



LCA-vurdering af BSM-KMA-bærelag Udarbejdet for SR-Gruppen A/S

Opgave nr. 959894

22. marts 2021



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



1 GENERELT

1.1 REKVIRENT

SR-Gruppen A/S

Fuglesangsalle 14

6600 Vejen

Kontaktperson: Morten Larsen

1.2 LCA UDVIKLER



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Asger Wendt Karl

Intern KS: Morten S. Kokborg, Ole Grann Andersson

Gregersenvvej

2630 Taastrup

1.3 DATO

LCA-studiet er udført december 2020 - marts 2021.

1.4 KRITISK REVIEW

Kim Christiansen, kimconsult.dk, har som uafhængig 3. part gennemført et kritisk review af nærværende LCA-studie rapport efter retningslinjerne i ISO 14044:2008. 20 punkter blev listet til diskussion med den udførende af LCA-studiet. De er listet i anneks X sammen med besvarelser fra udførende. Derudover er der foretaget en række sproglige rettelser og forbedringsforslag, som ikke er medtaget i annekset.

Kravene i ISO 14044:2008 til kritisk review fremgår af afsnit 6.

- metoderne anvendt til at udføre livscyklusvurderingen er i overensstemmelse med denne internationale standard
- metoderne anvendt til at udføre livscyklusvurderingen er videnskabeligt og teknisk gyldige
- de anvendte data er hensigtsmæssige og fornuftige i forhold til vurderings formål
- fortolkningerne afspejler de identificerede begrænsninger og vurderingens formål
- vurderingsrapporten er gennemskuelig og konsekvent.

Med de gennemførte tilretninger og suppleringer af rapporten, kan jeg hermed erklære, at disse krav er opfyldt.

Søborg, 2021.03.20

Kim Christiansen

2 INTRODUKTION

Denne rapport dokumenterer, på baggrund af en LCA-vurdering udført efter anerkendte principper, den klimamæssige gevinst (besparelse målt i CO₂-ækvivalenter) ved anvendelse af BSM-bærelag i en vejbefæstelse i stedet for traditionelle, varmblandede asfaltbærelag med samme bæreevne.

BSM, som er en forkortelse for Bitumen-Stabiliseret Materiale, er et i Danmark nyt belægningskoncept for fremstilling af koldblandet asfalt. BSM fremstilles af granuleret genbrugsasfalt, som i en kold blandeproces tilsættes ca. 0,8% cement som klæbeaktiv filler, ca. 2-3 procent processvand (for bearbejdelse under udlægning) samt ca. 2,0-2,2% ny bitumen, tilsat som skumbitumen. Sidstnævnte fremstilles ved at injicere ganske små mængder vand in-line i varm bitumen umiddelbart inden dosering i blanderen. Derved skummer bitumen op og sikrer en forbedret fordeling af bindemidlet trods den relativt lave tilsætningsmængde. Slutproduktet bliver et "punkt-bundet" bærelag med egenskaber og bæreevne, som ligger et sted imellem



TEKNOLOGISK INSTITUT

ubundne grusbærelag og traditionelle varmblandede asfaltbærelag. Udenlandske erfaringer viser, at BSM ofte kan erstatte de traditionelle, varmblandede asfaltbærelag. BSM afsluttes dog normalt altid med et traditionelt asfaltslidlag af hensyn til optimal slidstyrke overfor den direkte trafikpåvirkning.

BSM har en interessant bæredygtighedsprofil: Da fremstillingsprocessen ikke kræver opvarmning af hverken stenmaterialet eller det færdige BSM-produkt opnås en meget stor energibesparelse – og dermed også CO₂-besparelse, hvis energien kommer fra fossile brændsler. Materialet fremstilles endvidere af genbrugsasfalt og kræver derfor ingen sprængning, knusning eller import af klippesten fra udlandet eller råvaretransporter af sten, grus og sand udvundet af danske grusgraves stadig mere knappe ressourcer. BSM's høje grad af genbrugsanvendelse sikrer således både et lavt CO₂-aftryk og en optimal cirkulær ressourceøkonomi. Denne rapport belyser BSM fremstillet efter KMA-princippet (Kold Mix Anlæg), hvor BSM fremstilles af forud affræset eller knust asfalt i et mobilt blandedanlæg.

BSM kan principielt både benyttes til nyanlæg af veje og til rehabilitering af eksisterende veje, hvor den gamle, udtjente belægning kan genanvendes på stedet i form af ny BSM. I førstnævnte tilfælde opstilles mobilværket typisk på en plads ved siden af den til rådighed værende genbrugsasfaltbunke, f.eks. ved en asfaltfabrik, nedbrydningsentreprenør eller kommunal oplagsplads. I tilfælde af rehabiliteringsopgaver opstilles BSM-blandeanlægget typisk meget nær ved eller i direkte tilknytning til den berørte vejstrækning. Denne rapport belyser derfor begge situationer.

Danske asfaltveje opbygges normalt med bærelag af asfalttypen "GAB", som er en forkortelse for Grus-Asfalt-Beton. Der findes tre forskellige varianter af GAB-bærelag. GAB II er det simpleste produkt med lavest bindemiddelindhold og sten op til 32 mm, som typisk anvendes som bundlag på motorveje og andre tungt trafikerede veje. GAB I er et bærelag med lidt højere bindemiddelindhold og sten op til 22 mm og anvendes typisk som nedre bærelag på mindre til middeltrafikerede veje. GAB 0 har det højeste bindemiddelindhold og det laveste hulrum af de tre GAB-typer og indeholder typisk mere knust stenmateriale i en bedre kvalitet end GAB I og GAB II. GAB 0 anvendes som øvre bærelag på mindre til middeltrafikerede veje eller som eneste asfaltbærelag på lavt trafikerede veje/stier. Materialekrav for de forskellige typer fremgår af Vejdirektoratets vejregler¹. I denne rapport undersøges den miljømæssige effekt ved erstatning af traditionelle GAB-bærelag med BSM som nærmere beskrevet nedenfor.

Den nødvendige lagtykkelse af de enkelte lag i vejens opbygning afhænger af den forventede trafikbelastning og den ønskede levetid, som oftest sættes til 20 år. For let til middel trafikerede veje anvendes typisk standard "katalog"-opbygninger, som kan findes i Vejdirektoratets håndbog for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger². Katalogopbygningerne er opdelt i trafikklasser jf. nedenstående tabel:

Tabel 1: Trafikklasse definitioner

Trafik- klasse ¹⁾	Fleksible befæstelser til 10 og 20 års trafik (lagtykkelse i mm)					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Lastbiler pr. døgn ²⁾	Kun lette køretøjer ⁴⁾	< 1	1-65	65-120	120-560	560-1.200
Æ10- belastning ³⁾		0,5	0,5-20	20-50	50-200	200-500

Som tidligere nævnt synes det oplagt at undersøge i hvilken grad BSM har et interessant bæredygtighedsprofil og hvorvidt substitution af varmblandede GAB-bærelag med BSM vil kunne bidrage til en forventelig stor CO₂-reduktion. Hidtil er der dog ikke fremlagt sikre, officielle og dokumenterede beregninger af besparelsen. Dette er således baggrunden for udarbejdelsen af nærværende rapport, som tager udgangspunkt i en traditionel, dansk, asfaltbaseret vejbefæstelse i trafikkategori T3 henholdsvis T4 i henhold til Vejdirektoratets håndbog for dimensionering befæstelser og forstærkningsbelægninger, september 2017.

Da BSM endnu ikke indgår blandt mulighederne for dimensionering af befæstelser i overensstemmelse med Vejdirektoratets MMOPP dimensioneringsprogram, er der for dimensionering af bæreevne- og holdbarhedsmæssigt ækvivalente belægningsopbygninger med BSM anvendt et alternativt, men anerkendt, udenlandsk dimensioneringsprincip.

¹ Materialekrav 2020: [Vejregler.dk](http://vejregler.dk) - [Vejdirektoratets vejregler](http://vejregler.dk); AAB 2012: [Varmblandet asfalt \(AAB\)](http://vejregler.dk) (lovportaler.dk)

² Håndbog dimensionering: <https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/vd20170126?showExact=true>



TEKNOLOGISK INSTITUT

BSM-dimensioneringsberegningerne, som fremgår af rapportens bilag 1, er udarbejdet af sydafrikanske BSM-specialistrådgivere fra firmaet LOUDON International, som har mangeårig praktisk erfaring med anvendelse og dimensionering af BSM-belægninger i lande som f.eks. Sydafrika, Brasilien og USA. LOUDON har således opstillet belægninger som dimensioneringsmæssigt kan tage mindst samme trafik som de danske standard-katalogbefæstelser for T3 og T4. Der er i alle dimensioneringsberegninger forudsat "frosttvivlsom" underbund med et E-modul på 40 MPa, og der er anvendt en beregningsmæssigt forventet levetid på 20 år.

Det er i det gennemførte LCA-studie forudsat, at såvel de traditionelle asfaltbefæstelser som BSM-varianten anvender samme asfaltslidlag (65 kg/m² SMA 70/100), og at underliggende stabilt grus bærelag og bundsikringslag tilsvarende er identiske, ligesom de forventede holdbarheder for GAB/BSM løsninger antages at være identiske.

LCA-studiet kan således simplificeres til at omhandle forskellene imellem produktion og udlægning af de til T3 og T4 anvendte traditionelle GAB-bærelag og de dimensioneringsmæssigt ækvivalente og marginalt tykkere BSM-lag. Studiet omfatter således miljømæssige påvirkninger "fra vugge til vej", med et primært fokus på forskel i fossilt energiforbrug udtrykt i CO₂-ækvivalenter.

I beregningerne for CO₂-besparelser er der regnet samlet set 3 scenarier: der er både gennemregnet, hvor stor besparelsen bliver for BSM (scenarie 1) i forhold til jomfrueligt fremstillet varmblandet asfalt (scenarie 2) samt i forhold til varmblandet asfalt med et typisk indhold af genbrugsasfalt på 30% i GAB-0 og 40% i GAB-I (scenarie 3).



