittlig fyllingsgrad.

3.6 Andre elementer som inngår i presentasjonen av resultatene

I Resultatkapitlet vil vi også presentere miljøresultater, spesielt knyttet til klima, for deler av systemene som er spesielt viktige for å forstå resultatene.

Etter en presentasjon av resultater i en rekke miljøkategorier for hvert av scenarioene og for hvert av de utvalgte tidspunktene, viser vi resultater for noen miljøbelastningskategorier for utvalgte scenarioer per livsløpstrinn. Dette utvalget viser hvordan transport og gevinster fra henholdsvis materialgjenvinning til glassull eller planglass bidrar til ulike resultater.

Det vises også resultater for alle scenarioer dersom man bare ser på glasset i vinduene og ser bort fra frakt og behandling av karmer.

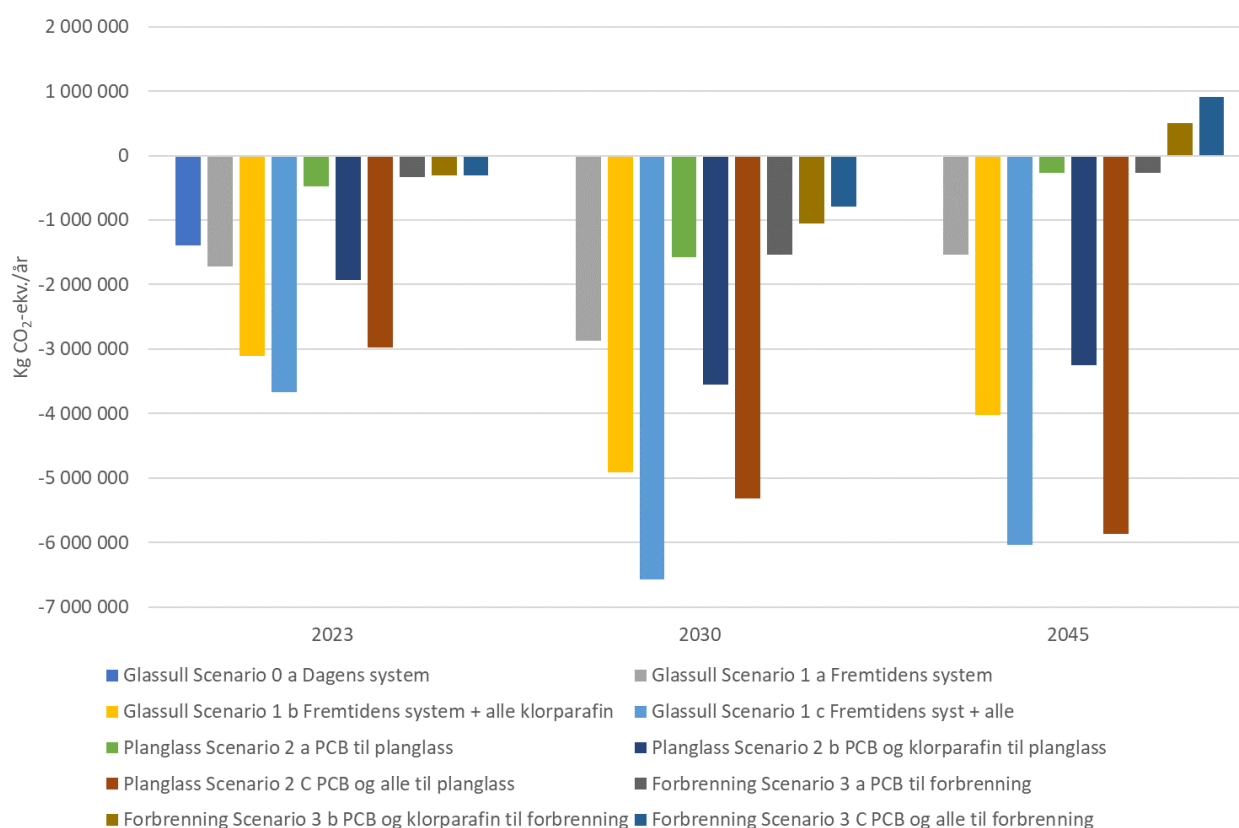
I tillegg presenteres utviklingen av klimapåvirkning for produksjon av elektrisitet og fjernvarme i Sverige, Tyskland og Norge, og også knyttet til forventet utvikling i kjøretøy og kjøretøyparken som helhet. Dette vil være med å forklare hvordan endringer i systemene påvirker resultatene.

4 Resultater

I dette resultatkapitlet vises resultater for alle de utvalgte miljøbelastningskategoriene, men mange deler av systemet vil bare presenteres med resultater knyttet til påvirkning på klima. Det skyldes at det er disse som er enklest å forstå når det gjelder utvikling fra fossile til fornybare energikilder. Dersom det er rare sammenhenger i en miljøbelastningskategori, vil vi dykke lenger inn i denne for å vise hva resultatene skyldes. Aller først viser vi resultatene for alle de ni scenarioene for hvert av de tre øyeblikksbildene (2023, 2030, og 2045). Deretter presenteres resultater for alle de utvalgte miljøbelastningskategoriene for hvert av de tre valgte årstallene separat. Etter de spesifikke resultatene for hvert av årene, vises først resultater om vi bare ser på innsamling og behandling av glass uten å ta hensyn til karmen, før det presenteres grafer for hvordan viktige parametere utvikler seg fra 2023 til 2045.

4.1 Resultater for alle scenarioer og årstall.

Figur 3 viser resultater for alle scenarioer for alle de tre øyeblikksbildene, hvor det også vises med forbrenning av karmen for både en kombinasjon av Sverige og Tyskland og for Norge i 2030 og 2045

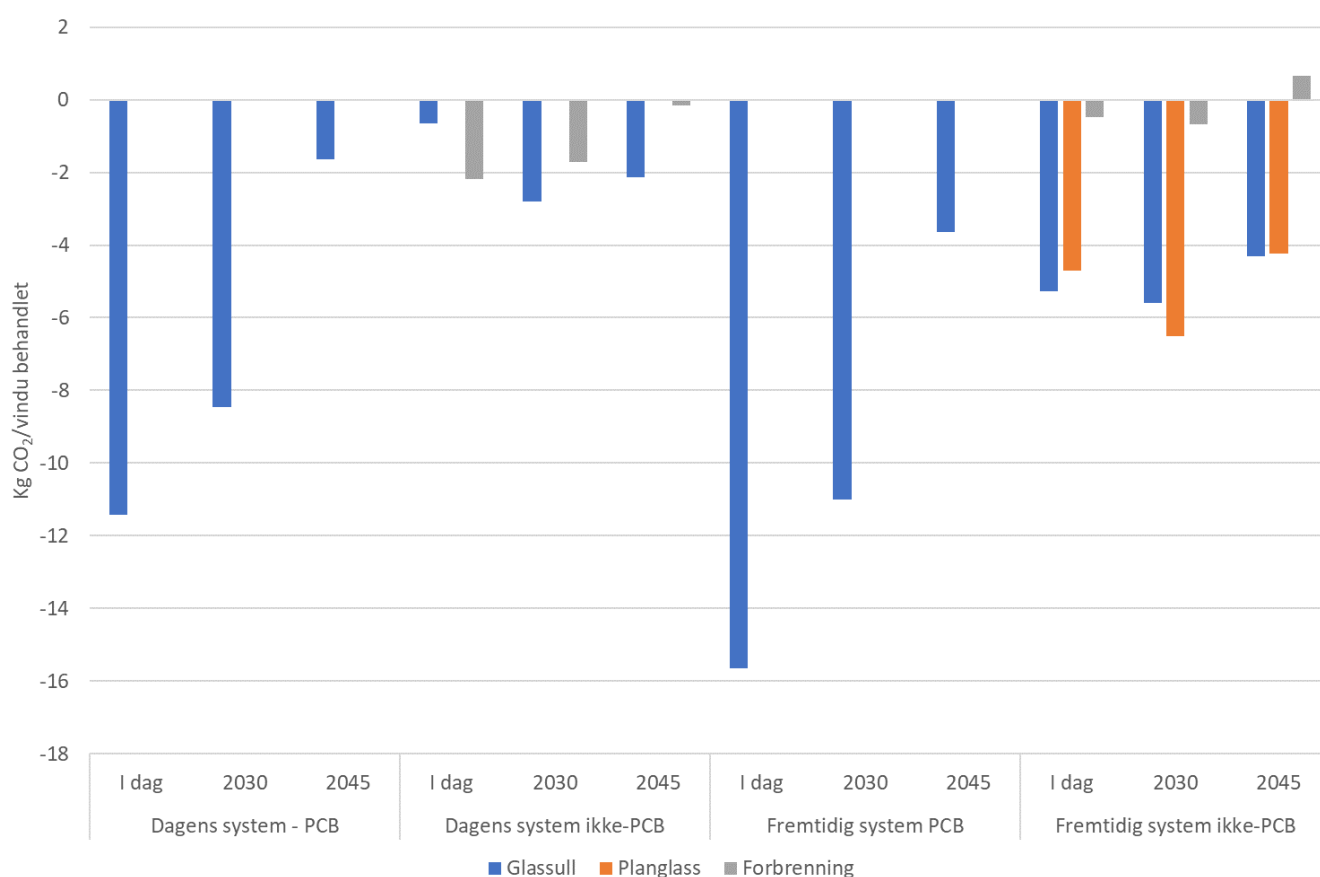


Figur 3 Potensiell påvirkning på klima målt i kg CO₂-ekvivalenter per år for alle scenarioer for alle tre tidsbilder, inkludert dagens system (scenario 0 a) helt til venstre.

Denne grafen viser veldig mye informasjon på en gang og vi skal gå nærmere inn på viktige detaljer knyttet til systemet, gjennom å vise grafer for de underliggende belastningene og gevinstene ved de forskjellige behandlingsløsningene. Først kan det være verdt å merke seg den blå stolpen helt til venstre, som gir resultatet for sparte klimagassutslipp i dagens system med alle vinduer samlet inn. Derneft kan denne

sammenlignes med den grå stolpen ved siden av for å se klimagevinsten ved å gå over til et system med 5 mottak der karmen og glass separeres, i stedet for ett for PCB-ruter og to for ikke-PCB-ruter, som i dag. Titter man videre på de gule og lyseblå stolpene vil man se at klimagevinsten øker jo flere vinduer som samles inn og hvor glasset materialgjenvinnes. Fordelene med materialgjenvinning blir enda større frem mot 2030 på grunn av at det vil være flere vinduer i systemet, men så går de ned fra 2030 for 2045, i hvert fall for materialgjenvinning til glassull. Det er fordi de systemene som erstattes blir mer og mer basert på fornybare energikilder. I dagens system er det spesielt forbrenning av karmen og erstatning av fjernvarme i henholdsvis Tyskland og Sverige som bidrar med høye besparelser. Begge disse landene har ambisjoner om å fase ut fossile energikilder i fjernvarmemiksen i 2045. Samtidig har de store ambisjoner om nullutslippstransport innen samme tidsrom, og det betyr at også transport blir mindre viktig etter hvert som vi beveger oss mot 2045. Selve glasset blir imidlertid viktigere og viktigere.

Klimapåvirkningen fra de ulike behandlingsformene på ulike tidspunkter presenteres i Figur 4 nedenfor.



Figur 4 Klimapåvirkning fra innsamling og behandling av ett vindu (rute og karm) for ulike behandlingsløsninger avhengig av type rute. Det vil altså si at vi ser på netto miljøprestasjon for et helt vindu som behandles inkludert transport, behandling, og gevinst fra behandlinger. «Dagens system» betegner et innsamlingssystem der det er 18 regionale innsamlingssteder og ett sted i Norge der karmen fjernes og glass og karmen sendes videre. «Fremtidig system» betegner et system der det er fem regionale innsamlingssteder i Norge hvor karmen og glass separeres, hvor ressursene sendes videre.

Også her er det mye informasjon som er samlet på et sted og det kan være vanskelig å forstå hva som er den mest vesentlige informasjonen. Det som er verdt å fokusere på i denne figuren handler delvis om forholdet mellom de ulike behandlingsløsningene på ulike tidspunkter. De to kategoriene på venstre side gir en oversikt over klimapåvirkningen fra dagens system med innsamling av PCB-ruter slik det er i dag med 18 mottak,

gjenvinning av glass til glassull, og forbrenning av karmene i Tyskland og Sverige, og for ikke-PCB-ruter der karmene ikke transporteres til Sverige eller Tyskland, men går til forbrenning i Norge. Denne løsningen er framskrevet til 2030 og 2045. Da vil utslippene fra transport gå ned, men samtidig vil også gevinsten knyttet til material- og energigjenvinning gå litt ned, men gevinsten vil bli litt større over tid.

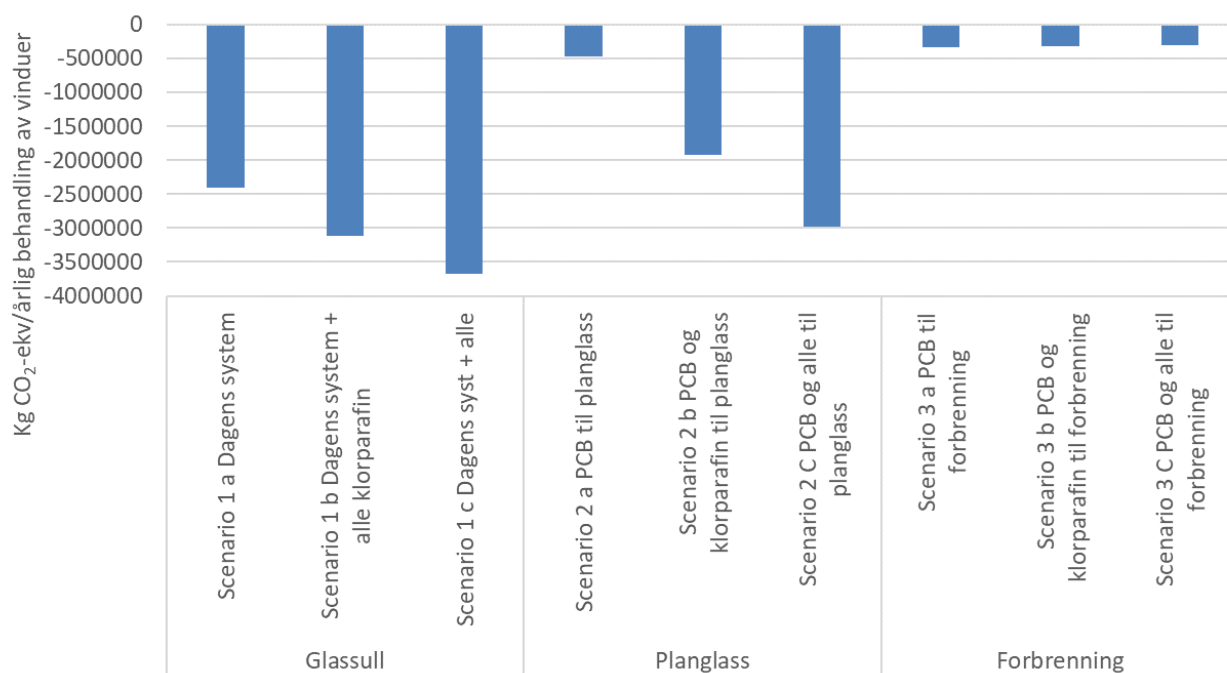
De to kategoriene til høyre, kalt «Fremtidig system PCB» og «Fremtidig system ikke-PCB», viser hvordan klimapåvirkningen vil være dersom det legges om til et system med 5 regionale mottak og materialgjenvinning til henholdsvis glassull- eller planglassproduksjon. Vi kan se at fremtidssystemet gir bedre miljøprestasjon for materialgjenvinning, men dårligere prestasjon for forbrenning, sammenlignet med dagens system. Dette handler om ulike transportavstander og hvordan transport- og energisystemene endrer seg når vi kommer noen år frem i tid. Det aller tydeligste er hvordan forbrenning blir en stadig mindre attraktiv løsning og vil komme ut med et netto klimagassutslipp i 2045.

Neste delkapittel gir en grundigere gjennomgang av miljøprestasjonen for de ulike scenarioene i 2023.

4.2 Resultater for gjenvinning av ruter per 2023 med ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsformer

Dette kapitlet presenterer resultater for hvordan ulike mengder isolerglassruter til ulik behandling påvirker utvalgte miljøbelastningskategorier gitt dagens mengder av isolerglassruter. Det er sett på innsamling og behandling av forskjellige antall ruter. Stolpen lengst til venstre i hver av grafene angir miljøbelastningen eller miljøgevinsten knyttet til dagens system for innsamling av PCB-ruter sammen med den ekstra innsamlingen som avfallsselskapene står for.

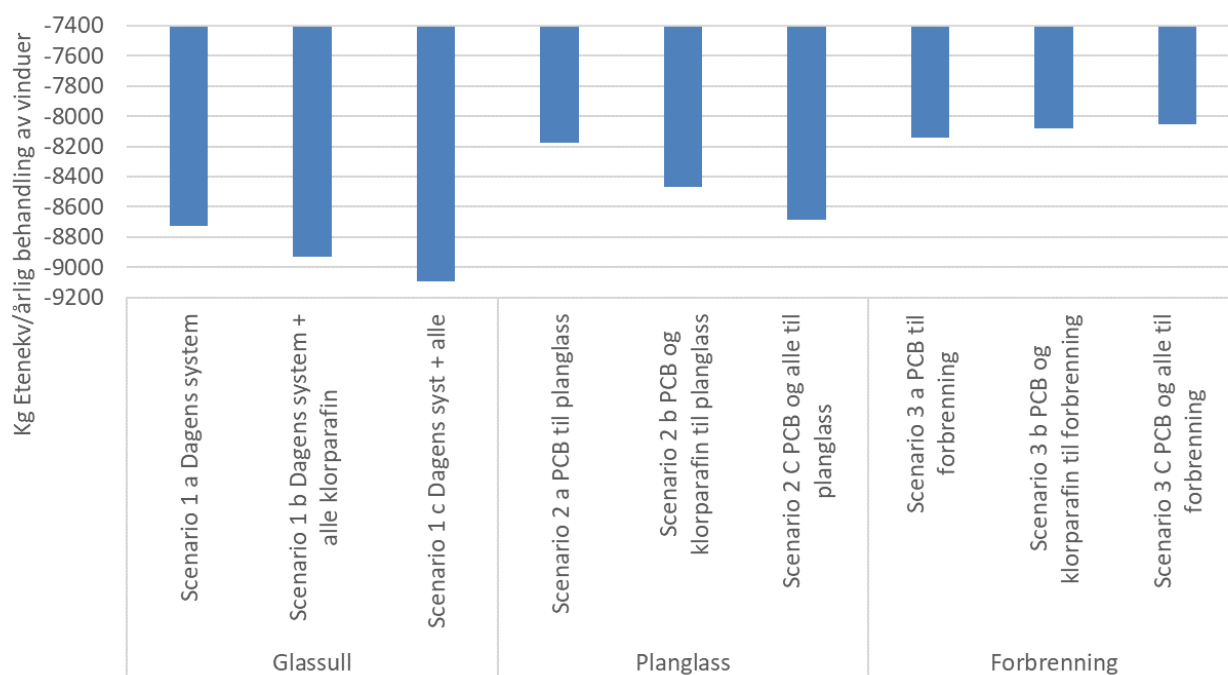
Først, i Figur 5 vises resultatene for klimapåvirkning for 2023.



Figur 5 Klimapåvirkning for ulike innsamlings- og behandlingsscenarioer gitt anslåtte mengder og teknologier i 2023.

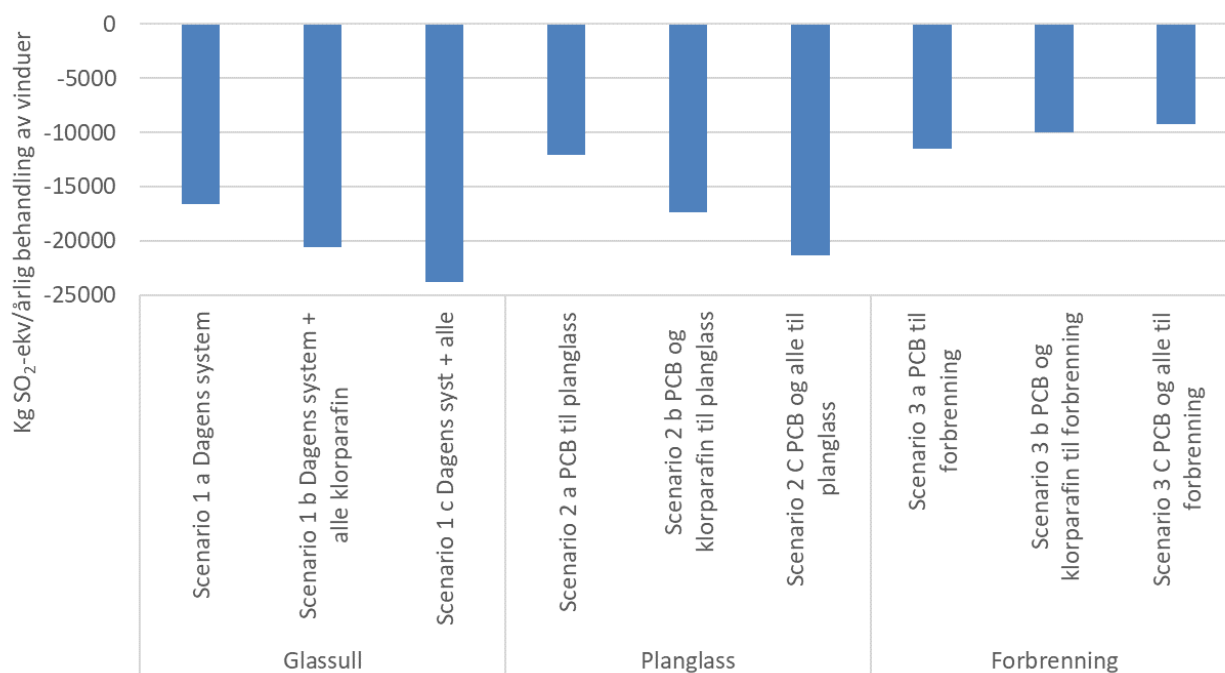
Gitt de mengder og behandlingsløsninger som finnes i dag er klimapåvirkningen aller mest negativ jo flere ruter som sendes til gjenvinning som glassullproduksjon. Gjenvinning til planglass gir også en klimagevinst, og mer gevinst, jo flere ruter som sendes til denne behandlingen. Forbrenning gir klimagevinst ved små innsamlingsmengder. Dette skyldes at det er antatt at dagens PCB-løsning vil bestå og gevinsten kommer derfor fra gjenvinning av glass og karter i dagens løsning. Legg merke til at for forbrenning blir resultatet litt dårligere, jo flere ruter som samles inn og behandles.