3 SAMMENFATNING

I rapporten er der på baggrund af de beskrevne forudsætninger gennemført LCA-beregninger til sammenligning af CO₂-aftrykket ved anvendelse af befæstelser, hvor der som bærelag henholdsvis er anvendt BSM og traditionel varmblandet asfalt, i form af GAB 0 og GAB I. For de varmblandede GAB-bærelag er der foretaget beregninger både for "jomfrueligt" fremstillet GAB bærelagsasfalt, og for GAB tilsat typisk anvendte mængder af genbrugsasfalt på hhv. 30% i GAB-0 og 40% i GAB-I. Belægningerne er alle dimensioneret, så de kan tåle trafikbelastning sv.t. trafikklasse T3 henholdsvis trafikklasse T4. Dette betyder at der i BSM-løsningerne anvendes 24%-25% tykkere bærelag end ved GAB-løsningerne for at opnå identisk bæreevne og levetid, når jordbundsforhold, ubundne grusbærelag og det afsluttende slidlag i øvrigt forudsættes identiske.

I praksis viser de gennemførte beregninger praktisk taget identiske resultater ved trafikklasse T3 og T4, hvorfor de afrundede gennemsnitsværdier oversigtsmæssigt er angivet nedenfor. Der er regnet på to forskellige scenarier, svarende til henholdsvis nyanlæg og rehabilitering (rekonstruktion af eksisterende vejbelægning).

Ved nyanlæg forudsættes BSM-produktionsanlægget opstillet samme sted som asfaltfabrikken og der anvendes samme type genbrugsasfalt og transportafstande. Ved rehabilitering forudsættes BSM-produktionsanlægget opstillet direkte ved vejen og at den anvendte genbrugsasfalt er affræset af gammel asfalt fra samme vej.

Energibesparelsen målt som CO₂-ækvivalenter er den mest interessante miljøpåvirkningskategori for kunden, da det er disse resultater der primært er efterspurgt i branchen, hvorfor der i resultaterne og konklusionerne er lagt særligt fokus på dette. Forskelle imellem de sammenlignede bærelag og asfalttyper er opgjort som besparelser i CO₂-ækvivalenter, præsenteret som reduktioner i %.

Tabel 3.1 viser energibesparelsen målt som CO₂-ækvivalenter, ved at anvende BSM-bærelag i stedet for en traditionel opbygning med GAB I og GAB 0:

Entreprisetyp	Nyanlæg		Rehabilitering	
	GAB uden genbrugsasfalt	GAB med genbrugsasfalt	GAB uden genbrugsasfalt	GAB med genbrugsasfalt
Procentvis CO ₂ -besparelse ved anvendelse af BSM i stedet for GAB	59%	51%	64%	58%
Sparet kg CO ₂ -eq/m ² ved anvendelse af BSM i stedet for GAB	7,7 – 8,7	5,7 – 6,4	8,8 – 10	6,8 – 7,7

Tabel 3.1: Hovedresultater fra LCA-analysen.

Den gennemførte følsomhedsanalyse viser, at CO₂-besparelsen kan øges med ca. 4-6% hvis man ikke indregner energiforbruget til knusning af genbrugsasfalt (hvis det forudsættes at den gamle asfalt under alle omstændigheder bliver nedknust til genanvendelse) og tilsvarende, hvis det anvendte gasforbrug til tørring og opvarmning af den varmblandede asfalt forøges 50% grundet årstid og vejrforhold. Sammenlagt kan disse forhold danne et scenarie, hvor energiforbruget til knusning af genbrugsasfalt udelades, samtidigt med en øgning af anvendt naturgasforbrug til GAB på 50%, og derved medføre en samlet forøget reduktion i CO₂-ækvivalenter på ca. 8-10%.



4 INDHOLD

1	Generelt.....	1
1.1	Rekvirent.....	1
1.2	LCA udvikler.....	1
1.3	Dato.....	1
1.4	Kritisk review	1
2	Introduktion	1
3	Sammenfatning	4
4	Indhold	5
4.1	Liste over forkortelser	7
5	Formål	7
6	Afgrænsning.....	8
6.1	Generelt	8
6.2	Funktionel enhed.....	8
6.3	Systemgrænse	9
7	Livscykluskortlægning (LCI)	11
7.1	Trafikklasser og Asfaltdensiteter	11
7.1.1	Asfaltdensiteter	11
7.1.2	Trafikklasse T3.....	11
7.1.3	Trafikklasse T4.....	12
7.2	Materialesammensætninger.....	13
7.2.1	BSM	13
7.2.2	GAB-0.....	13
7.2.3	GAB-I	14
7.3	Transportdistancer.....	14
7.4	Fremstillingsprocesser og Energiforbrug	14
7.4.1	Generelt	14
7.4.2	Elforbrug	14
7.4.3	Naturgasforbrug	15
7.4.4	Dieselforbrug	15
7.4.5	Klæbeemulsion.....	16
7.4.6	Genbrugsasfalt	16
7.5	Anvendte enhedsprocesser.....	16
7.5.1	Granit/Klippematerialer	16
7.5.2	Grusgravsmaterialer.....	16
7.5.3	Bitumen.....	16
7.5.4	Klæbeemulsion.....	17
7.5.5	Cement	17
7.5.6	Processvand.....	17
7.5.7	Methylenklorid.....	17
7.5.8	Kalkfiller	17



7.5.9	Energikilder	17
7.5.10	Dieseldrevne maskiner	18
7.5.11	Transportprocesser	18
7.6	Kilder til generisk data	19
7.7	Datavalidering	20
8	Vurdering af potentielle miljøpåvirkninger (LCIA)	22
8.1	LCIA procedurer og beregninger	22
8.2	Samlede LCIA resultater	24
8.3	Relation mellem LCIA og LCI resultater	26
8.3.1	Indvirkning på LCIA resultater ved inklusion af genbrugsasfalt	26
8.3.2	Relation i LCIA resultater mellem BSM belægning og standard belægning	26
9	Livscyklus fortolkning	28
9.1	Resultater	28
9.1.1	Miljøbelastning af asfalttyper pr. ton asfalt	28
9.1.2	Miljøbelastning af udlagt bærelag pr. m ²	28
9.1.3	Globalt opvarmningspotentiale af asfaltbærelag pr m2	34
9.2	Usikkerhed	37
9.3	Følsomhedsanalyser	37
9.3.1	Følsomhed af udeladt affræsning af genbrugsasfalt	38
9.3.2	Følsomhedsscenarie: Dieselforbrug til knusning/oparbejdning af genbrugsasfalt udeladt af analysen.	38
9.3.3	Følsomhedsscenarie: Naturgasforbrug til fremstilling af GAB-0 og GAB-I øget med 50%.	42
9.3.4	Opsummering	45
9.4	Værdibaserede valg, rationaler og ekspertvurderinger	47
9.4.1	Ekspertvurdering af typiske asfaltsammensætninger	47
9.4.2	Ekstern dimensionering af BSM-baseret opbygning	47
10	Alternativt scenarie for rehabiliteringsløsning	48
10.1	Opbygning	48
10.2	Systemgrænse	48
10.3	Livscykluskortlægning	48
10.4	Vurdering af potentielle miljøpåvirkninger	49
10.5	Livscyklus fortolkning	50
11	Konklusion	52
12	Referencer	54
12.1	Databaser	54
12.2	Standarder	54
12.3	Publikationer	54
12.4	Hjemmesider	54
13	GaBi 10.0 model	55



4.1 LISTE OVER FORKORTELSER

1. GAB: Grusasfaltbeton
2. SMA: Skærvemastiks
3. BSM: Bitumen Stabiliseret Materiale
4. KMA: Kold Mix Anlæg
5. AAB: Almindelig Arbejdsbeskrivelse

5 FORMÅL

LCA-studiet, som er dokumenteret i nærværende rapport, er gennemført med det formål at lave en sammenlignende vurdering af to forskellige typer af bærelag til vejbefæstelser. LCA-studiet er gennemført med udgangspunkt i kravene i ISO 14044:2008 af Asger Wendt Karl, Teknologisk Institut. Kim Christiansen, kimconsult.dk, har gennemført et kritisk review af rapporten.

Bærelagene skal udfylde samme funktion, og understøtte vejbefæstelser til trafikklasserne T3 eller T4, se Tabel 1 for trafikklasse definitioner.

De to bærelag, der optræder i denne rapport, er:

1. En ny type bærelag af koldblandet asfalt, hvis bæredygtighedsprofil ønskes sammenlignet med et standard bærelag for samme trafikklasse. Den nye befæstelsestype består, foruden traditionel opbygning af bundsikring og stabilt grus af et bærelag af BSM (Bitumen Stabiliseret Materiale), som er en koldblandet asfalttype med genbrugsasfalt som den primære bestanddel, som afdækkes med et slidlag bestående af "traditionel", varmblandet SMA (Skærvemastiks).
2. Til sammenligning bruges en reference befæstelse med samme bundsikring og stabilt grus bærelag, men hvor asfalten er baseret på standard varmblandet asfalt fra vejreglerne³. Denne standard befæstelse er opbygget med asfaltbærelag af GAB-0 og GAB-I (Grusasfaltbeton) asfalt, med et afsluttende asfaltslidlag bestående af SMA. Belægningen til standardbefæstelsen er direkte hentet fra belægningskataloget i Vejdirektoratets "Håndbog for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger", for henholdsvis trafikklasse T3 og T4.