Figur 6 viser resultatene for påvirkning på fotokjemisk oksidantdannelse, (også kjent som bakkenær ozon) for ulike behandlingsformer med antall ruter som vurdert i 2023.



Figur 6 Påvirkning på fotokjemisk oksidantdannelse ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2023.

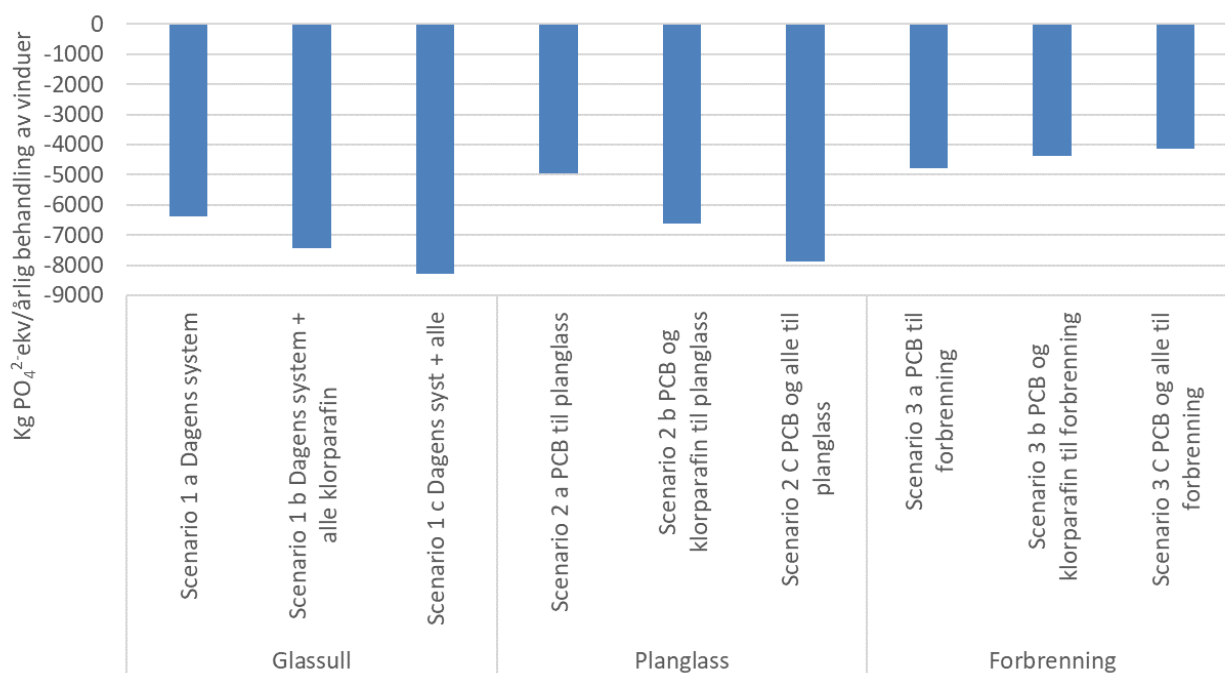
Også knyttet til kategorien fotokjemisk oksidantdannelse er det store negative bidrag fra innsamlingssystemet. Forbrenning gir også en vesentlig gevinst og dette skyldes primært unngåtte utslipp av partikler fra alternative energikilder i fjernvarmeproduksjon, men denne blir mindre jo mer som samles inn.



Figur 7 Påvirkning på forsurening ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2023.

Resultatene for forsurening viser også en stor negativ miljøbelastning, altså miljøgevinst, knyttet til å samle inn og behandle ruter. Som for klimapåvirkninger er fordelene størst ved gjenvinning til glassull, mens planglass gir nesten like stor fordel, og en langt større fordel enn forbrenning. For begge alternativene til materialgjenvinning blir gevinsten større, jo flere vinduer som samles inn, mens det er motsatt for forbrenning.

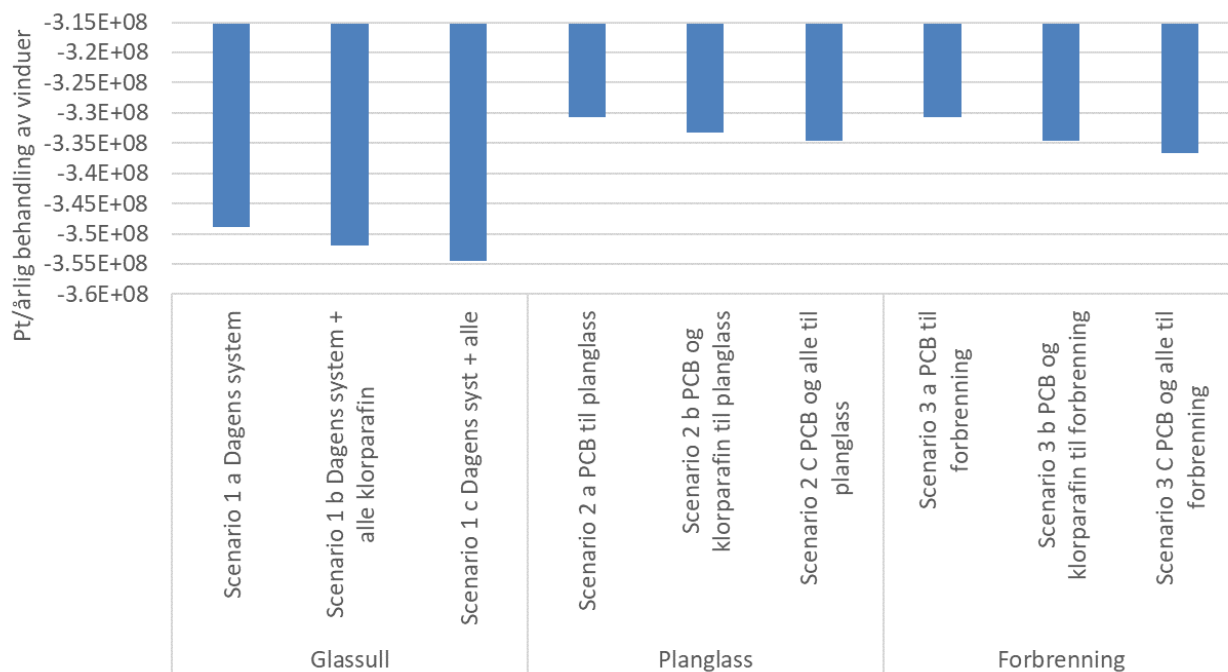
Figur 8 viser hvordan ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsformer påvirker miljøbelastningskategorien eutrofiering.



Figur 8 Påvirkning på eutrofiering ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2023.

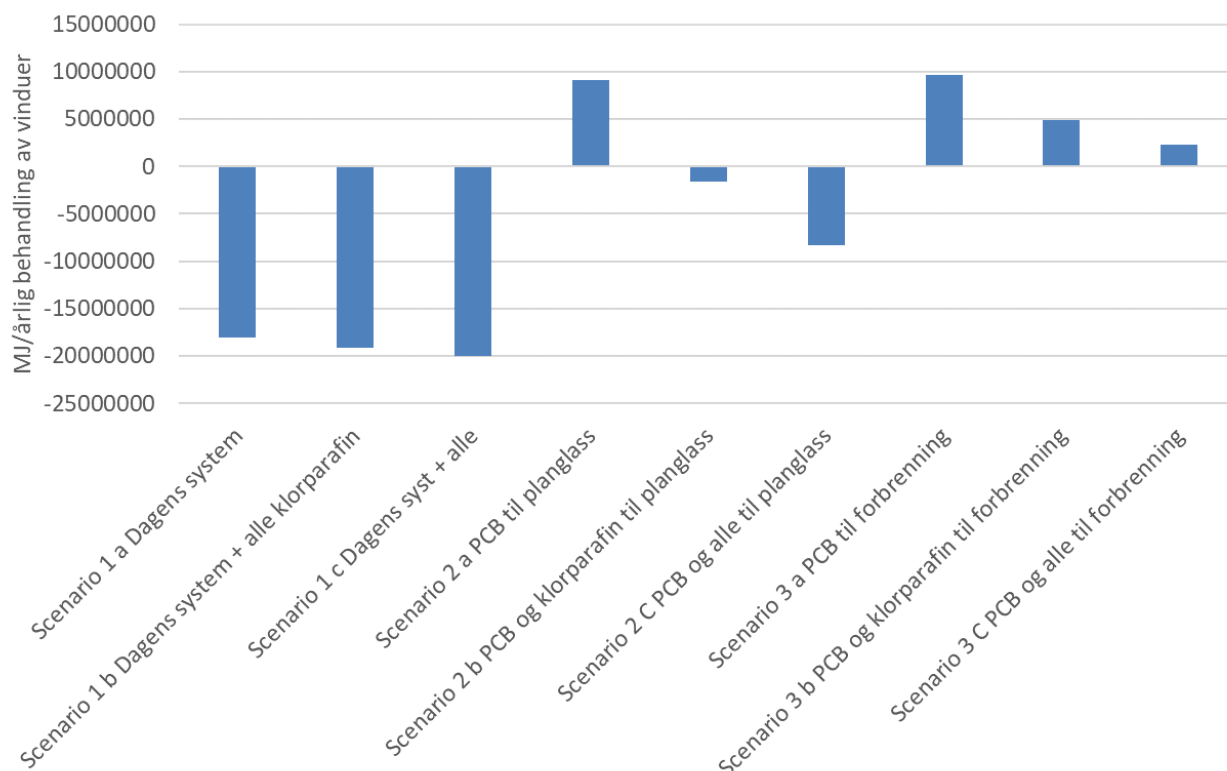
Det er et ganske likt bilde for eutrofiering (overgjødning) som for forsurening, hvor gjenvinning til glassull gir størst gevinst med forutsetninger som i 2023. Vi skal senere se at dette er knyttet til også hvor karmene forbrennes og hvilke energikilder som kan erstattes.

Figur 9 viser påvirkningene på miljøbelastningskategorien «Arealbruk».

**Figur 9 Påvirkning på arealbruk ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2023.**

Når det gjelder arealbruk, er mønsteret likt som for de andre miljøbelastningene presentert så langt når det gjelder glassull og planglass, men her gir også forbrenning et godt miljøresultat og bedre jo flere ruter som sendes til forbrenning. Det er tydelig fra de detaljerte resultatene at spart uttak av sand i liten grad gir påvirkning på arealbruk og dette burde kanskje vært sjekket opp nærmere.

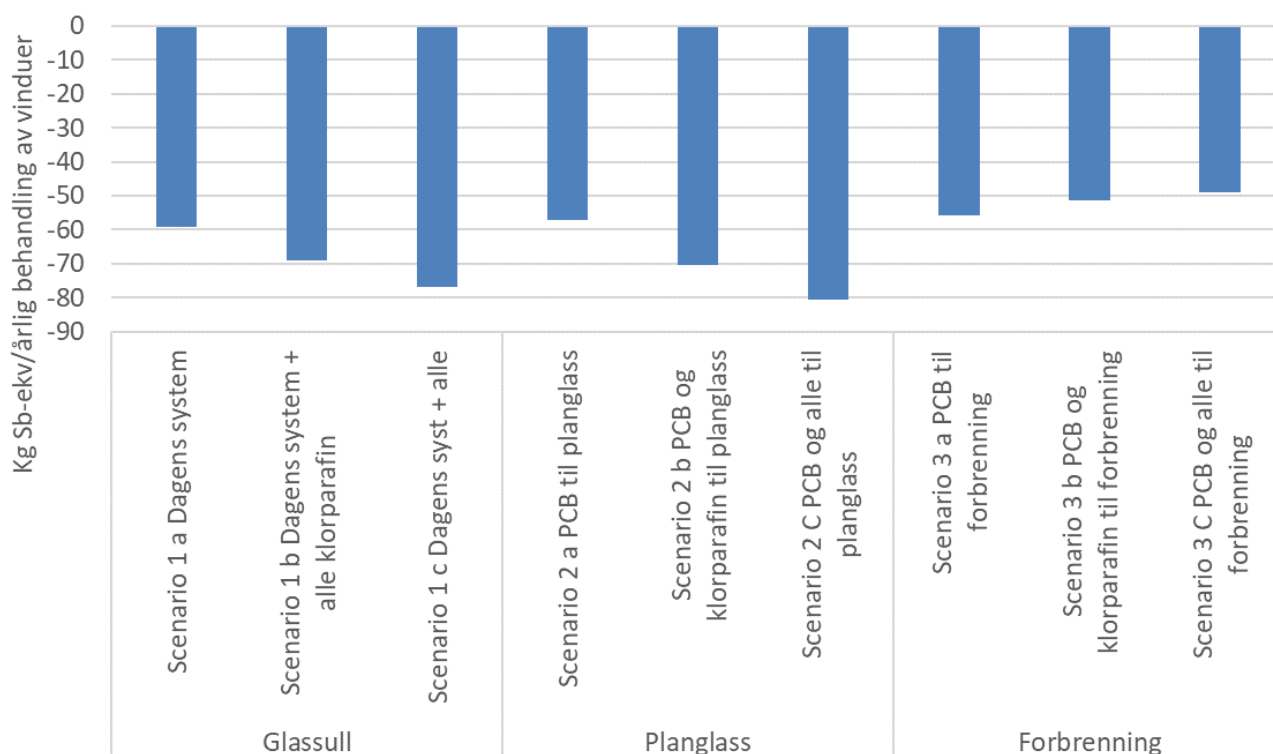
Figur 10 viser hvordan mengder innsamlet og behandlingsform for vinduer påvirker bruk av fossile ressurser.



Figur 10 Påvirkning på utarming av fossile ressurser ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2023.

Når det gjelder bruk av fossile ressurser, er det bare gjenvinning til glassull som gir positiv gevinst i alle scenarioene. Dette er koblet til erstatning av energikilder i Tyskland ved forbrenning av PCB-karmer der, mens det for planglass er mer transport og mer bruk av fossile energiresurser enn det som spares ved at gjenvunnet glass reduserer bruken av naturgass i framstillingsprosessen og også bruk av fossile energikilder knyttet til uttak og videreforedling av råvarer, når det bare er PCB-ruter som gjenvinnes. Det blir imidlertid en miljøgevinst dersom man samler inn flere vinduer og sender glasset til gjenvinning av planglass. For forbrenning blir det en miljøulempe uansett om alle vinduer sendes til forbrenning.

Figur 11 viser effekten innsamlingen og gjenvinningssystemene har på bruk av andre (ikke-fossile) kritiske ressurser.



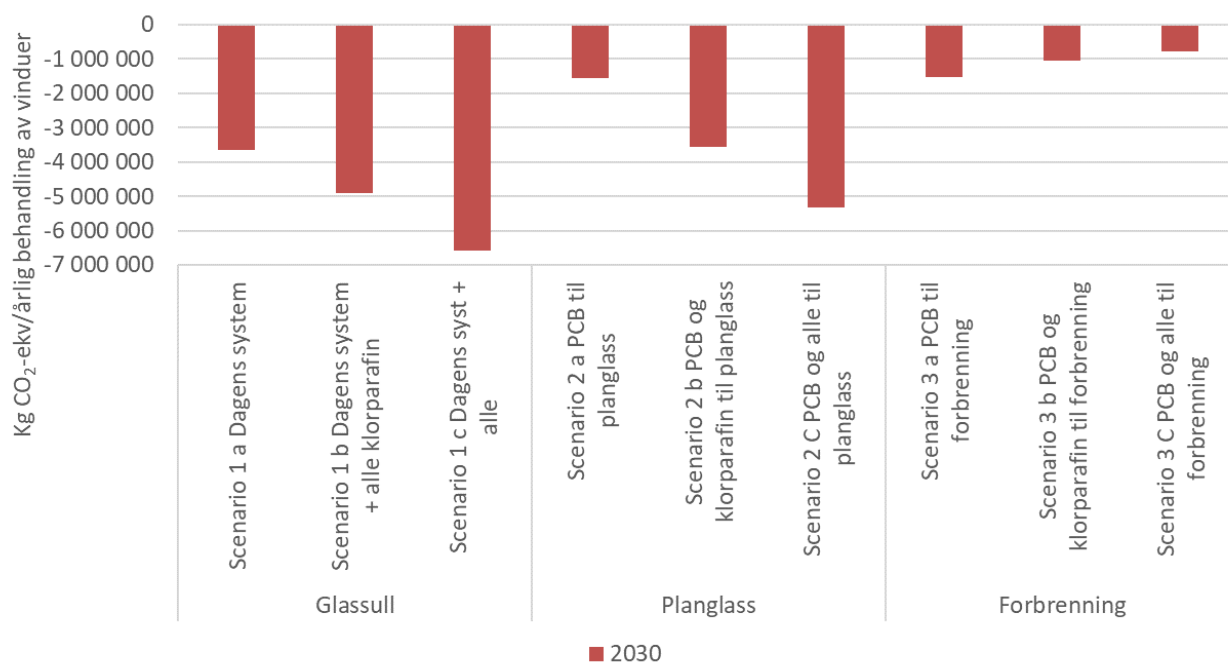
Figur 11 Påvirkning på utarming av abiotiske ressurser (ikke-fossile) ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2023.

I denne kategorien er det planglass som er den behandlingsformen som gir størst miljøgevinst dersom man samler inn alle ruter og også om man samler inn både alle PCB- og klorparafin-ruter. Som for de fleste andre kategoriene er det slik at jo flere av rutene som går til forbrenning som behandlingsløsning, jo lavere blir miljøgevinsten. Vi hadde forventet å få utslag på bruk av sand som en kritisk ressurs, men sand er ikke med som en kritisk ressurs i LCA-databasen. Med tanke på at tilgjengeligheten har blitt stadig dårligere de siste tiårene vil det være grunn til å se nærmere på slike underliggende data.

4.3 Resultater for gjenvinning av ruter per 2030 med ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsformer

I forrige delkapittel så vi på miljøprestasjonen ved ulike innsamlede mengder og behandlingsløsninger med forutsetninger for 2023 – altså både når det gjelder vinduer som samles inn, hvordan de behandles, og hva de erstatter. I dette delkapitlet spoler vi frem til 2030. Da er det potensielt flere vinduer som kan samles inn, og dermed karmen og ruter som kan gjenvinnes.

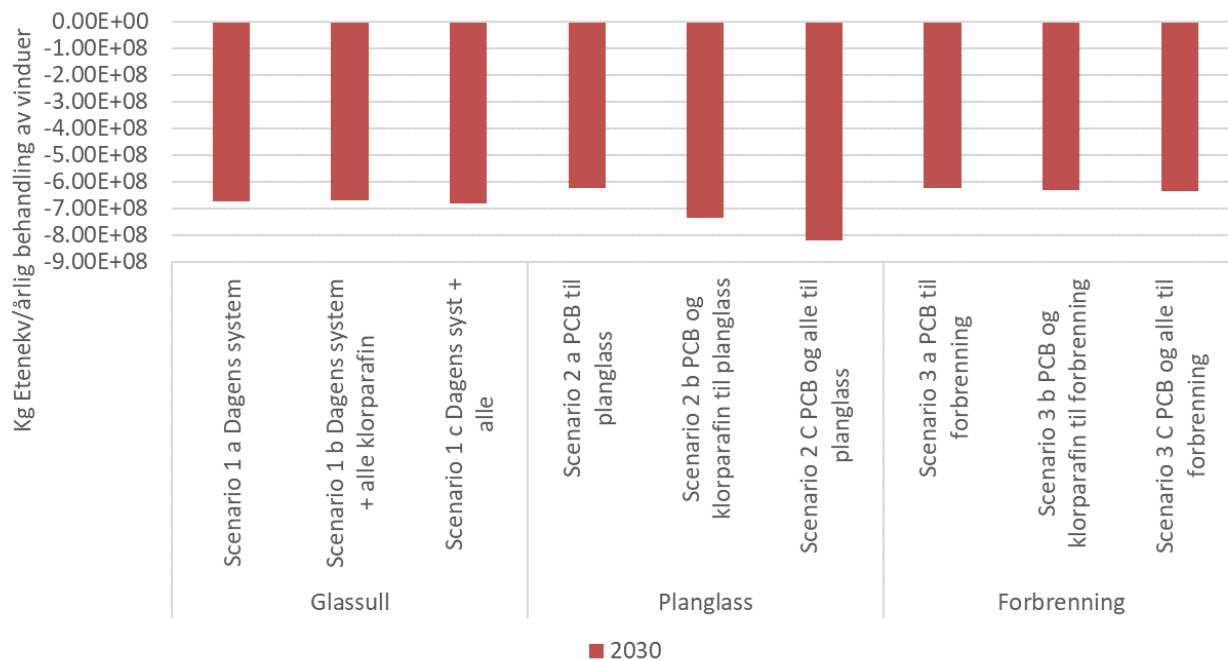
I Figur 12 ser vi klimapåvirkningen knyttet til innsamling av ulike mengder ruter og med ulike behandlingsformer.



Figur 12 Klimapåvirkning ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2030.

Figuren er ganske lik den tilsvarende figuren for klimapåvirkning ved ulike scenarier for 2023.

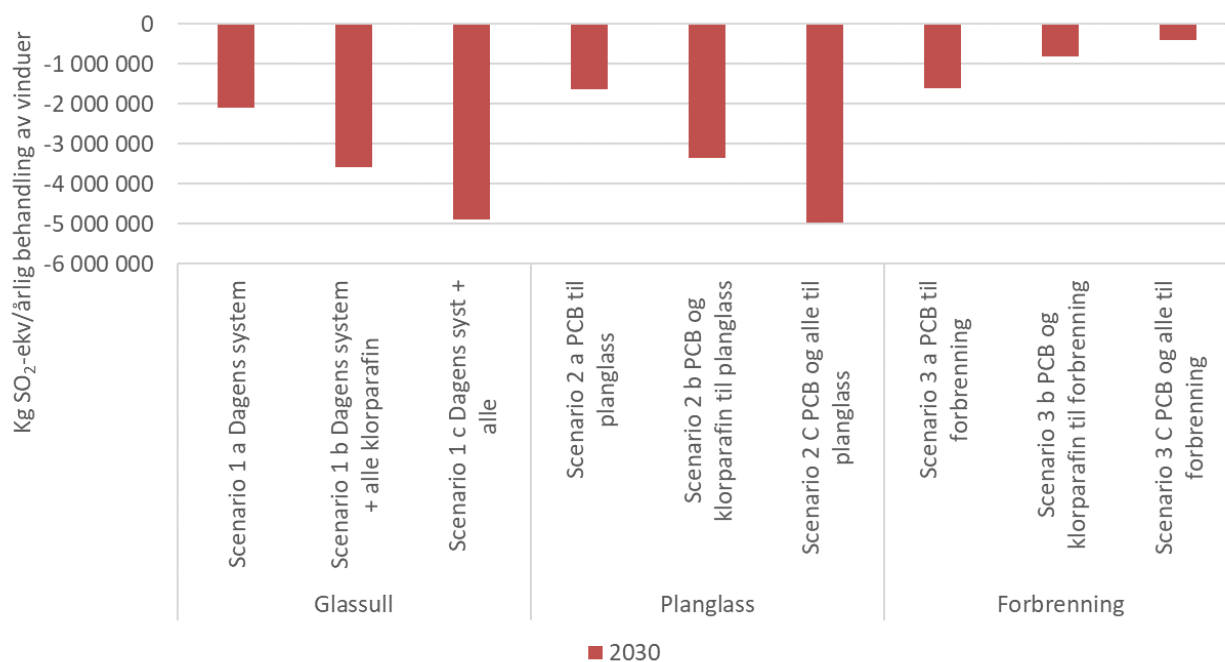
Figur 13 viser hvordan prestasjonen knyttet til dannelsen av fotokjemiske oksidanter endrer seg med endrede mengder og behandlingsformer.



Figur 13 Påvirkning på fotokjemisk oksidantdannelse ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2030.

Også i 2030 er mønsteret annerledes for fotokjemisk oksidantdannelse og det er ikke mulig å skille de ulike behandlingsformene for denne miljøbelastningskategorien. Ved nærmere undersøkelse kommer nesten hele den positive påvirkningen fra energigjenvinning av karmen.

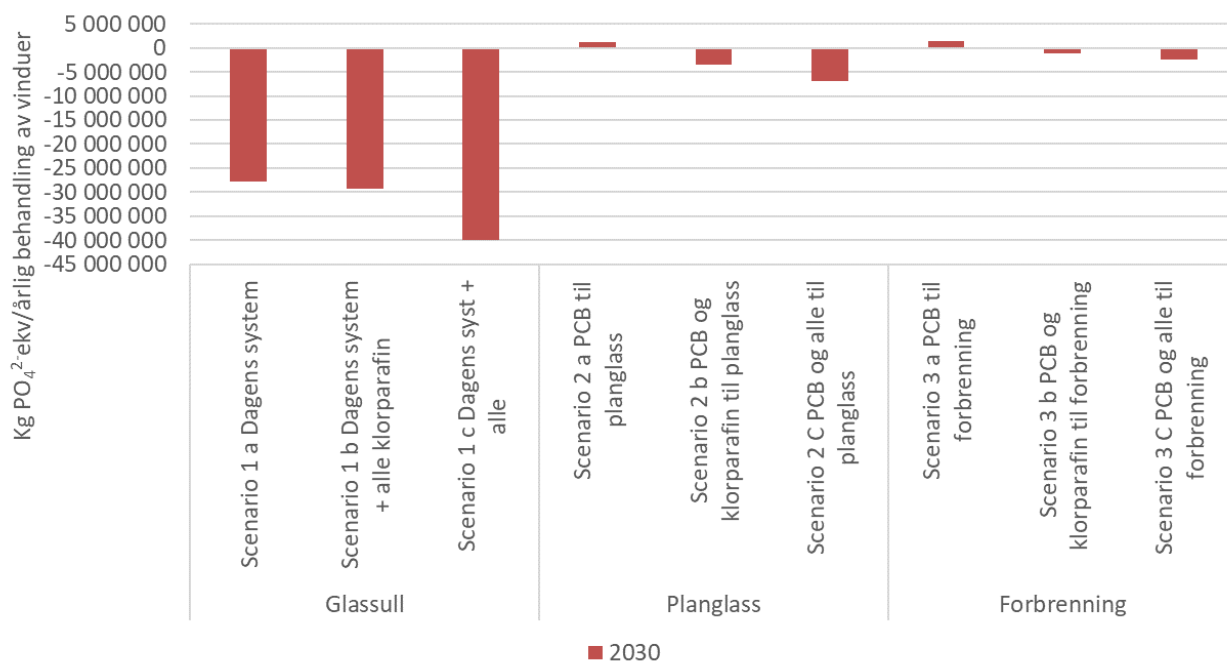
Figur 14 viser hvordan påvirkning på forsuring endrer seg med ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsløsninger i 2030.



Figur 14 Påvirkning på forsuring ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2030.

For forsuring er bildet veldig likt som for klima, med den lille forskjellen at planglass blir den beste gjenvinningsløsningen dersom alle vinduer samles inn og behandles.

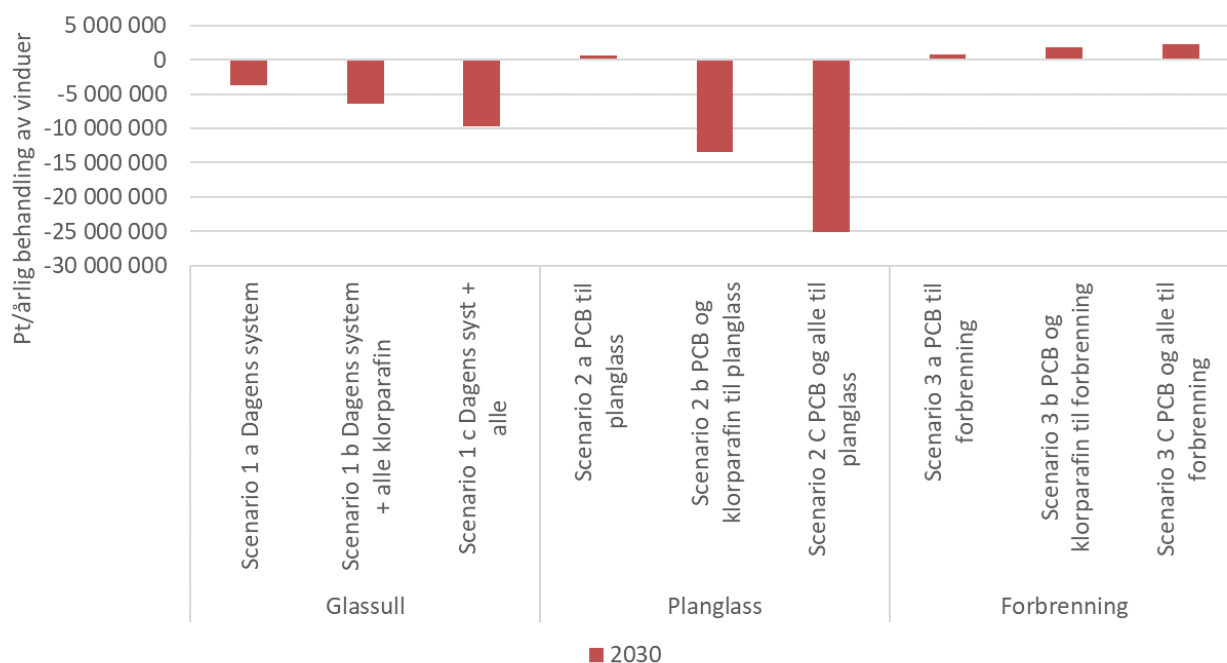
Figur 15 viser påvirkning på eutrofiering for ulike innsamlede mengder og behandlingsformer i 2030.



Figur 15 Påvirkning på eutrofiering ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2030.

Figuren for eutrofiering (overgjødning) viser glassull som klart fordelaktig, mens det er liten forskjell på det å sende vinduer til gjenvinning til planglass eller til forbrenning.

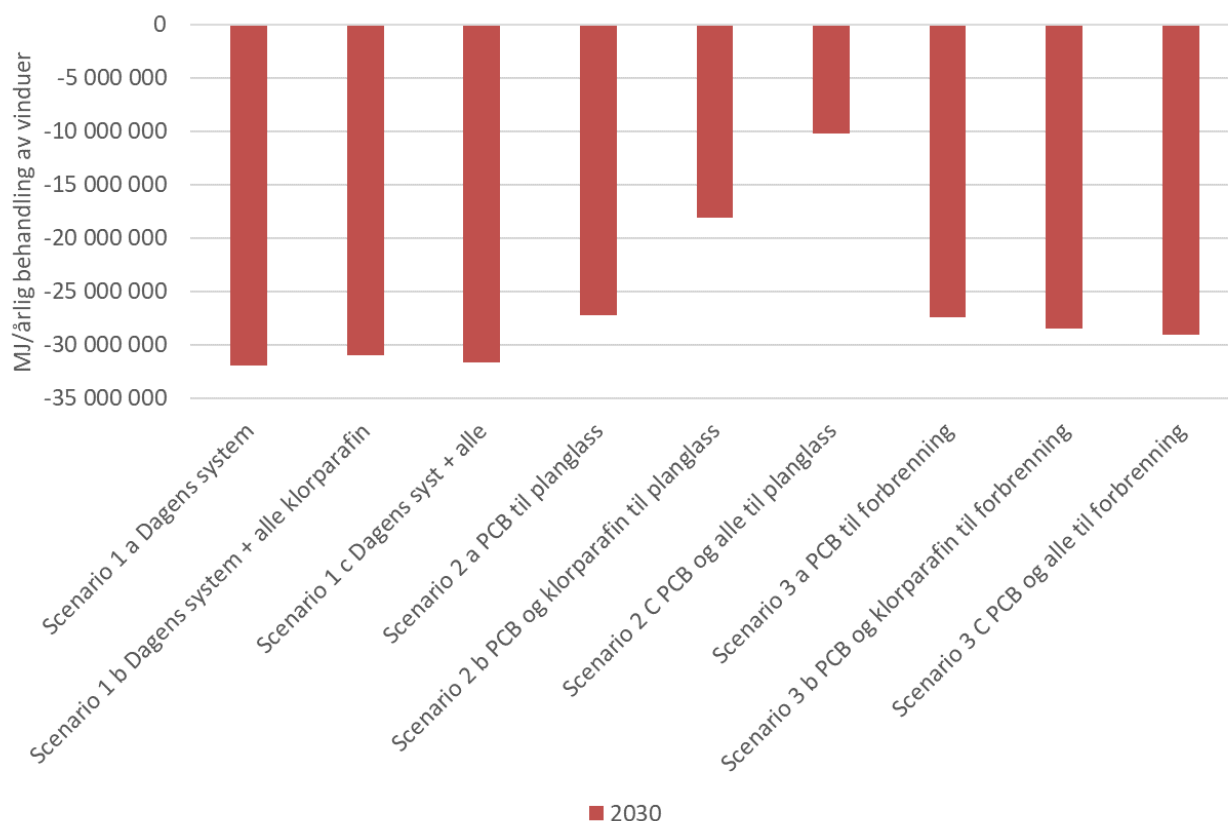
Figur 16 viser prestasjonen knyttet til arealbruk for de ulike mengdene innsamlet og forskjellige behandlingsformer.



Figur 16 Påvirkning på arealbruk ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2030.

Når det gjelder arealbruk er bildet et helt annet. Her vil det lønne seg å gjenvinne så mange ruter som mulig til planglass, mens det bare er dårlige resultater for forbrenningsscenarioene og resultatet blir verre, jo flere ruter som går til denne behandlingsformen.

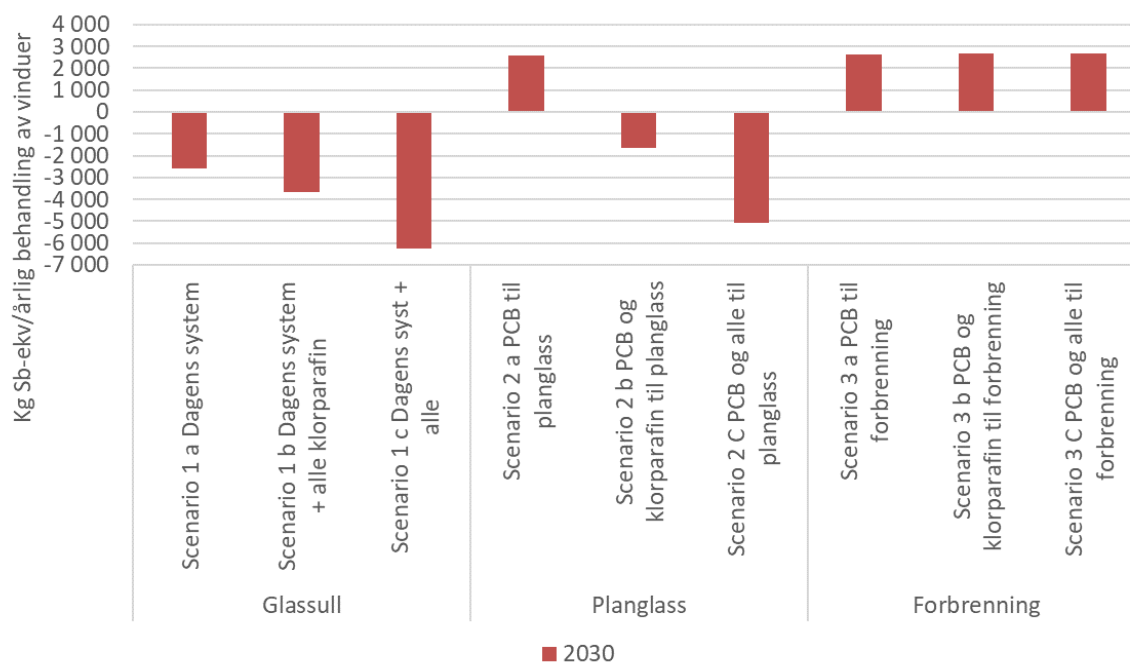
Figur 17 viser påvirkning på utarming av fossile ressurser ved ulike mengder innsamlet til ulike former for behandling i 2030.



Figur 17 Påvirkning på utarming av fossile ressurser ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2030.

For utarming av fossile ressurser er bildet ganske likt som for klima, forsuring, og overgjødsling. Forbrenning som alternativ vil føre til utarming av fossile ressurser, mens både gjenvinning til glassull og til planglass vil ha positive gevinster. Forbrenning av karter i Tyskland vil fremdeles i 2030 føre til positive følger for utarming av fossile ressurser.

Figur 18 viser resultatene for utarming av abiotiske (ikke-fossile) ressurser gitt ulike innsamlede og behandlede mengder i 2030 med ulike behandlingsformer.



Figur 18 Påvirkning på utarming av abiotiske ressurser (ikke-fossile) ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2030.

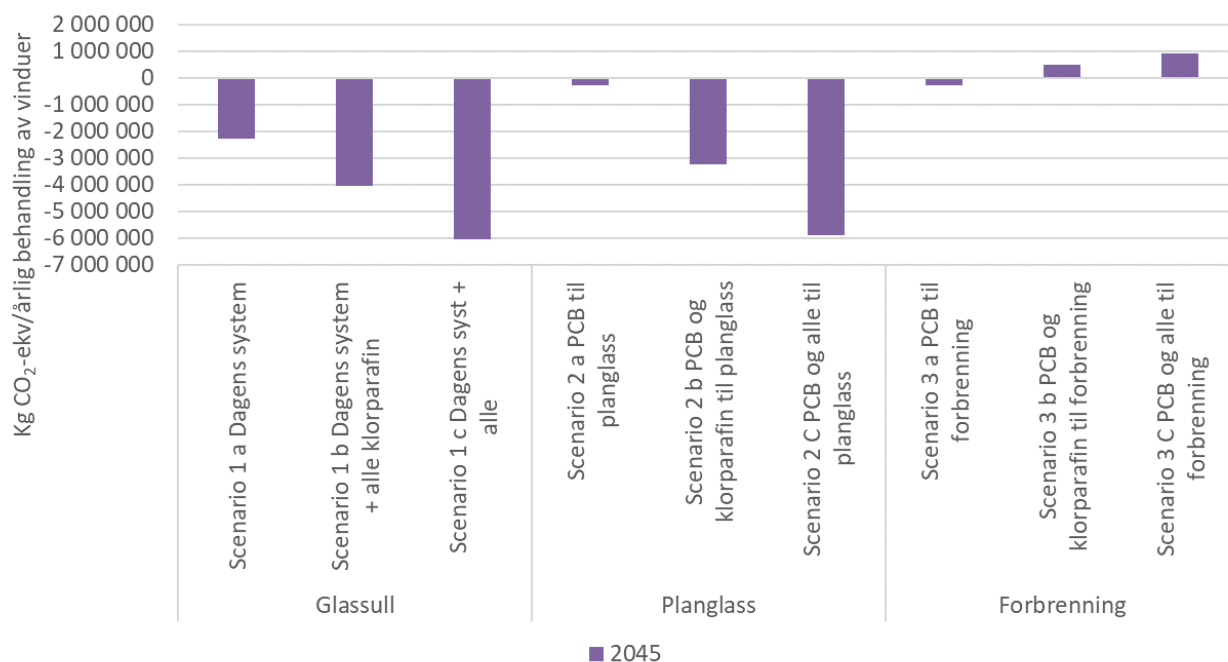
Denne figuren viser en stor endring fra 2023 til 2030. Glasset regnes i liten grad som kritisk ressurs, men det er likevel en besparelse av kritiske ressurser, som blir større jo mer glass som sendes til gjenvinning til glassull eller planglass. Når vi ser nærmere på bakgrunnen for høye positive verdier – altså en belastning i denne kategorien – så skyldes det at overgangen til stadig flere elektriske kjøretøy krever såpass mange ekstra ressurser.

I neste delkapittel skal vi se hvordan resultatene vil se ut i 2045 gitt at det er enda flere vinduer som kan samles inn og det skjer endringer i både energi- og transportsystemer mot stadig mindre bruk av fossile ressurser.

4.4 Resultater for gjenvinning av ruter per 2045 med ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsformer

I forrige delkapittel så vi på miljøprestasjonen ved ulike innsamlede mengder og behandlingsløsninger med forutsetninger for 2030 – altså både når det gjelder vinduer som samles inn, hvordan de behandles, og hva de erstatter. I dette delkapitlet spoler vi frem til 2045. Da er det mulig at flere vinduer kan samles inn, og dermed karmen og ruter som kan gjenvinnes.