Den primære forskel er fremstillingsprocesserne, hvor GAB-0, GAB-I, og SMA er varmblandede, til forskel for den koldblandede BSM, samt sammensætningerne, hvor SMA og delvis GAB-0 indeholder klippematerialer fra Norge, se afsnit 7.2.2. Det er i LCA-analysen forudsat, at der typisk tilsættes genbrugsasfalt i GAB-0 og GAB-I i mængder af hhv. 30% og 40%. Resultaterne vil præsentere scenarier for hver af de to trafikklasser T3/T4, for både den BSM baserede opbygning og standard opbygningen, samt resultater med og uden genbrugsasfalt i typerne GAB-0 og GAB-I.

Der er i samtlige dimensioneringsberegninger forudsat underbund af "frostvivlsom" karakter, svarende til et E-modul på 40 MPa, jf. forudsætningerne i Vejdirektoratets standard katalogbefæstelser⁴.

Levetiden er sat til 20 år svarende til Vejdirektoratets standard for alle alternativer.

Formålet med LCA-studiet er således:

1. At kvantificere og dokumentere forskellene i potentielle miljøpåvirkninger – se i afsnit 8 - imellem disse to typer bærelag (BSM-løsningen kontra varmblandet GAB-løsning til samme trafik), med udelukket virgine materialer.
2. At kvantificere og dokumentere forskellene i potentielle miljøpåvirkninger – se i afsnit 8 - imellem disse to typer bærelag, med genbrugte materialer inkluderet i GAB-0 og GAB-I.
3. Identificere de materialer eller stoffer, som bidrager mest til miljøpåvirkningerne.

³ [Vejregler.dk - Vejdirektoratets vejregler](#)

⁴ [Vejregler.dk - Vejdirektoratets vejregler](#) – tabel 13, Afsnit 5



6 AFGRÆNSNING

6.1 GENERELT

Livscyklusvurderingen tager udgangspunkt i færdige udlagte asfaltbelægninger, dimensioneret til at modstå den trafikklasse der regnes med, og inkluderer alle processer op til og med udlægningen. Brugsfasen og bortskaffelsesfasen for de færdige udlagte asfaltbelægninger er ikke medtaget. Se systemgrænser på Figur 1 og Figur 2.

Da der er tale om en sammenlignende LCA, kan alle processer der er identiske for systemerne udelades. I denne analyse udelades alle lag der ligger under asfalten, dvs. jord og grus, da disse ifølge dimensioneringerne for belægningerne er identiske for begge trafikklasser, der undersøges. Slidlaget udelades også, da BSM bærelaget dimensioneres af Loudon til at understøtte et slidlag af samme tykkelse som standardopbygningen, således at slidlaget for begge belægninger er 25 mm, og derfor ikke medtaget i analysen.

Alle processer efter udlagt belægning vurderes også at være identiske, herunder brug og vedligehold, samt reparationer og udskiftninger. Ved udskiftninger af slidlaget vil det øverste slidlag blive affræset, og udlagt på ny, men dette forventes ikke påvirket signifikant af eventuelle små forskelle i slidlagets originale tykkelse, og antages derfor også at være identisk for begge systemer.

Genbrugsasfalt er modelleret uden bidrag fra den oprindelige asfaltproduktion, og betragtes som et affaldsprodukt, forekommende på asfaltproduktionsstedets lagerplads. Der er medregnet dieselforbrug til oparbejdning af genbrugsasfalten herunder til opfræsning og knusningen af denne f.eks. på lokal asfaltfabrik. Der er ikke medtaget dieselforbrug til opfræsningen, da dette projekt omfatter udlægning af en ny asfaltbelægning. Da genbrugsasfalten forudsættes at findes på lager på asfaltfabrikken, skal der ikke indregnes transport af genbrugsasfalt – kun håndtering internt på pladsen som for alle andre asfaltråvarer. Opfræsning af genbrugsasfalten vurderes efter samme princip som tilhørende en anden livscyklus, hvor den proces ligger før "end-of-waste". Se afsnit 9.3.1 for følsomhedsanalyse.

Hovedscenariet i denne LCA berører ny konstruktion af bærelag til asfaltbelægninger, der er derfor ikke medregnet en eksisterende asfaltbelægning, eller nedrivning og transport af denne. Der regnes i afsnit 0 et alternativt scenarie, hvor en eksisterende asfaltbelægning renoveres. Dette er af interesse, da BSM løsningen kan inkorporere eksisterende asfaltbelægning på byggepladsen, uden behov for først at transportere den væk. Hvor der ved rehabilitering med traditionel varmblandet asfalt er behov for, først at transportere denne væk fra pladsen.

6.2 FUNKTIONEL ENHED

De to systemer der sammenlignes, er valgt for at repræsentere typisk forekommende belægninger, og for at fremhæve de potentielle forskelle imellem dem for to scenarier: Nyetablering og rehabilitering

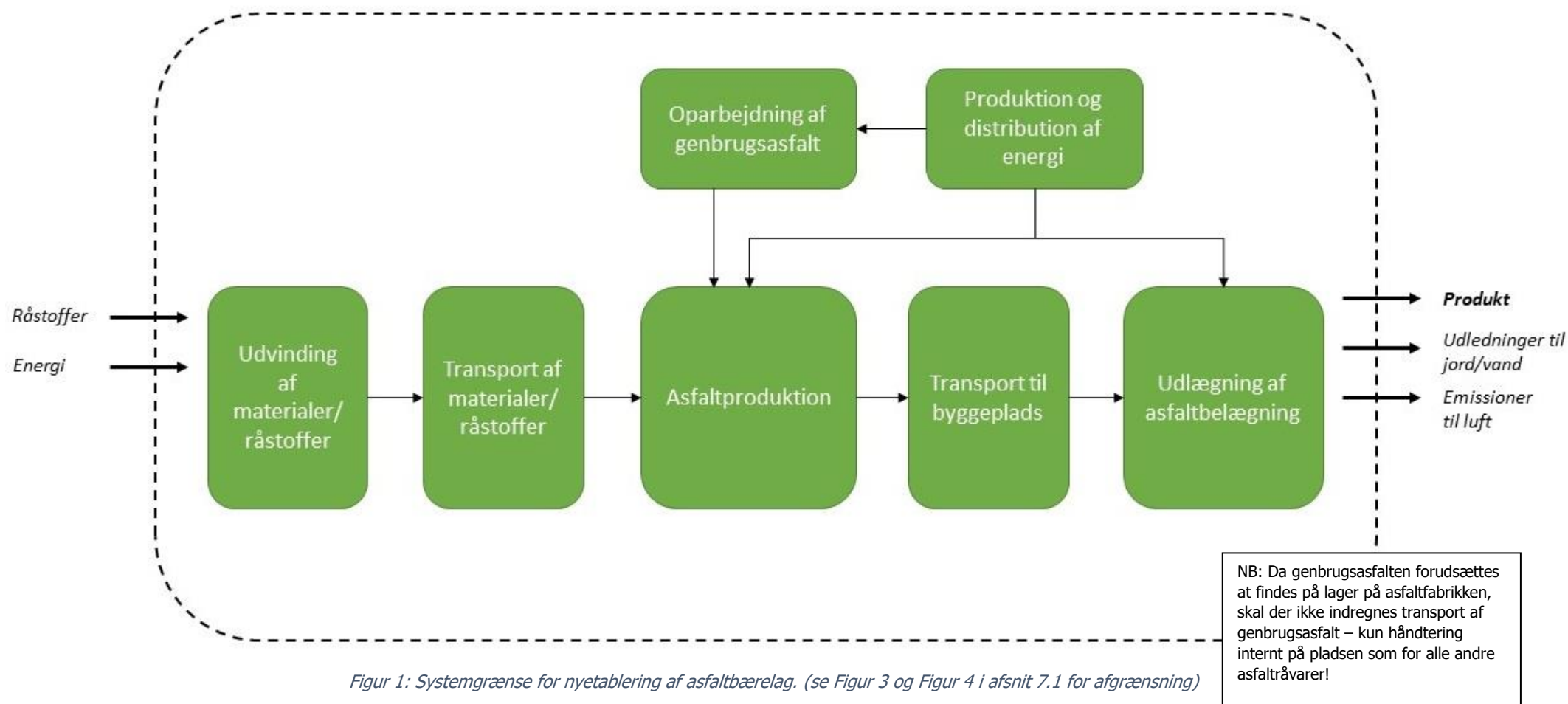
Den funktionelle enhed er defineret som:

1. 1 m^2 færdiglagt asfaltbærelag, beregnet til at understøtte dimensioneringstrafik for trafikklasse T3, i en periode på 20 år.
2. 1 m^2 færdiglagt asfaltbærelag, beregnet til at understøtte dimensioneringstrafik for trafikklasse T4, i en periode på 20 år.