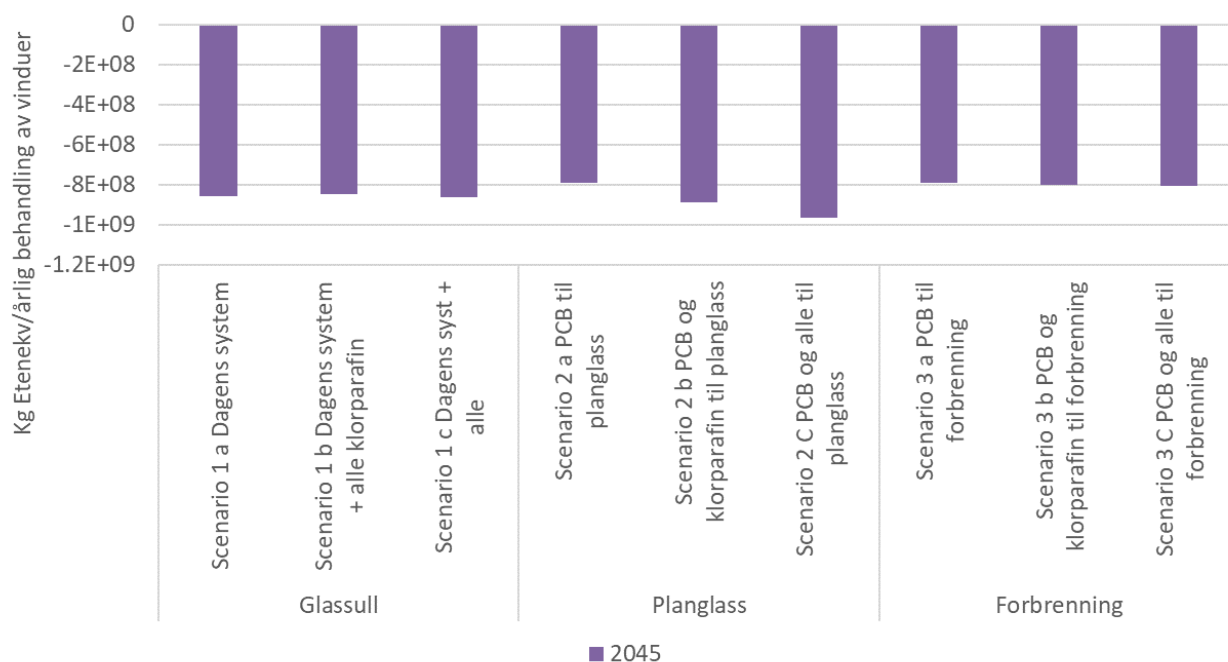
I Figur 19 ser vi klimapåvirkningen knyttet til innsamling av ulike mengder ruter og med ulike behandlingsformer.



Figur 19 Klimapåvirkning ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2045.

Resultatene for klimapåvirkning ligner på tilsvarende resultater for 2023 og 2030. Det er mest fordelaktig å sende rutene til gjenvinning som glassull når det er færre vinduer som er innsamlet, men jo flere vinduer som samles inn, jo mer fordelaktig blir det å sende glasset til gjenvinning som planglass. Dette skyldes at det er litt mer fordelaktig med selve gjenvinningen til planglass, mens transporten krever mer utslipp av klimagasser. I 2045 er det forventet at nesten alle lastebilene i alle scenarioer er drevet på elektrisitet, og at nesten all elektrisitet i Europa er drevet av fornybare energikilder, men det vil fortsatt være klimagassutslipp knyttet til produksjon og vedlikehold av kjøretøy, veier, og annen infrastruktur.

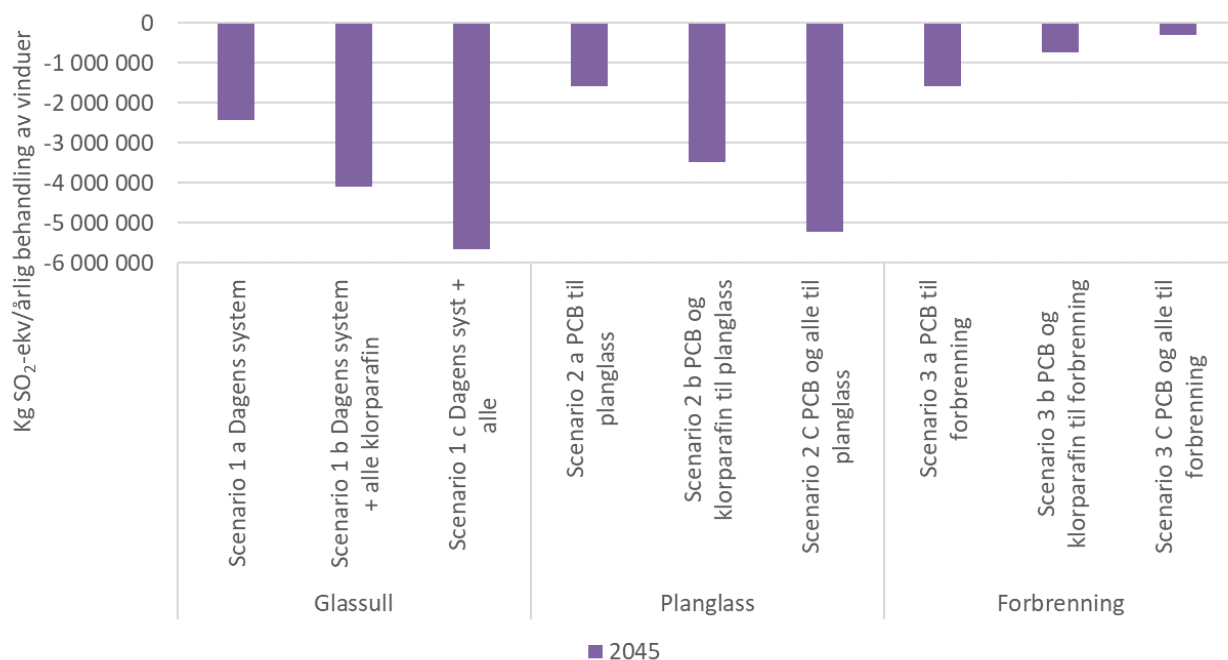
Figur 20 viser hvordan resultatene for dannelsen av fotokjemiske oksidanter påvirkes av innsamlede mengder og ulike behandlingsløsninger i 2045.



Figur 20 Påvirkning på fotokjemisk oksidantdannelse ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2045.

Resultatene i denne kategorien er nesten identiske som i 2023 og 2030, og det er nesten ingenting som skiller de tre behandlingsformene. Denne kategorien vil altså fortsatt ikke bidra til å fortelle oss om en løsning er bedre enn en annen.

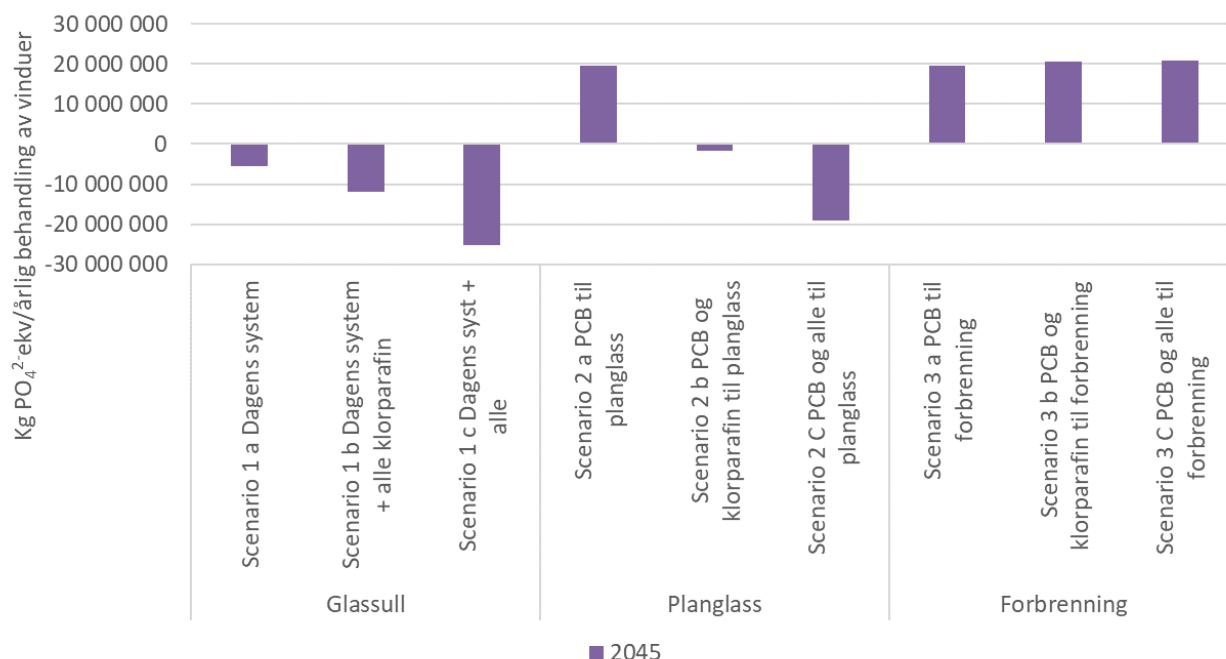
Figur 21 viser resultatene for forsuring ved ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsformer i 2045.



Figur 21 Påvirkning på forsuring ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2045.

For forsuring er resultatene ganske like som for klimapåvirkning, selv om også forbrenning vil gi negative verdier i 2045. Gjenvinning til glassull gir størst miljønytte, som forteller oss at transport er viktig i tillegg til hva som erstattes.

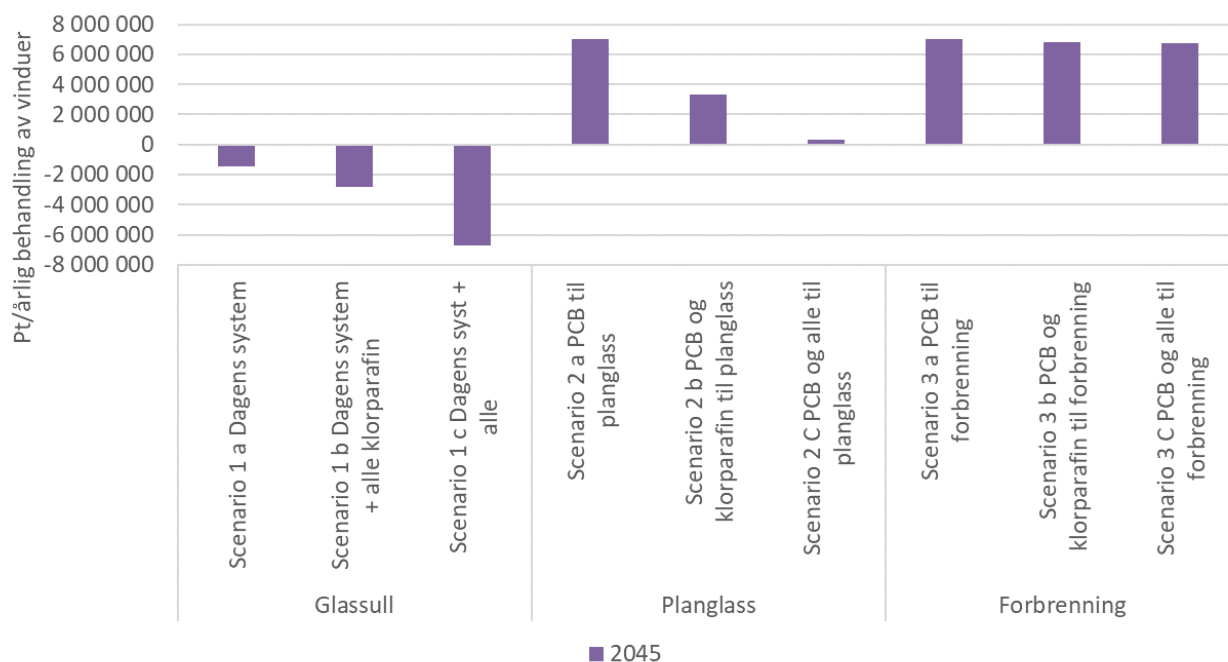
Figur 22 viser resultatene for eutrofiering i 2045 med ulike mengder vinduer innsamlet og ulike behandlingsformer.



Figur 22 Påvirkning på eutrofiering ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2045.

Figuren for eutrofiering (overgjødning) i 2045 viser at størst gevinst oppnås ved gjenvinning til glassull, mens gjenvinning til planglass følger deretter. Energigjenvinning gir et dårlig miljøresultat for eutrofiering uansett hvor mange vinduer som samles inn og behandles, mens det krever innsamling og behandling av en viss mengde vinduer for at planglass skal bli et godt alternativ.

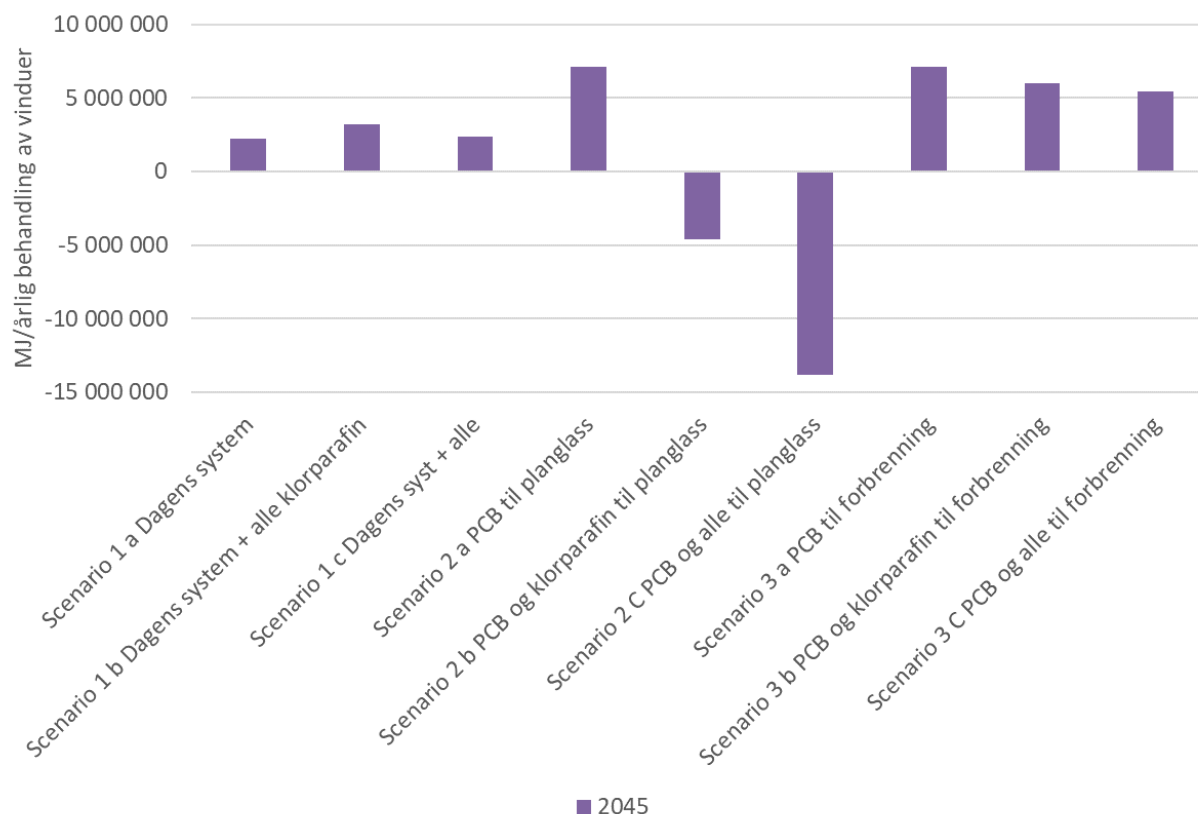
Figur 23 viser resultatene for arealbruk for innsamling av ulike antall vinduer til ulike behandlingsformer i 2045.



Figur 23 Påvirkning på arealbruk ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2045.

Når det gjelder arealbruk er det bare gjenvinning til glassull som gir et godt miljøresultat i 2045. Ved innsamling og behandling av alle vinduer vil man nesten komme ut i null, altså at belastning og gevinst er like stor, for gjenvinning til planglass, mens forbrenning gir dårligst miljøresultat uansett hvor mange vinduer som er i systemet.

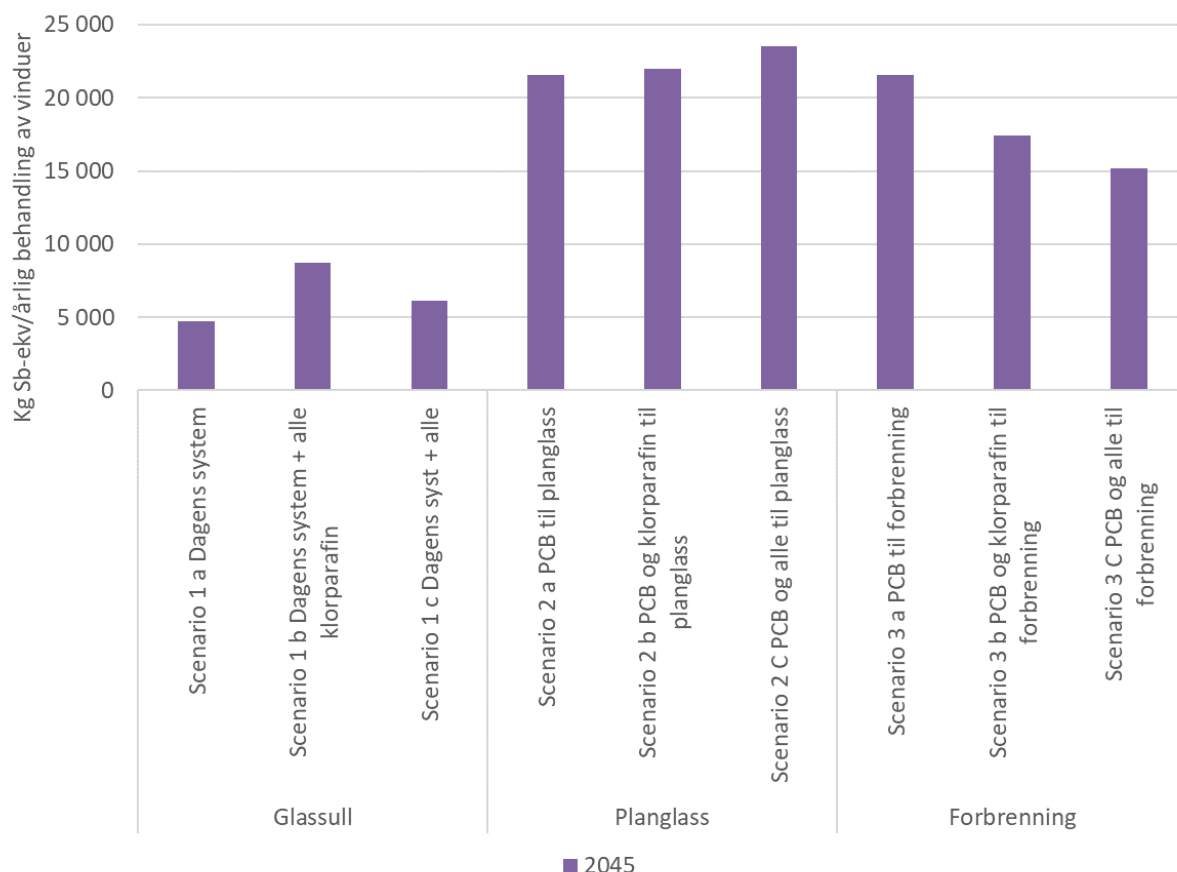
Figur 24 viser resultatene knyttet til utarming av fossile ressurser med ulike mengder innsamlet og ulike behandlingsløsninger i 2045.



Figur 24 Påvirkning på utarming av fossile ressurser ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2045.

For utarming av fossile ressurser er bildet ganske spesielt i 2045. For å unngå miljøbelastning og heller oppnå miljønytte ved erstatning av materialer og energikilder er det her viktig å samle inn flere vinduer og å sende glass til gjenvinning til planglass. Dette skyldes at man vil erstatte bruk av naturgass i produksjon av glass, mens man ikke oppnår noen særlige besparelser av fossile ressurser i glassullproduksjon.

Figur 25 viser resultatene for utarming av abiotiske ikke-fossile ressurser gitt ulike mengder vinduer innsamlet og ulike behandlingsformer i 2045.



Figur 25 Påvirkning på utarming av abiotiske ressurser (ikke-fossile) ved ulike behandlingsformer og antall ruter, gitt mengder som antatt i 2045.

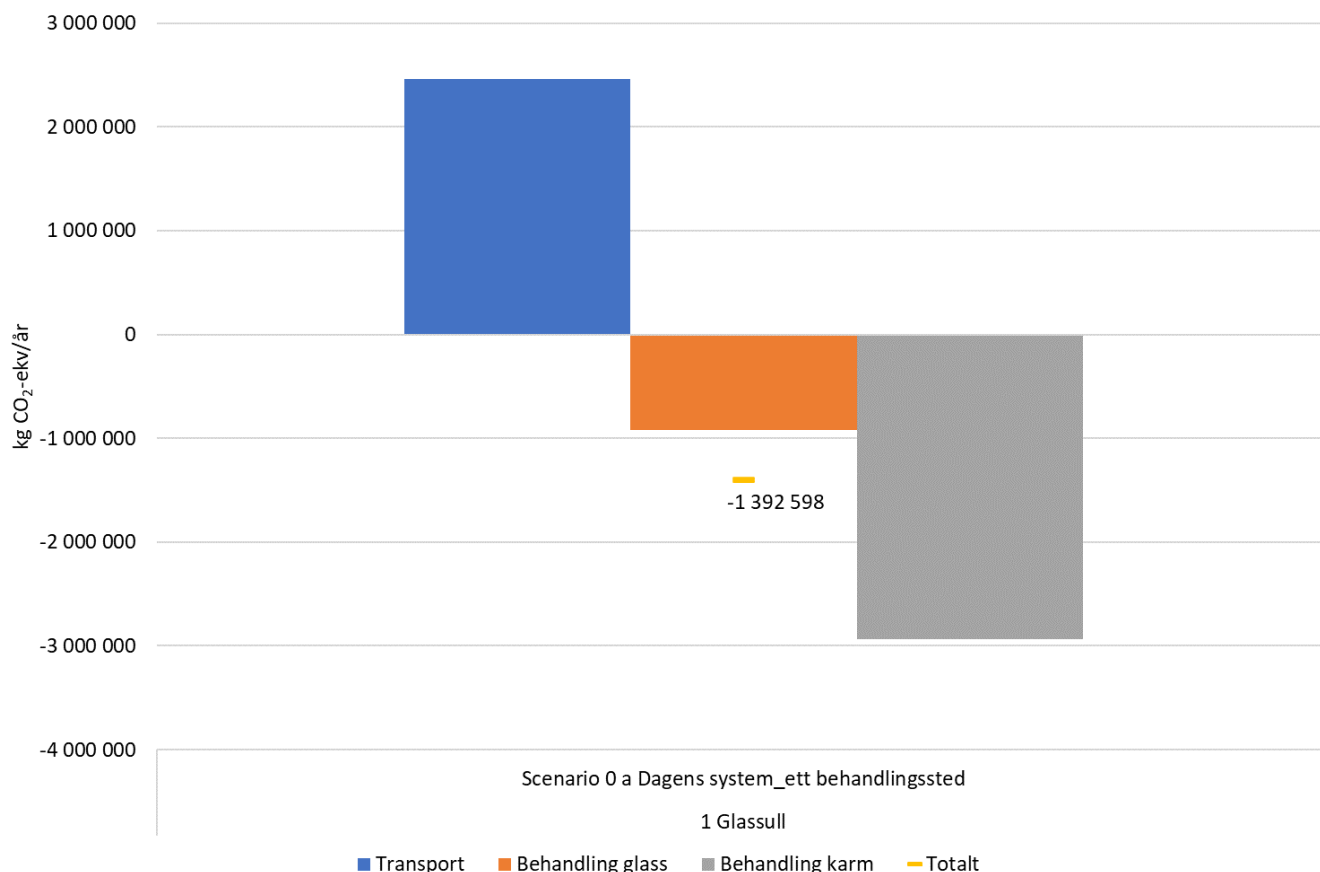
For utarming av abiotiske ressurser er det bare positive verdier, altså negativt for miljøet, 2045 uavhengig av hvor mange vinduer som samles inn og hvordan disse behandles. Minst miljøbelastning finner vi når rutene sendes til gjenvinning til glassull. Her skyldes det at elektriske kjøretøy krever mange kritiske ressurser i framstillingen av batterier – så jo mindre transport, jo mindre belastning på bruk av abiotiske ressurser. Gevinsten ved selve gjenvinningen er såpass liten i sammenligning, at det ikke er noen nevneverdig forskjell mellom å sende rutene til gjenvinning til planglass og til forbrenning.

4.5 Resultater fordelt på livsløpstrinn

I de foregående delkapitlene har vi fått presentert de absolutte størrelsene på resultater innenfor ulike miljøbelastningskategorier på forskjellige tidspunkter. I dette delkapitlet skal vi se nærmere på hvordan resultatene henger sammen med hvor mye transport som kreves, og hvor mye fordeler som oppnås, ved de ulike behandlingsformene. Vi begynner med å se på hvordan resultatene er oppdelt for dagens situasjon. Her vises ikke resultater for alle scenarioer og alle miljøbelastningskategorier, men for utvalgte scenarioer og kategorier.

4.5.1 Dagens situasjon

Figur 26 viser hvordan resultatet for klimapåvirkning for scenario 0 a, altså dagens situasjon, fremkommer som en kombinasjon av transport og utslipp og gevinster knyttet til behandling.

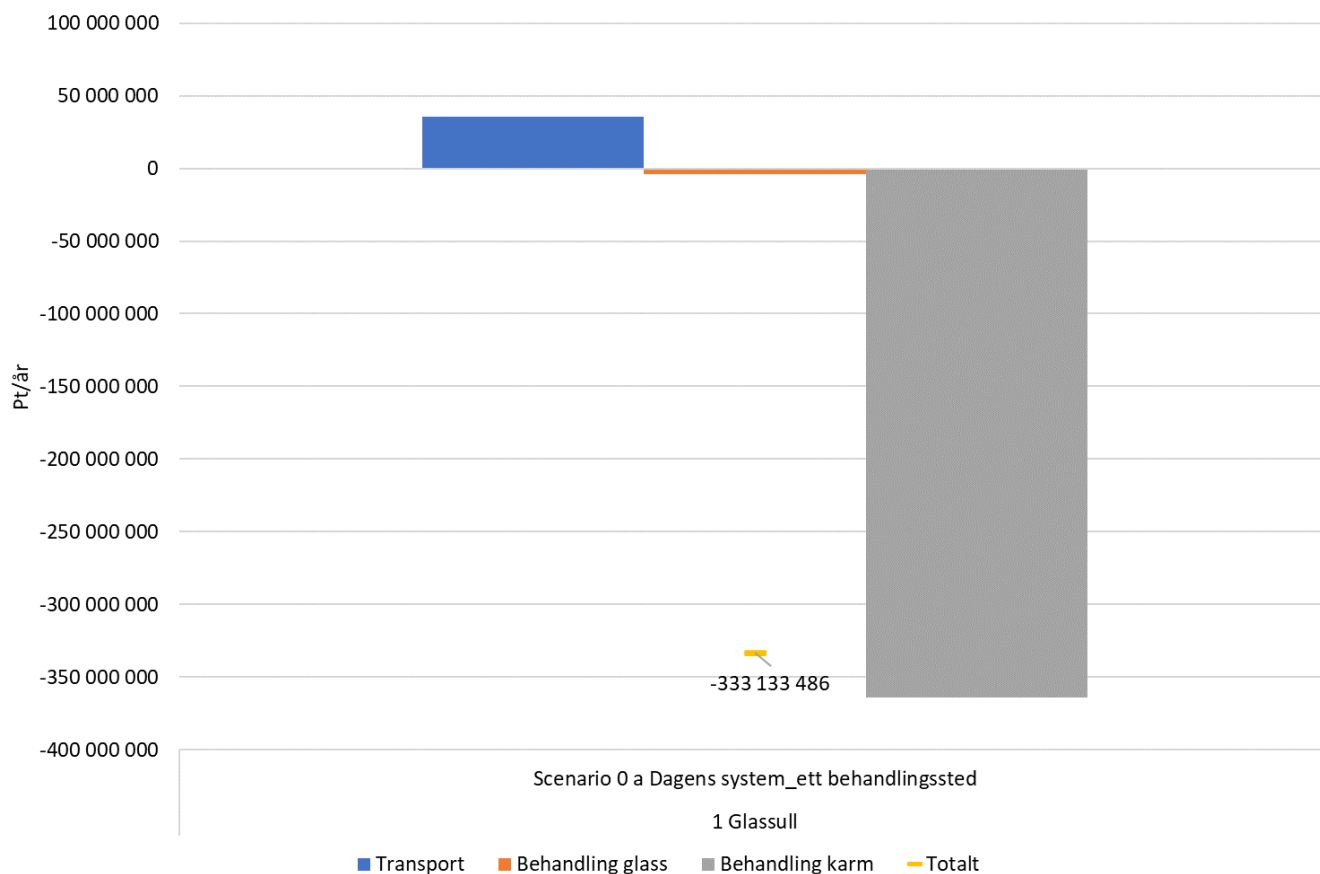


Figur 26 Klimapåvirkning for scenario 0 a i 2023 fordelt på transport og behandling av glass og karm.

De gule strekene på figuren viser det totale resultatet og hvor store besparelser i klimagassutslipp som i dag er knyttet til gjenvinning av vinduer (av alle tre typer) i de tre stolpene til venstre, og hvor store man kunne oppnå om man hadde fem steder i Norge der karmene hadde vært separert fra glasset i stolpene til høyre. Figuren viser hvordan det er et relativt stort utslipp knyttet til transporten av ruter og karmene, men at dette mer enn oppveies av den gevinsten som oppnås ved at jomfruelige råvarer erstattes i glassullproduksjon og energikilder erstattes i fjernvarmeproduksjon i Tyskland og Sverige for PCB-vinduer og i Norge for alle andre vinduer. Per i dag er det ca. 1500 kg CO₂-ekvivalenter som spares i årlige klimagassutslipp gjennom innsamling og gjenvinning av vinduer. Dette tilsvarer det gjennomsnittlige utslippet fra ca. 200 nordmenn årlig, med tanke på at det gjennomsnittlige klimagassutslippet per nordmann er ca. 7,6 tonn CO₂-ekvivalenter årlig (Øvrebø, 2023). Vi kan se at gevinsten ville kunne være mye høyere om man i stedet for ett sentralt oppsamlingssted i Norge, hadde fjernet karmene fra glass ved fem sentrale mottak.

Den største gevinsten er knyttet til energigjenvinning av karmene, men uten denne ville det også vært reduserte transportbelastninger og vi skal se i neste delkapittel hvordan systemet oppfører seg dersom vi ser bort fra transport og behandling av karmene og bare fokuserer på glasset i vinduene.

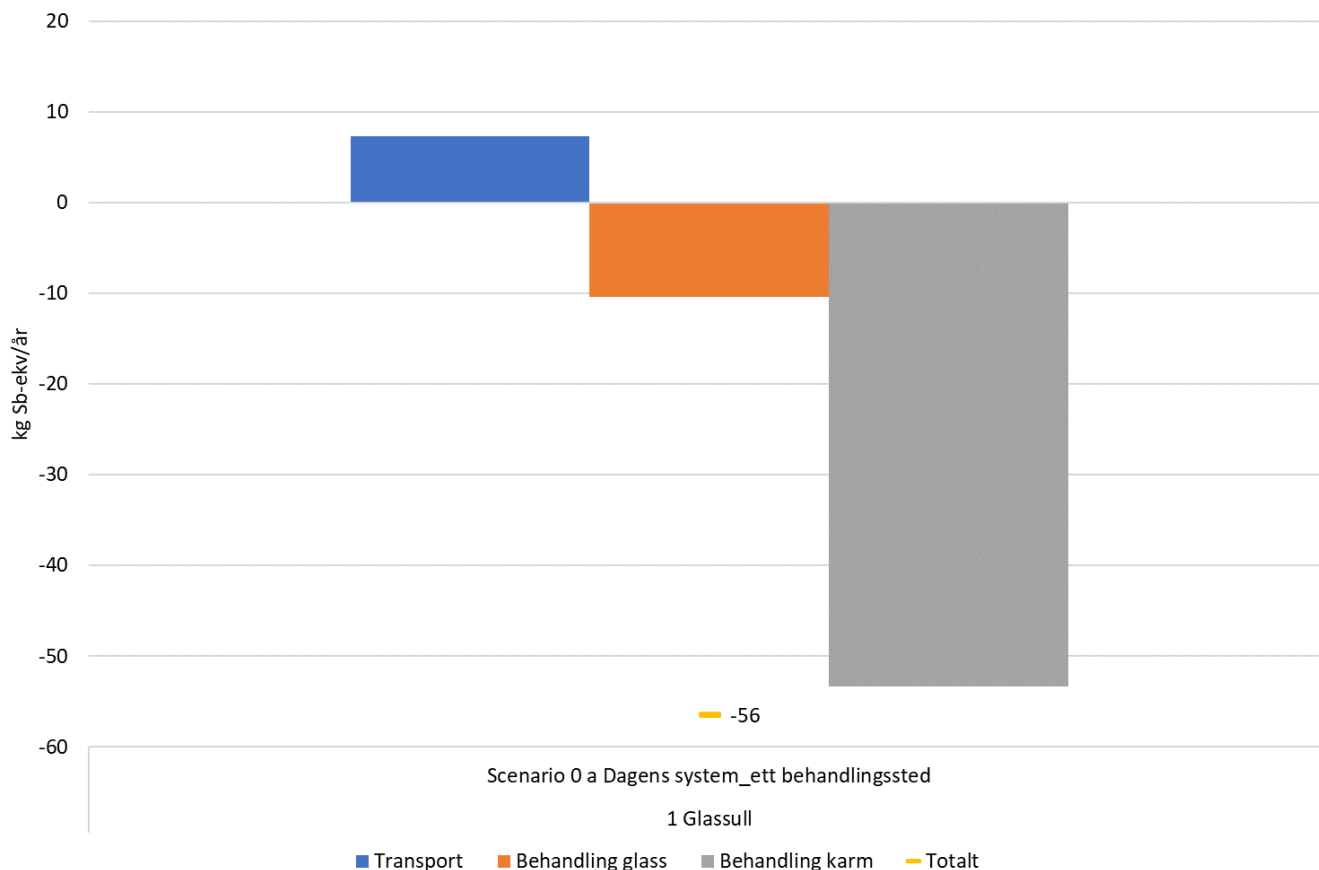
Figur 27 viser hvordan de ulike livsløpstrinnene påvirker resultatet for arealbruk i dagens scenario.



Figur 27 Påvirkning på areal for scenario 0 a i 2023 fordelt på transport og behandling av glass og karm.

Som for klimapåvirkning er det også her en viss belastning knyttet til transportsystemet, men her er gevinsten fra energigjenvinning enda større sammenlignet med for klima, slik at miljøgevinsten blir relativt større. Den sparte arealbruken fra gjenvinning av glass til glassull er imidlertid ganske liten.

Figur 28 viser hvordan de ulike livsløpsfasene for innsamling og behandling av vinduer i dagens system påvirker resultatet for bruk av abiotiske (ikke-fossile) ressurser.



Figur 28 Påvirkning på utarming av abiotiske ressurser (ikke-fossile) for scenario 0 a i 2023 fordelt på transport og behandling av glass og karm.

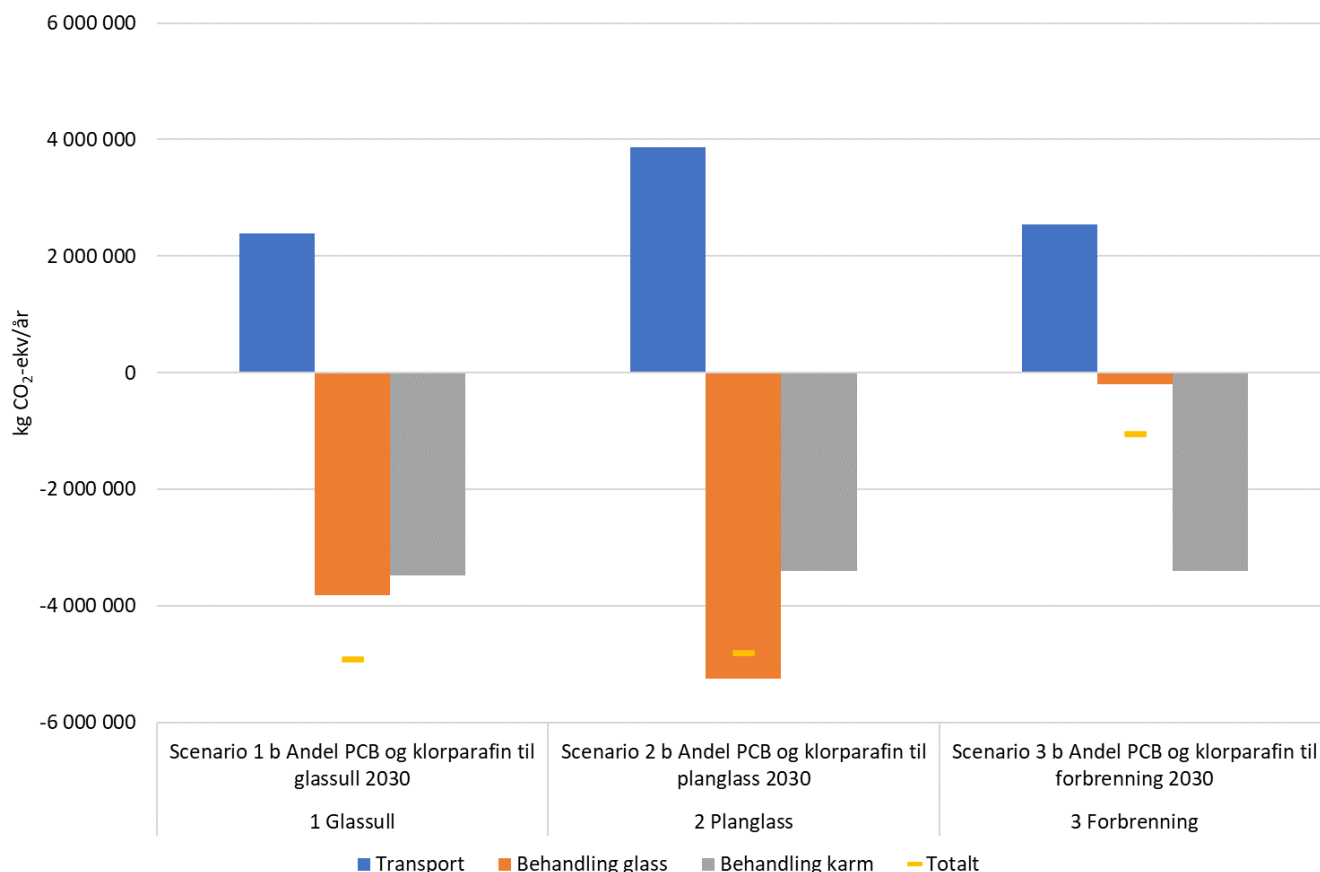
Også når det gjelder bruk av ikke-fossile abiotiske ressurser er det noe belastning knyttet til transportsystemet. Her gir både erstatning av energikilder og erstatning av jomfruelige råvarer til glassullproduksjon store besparelser slik at den gule streken som angir totale besparelser ligger godt på nedsiden av søylen for fordelene ved erstatning av jomfruelige råvarer til glassullproduksjon. Dagens system med innsamling og gjenvinning av ruter gir altså god effekt på bruk av abiotiske (og ikke-fossile) ressurser.

I det neste delkapitlet skal vi se nærmere på hvordan ulike livsløpsfaser påvirker resultater med antakelsene som gitt for 2030.

4.5.2 Scenario 2030

Når det gjelder scenarioene for 2030, har vi valgt å vise resultater for de behandlingsscenarioene som er merket 1b, 2b, og 3b. Det vil altså si at vi ser på mengder der tilsvarende relative mengder som PCB-ruter og klorparafinruter i dag vil samles inn og behandles i henhold til gitt behandlingsform. For scenarioene som ser på materialgjenvinning til planglass og til energigjenvinning, vil det også være en andel ruter som sendes til glassullproduksjon.

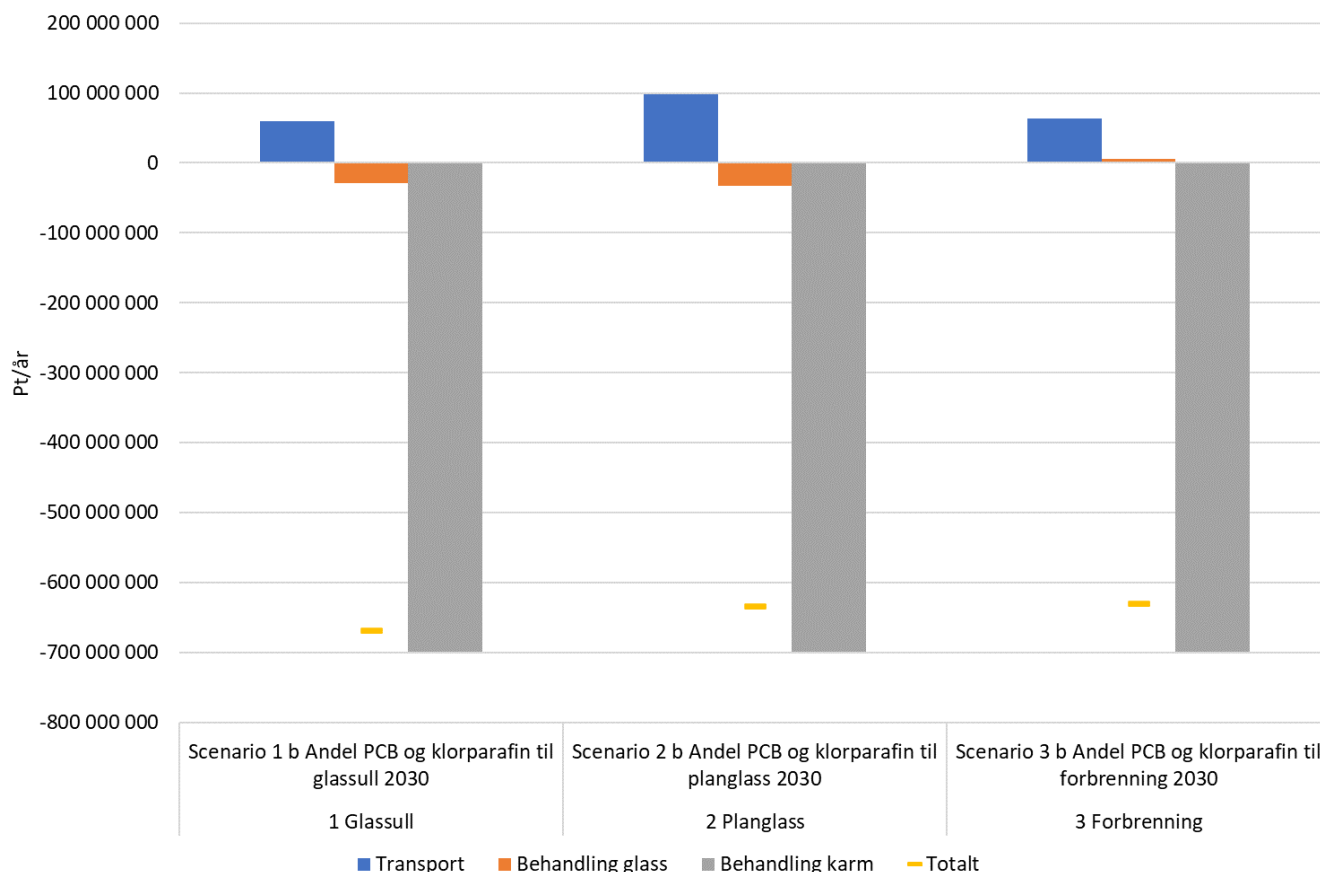
Først, i Figur 29, ser vi på resultater knyttet til klimapåvirkning.