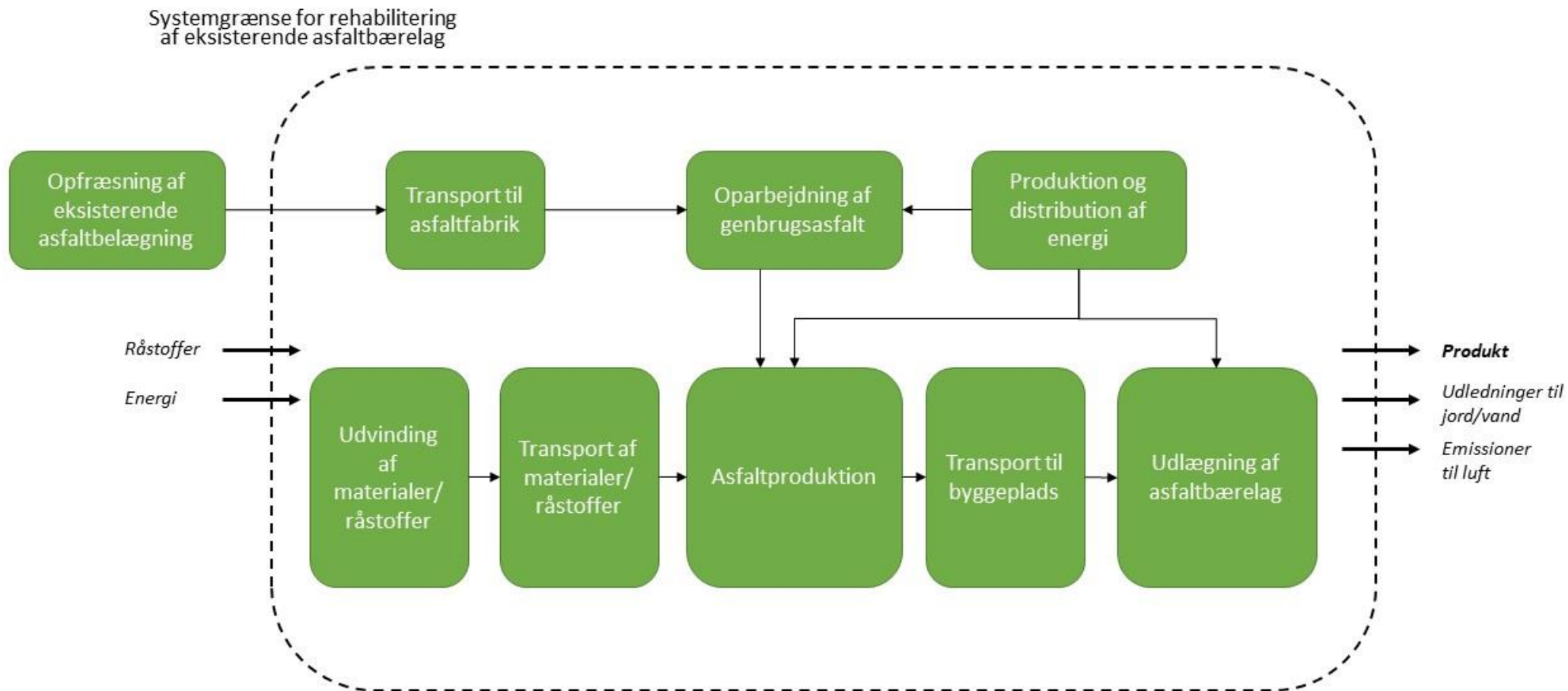
Det antages at alle lag under asfaltlagene er identiske for de to typer belægning, og disse er derfor ekskluderet af nærværende LCA.

6.3 SYSTEMGRÆNSE

Systemgrænse for nyetablering
af asfaltbærelag



Figur 1: Systemgrænse for nyetablering af asfaltbærelag. (se Figur 3 og Figur 4 i afsnit 7.1 for afgrænsning)



Figur 2: Systemgrænse for rehabilitering af eksisterende asfaltbelægning. (se Figur 3 og Figur 4 i afsnit 7.1 for afgrænsning)



Systemgrænsen er baseret på vugge-til-vej dvs. fra udvinding af råvarer til færdig udlagt belægning. Alle processer efter udlægning er vurderet til at være ens og er derfor ikke medtaget. Det gælder ikke mindst brug og drift (herunder udskiftninger og reparationer) samt end-of-life håndtering af belægningsne.

Transportprocesser er baseret på en hypotetisk udlægning i Danmark med gennemsnitlige transportafstande for repræsentative råvareproducenter baseret på erfaringer fra Teknologisk Instituts asfalt- og belægningssektion. Eksempler er afstand til nærmeste asfaltfabrik eller afstand fra asfaltfabrikken til nærmeste grusgrav. Transportafstande for råvarer, der leveres fra udlandet, beregnes fra deres respektive produktionssteder, og råvarer der transporteres med skib antages sejlet til havn i Danmark, hvorefter de transporteres med lastbil til asfaltfabrikken.

7 LIVSCYKLUSKORTLÆGNING (LCI)

7.1 TRAFIKKLASSER OG ASFALTDENSITETER

7.1.1 Asfaltdensiteter

Mængderne af asfalt pr m² asfaltbærelag baseres på de nødvendige tykkelser for de forskellige asfaltlag. Asfalttypernes densiteter er baseret på Vejdirektoratets Vejledning til AAB for varmblandet asfalt, 2012, hvori følgende værdier er angivet:

- 10 mm GAB-0 svarer til 23,0 kg/m²
- 10 mm GAB-I svarer til 23,0 kg/m²

For BSM oplyser SR-gruppen⁵, at 10 mm BSM svarer til 20,0 kg/m². 2,00 Mg/m³ svarer til et gennemsnit af alle Teknologisk Instituts bestemmelser af referencedensitet i 2020 for BSM-KMA, jf. rapporter offentliggjort på TI's og VD's hjemmesider.⁶

7.1.2 Trafikklasse T3

Tykkelserne af de respektive asfaltlag er for standard T3 design baseret på anvisningerne i Vejdirektoratets "Håndbog for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægnings", mens tykkelserne af asfaltlagene i BSM design er baseret på dimensioneringer fra den sydafrikanske BSM specialistrådgiver LOUDON.

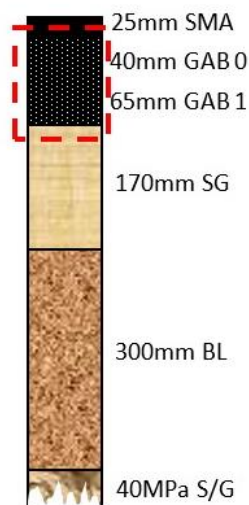
Standardopbygningen for trafikklasse T3 er derfor 2 lag varmblandet asfalt (se også Figur 3):

$$\begin{aligned} 40 \text{ mm GAB-0} \times 23,0 \text{ kg/10mm} &= 92 \text{ kg/m}^2 \\ 65 \text{ mm GAB-I} \times 23,0 \text{ kg/10mm} &= 149,5 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Samlet densitet} &= 241,5 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

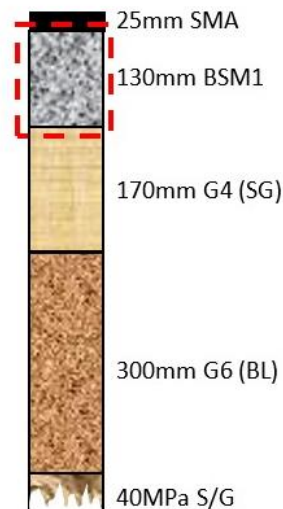
⁵ E-mail oplysning fra Morten Larsen, SR-Gruppen, 25.01.2021

⁶ <https://www.teknologisk.dk/projekter/koldblandet-asfaltbaerelag-bsm/41567?cms.query=BS>

STANDARD PAVEMENT FOR T3 TRAFFIC CLASS



ALTERNATIVE BSM PAVEMENT



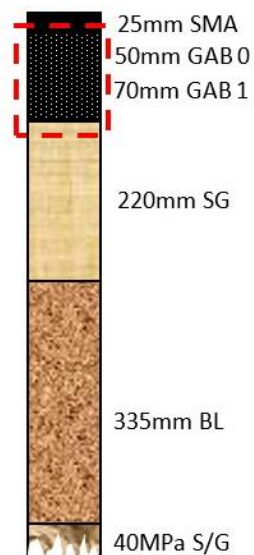
*Figur 3: Opbygning af standard belægning, samt BSM belægning.
Inkluderet i dette LCA-studie er bærelagene markeret med rødt.*

Opbygningen for BSM design til trafikklasse T3 er (se også Figur 1 og Figur 2 for systemgrænse):

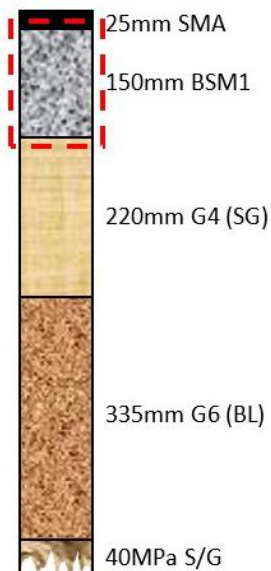
$$130 \text{ mm BSM} \times 20,0 \text{ kg/10mm} = 260 \text{ kg/m}^2$$

7.1.3 Trafikklasse T4

STANDARD PAVEMENT FOR T4 TRAFFIC CLASS



ALTERNATIVE BSM PAVEMENT



*Figur 4: Opbygning af standard belægning, samt BSM belægning.
inkluderet i denne LCA: bærelagene markeret med rødt*



Standardopbygningen for trafikklasse T4 er (se Figur 4), (se også Figur 1 og Figur 2 for systemgrænse):

$$50 \text{ mm GAB-0} \times 23,0 \text{ kg/10mm} = 115 \text{ kg/m}^2$$

$$70 \text{ mm GAB-I} \times 23,0 \text{ kg/10mm} = 161 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Samlet masse per m}^2 = 276 \text{ kg/m}^2$$

Opbygningen for BSM-design til trafikklasse T4 er:

$$150 \text{ mm BSM} \times 20,0 \text{ kg/10mm} = 300 \text{ kg/m}^2$$

7.2 MATERIALESAMMENSÆTNINGER

7.2.1 Generelt

Vurderinger af materialesammensætningerne er foretaget sammen med Teknologisk Instituts asfalt- og belægningssektion, som har opstillet de typiske sammensætninger for asfalttyperne i denne LCA, som de vil forekomme i Danmark.

Asfalttyperne består af klippematerialer og grusgravsmaterialer i forskellige størrelsesfraktioner, kalkfiller, bitumen og knust genbrugsasfalt, når dette anvendes.

Bitumen er en af hovedbestanddelene i asfalt og fungerer som bindemiddel. Under traditionel asfaltproduktion tilsættes varm bitumen i blanderen sammen med filler- og opvarmet stenmateriale.

Ved BSM-asfalten foregår blandingsprocessen koldt.

Der anvendes data for en standard vejbitumen fra Tyskland, som indgår i produktsystemet som et primært råmateriale, der leveres i bulk til asfaltproduktionen, hvor det oplagres i tanke inden dosering i anlægget. De specifikke mængder af tilsat bitumen er baseret på de nedenfor angivne recepter, henholdsvis med og uden tilsat genbrugsasfalt i den varmblandede asfalt.

Ved BSM koldasfalten tilsættes derudover cement i blandingen som klæbeaktiv filler.

7.2.1 BSM

BSM koldasfalten i denne analyse er baseret på oplysninger fra SR-Gruppen defineret som bestående af: 95% knust genbrugsasfalt, 2,2% bitumen, 2% processvand, og 0,8% cement.

7.2.2 GAB-0

Asfaltsammensætningen af GAB-0 med og uden knust genbrugsasfalt inkluderet er angivet i Tabel 1.

Tabel 2: Sammensætning af GAB-0, med og uden genbrugsasfalt

GAB-0	Uden genbrugsasfalt	Med genbrugsasfalt
Klippematerialer (2/15)	28,5%	20,0%
Grusgravsmaterialer (2/15)	28,5%	20,0%
Knuste grusgravsmaterialer (0/2)	17,1%	11,7%
Grusgravsmaterialer (0/2)	18,0%	12,5%
Kalk	2,8%	2,0%
Bitumen	5,1%	3,8%
Knust genbrugsasfalt (0/16)	0,0%	30,0%



7.2.3 GAB-I

Asfaltsammensætningen af GAB-I med og uden knust genbrugsasfalt inkluderet er angivet i Tabel 2.

Tabel 3: S sammensætning af GAB-I, med og uden genbrugsasfalt

GAB-I	Uden genbrugsasfalt	Med genbrugsasfalt
Klippematerialer (2/15)	0,0%	0,0%
Grusgravsmaterialer (2/15)	47,6%	28,4%
Knuste grusgravsmaterialer (0/2)	20,9%	12,5%
Grusgravsmaterialer (0/2)	23,8%	14,3%
Kalk	2,9%	1,7%
Bitumen	4,9%	3,1%
Knust genbrugsasfalt (0/16)	0,0%	40,0%

7.3 TRANSPORTDISTANCER

Transportprocesser er baseret på et scenarie med udlægning i Danmark baseret på erfaringer fra Teknologisk Institut asfalt- og belægningssektion. Herunder typiske afstande til nærmeste asfaltfabrik samt afstande fra asfaltfabrikken til nærmeste grusgrav. Transportafstande for råvarer der leveres fra udlandet beregnes fra deres respektive produktionssteder, og råvarer der transporteres med skib antages sejles til havn i Danmark, hvorefter de transporteres med lastbil til produktionsstedet.

Transportafstandene er defineret som:

- Gennemsnitlig transportafstand fra udlægningssted til nærmeste asfaltfabrik: 30 km
- Gennemsnitlig transportafstand til anvendt grusgrav: 30 km
- Transport af klippematerialer med skib fra Vestnorge til havn i Danmark: 760 km
- Transport af klippematerialer med lastbil fra havn til asfaltfabrik: 30 km
- Transport af bitumen fra Tyskland til asfaltfabrik: 370 km
- Transport af kalk til asfaltfabrik: 42 km
- Transport af cement fra Aalborg Portland til asfaltfabrik: 356 km
- Transport af methylenklorid⁷ fra Tyskland til asfaltfabrik: 300 km

7.4 FREMSTILLINGSPROCESSER OG ENERGIFORBRUG

7.4.1 Generelt

Typen og mængden af energiforbrug er baseret på rapporten for "Cirkulær asfaltproduktion i Danmark" (Andersson et al. 2018)⁸ Data herfra vurderes at være mere repræsentative for Danmark fremfor generiske data fra en international database.

Det betyder, at der anvendes elektricitet til drift af asfaltfabrikken, diesel til drift af maskiner til blanding mm. og naturgas til opvarmningen af asfaltblandingen.

7.4.2 Elforbrug

Elforbruget er relevant for asfalttyperne GAB-0 og GAB-I, da disse modelleres som produceret ved asfaltfabrik. BSM blandes uden en stationær fabrik involveret, så der bruges ikke el fra nettet men diesel til drift af el-generator.

Elforbruget er i cirkulærasfalt rapporten defineret som en gennemsnitsværdi på 5 kWh el pr produceret ton. Denne mængde er anvendt for begge asfalttyper, hvor elforbrug er relevant.

⁷ Note: Methylenklorid anvendes rutinemæssigt til den påkrævede laboratorieanalyse af genindvundet bindemiddel fra genbrugsasfalt, når denne anvendes i ny varmbladet asfalt. Se nærmere herom i afsnit 7.4.6

⁸ <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/10/978-87-93710-95-5.pdf>



7.4.3 Naturgasforbrug

Som for elforbruget er forbrug af naturgas relevant for de varmblandede asfalttyper; GAB-0, og GAB-I, men ikke relevant for BSM, da der ikke forekommer opvarmning af asfalten.

Forbruget af naturgas er som elforbruget baseret på Andersson et al. (2018) som 201 MJ pr ton asfalt svarende til 5,3 m³/ton, for den produktion af asfalt hvor der er medregnet genbrug. For asfaltproduktionen uden genbrugsasfalt er forbruget af naturgas beregnet til 191 MJ pr ton svarende til 4,8 m³/ton. Det højere forbrug af naturgas til fremstilling af asfalt, med tilsætning af genbrugsasfalt, skyldes behovet for at tilføje den genbrugte asfalt koldt, for at bevare det gamle bindemiddel, hvilket medfører et øget behov for tørring (via naturgas) (Miljøstyrelsen, Andersson et al.: "Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark", 2018).

7.4.4 Dieselforbrug

Diesel bruges som brændstof i maskineri til en række processer; data er taget fra Andersson et al. (2018):

Knusning og oparbejdning af genbrugsasfalt: 0,75 l/ton.

Dieselforbrug ved fremstillingen af asfalttyper på fabrik: 1 l/ton.

Dieselforbrug til opfræsning af genbrugsasfalten er ikke medregnet, da genbrugsasfalten forudsættes at findes på lager på asfaltfabrikken. Opfræsning af genbrugsasfalten vurderes som tilhørende en anden livscyklus, hvor den proces ligger før "end-of-waste".

Dieselforbrug ved udlægning af diverse asfalttyper er baseret på oplysninger fra SR-Gruppen⁹, som har data fra Wirtgen, der producerer maskinerne. Dieselforbruget er beregnet specifikt til de to trafikklasser T3/T4, og til de specifikke tykkelser de forskellige lag er dimensioneret til.

Baseret på oplysninger fra SR-Gruppen, via Wirtgen, bruges der til udlægningen en Vögele 1900-3i med et dieselforbrug på 10 liter/time, HAMM DV90 med et dieselforbrug på 10 liter/time (som optræder to gange), samt HAMM GRW 280-12 med et dieselforbrug på 11 liter/time. Samlet giver det et dieselforbrug på 41 liter/time.

Det samlede dieselforbrug afhænger dernæst af produktionshastigheden af de forskellige asfalttyper, som ud fra oplysninger fra SR-Gruppen er 220 ton/time for BSM, for begge trafikklasser, hvilket giver et dieselforbrug på 0,205 liter/ton. For GAB-I er produktionshastigheden 180 ton/time, for begge trafikklasser, hvilket giver et dieselforbrug på 0,228 liter/ton. For GAB-0 er produktionshastigheden hhv. 140 ton/time for T3, og 175 ton/time for T4, hvilket giver et dieselforbrug på hhv. 0,293 liter/ton for T3 og 0,234 liter/ton for T4.

Da der ikke forefindes specifikke emissionsdata på de anvendte udlægningsmaskiner, bruges data fra forbrænding af diesel i en lastbil. Emissionerne baseres på diesel brændt i en 7,5 – 12 ton euro 4 truck, med en lastkapacitet på 5 tons. Emissionerne skaleres herefter til de respektive dieselforbrug af de forskellige udlægninger.

Dieselforbrug ved udlægning af BSM design, T3 og T4:

- Udlægning af BSM: 0,205 l/ton

Dieselforbrug ved udlægning af standard design, T3:

- Udlægning af GAB-0: 0,293 l/ton
- Udlægning af GAB-I: 0,228 l/ton

Dieselforbrug ved udlægning af standard design, T4:

- Udlægning af GAB-0: 0,234 l/ton
- Udlægning af GAB-I: 0,228 l/ton

Variationer i dieselforbrug pr ton imellem de forskellige designs og trafikklasser skyldes forskellene i tykkelser, som direkte påvirker hvor effektive udlægningsmaskinerne kan være. F.eks. ved udlægning af GAB-0 asfalten medfører det tyndere lag af standard løsningen i T3 et højere forbrug pr/ton, da udlægningen foregår ved omtrent samme fremdriftshastighed uafhængigt af lagtykkelserne i denne rapport.

⁹ E-mail fra Morten Larsen, SR-Gruppen, 25.01.2021



TEKNOLOGISK INSTITUT

Dieselforbrug til transport af råvarer og asfalt i lastbil er en funktion af mængde og afstand. De forbrugte mængder afhænger derfor af mængden af transporteret materiale, samt samlet transportafstand, som begge er opgjort for hver anvendt råvare.

7.4.5 Klæbeemulsion

I standardopbygningen anvendes en bitumen-baseret klæbeemulsion, som påføres mellem hvert asfaltlag med en mængde af 500g/m². Denne klæbeemulsion påføres to gange: først mellem GAB-0 laget og GAB-I laget og dernæst mellem GAB-0 laget og SMA-slidlaget. Samlet anvendes 1 kg klæbeemulsion pr. udlagt m² asfaltbelægning.