Figur 29 Klimapåvirkning for scenario b i 2030 fordelt på transport og behandling av glass og karm.

Figuren viser at forbrenning, helt til høyre, gir den minste miljøgevinsten, på tross av at det vil være fordeler både ved energigjenvinning av karmen og fra den mengden av glass som materialgjenvinnes på samme måte som for PCB-ruter i 2023. Materialgjenvinning til glassull gir en stor negativ miljøpåvirkning, hvor det er nesten like stor gevinst fra gjenvinning av glass som gjenvinning av karmen. Så lenge den gule streken er nedenfor den grå søylen kan vi likevel slå fast at gevinsten fra materialgjenvinning oppveier transportbelastningene, selv når transporten av karmen er inkludert. Tilsvarende argument kan brukes for materialgjenvinning til planglass, hvor selve materialgjenvinningen gir større miljønytte enn tilfellet er for gjenvinning til glassull, men siden transportbelastningen er litt større og gevinsten ved forbrenning av karmen litt mindre, så er totalgevinsten nesten helt identisk for dette systemet.

Figur 30 viser påvirkningen på arealbruk fra scenarioene merket «b» i 2030, altså der en mengde vinduer relativt til mengden PCB- og klorparafinruter fra 2030 samles inn, konsolideres på 5 regionale mottak, og sendes til behandling. Resterende vinduer forbrennes ved 18 regionale mottak.



Figur 30 Påvirkning på areal for scenario b i 2030 fordelt på transport og behandling av glass og karm.

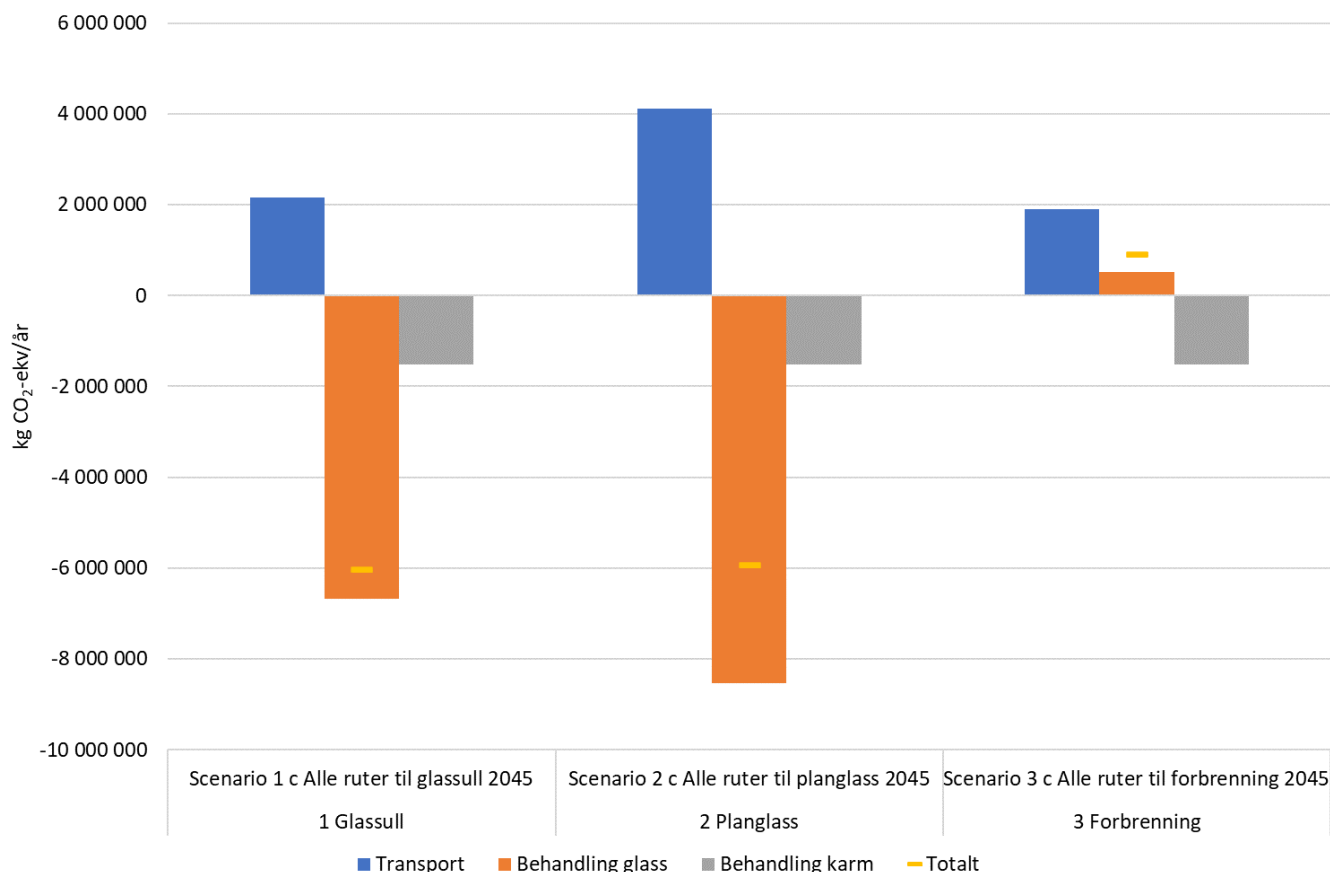
Figuren viser hvordan det er lite forskjell på de tre scenarioene knyttet til påvirkning på arealbruk. Forbrenning av karmer er det som påvirker denne kategorien aller mest og det er veldig liten forskjell på om forbrenning skjer i Tyskland, Sverige eller Norge. Til sammen gir det veldig små forskjeller mellom de ulike scenarioene, men med en annen fordeling enn for de andre miljøbelastningskategoriene.

I neste delkapittel skal vi undersøke hvordan ulike livsløpstrinn påvirker resultatene for utvalgte scenarioer i 2045.

4.5.3 Scenario 2045

For analyse av hvordan ulike livsløpstrinn påvirker resultatene for ulike innsamlings- og behandlingsløsninger i 2045 har vi valgt å se på scenarioene merket med «c» der vi forutsetter at alle vinduer samles inn og går til den valgte behandlingsløsningen. I 2045 er det antatt at det totalt vil være snakk om 1,4 millioner vinduer.

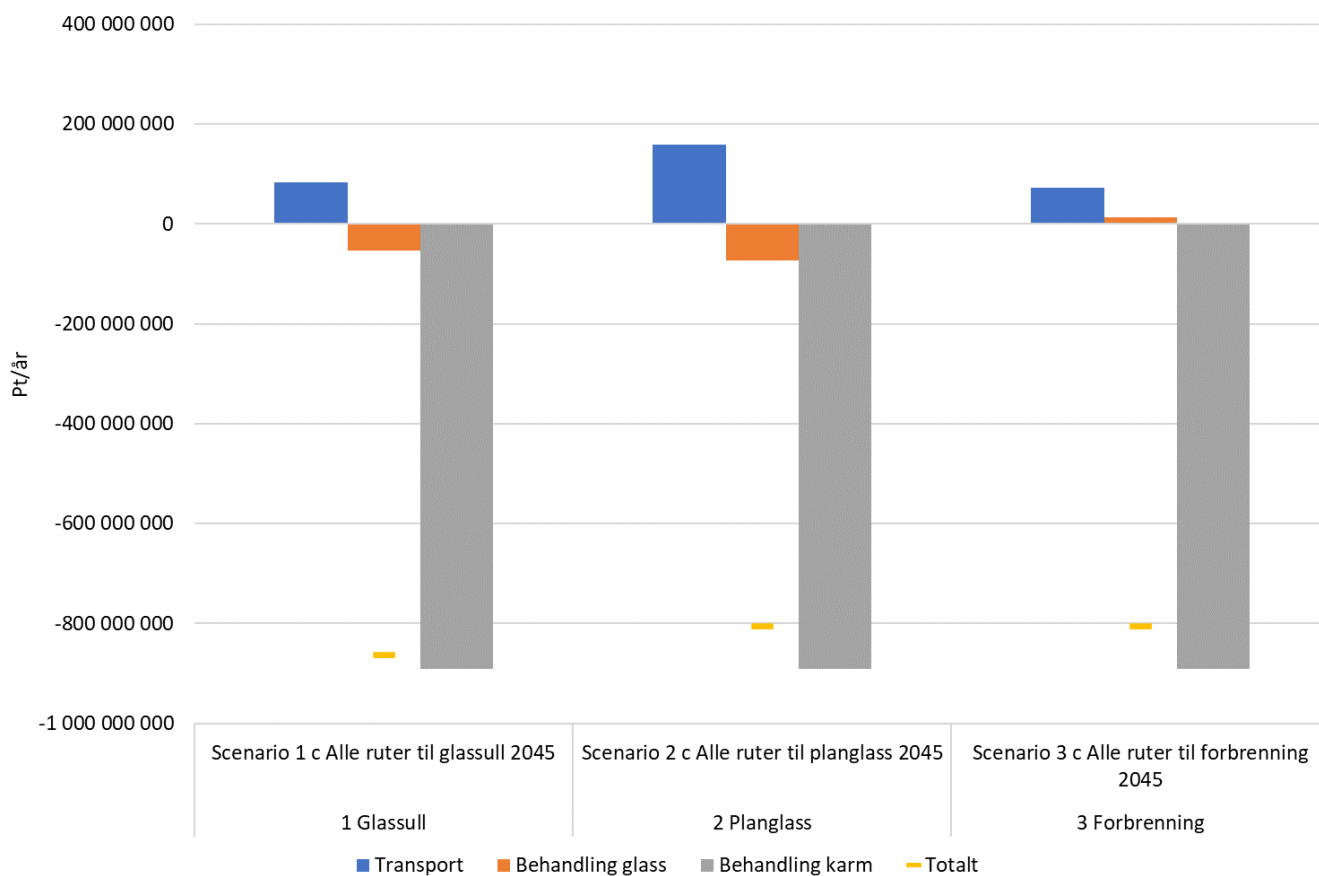
Figur 31 viser klimapåvirkningen fra scenarioene for de tre behandlingsformene forbrenning, materialgjenvinning til glassull, og materialgjenvinning til planglass, og hvordan ulike livsløpsfaser bidrar til påvirkningen.



Figur 31 Klimapåvirkning for scenario c i 2045 fordelt på transport og behandling av glass og karm.

I 2045 kan vi se at klimapåvirkningen fra transport er omtrent den samme som i dag, men her er det viktig å påpeke at det er forutsatt at mer enn dobbelt så mange vinduer samles inn. Fremdeles vil klimapåvirkningen fra transportsystemet være høyere enn gevinstene knyttet til forbrenning. I scenarioene merket med «c» sender vi ikke glass til materialgjenvinning. Derfor blir det en positiv klimapåvirkning, altså en miljøuleppe, knyttet til behandling av glass i forbrenningsscenarioet. Selv om forbrenning av glass gir noen positive aspekter knyttet til ovnen og slagget som oppstår der, så vil det ikke være noen substitusjon av materialer eller energikilder og bare belastninger knyttet til at slagget må legges på et deponi som krever noe vedlikehold og materialer. Vi ser at gjenvinning til planglass gir større miljønytte, altså mindre klimapåvirkning enn gjenvinning til glassull. Forskjellen fra scenarioene i forrige delkapittel er både at flere ruter behandles og at gevinsten per mengde glass er større, men ikke minst at gevinsten ved energigjenvinning av karmen går kraftig ned fra 2030 til 2045 etter hvert som fossile energikilder går ut av produksjonsmiksen. **Error! Reference source not found.** viser klimapåvirkningen når også alternativene der karmen forbrennes i Norge er inkludert.

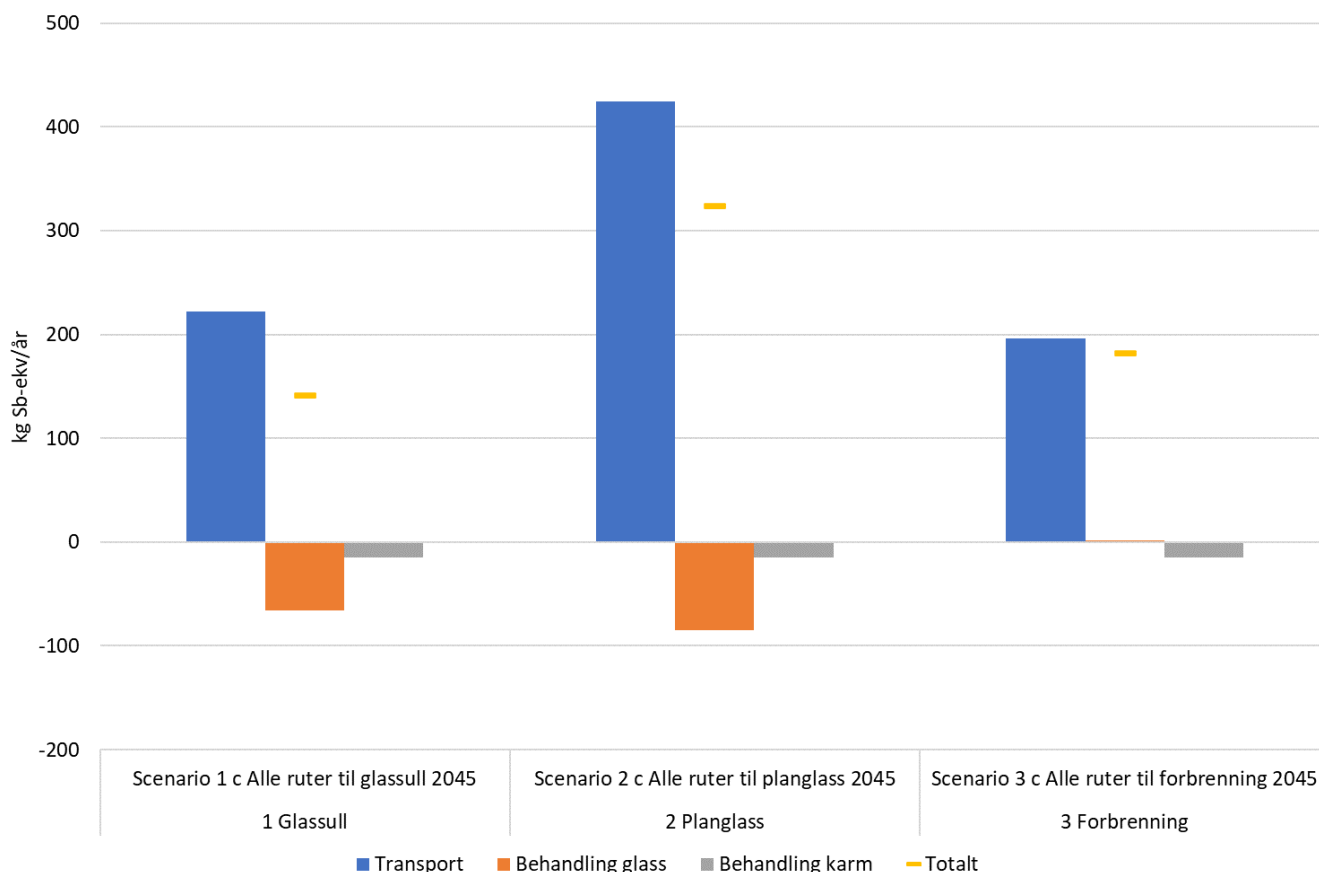
I Figur 32 ser vi hvordan ulike livsløpstrinn knyttet til scenarioene merket med «c», der alle vinduer samles inn og behandles, påvirker resultatene for arealbruk.



Figur 32 Påvirkning på areal for scenario c i 2045 fordelt på transport og behandling av glass og karm.

Når det gjelder arealbruk er konklusjonen den samme i 2045, som i 2023, altså at det spiller liten rolle hvilken behandlingsform man sender vinduer til, fordi man uansett får en stor gevinst ved energigjenvinning av karm, som overskygger både positive transportbidrag og gevinster fra behandling av glass ved materialgjenvinning.

Til slutt ser vi på resultatene for påvirkning på bruk av abiotiske (ikke-fossile) ressurser i 2045 når alle vinduer samles inn og behandles.



Figur 33 Påvirkning på utarming av abiotiske ressurser (ikke-fossile) for scenario c i 2045 fordelt på transport og behandling av glass og karm.

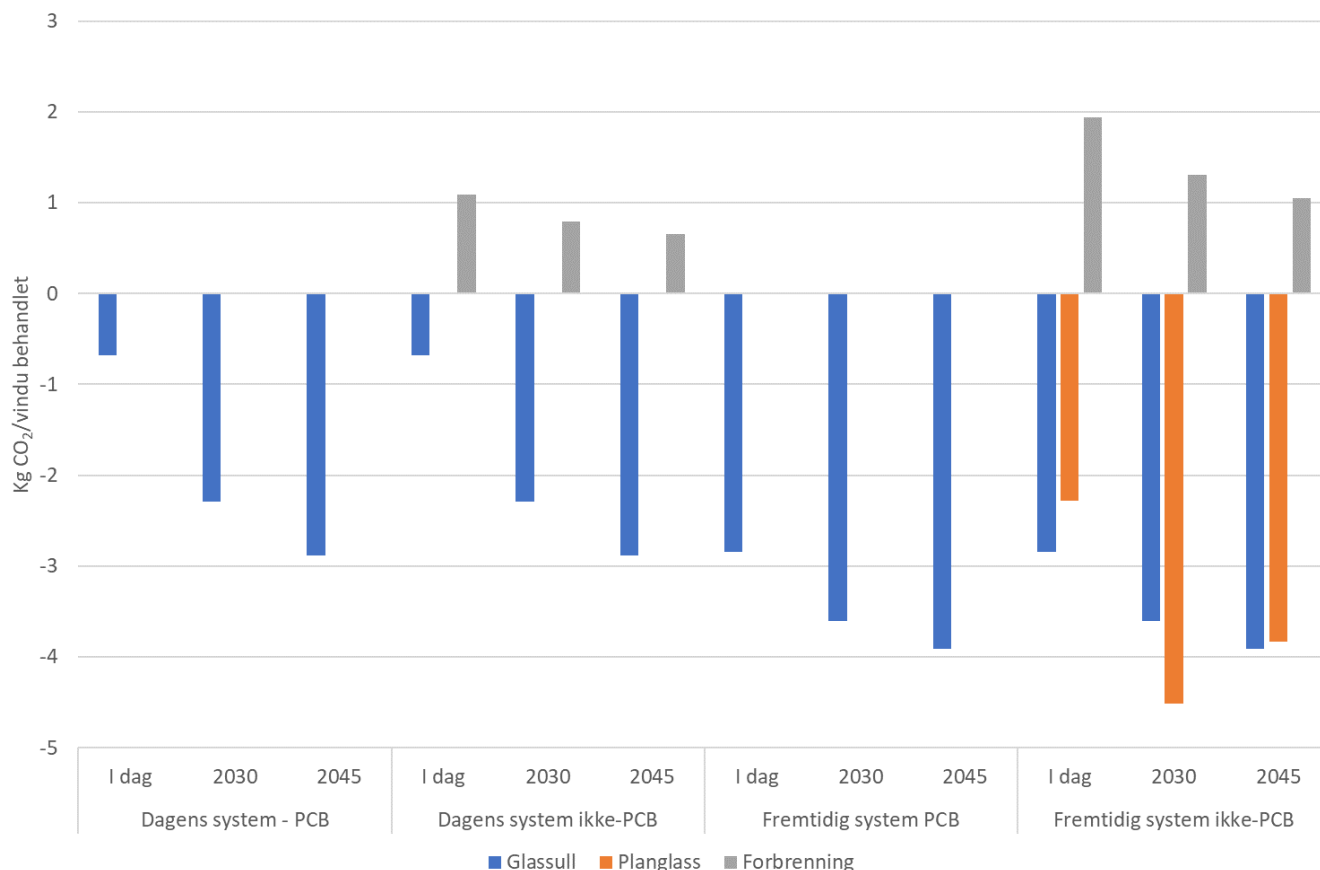
Som i 2030, er dette den kategorien der alle behandlingsformer gir en positiv påvirkning, altså en miljøulempe. Dette skyldes at ressursene som kreves for elektrifisering av transport er viktigere enn ressursene som spares ved material- og energigjenvinning. Det viktigste med dette resultatet er å være klar over at det kan finnes situasjoner hvor man må velge hvilke miljødimensjoner man skal ta hensyn til. Desto mer av transportsystemet som elektrifiseres, desto bedre miljøprestasjon vil man få på typiske utslippsrelaterte kategorier som klimapåvirkning, forsurening, og eutrofiering, men samtidig vil man få dårligere miljøprestasjon når det gjelder bruk av en del kritiske ressurser.

I neste delkapittel ser vi nærmere på hvordan resultatene blir når vi ser på systemet uten at vi tar med transport og behandling av karmene, og bare ser på glasset.

4.6 Resultater uten inkludering av karm

Så langt har vi i alle delkapitlene presentert resultater for behandling av hele vinduer, det vil si både av glassruter og av karmen, der vi har antatt at karmene er av tre og kan erstatte energikilder når de forbrennes og blir til fjernvarme. I de fleste forbrenningsanlegg vil de energien også bli til elektrisitet, men vi har regnet alt til fjernvarme som et konservativt anslag. Dersom vi ser bort fra karmen, kan vi se hvordan resultatene blir når man bare tar hensyn til transport og gjenvinning av glass.