7.4.6 Genbrugsasfalt

Når der anvendes genbrug i produktionen af varmblandet asfalt, er det nødvendigt at lave nogle analyser, der siger noget om kvaliteten/hårdheden af den resulterende bitumen. Til disse analyser anvendes det organiske opløsningsmiddel methylenklorid. Der udtages typisk en laboratorieprøve per 500 - 2000 tons, afhængig af materiale, produktionsstyring og eventuelt kundekrav. Der er ifølge cirkulærasfalt studiet antaget 1 prøve pr. 1000 tons, med et forbrug på 0,3 liter pr. prøve, svarende til 0,3 ml per tons asfalt. Methylenklorid er forudsat transporteret 300 km fra Tyskland (Andersson et al., 2018).

7.5 ANVENDTE ENHEDSPROCESSER

7.5.1 Granit/Klippematerialer

Granit/klippematerialer anvendes i størrelsesfraktionerne 2/15 og knust 0/2.

Granit/klippematerialer (2/15):

- EU-28: Crushed stone grain 2-15 mm (undried) (EN15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant; undried (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/7d342264-6264-495a-82c5-4bf4e593ca82.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.

Enhedsprocessen for Granit/klippematerialer vurderes som repræsentativ for de stentyper, da der forekommer yderligere processer sammenlignet med grusgravsmaterialer.

Knust klippemateriale (0/2):

- EU-28: Crushed sand grain 0-2 mm (EN15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant; dried (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/35e1cf03-637b-4006-a030-c003e85bfe4e.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.

7.5.2 Grusgravsmaterialer

Grusgravsmaterialer anvendes i størrelsesfraktionerne 2/15, 0/2, og knust 0/2.

For grusgravsmaterialer i fraktionen 2/15 anvendes følgende enhedsproces der dækker fraktionen 2/32. Denne vurderes være repræsentativ, da 2/15 er indeholdt i 2/32:

- EU-28: Gravel 2/32; wet and dry quarry; production mix, at plant; 2/32, undried (en). [Process data set: Gravel 2/32; wet and dry quarry; production mix, at plant; 2/32, undried \(en\) \(gabi-software.com\)](http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/35e1cf03-637b-4006-a030-c003e85bfe4e.xml). Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.

Grusgravsmaterialer 0/2:

- EU-28: Sand 0/2; wet and dry quarry; production mix, at plant; 0/2, undried (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/898618b1-3306-11dd-bd11-0800200c9a66.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.

Knust grusgravsmateriale 0/2:

- EU-28: Crushed sand grain 0-2 mm (EN15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant; dried (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/35e1cf03-637b-4006-a030-c003e85bfe4e.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.

7.5.3 Bitumen

Der er ikke indhentet producentspecifikke data for bitumen, hvorfor der i stedet anvendes GaBi databaseproces:



- EU-28: Bitumen at refinery; from crude oil; production mix, at refinery; 39 MJ/kg net calorific value (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/6304e047-e197-49ba-a63c-adfaec29106e.xml>. Referenceåret for datasættet er 2016, og det er gyldigt indtil 2022.

7.5.4 Klæbeemulsion

Ved udlægningen af standard bærelaget inkluderes klæbning mellem lagene, ved at påføre en klæbeemulsion baseret på bitumen. Den anvendte enhedsproces er:

- EU-28: Bitumen emulsion (EN 15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant; 40% bitumen, 60% water (en). [Process data set: Bitumen emulsion \(EN 15804 A1-A3\); technology mix; production mix, at plant; 40% bitumen, 60% water \(en\) \(gabi-software.com\)](http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/a5abb78-5a80-4c63-96b4-108ed212bde4.xml). Referenceåret for datasættet er 2020, og det er gyldigt indtil 2023.

7.5.5 Cement

Der anvendes BASIS cement fra Aalborg Portland, som har en eksisterende EPD. Men den EPD er udformet efter EN15804+A1, og disse beregninger ønskes udført med resultater efter EN15804+A2, og EPD'en kan derfor ikke benyttes. I stedet bruges GaBi databaseværdi for den modsvarende type cement:

- EU-28: Cement (CEM II/A) (EN15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant; CEM II/A (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/a5abb78-5a80-4c63-96b4-108ed212bde4.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.

7.5.6 Processvand

Der anvendes processvand til fremstillingen af BSM bærelaget, som typisk vil være overfladevand. Ved processvand menes vand, der kan være brugt før, til f.eks. rensning af maskiner, og ikke ionbyttet vand. Der er derfor benyttet følgende generiske databaseproces for overfladevandet:

- EU-28: Tap water from surface water; filtration, disinfection, ion removal etc., from surface water; production mix, at plant; 1000 kg/m³, 18 g/mol (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/db009014-338f-11dd-bd11-0800200c9a66.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.

7.5.7 Methylenklorid

Der findes ikke en databaseværdi i GaBi for methylenklorid, hvorfor der i stedet anvendes en enhedsproces fra Ecoinvent 3.6, som også anvendtes i Andersson et al. (2018).

- RER: dichloromethane production <https://v36.ecoquery.ecoinvent.org/Details/UPR/65c0a118-5560-473d-9dd5-edd7faebf13c/8b738ea0-f89e-4627-8679-433616064e82>. Referenceåret for datasættet er 2016.

7.5.8 Kalkfiller

Der anvendes kalkfiller som fillermateriale til fremstillingen af, GAB-0 og GAB-I. Der er ikke indhentet produktspecifik LCA-data for kalkfiller, i stedet anvendes generisk databaseværdi fra GaBi.

Kalkfiller:

- EU-28: Limestone flour (50µm); limestone mining and beneficiation; production mix, at producer; grain size 50µm (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/c8bf324e-795e-4df1-a269-e14a732638ed.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.

7.5.9 Energikilder

Ved fremstillingen af asfalttyperne anvendes der elektricitet, diesel til drift af maskineri samt naturgas til opvarmning af den varmblandede asfalt. Ved udlægningen af asfalten anvendes igen diesel til drift af maskiner.

Elektricitet:

- DK: Electricity grid mix; AC, technology mix; consumption mix, to consumer; <1kV (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/c51b3a74-4a67-483b-be83-b6d6b8d21061.xml>. Referenceåret for datasættet er 2016, og det er gyldigt indtil 2022.

Diesel:

- EU-28: Diesel mix at filling station; from crude oil and bio components; consumption mix, at filling station; 6.41 wt.% bio components (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml->



data/processes/99248ee9-3a59-47e4-b1f1-bb79067249ba.xml. Referenceåret for datasættet er 2016, og det er gyldigt indtil 2022.

Der er fastholdt en bio components andel på 6.41%, da enhedsprocessen er gyldig for Europa. Andelen kan være forskellig i Danmark, men der foreligger ikke dataset for dieselproduktion i Danmark. Der er derfor regnet med de Europæiske værdier.

Naturgas:

- DK: Thermal energy from natural gas; technology mix regarding firing and flue gas cleaning; production mix, at heat plant; 100% efficiency (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/87fade97-c24d-4688-8942-d5c43a5b8f15.xml>. Referenceåret for datasættet er 2016, og det er gyldigt indtil 2022.

7.5.10 Dieseldrevne maskiner

Da der ikke forefindes specifikke data på de anvendte maskiner, hverken til knusning og blanding af asfalt, eller til de maskiner der udlægger asfalten, opgøres emissionerne fra disse maskiner i stedet baseret på emissionerne fra forbrænding af diesel i en lastbil. Emissionerne baseres på diesel brændt i en 7,5 – 12 ton euro 4 truck, med en lastkapacitet på 5 tons. Emissionerne skales herefter til de respektive dieselforbrug af de anvendte maskiner. Størrelsen af lastbilen er valgt til at være den mest konservative, da en undersøgelse af størrelserne viste, at den mindste lastbil havde størst miljøpåvirkning pr. forbrugt liter diesel.

- GLO: Truck, Euro 4, 7.5 t - 12t gross weight / 5t payload capacity; diesel driven, Euro 4, cargo; consumption mix; 7.5 t - 12t gross weight / 5t payload capacity (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/760ce0ae-5987-42f3-91e9-5e724367c399.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.

7.5.11 Transportprocesser

Der er modelleret transport af råvarer til produktionsfacilitet samt fra produktionsfacilitet til byggeplads. Der transporteres primært med lastbilstransport, samt skibstransport for klippematerialer fra Norge.

Lastbilstransport:

- GLO: Truck, Euro 5, 28 - 32t gross weight / 22t payload capacity; diesel driven, Euro 5, cargo; consumption mix; 28 - 32t gross weight / 22t payload capacity (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/8d9aab3c-7819-492a-b2df-be9b1c2b66fd.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.
Der er fastholdt en standard udnyttelsesgrad på 61%.

Diesel til ovennævnte lastbilstransport:

- EU-28: Diesel mix at filling station; from crude oil and bio components; consumption mix, at filling station; 6.41 wt.% bio components (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/99248ee9-3a59-47e4-b1f1-bb79067249ba.xml>. Referenceåret for datasættet er 2016, og det er gyldigt indtil 2022.

Skibstransport:

- GLO: Bulk commodity carrier, 1,500 to 20,000 dwt payload capacity, coastal; light fuel oil driven, cargo; consumption mix; 1,500 to 20,000 dwt payload capacity, coastal (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/579b25df-31b4-4361-87be-f67689ce6704.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.
Der er fastholdt en standard udnyttelsesgrad på 58%.

Light fuel oil til ovennævnte skibstransport:

- EU-28: Light fuel oil at refinery; from crude oil; production mix, at refinery; 0.1 wt.% sulphur (en). <http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/909c9a65-3b16-4923-9c91-fe585ca9d194.xml>. Referenceåret for datasættet er 2019, og det er gyldigt indtil 2022.



7.6 KILDER TIL GENERISK DATA

Generisk data samt baggrundsdata er baseret på GaBi 10. inkl. databaser af version 2020 samt kilderne i afsnit 12.



7.7 DATAVALIDERING

Datakvaliteten er i alle tilfælde vurderet som værende God til Meget God.

Alle dataset stammer fra GaBi 2020 databaser – Professional Database, Extension DB II, Energy, samt Extension DB XIV, Construction materials, på nær ét fra Ecoinvent 3.6.

For alle anvendte datasæt er repræsentativiteten beskrevet i nedenstående.

Type	Proces		Ref. år	Datasæt	Geo	Ti	Te
Transport	Lastbiltransport	GLO: Truck, Euro 5, 28 - 32t gross weight / 22t payload capacity; diesel driven	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/8d9aab3c-7819-492a-b2df-be9b1c2b66fd.xml	G	MG	MG
	Skibstransport	GLO: Bulk commodity carrier, 1,500 to 20,000 dwt payload capacity, coastal; light fuel oil driven	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/99248ee9-3a59-47e4-b1f1-bb79067249ba.xml	G	MG	MG
Klippematerialer	Granit (2/15)	EU-28: Crushed stone grain 2-15 mm (undried) (EN15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant; undried	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/7d342264-6264-495a-82c5-4bf4e593ca82.xml	G	MG	G
	Klippematerialer (0/2)	EU-28: Crushed sand grain 0-2 mm (EN15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant; dried	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/35e1cf03-637b-4006-a030-c003e85bfe4e.xml	G	MG	G
Grusgravsmaterialer	Grusgravsmaterialer (2/15)	EU-28: Gravel 2/32; wet and dry quarry; production mix, at plant; 2/32, undried	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/898618b2-3306-11dd-bd11-0800200c9a66.xml	G	MG	MG
	Grusgravsmaterialer (0/2)	EU-28: Sand 0/2; wet and dry quarry; production mix, at plant; 0/2, undried	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/898618b1-3306-11dd-bd11-0800200c9a66.xml	G	MG	MG
	Knuste grusgravsmaterialer (0/2)	EU-28: Crushed sand grain 0-2 mm (EN15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant; dried	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/35e1cf03-637b-4006-a030-c003e85bfe4e.xml	G	MG	G
Bitumen	Bitumen	EU-28: Bitumen at refinery; from crude oil; production mix, at refinery	2016	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/6304e047-e197-49ba-a63c-adfaec29106e.xml	G	G	MG
Klæbeemulsion	40% Bitumenemulsion	EU-28: Bitumen emulsion (EN 15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant; 40% bitumen, 60% water (en)	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/6301937a-b440-4b21-9544-ffe441fac61f.xml	G	MG	MG
Cement	CEM II/A	EU-28: Cement (CEM II/A) (EN15804 A1-A3); technology mix; production mix, at plant	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/a5abbc78-5a80-4c63-96b4-108ed212bde4.xml	G	MG	MG
Vand	Overfladevand	EU-28: Tap water from surface water; filtration, disinfection, ion removal etc., from surface water	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/db009014-338f-11dd-bd11-0800200c9a66.xml	G	MG	G
Kalkfiller	Kalkfiller	EU-28: Limestone flour (50µm); limestone mining and beneficiation; production mix, at producer; grain size 50µm	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/c8bf324e-795e-4df1-a269-e14a732638ed.xml	G	MG	G
Methylenklorid	Methylenklorid	RER: dichloromethane production	2016	https://v36.ecoquery.ecoinvent.org/Details/UPR/65c0a118-5560-473d-9dd5-edd7faebf13c/8b738ea0-f89e-4627-8679-433616064e82	G	G	G



Type	Proces		Ref. år	Datasæt	Geo	Ti	Te
Energikilder	Elektricitet	DK: Electricity grid mix; AC, technology mix; consumption mix	2016	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/c51b3a74-4a67-483b-be83-b6d6b8d21061.xml	MG	G	MG
	Naturgas	DK: Thermal energy from natural gas; technology mix regarding firing and flue gas cleaning; production mix, at heat plant	2016	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/87fade97-c24d-4688-8942-d5c43a5b8f15.xml	MG	G	MG
	Diesel	EU-28: Diesel mix at filling station; from crude oil and bio components; consumption mix	2016	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/99248ee9-3a59-47e4-b1f1-bb79067249ba.xml	G	G	MG
	Light fuel oil	EU-28: Light fuel oil at refinery; from crude oil; production mix, at refinery	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/909c9a65-3b16-4923-9c91-fe585ca9d194.xml	G	MG	MG
Dieseldrevet maskineri	Diverse	GLO: Truck, Euro 4, 7.5 t - 12t gross weight / 5t payload capacity; diesel driven	2019	http://gabi-documentation-2020.gabi-software.com/xml-data/processes/760ce0ae-5987-42f3-91e9-5e724367c399.xml	G	MG	G



8 VURDERING AF POTENTIELLE MILJØPÅVIRKNINGER (LCIA)

8.1 LCIA PROCEDURER OG BEREKNINGER

Til beregning af LCIA resultater er karakteriseringsmodellerne for EN15804+A2:2019 anvendt sammen med GaBi 10.0 til klassificering og karakterisering af input- og output flows. Denne karakteriseringsmodel er ønsket af kunden, da der muligvis skal udarbejdes en EPD for BSM på et senere tidspunkt. Denne vil i så fald udarbejdes i henhold til kravene i EN 15804+A2, og resultaterne ønskes være beregnet på samme grundlag, så disse kan sammenlignes. Vurderingen er ikke udformet til at overholde kravene i EN 15804+A2.

Følgende miljøpåvirkningskategorier indgår:

- Climate Change [kg CO₂ eq.]
- Climate Change (fossil) [kg CO₂ eq.]
- Climate Change (biogenic) [kg CO₂ eq.]
- Climate Change (land use change) [kg CO₂ eq.]
- Ozone depletion [kg CFC-11 eq.]
- Acidification terrestrial and freshwater [Mole of H⁺ eq.]
- Eutrophication freshwater [kg P eq.]
- Eutrophication marine [kg N eq.]
- Eutrophication terrestrial [Mole of N eq.]
- Photochemical ozone formation - human health [kg NMVOC eq.]
- Resource use, mineral and metals [kg Sb eq.]
- Resource use, energy carriers [MJ]
- Water scarcity [m³ world equiv.]

Table C.1 — Core environmental indicators, units and models

Impact Category	Indicator	Unit	Model
Climate change - total ^a	Global Warming Potential total (GWP-total)	kg CO ₂ eq.	Baseline model of 100 years of the IPCC based on IPCC 2013
Climate change - fossil	Global Warming Potential fossil fuels (GWP-fossil)	kg CO ₂ eq.	Baseline model of 100 years of the IPCC based on IPCC 2013
Climate change - biogenic	Global Warming Potential biogenic (GWP-biogenic)	kg CO ₂ eq.	Baseline model of 100 years of the IPCC based on IPCC 2013
Climate change - land use and land use change ^b	Global Warming Potential land use and land use change (GWP-luluc)	kg CO ₂ eq.	Baseline model of 100 years of the IPCC based on IPCC 2013
Ozone Depletion	Depletion potential of the stratospheric ozone layer (ODP)	kg CFC 11 eq.	Steady-state ODPs, WMO 2014
Acidification	Acidification potential, Accumulated Exceedance (AP)	mol H ⁺ eq.	Accumulated Exceedance, Seppälä et al. 2006, Posch et al., 2008
Eutrophication aquatic freshwater	Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (EP-freshwater)	kg PO ₄ eq.	EUTREND model, Struijs et al., 2009b, as implemented in ReCiPe
Eutrophication aquatic marine	Eutrophication potential, fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (EP-marine)	kg N eq.	EUTREND model, Struijs et al., 2009b, as implemented in ReCiPe
Eutrophication terrestrial	Eutrophication potential, Accumulated Exceedance (EP-terrestrial)	mol N eq.	Accumulated Exceedance, Seppälä et al. 2006, Posch et al.
Photochemical ozone formation	Formation potential of tropospheric ozone (POCP);	kg NMVOC eq.	LOTOS-EUROS, Van Zelm et al., 2008, as applied in ReCiPe
Depletion of abiotic resources - minerals and metals ^{c,d}	Abiotic depletion potential for non-fossil resources (ADP-minerals&metals)	kg Sb eq.	CML 2002, Guinée et al., 2002, and van Oers et al. 2002.

^a The total global warming potential (GWP-total) is the sum (see [C.2](#)) of— GWP-fossil— GWP-biogenic— GWP-luluc.

^b It is permitted to omit GWP-luluc as separate information if its contribution is < 5 % of GWP-total over the declared modules excluding module D.

^c The abiotic depletion potential is calculated and declared in two different indicators:— ADP-minerals&metals include all non-renewable, abiotic material resources (i.e. excepting fossil resources);— ADP-fossil includes all fossil resources and includes uranium.

^d ultimate reserve model of the ADP-minerals&metals model.

Table C.1 (continued)

Impact Category	Indicator	Unit	Model
Depletion of abiotic resources - fossil fuels ^c	Abiotic depletion potential for fossil resources (ADP-fossil)	MJ, net calorific value	CML 2002, Guinée et al., 2002, and van Oers et al. 2002.
Water use	Water (user) deprivation potential, deprivation-weighted water consumption (WDP)	m ³ world eq. deprived	Available WATER REmaining (AWARE) Boulay et al., 2016
^a The total global warming potential (GWP-total) is the sum (see C.2) of— GWP-fossil— GWP-biogenic— GWP-luluc. ^b It is permitted to omit GWP-luluc as separate information if its contribution is < 5 % of GWP-total over the declared modules excluding module D. ^c The abiotic depletion potential is calculated and declared in two different indicators:— ADP-minerals&metals include all non-renewable, abiotic material resources (i.e. excepting fossil resources);— ADP-fossil includes all fossil resources and includes uranium. ^d ultimate reserve model of the ADP-minerals&metals model.			