Figur 34 viser hvilken klimapåvirkning de ulike behandlingsformene har per mengde glass i ett vindu i 2023, i 2030, og i 2045.

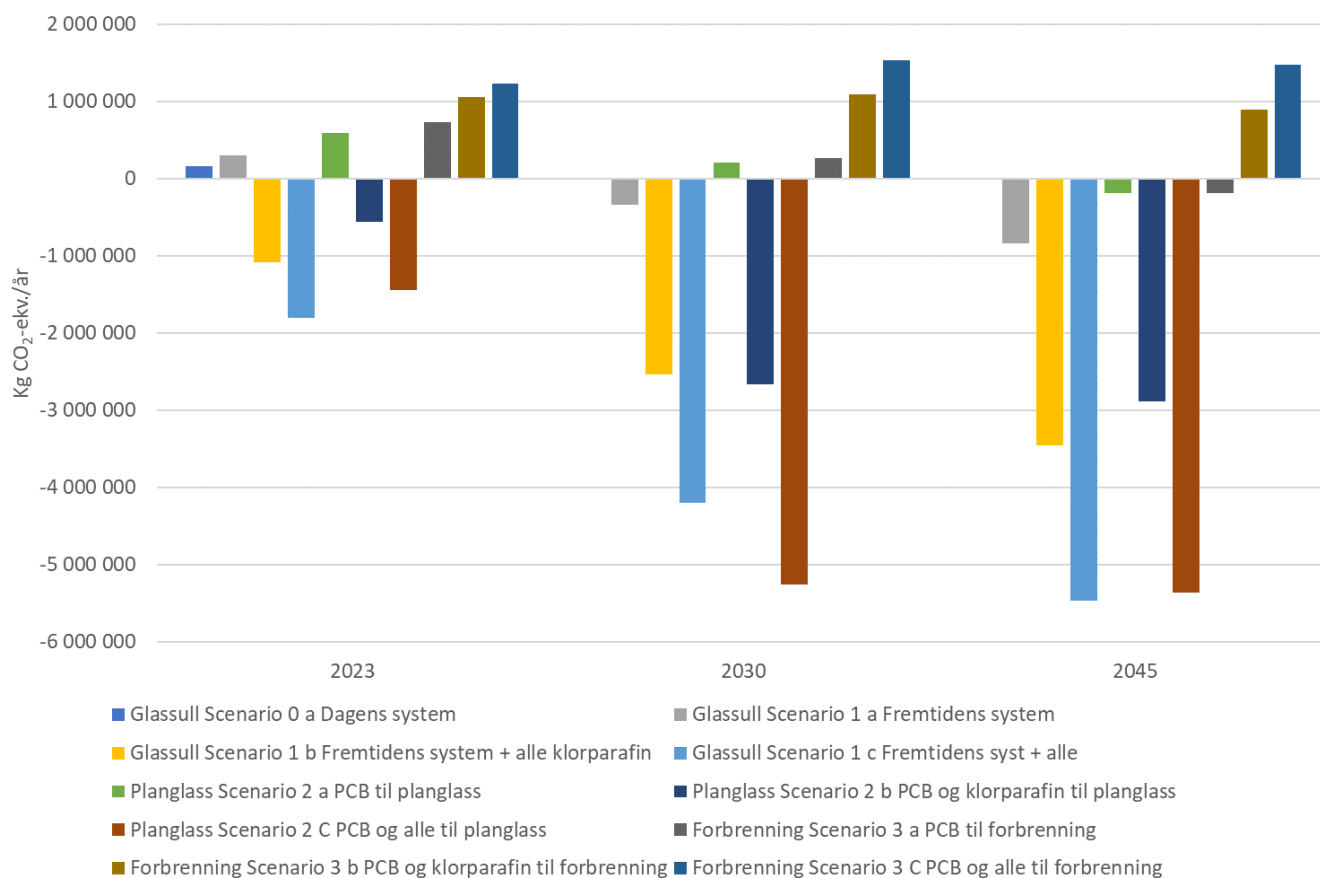


Figur 34 Potensiell påvirkning på klima for ulike behandlingsformer av glass i dag, 2030, og 2045 per vindu behandlet.

Dagens system, i de to kategoriene til venstre i figuren, beskriver klimapåvirkningen til glasset fra ett vindu sendt til enten glassullproduksjon eller forbrenning. Her er ikke planglass tatt med, siden det ikke er et reelt alternativ i dag. Dagens system er også kopiert til årstallene 2030 og 2045 for å vise hvordan resultatene vil endre seg. Vi kan se at gevinsten ved gjenvinning til glassull blir større etter hvert som vi kommer lenger inn i framtiden. Den økte gevinsten er knyttet til at klimapåvirkningen fra transportsystemet går ned når mer og mer av transportmidlene blir elektriske. Det er også derfor belastningen fra forbrenning av vinduene går ned etter hvert som vi beveger oss fremover i tid, siden det ikke er noen gevinster knyttet til forbrenning av glass, mens transportutslippene blir stadig mindre.

Dersom vi ser på hvilken klimapåvirkning behandlingen av glasset i ett vindu får for et såkalt «fremtidig system», altså der hvor det er 5 regionale mottak som sender til ulike behandlingsformer, så vil det der variere hvorvidt det er gjenvinning til glassull eller gjenvinning til planglass som gir størst gevinst. Resultatene er imidlertid så like at det i liten grad vil være noen vits å skille mellom dem. Årsaken til at gevinsten er større for glass til glassullproduksjon i fremtidig system sammenlignet med dagens system er at det med fem mottakssteder vil være mer effektive logistikksystemer enn det vi har i dag. Vi ser den motsatte effekten når det gjelder glass til forbrenning. I dagens system regner vi med at ruter til forbrenning går til Norge og dermed ikke fraktes videre fra de 18 regionale mottaksstedene. I et fremtidig system har vi lagt inn et ekstra transportledd til 5 regionale mottak i stedet for 18 mottak. Dermed blir det mer transport per kilo glass og en større klimapåvirkning enn om forbrenningen ble utført mer lokalt.

Dersom vi slår sammen de ulike behandlingsformene og transportleddene i ulike scenarioer knyttet til årlige innsamlede mengder, men bare uten å inkludere karmen, får vi klimapåvirkning per år som vist i Figur 35.



Figur 35 Potensiell påvirkning på klima for ulike scenarioer når det bare tas hensyn til glass (og ikke karmen) i dag, 2030, og 2045. Resultatene er gitt per år med innsamling av vinduer.

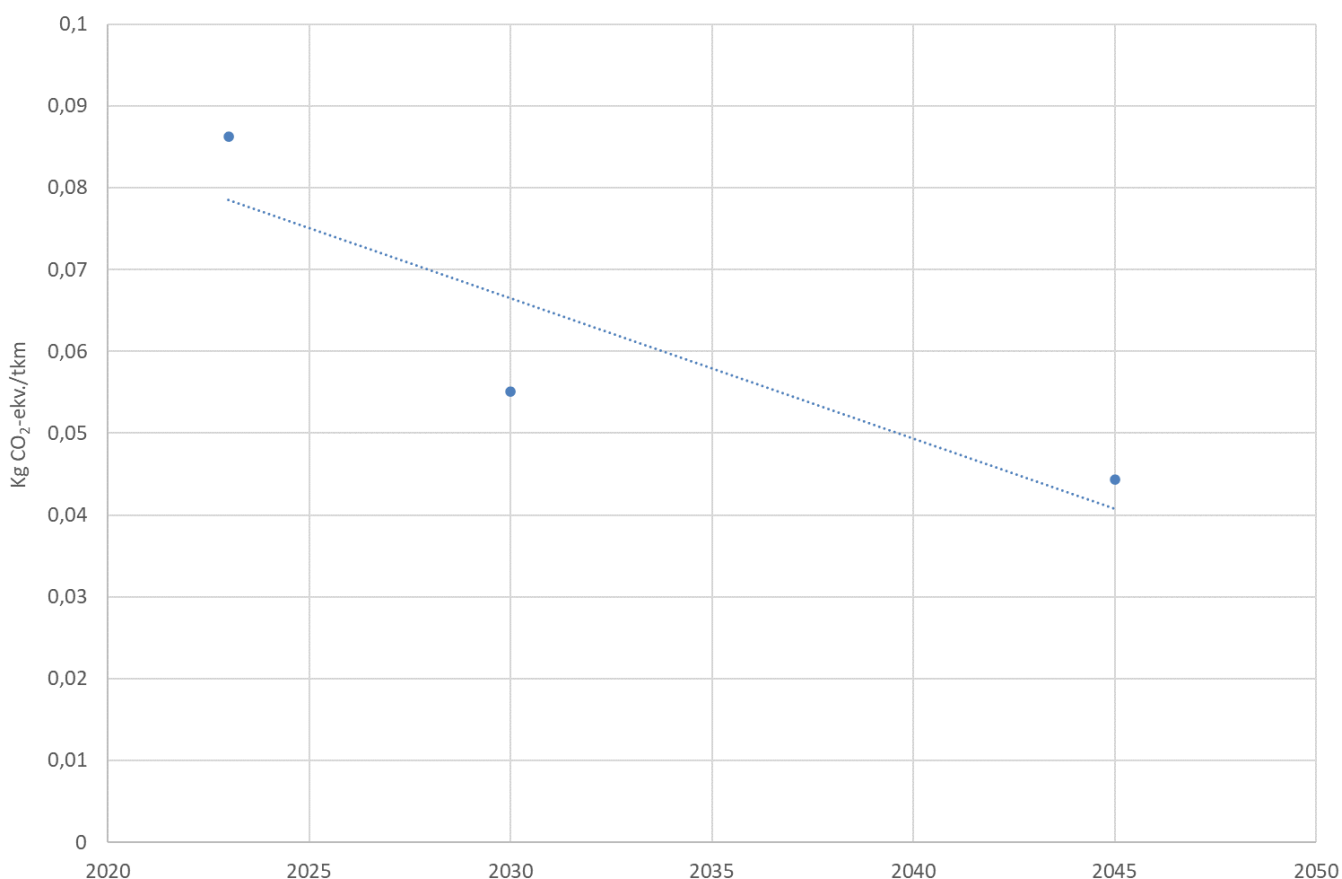
Som man kan se fra figuren og som er nesten enda tydeligere når man ser på systemet uten å inkludere karmen enn når karmen er inkludert, vil det være store gevinster å hente med hensyn til klimapåvirkning ved å materialgjenvinne planglass til glassull eller nytt planglass. Samtidig vil det være en viss miljøbelastning knyttet til å sende glasset til forbrenning. Forskjellene mellom materialgjenvinning til glassull og materialgjenvinning til planglass er små og varierer med hensyn til hvilke årstall som undersøkes, så man kan i liten grad peke på hva som er det beste alternativet. Jo flere ruter som materialgjenvinnes, jo større blir gevinsten, og det gjelder for alle tidspunkter undersøkt. Samtidig ser vi det motsatte bildet for forbrenning. Det er altså tydelig, fra klimapåvirkningskategorien, at materialgjenvinning er det beste alternativet.

4.7 Resultater for utvikling i utslipp fra transport og energi til 2030 og 2045

For å bedre forstå hvordan og hvorfor resultater endres fra i dag og frem til 2045, er det nyttig å forstå hvordan de underliggende endringene i transportteknologier og energisystemer vil påvirke hvilke fordeler og ulemper som vil oppstå.

Figur 36 viser hvordan klimapåvirkningene forventes å endres per tonnkilometer (tkm) gods på vei ettersom bilparken skiftes ut med stadig flere nullutslippskjøretøy. Tonnkilometer er en enhet som beskriver at ett

tonn fraktes én kilometer med et gitt kjøretøy og tar høyde for slike ting som hvor mye som kan transporteres med kjøretøyet og hvilken fyllingsgrad et kjøretøy har i gjennomsnitt.

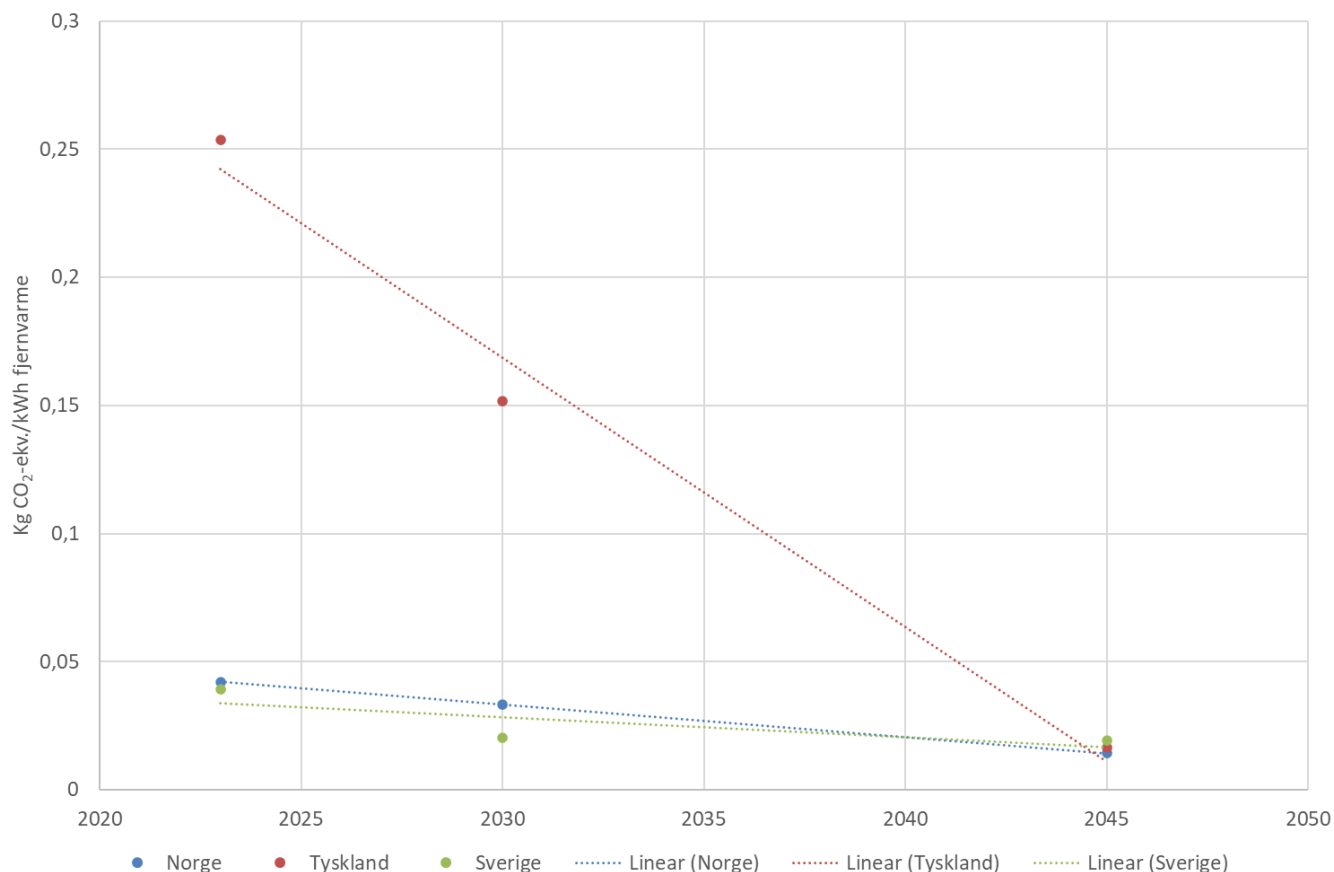


Figur 36 Endring i påvirkning på klimaendringer (gitt i kg CO₂-ekv.) per tonnkilometer for kjøretøy i dag, i 2030 og i 2045.

Som man kan se fra figuren er det ikke en lineær sammenheng i reduksjon av utslipp mellom 2023 og 2045. Dette henger sammen med at mange av endringene i bilparken skal skje innen 2025 i henhold til europeiske lover, regulering, og politiske mål. Derfor blir størsteparten av endringene i perioden fram til 2030. Det kan virke underlig at det fremdeles er en ganske stor påvirkning på klima også i 2045, men dette skyldes delvis at det fortsatt er noen både direkte og indirekte utslipp knyttet til elektrisitetsproduksjon, og ikke minst at utslipp knyttet til fremstilling av kjøretøy og infrastruktur fremdeles fordeles per km. Man bærer altså med seg noen historiske klimagassutslipp som påvirker resultatet per tonnkilometer.

For å forstå hvordan gevinster og belastninger endrer seg i forbindelse med endringer i energisystemene, må vi også se hva slags endringer som skjer når man bytter ut fossile energikilder med fornybare.

Figur 37 viser klimapåvirkning per kWh produsert fjernvarme i dag, i 2030, og i 2045.



Figur 37 Utvikling i klimapåvirkning (gitt i kg CO₂-ekv.) per produsert kWh med fjernvarme i dag, i 2030 og i 2045.

I denne figuren ser man mer lineære sammenhenger mellom klimapåvirkningen i dag og i de to fremtidige tidspunktene. Det er store forskjeller mellom de tre landene, der både Norge og Sverige i dag har mye mindre innslag av fossile energikilder, med dertil mindre klimapåvirkning, enn hva vi ser for Tyskland. I 2045 er det antatt at alle tre landene har oppfylt sine ambisjoner om null utslipp fra selve energikildene, og da er det bare det å skaffe til veie for eksempel bioenergikilder som bidrar til klimapåvirkningen.

Figur 38 viser klimapåvirkning per kWh produsert elektrisitet i dag, i 2030, og i 2045.



Figur 38 Utvikling i klimapåvirkning (gitt i kg CO₂-ekv.) per produsert kWh med elektrisitet i dag, i 2030 og i 2045.

Utviklingen for elektrisitetsproduksjon ligner på utviklingen for fjernvarmeproduksjon. Også her er det ganske gode lineære sammenhenger mellom dagens situasjon og situasjonene i fremtiden. Det er likevel verdt å merke seg skalaen på y-aksen, da det er langt høyere klimapåvirkning knyttet til produksjon av 1 kWh elektrisitet enn av 1 kWh fjernvarme. Årsaken til dette er at fjernvarme i stor grad også produseres fra avfallsforbrenning og overskuddsvarme fra industrielle anlegg, slik at det er større andel av miljøbelastningene fra den totale produksjonen av fjernvarme som fordeles til andre funksjoner enn hva tilfellet er for elektrisitetsproduksjon.

Ved hjelp av forståelsen fra alle grafene vist i dette resultatkapitlet er det mulig å diskutere funnene og konkludere fra prosjektet.

5 Diskusjon og konklusjoner

I de foregående kapitlene har vi presentert hvordan analysene er satt opp og hvilke resultater de har gitt innenfor en lang rekke miljøbelastninger. Her diskuterer vi hva resultatene betyr og i hvor stor grad vi kan stole på analysene som er satt opp. Til slutt i kapitlet presenteres konklusjonene fra analysene; hva bør man gjøre med utrangerte vinduer (og annet planglass) i fremtiden hvis man skal ta valget ut fra miljøprestasjon?

5.1 Diskusjon: Hva betyr resultatene?

Selv om resultatkapitlet inneholder avsnitt som peker på hvilke behandlingsløsninger som er best for gitte mengder av innsamlede mengder og på bestemte tidspunkt, kan det være vanskelig å vite hva de betyr på mer overordnet nivå. Hva er store og små gevinster? Hvilke miljøbelastninger skal man ta hensyn til når man velger behandlingsform? Slike spørsmål er essensielle når beslutningen skal tas.

For de aller fleste miljøbelastningskategoriene er svaret at miljøbelastningene er minst – eller miljønyttens størst – dersom vinduene går til materialgjenvinning. I så tilfelle vil også miljøbelastningene gå ned – eller miljønyttens gå opp – jo flere vinduer som samles inn og gjenvinnes. I mange tilfeller er funnene motsatt for forbrenning, altså at miljøbelastningen går opp – eller miljønyttens går ned – jo flere som sendes til energigjenvinning.

I intervjuer med informanter ble ulike argumenter trukket fram for hvorfor gjenvunnet glass burde gå til glassullproduksjon eller til planglassproduksjon. Argumentet for glassullproduksjon var knyttet til transportavstander og muligheten for å gjenvinne glasset lokalt, det vil si i Norge. Vi har sett at det er et delvis gyldig argument, siden transportbelastningene er større for systemene for gjenvinning til planglass. Samtidig er gevinsten noe større ved planglassproduksjon, og når vi ser bort fra gevinsten ved energigjenvinning av karmene, er det umulig å skille de to systemene. Argumentet for planglassproduksjon var knyttet til en henvisning til hvilken kvalitet som behøves på råvaren. Dersom man skal gjenvinne materialer til planglass, så behøves det eksisterende planglass for å få det til. Gjenvinning til glassull burde ideelt sett også kunne gjennomføres ved å gjenvinne eksisterende glassull. Dette er et argument som ligner på det såkalte avfallshierarkiet, altså at man skal bruke ressurser til den høyest rangerte formen aller først, før man eventuelt benytter dem til lavere kvalitets material- eller energiformål.

5.1.1 Hva betyr det om stolpene er positive eller negative?

Det kan være forvirrende at det ganske mange steder er beskrevet negative utslipp og begreper som «miljønytte» og «miljøulempe». Prosjektet inneholder analyser av behandling av avfall fra avfallet har oppstått til det igjen kan bli til nye produkter eller havner på deponi. Det betyr at vi ikke har tatt med den opprinnelige produksjonen av vinduet i resultatene, og det er altså ikke slik at det vil lønne seg å produsere en hel mengde vinduer bare for å sende dem rett til materialgjenvinning.

På grunn av dette valget om systemgrenser er langt de fleste resultatene i prosjektet gitt som negative stolper – de angir altså negative utslipp. I seg selv er negative utslipp bare tull, så det er viktig å forstå at de negative utslippene er relative til et annet system. Det er altså utslipp som spares fordi man ikke må ta i bruk andre materialer eller energikilder. Slike forutsetninger om spart produksjon kan være søkte og er avhengig av om hvilken etterspørselstetthet produktene har. Sann sett kan noen av resultatene innebære urealistiske gevinster

5.1.2 Hvilke andre forhold kunne eller skulle vært behandlet?

Hele årsaken til at det finnes et system for å samle inn og behandle såkalte PCB-ruter er for å unngå giftige elementer i miljøet. Vi har likevel ikke vært i stand til å tallfeste gevinsten innenfor miljøbelastningskategorier knyttet til toksisitet. Det skyldes at vi ikke kunne finne klorparafiner i noen av modellene som skal brukes for å beregne toksisitet. Det ville uansett være utfordrende å kvantifisere mengden PCB, klorparafiner, ftalater, og andre potensielt farlige stoffer i systemene, men både Ruteretur og andre aktører har gjort analyser og stikkprøver av ulike vinduer og på tross av store variasjoner, kan man slå fast at dagens system for innsamling og behandling sikrer at farlige stoffer i mindre grad kommer på avveie enn om det ikke var forsvarlig innsamling og behandling. Et strukturert innsamlingssystem vil sannsynligvis også i framtiden garantere at ruter som potensielt inneholder farlige stoffer ikke forbrennes i anlegg med for lave temperaturer.

I denne analysen har ikke de jomfruelige råvarene til glassull- og planglassproduksjon fått så store belastninger som de i grunnen skulle hatt. Dette skyldes at sand ikke kategorisert som en kritisk ressurs i LCA-databasen, og det er heller ikke lagt inn noen spesiell arealbruk knyttet til uttak av sand. Europa importerer sand som kan brukes til planglass- og glassullproduksjon fra store deler av verden og spesielt Sør-Amerika og det kan være grunn til å tallfeste også denne ressursen som en kritisk ressurs og vesentlig arealbruk. Dette vil gi materialgjenvinning et enda større positivt bidrag.

Som nevnt under argumentasjonen for hvorfor man burde prioritere enten glassull- eller planglassproduksjon, så vil ulike applikasjoner kreve ulike kvaliteter på råvaren og planglass krever finere ressurser enn hva tilfellet er for glassull. EU har laget en beregning for indikator for materialgjenvinning som kalles Circular Footprint Formula («sirkulært fotavtryksformel»). Denne skal kunne benyttes til å sammenligne gjenvinning til ulike kvaliteter. Dersom man driver såkalt «nedsirkulering» (downcycling) hvor produktene fra gjenvinning har lavere kvalitet enn den opprinnelige råvaren, skal dette fanges opp i relevante indikatorer. Med dypere innsikt i forskjellen i kvalitet på planglass og glassull kunne vi gått dypere inn i denne problemstillingen. Nå har vi ikke fanget opp eventuelle kvalitetsforskjeller i endeproduktene fra gjenvinning og planglass har sannsynligvis ikke fått fremhevet den fordelen gjenvinning tilbake til samme produkt vil gi. Dersom man gjenvinner til planglass kan glasset senere gjenvinnes til enten nytt planglass eller glassull, mens det for glassull ikke vil være mulig å oppgradere til planglass.

5.1.3 Hvor viktige er transportsystemene for resultatene?

Som gitt i systembeskrivelsen har vi for vinduer som transporteres på stativ beregnet fem ganger så høy belastning som for materialer på en ordinær lastebil. Det betyr det samme som at man kjører fem ganger så langt med et vindu på stativ som om man ikke har stativ. I sammenligninger av oppsett med dagens system eller et system der fjerning av karm skjer på 5 mottakssteder ser vi tydelig at man kan oppnå miljømessige fordeler ved å fjerne karmer flere steder i Norge, og få en mer effektiv transport av glass til materialgjenvinning.

Samtidig kan vi se at transport utgjør en vesentlig andel, men ikke den mest vesentlige andelen av de fleste scenarioene innenfor de fleste miljøbelastningskategoriene.

5.2 Diskusjon: i hvor stor grad kan vi stole på funnene?

Dersom dette skulle vært en LCA av et produkt, for eksempel som grunnlag for en såkalt miljødeklarasjon (EPD, fra engelsk Environmental Product Declaration), ville det være på sin plass med en usikkerhetsanalyse knyttet til dataene som er benyttet. Da vil det være enda større krav til nøyaktighet i de absolutte tallene. I

analysene utført i dette prosjektet, handler det mer om å lage relative resultater for ulike løsninger. Det gir et litt mindre krav til at de absolutte tallene skal være riktige, men et større krav til at systemene er bygd opp slik at sammenligningene blir på samme nivå og rettferdige.

Alle scenarioene er bygd opp fra opplysninger gitt av pålitelige aktører i systemet i dag, mens framskrivninger gjort basert på dagens mengder av vinduer som benyttes og som samles inn, og andre systemendringer basert på nasjonale strategier og mål og utvikling de seneste år. Til sammen gir det tillitsverdige data som grunnlag for systemene som er modellert og analysert.

Vi har beskrevet at det å unngå problemskifter er en viktig del av LCA og at vi derfor har inkludert mange ulike miljøbelastningskategorier. Det er likevel viktige miljøforhold som muligens er utelatt. Vi har for eksempel nevnt at vi ikke har kunne slå sammen kvantitative resultater for toksisitet fordi vi ikke finner toksisitetsdata for klorparafiner. Biologisk mangfold er en annen viktig miljøbelastningskategori der det ikke finnes spesielt gode modeller for kvantifisering. Vi har uttrykt at vi har benyttet arealbruk som en tillemping for å se på biologisk mangfold, men dette er nok bare delvis riktig. Selvfølgelig vil også kategoriene knyttet til forurensing være knyttet til biologisk mangfold, men det er vanskelig å summere de ulike kategoriene for å gi et tall. Det er uansett brukt et antall kategorier som bør gi en god grad av sikkerhet på at viktige miljøforhold er dekket.

Vi har brukt konservative data når det gjelder transporter, produksjonsprosesser og besparelser, uten å diskriminere mellom ulike systemer. Det betyr at det nok er mulig at miljøprestasjonen til systemene er enda bedre enn vist her, men på grunn av for eksempel usikkerhet rundt etterspørselssensitiviteter mener vi dette er en riktig fremstilling.

5.3 Konklusjoner fra analysene

Resultatene fra analysene gjennomført i dette prosjektet viser at det er miljømessig gunstig å materialgjenvinne vinduer og ruter i størst mulig grad.

Vi har sammenlignet materialgjenvinning til glassull og til planglass og funnet at resultatene for disse to systemene i hovedsak er så like at de er vanskelige å skille. For mange scenarioer kommer gjenvinning til glassull best ut, men det skyldes i hovedsak litt kortere transportavstander og at det i liten grad er differensiert mellom behandlingsløsningene. I et framtidig system med færre eller ingen PCB-ruter, og tilsvarende mindre strenge krav til anleggene der forbrenning av karmen skal foregå, vil man forbrenne disse ved norske anlegg og få mindre gevinst fra trekarmer til erstatning for fossile energikilder i fjernvarmeproduksjon.

Transport har i de aller fleste miljøbelastningskategorier mindre å si enn vi hadde forventet da analysene ble satt opp, mens karmen mange steder har mere å si. Det er også delvis overraskende at materialgjenvinning til glassull og planglass gir så klare positive resultater for alle undersøkte årstall.

6 Referanser

- CEN. (2019). EN 15804:2012+A2:2019 Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products. In (pp. 55). Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.
- Departementene. (2021). *Nasjonal strategi for ein grønn, sirkulær økonomi*. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/contentassets/f6c799ac7c474e5b8f561d1e72d474da/t-1573n.pdf>
- Ecoinvent (2023). Ecoinvent 3.9. LCA-database.
- Fortum (2023) *Personlig kommunikasjon om data knyttet til forbrenning av vinduer*.
- Glass og Fasadeforeningen (2019). *Håndtering av vinduer og bygningsglass som skal gjenvinnes, ombrukes eller deponeres*. Oslo: Glass og Fasadeforeningen. Tilgjengelig på: https://www.glassportal.no/wp-content/uploads/2019/08/Avfallshandtering_av_Bygningsglass.pdf
- GLAVA (2023). *Personlig kommunikasjon om data knyttet til produksjon av glassull, spesielt material- og energibruk*.
- Norsk Gjenvinning (2023) *Personlig kommunikasjon om data knyttet til innsamlings- og behandlingssystem for PCB-ruter og for ruter og vinduer totalt*.
- Prado-Lopez, V., Seager, T. P., Chester, M., Laurin, L., Bernardo, M., & Tylock, S. (2014). Stochastic multi-attribute analysis (SMAA) as an interpretation method for comparative life-cycle assessment (LCA). *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(2), 405-416. doi:10.1007/s11367-013-0641-x
- PRé (2023) *SimaPro LCA software*, Tilgjengelig fra PRé sustainability: <https://pre-sustainability.com/solutions/tools/simapro/>
- Ragn-Sells (2023) *Personlig kommunikasjon om data knyttet til innsamlingssystem for PCB-ruter og for ruter og vinduer totalt*.
- Ruteretur (2023) *Personlig kommunikasjon om data knyttet til innsamlingssystem for PCB-ruter og for ruter og vinduer totalt*.
- Steinmann, Z. J. N., Schipper, A. M., Hauck, M., & Huijbregts, M. A. J. (2016). How Many Environmental Impact Indicators Are Needed in the Evaluation of Product Life Cycles? *Environmental Science and Technology*, 50(7), 3913-3919. doi:10.1021/acs.est.5b05179
- Saint Gobain (2023). *Personlig kommunikasjon om data knyttet til produksjon av planglass, spesielt material- og energibruk*.
- Øvrebø, O. A. (2023). *Utslippsfordelingen. Klimagassutslipp per innbygger*. Energi og klima. Tilgjengelig på: <https://energiogklima.no/klimavakten/utslipp-per-innbygger/>

Vedlegg 1 Intervjuguide til gjenvinningsbedrifter, innsamlere og produsenter av ruter eller produkter fra gjenvinning av ruter

Denne intervjuguiden er nettopp en guide og ikke en liste som må følges slavisk. Den gir oppspill til spørsmål som kan og bør stilles, men det er også avhengig av hva rollen til den som intervjues er.

Tema 1: Bakgrunn/historikk

1. Innledningsvis vil vi gjerne høre litt om din rolle/stilling. Hva har du ansvaret for, og hvor lenge har du hatt den rollen?
2. Er du involvert/hatt oppgaver knyttet til/jobbet opp mot innsamling eller gjenvinning av ruter?
 - 2.1. Hvis ja, hvilke oppgaver har du?
 - 2.2. Hvor lenge har du hatt slike oppgaver?
3. Utfører dere innsamling eller gjenvinning av ruter? Har du andre oppgaver knyttet til systemer for innsamling eller gjenvinning av ruter?
 - 3.1. Samler dere inn ruter i dag?

Tema 2: Innsamling av ruter (dagens system)

1. Har dere et system for innsamling av ruter?

Hvis ja:

 - 1.1. Hvordan ser dette systemet ut?
 - 1.2. Hvordan ble systemet etablert?
 - 1.3. Henter dere ruter eller leveres ruter til dere eller er det en kombinasjon?
 - 1.4. Hvor mange steder i Norge lagres ruter?
 - 1.5. Hvordan håndteres ulike ruter (PCB-, klorparafin-, «nyere»)? Hvilke prosesser inngår?
 - 1.6. Transporteres rutene eller deler av dem videre fra mottak?
2. Hvordan transporteres ruter eller deler av ruter fra mottak?
 - 2.1. Hvor transporteres de?
 - 2.2. Hva slags lastebiler benyttes? (Er det spesielle krav til bil? Kjenner dere drivstofforbruk?)
 - 2.3. Hvor mange ruter eller hvor mye transporteres på hver bil?
 - 2.4. Er det forskjeller mellom de ulike rutetypene?
 - 2.5. Er det spesielle hensyn som må tas?

Tema 3: Gjenvinning av ruter (dagens system)

1. Hvordan gjenvinnes ruter i dag?
 - 1.1. Hvordan gjenvinnes glasset?
 - 1.2. Hvordan gjenvinnes karm og åpne-/lukkemekanisme?
2. Hvor mange ruter gjenvinnes av hver type?
3. Hva skjer med ruter som ikke går til gjenvinning?
4. Er det lik håndteringsmåte for de tre rutetypene?
5. Hva slags maskiner kreves for å klargjøre rutene for gjenvinning?
6. Hvor går glass og eventuelle andre materialfraksjoner etter klargjøring for gjenvinning?
7. Hvor mye glass (og eventuelle andre materialfraksjoner) går til gjenvinning?
8. Hvor mye tap er det i gjenvinningsprosessene?
9. Er det underskudd eller overskudd av de materialene som gjenvinnes?
10. Hva erstatter materialene som gjenvinnes?

Tema 4: Fremtidig system for innsamling og gjenvinning av ruter

Dette temaet skal bare tas opp når det gjelder gjenvinning til planglass. Per i dag skal ikke de ulike aktørenes mulige interesser få for stor plass i informasjonsinnhenting.

1. Er det deler av mottakssystemet som kunne vært, eller kan bli, annerledes?
 - 1.1. Hvordan fungerer mottakssystemet?
 - 1.1.1. Er det riktig antall mottak?
 - 1.1.2. Hva er ulempen ved ikke å samle inn ruter fra før 1979 eller før 1990?
 - 1.1.3. Hvilke aktiviteter gjøres på mottak?
 - 1.1.4. Kunne mottakene hatt andre funksjoner enn i dag – for eksempel ta ut glass fra karm?
2. Er det deler av transportsystemet som kunne vært, eller kan bli, annerledes?
 - 2.1. Hvordan fungerer transportsystemet?
 - 2.1.1. Er det riktig måte å transportere ruter på i dag?
 - 2.1.2. Kunne det vært gjort endringer i transportsystemet om flere eller færre aktiviteter ble gjort på mottak?
 - 2.1.3. Hva ville vært en ideell transportløsning for ruter?
3. Er det deler av gjenvinningssystemet som kunne vært, eller kan bli, annerledes?

3.1. Hvordan fungerer gjenvinningssystemet?

3.1.1. Er det andre ting materialene kunne blitt gjenvunnet til?

3.1.2. Er det behov for mer materialer til gjenvinning?

Avslutning

Vi har nå kommet til veis ende i intervjuet, men før vi avslutter vil vi gjerne stille deg to avsluttende spørsmål:

1) På bakgrunn av det vi nå har snakket om; hva vil du si at dere lykkes spesielt godt med per i dag med hensyn til gjenvinning av ruter, og hvor er det rom for forbedring?

2) Er det noen områder som vi ikke kom inn på, som du hadde forventet at vi skulle dekke/som du tenker det er fornuftig at vi følger opp videre

Takk for intervjuet!

Vedlegg 2 Behandlingstyper og antall i hvert scenario

Det kan være vanskelig å holde styr på antall ruter og antall karmer som går til ulike behandlingsmåter i hvert scenario. Nedenfor er det gitt en tabell som angir mengder av henholdsvis karmer og ruter til hver behandlingsform og hver type transport.

Bokstav- og tallkodene T1 til T5b betegner ulike transportetapper fra transport fra bygg til lokalt avfallsmottak (T1), via transport til regionalt mottak (T2a eller T2b) og eventuell transport til sentralt mottak (T3), til transport av PCB-karmer til forbrenning (T4a og T4b) og transport av materiale til materialgjenvinning (T5a og T5b). Disse transportavstandene varierer avhengig av hvilken behandlingsform som velges.

Tabell 3 Mengder som går til ulike behandlingsformer i de ulike scenarioene på ulike tidspunkter

Scenario	Årstall	T1	T2a	T2b	T3	T4a	T4b	T5a	T5b	Glass til forbrenning	Glass til glassull	Glass til planglass	Ramme forbrenning Norge	Ramme forbrenning Sverige	Ramme forbrenning Tyskland
Scenario 0a - dagens system	2023	633 000	633 000	0	223 500	33 000	0	223 500	0	412 000	223 500	0	600 000	11 352	21 681
Scenario 1a - fremtid PCB til glassull	2023	633 000	0	633 000	0	0	33 000	0	223 500	412 000	223 500	0	600 000	11 352	21 681
Scenario 1b - fremtid klorparafin og PCB til glassull	2023	633 000	0	633 000	0	0	33 000	0	449 500	183 500	449 500	0	600 000	11 352	21 681
Scenario 1c - alle ruter til glassull	2023	633 000	0	633 000	0	0	33 000	0	633 000	0	633 000	0	600 000	11 352	21 681
Scenario 2a - fremtid PCB til planglass	2023	633 000	0	633 000	0	0	33 000	0	223 500	409 500	190 500	33 000	600 000	11 352	21 681
Scenario 2b - fremtid klorparafin og PCB til planglass	2023	633 000	0	633 000	0	0	33 000	0	449 500	183 500	66 500	383 000	600 000	11 352	21 681
Scenario 2c - alle ruter til planglass	2023	633 000	0	633 000	0	0	33 000	0	633 000	0	633 000	0	600 000	11 352	21 681
Scenario 3a - fremtid PCB til forbrenning	2023	633 000	0	633 000	0	0	33 000	0	190 500	442 500	190 500	0	600 000	11 352	21 681
Scenario 3b - fremtid klorparafin og PCB til forbrenning	2023	633 000	0	633 000	0	0	33 000	0	66 500	566 500	66 500	0	600 000	11 352	21 681
Scenario 3c - alle ruter til forbrenning	2023	633 000	0	633 000	0	0	33 000	0	0	633 000	0	0	600 000	11 352	21 681
Scenario 1a - fremtid PCB til glassull	2030	1 165 000	0	1 165 000	0	0	10 000	0	411 339	753 661	411 339	0	1 155 000	3 440	6 570
Scenario 1b - fremtid klorparafin og PCB til glassull	2030	1 165 000	0	1 165 000	0	0	10 000	0	827 279	337 721	827 279	0	1 155 000	3 440	6 570
Scenario 1c - alle ruter til glassull	2030	1 165 000	0	1 165 000	0	0	10 000	0	1 165 000	0	1 165 000	0	1 155 000	3 440	6 570
Scenario 2a - fremtid PCB til planglass	2030	1 165 000	0	1 165 000	0	0	10 000	0	360 604	804 396	350 604	10 000	1 155 000	3 440	6 570
Scenario 2b - fremtid klorparafin og PCB til planglass	2030	1 165 000	0	1 165 000	0	0	10 000	0	766 544	398 456	122 389	644 155	1 155 000	3 440	6 570
Scenario 2c - alle ruter til planglass	2030	1 165 000	0	1 165 000	0	0	10 000	0	1 165 000	0	0	1 165 000	1 155 000	3 440	6 570
Scenario 3a - fremtid PCB til forbrenning	2030	1 165 000	0	1 165 000	0	0	10 000	0	350 604	814 396	350 604	0	1 155 000	3 440	6 570
Scenario 3b - fremtid klorparafin og PCB til forbrenning	2030	1 165 000	0	1 165 000	0	0	10 000	0	122 389	1 042 611	122 389	0	1 155 000	3 440	6 570
Scenario 3c - alle ruter til forbrenning	2030	1 165 000	0	1 165 000	0	0	10 000	0	0	1 165 000	0	0	1 155 000	3 440	6 570
Scenario 1a - fremtid PCB til glassull	2045	1 400 000	0	1 400 000	0	0	0	0	494 313	905 687	494 313	0	1 400 000	0	0
Scenario 1b - fremtid klorparafin og PCB til glassull	2045	1 400 000	0	1 400 000	0	0	0	0	994 155	405 845	994 155	0	1 400 000	0	0
Scenario 1c - alle ruter til glassull	2045	1 400 000	0	1 400 000	0	0	0	0	1 400 000	0	1 400 000	0	1 400 000	0	0
Scenario 2a - fremtid PCB til planglass	2045	1 400 000	0	1 400 000	0	0	0	0	421 327	978 673	421 327	0	1 400 000	0	0
Scenario 2b - fremtid klorparafin og PCB til planglass	2045	1 400 000	0	1 400 000	0	0	0	0	921 169	478 831	147 077	774 092	1 400 000	0	0
Scenario 2c - alle ruter til planglass	2045	1 400 000	0	1 400 000	0	0	0	0	1 400 000	0	0	1 400 000	1 400 000	0	0
Scenario 3a - fremtid PCB til forbrenning	2045	1 400 000	0	1 400 000	0	0	0	0	421 327	978 673	421 327	0	1 400 000	0	0
Scenario 3b - fremtid klorparafin og PCB til forbrenning	2045	1 400 000	0	1 400 000	0	0	0	0	147 077	1 252 923	147 077	0	1 400 000	0	0
Scenario 3c - alle ruter til forbrenning	2045	1 400 000	0	1 400 000	0	0	0	0	0	1 400 000	0	0	1 400 000	0	0

Visjonen til NORSUS Norsk institutt for bærekraftsforskning AS, tidligere Østfoldforskning AS, er å bidra til bærekraftig samfunnsutvikling. Vi utvikler kunnskap og metoder for å forstå og implementere bærekraft bedre i samfunnet. Sammen med bedrifter og offentlige aktører kartlegger og reduserer vi miljøbelastninger, ofte med økonomisk gevinst. Slik bidrar vi til å bevege samfunnet i en bærekraftig retning.