Table C.2 — Indicators, units and models for additional impact categories

Impact category	Indicator	Unit	Model
Particulate matter emissions	Potential incidence of disease due to PM emissions (PM)	Disease incidence	SETAC-UNEP, Fantke et al. 2016
Ionising radiation, human health	Potential Human exposure efficiency relative to U235 (IRP)	kBq U235 eq.	Human health effect model as developed by Dreicer et al. 1995 update by Frischknecht et al., 2000
Ecotoxicity (freshwater)	Potential Comparative Toxic Unit for ecosystems (ETP-fw)	CTUe	Usetox version 2 until the modified USEtox model is available from EC-JRC
Human toxicity, cancer effects	Potential Comparative Toxic Unit for humans (HTP-c)	CTUh	Usetox version 2 until the modified USEtox model is available from EC-JRC
Human toxicity, non- cancer effects	Potential Comparative Toxic Unit for humans (HTP-nc)	CTUh	Usetox version 2 until the modified USEtox model is available from EC-JRC
Land use related impacts / soil quality	Potential Soil quality index (SQP)	dimensionless	Soil quality index based on LANCA



8.2 SAMLEDE LCIA RESULTATER

Tabel 4 og Tabel 5 forneden viser de samlede resultater af miljøvurderingen, fordelt på de to trafikklasser, og opdelt på de tre analyserede asfaltbærelag; BSM bærelag, og standard bærelag hhv. med og uden genbrugsasfalt. Resultater er opgjort pr m2 bærelag.

Tabel 4: Core LCIA resultater pr m2 bærelag – dimensioneret til trafikklasse T3 og trafikklasse T4. Resultaterne dækker BSM-bærelag, samt standard bærelag hhv. inkl. og ekskl. genbrugsasfalt.

Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag		Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T3			Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T4		
Miljøpåvirknings kategori	Enhed	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	[kg CO ₂ eq.]	5,37E+00	1,10E+01	1,31E+01	6,19E+00	1,26E+01	1,49E+01
Climate Change (fossil)	[kg CO ₂ eq.]	5,32E+00	1,10E+01	1,30E+01	6,13E+00	1,25E+01	1,48E+01
Climate Change (biogenic)	[kg CO ₂ eq.]	3,50E-02	4,33E-02	5,67E-02	4,04E-02	4,94E-02	6,47E-02
Climate Change (land use change)	[kg CO ₂ eq.]	1,42E-02	2,16E-02	2,40E-02	1,64E-02	2,45E-02	2,72E-02
Ozone depletion	[kg CFC-11 eq.]	4,51E-15	4,71E-06	3,62E-14	5,20E-15	5,39E-06	4,13E-14
Acidification terrestrial and freshwater	[Mole of H ⁺ eq.]	1,88E-02	3,94E-02	4,87E-02	2,17E-02	4,52E-02	5,59E-02
Eutrophication freshwater	[kg P eq.]	8,19E-06	1,52E-05	1,87E-05	9,46E-06	1,73E-05	2,13E-05
Eutrophication marine	[kg N eq.]	5,82E-03	1,35E-02	1,68E-02	6,72E-03	1,56E-02	1,93E-02
Eutrophication terrestrial	[Mole of N eq.]	6,44E-02	1,49E-01	1,85E-01	7,43E-02	1,72E-01	2,13E-01
Photochemical ozone formation - human health	[kg NMVOC eq.]	1,65E-02	3,82E-02	4,91E-02	1,91E-02	4,41E-02	5,66E-02
Resource use, mineral and metals	[kg Sb eq.]	6,90E-07	1,43E-06	1,89E-06	7,96E-07	1,63E-06	2,15E-06
Resource use, energy carriers	[MJ]	2,73E+02	4,82E+02	6,58E+02	3,15E+02	5,51E+02	7,50E+02
Water scarcity	[m ³ world equiv.]	3,09E-01	3,95E-01	4,85E-01	3,57E-01	4,51E-01	5,55E-01



*Tabel 5: Additional LCIA resultater pr m2 bærelag – dimensioneret til trafikklasse T3 og trafikklasse T4.
Resultaterne dækker BSM-bærelag, samt standard bærelag hhv. inkl. og ekskl. genbrugsasfalt.*

Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag		Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T3			Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T4		
Miljøpåvirkningskategori	Enhed	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrug sasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrug sasfalt	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrug sasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrug sasfalt
01 EN15804+A2 Respiratory inorganics [Disease incidences]	[Disease incidences]	1,13E-07	4,65E-07	6,15E-07	1,30E-07	5,37E-07	7,10E-07
02 EN15804+A2 Ionising radiation - human health [kBq U235 eq.]	[kBq U235 eq.]	8,86E-02	3,35E-01	4,67E-01	1,02E-01	3,82E-01	5,34E-01
03 EN15804+A2 Ecotoxicity freshwater [CTUe]	[CTUe]	1,88E+02	3,00E+02	4,19E+02	2,17E+02	3,43E+02	4,78E+02
04 EN15804+A2 Cancer human health effects [CTUh]	[CTUh]	3,67E-09	6,19E-09	8,57E-09	4,23E-09	7,08E-09	9,77E-09
05 EN15804+A2 Non-cancer human health effects [CTUh]	[CTUh]	1,69E-07	2,62E-07	3,61E-07	1,95E-07	3,00E-07	4,12E-07
06 EN15804+A2 Land Use [Pt]	[Pt]	6,36E+00	2,06E+01	2,36E+01	7,34E+00	2,34E+01	2,68E+01



8.3 RELATION MELLEM LCIA OG LCI RESULTATER

8.3.1 Indvirkning på LCIA resultater ved inklusion af genbrugsasfalt

Ved udregningen med genbrugsasfalt, medregnes knust genbrugsasfalt som delmateriale i fremstillingen af hhv. GAB-0 med 30%, og GAB-I med 40%. For BSM er der ingen forandring, da denne altid vil bestå af 95% knust genbrugsasfalt. I følgende afsnit er det primære fokus på core miljøpåvirkningskategorierne.

I Tabel 6 forneden præsenteres den indvirkning som inklusionen af genbrugsasfalt har på resultaterne, præsenteret som en besparelse i % for hver miljøpåvirkningskategori.

8.3.2 Relation i LCIA resultater mellem BSM belægning og standard belægning

Tabel 6: Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag, for 1 m² bærelag til trafikklasse T3, og for 1 m² bærelag til trafikklasse T4

Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m ²		Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m ² , til trafikklasse T3		Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m ² , til trafikklasse T4	
Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	%	-51%	-59%	-51%	-59%
Climate Change (fossil)	%	-52%	-59%	-51%	-59%
Climate Change (biogenic)	%	-19%	-38%	-18%	-38%
Climate Change (land use change)	%	-34%	-41%	-33%	-40%
Ozone depletion	%	-100%	-88%	-100%	-87%
Acidification terrestrial and freshwater	%	-52%	-61%	-52%	-61%
Eutrophication freshwater	%	-46%	-56%	-45%	-56%
Eutrophication marine	%	-57%	-65%	-57%	-65%
Eutrophication terrestrial	%	-57%	-65%	-57%	-65%
Photochemical ozone formation - human health	%	-57%	-66%	-57%	-66%
Resource use, mineral and metals	%	-52%	-63%	-51%	-63%
Resource use, energy carriers	%	-43%	-58%	-43%	-58%
Water scarcity	%	-22%	-36%	-21%	-36%

I Tabel 6 foroven illustreres forskellene i miljøpåvirkningskategorierne, som forskellen imellem BSM design og standard design, angivet i %. Således betyder f.eks. de -51,4% for Climate Change for trafikklasse T3 at denne kategori er -51,4% lavere for BSM løsningen, mens det er -59% for T3 i udregningerne ekskl. genbrugsasfalt.

Generelt ses en reduktion i miljøpåvirkningskategorierne, både i opbygningen til T3 og T4 i samme størrelsesorden. For de fleste kategorier ligger denne på omkring -20-57% for beregningen hvor genbrugsasfalt inkluderes i standard opbygningen, og -35-65% for opbygningen uden genbrugsasfalt. Forskellene i miljøpåvirkningskategorierne er mindre når man sammenligner standard bærelaget inkl. genbrugsasfalt med BSM bærelagt. Dette skyldes at resultaterne for beregningen af standard bærelaget, inkl. genbrugsasfalt, er lavere end det modsvarende bærelag ekskl. genbrugsasfalt.



Undtagelserne er Climate Change (biogenic), hvor forbrug af diesel er den mest væsentlige faktor, her er besparelsen lavere, grundet det højere dieselforbrug for BSM end de andre asfalttyper. Desuden er reduktionen i Ozone Depletion væsentligt højere, på hhv. -100% for beregningen med genbrugsasfalt og -87,4% for beregningen uden, i denne kategori er methylenklorid den klart mest væsentlige faktor, og forbruget af methylenklorid er kun aktuelt for standardbærelaget, når genbrugsasfalt blandes i.

Tabel 7: Forskel i miljøpåvirkning for standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ved skift til inklusion af genbrugsasfalt, pr m2 bærelag.

Reduktion i miljøpåvirkningspotentiale		Forskel i miljøpåvirkning for standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ved skift til inklusion af genbrugsasfalt	
Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Trafikklasse T3	Trafikklasse T4
Climate Change	%	-15,7%	-15,6%
Climate Change (fossil)	%	-15,6%	-15,5%
Climate Change (biogenic)	%	-23,7%	-23,6%
Climate Change (land use change)	%	-9,8%	-9,8%
Ozone depletion	%	100,0%	100,0%
Acidification terrestrial and freshwater	%	-19,1%	-19,1%
Eutrophication freshwater	%	-18,6%	-18,6%
Eutrophication marine	%	-19,4%	-19,4%
Eutrophication terrestrial	%	-19,4%	-19,4%
Photochemical ozone formation - human health	%	-22,1%	-22,0%
Resource use, mineral and metals	%	-24,3%	-24,1%
Resource use, energy carriers	%	-26,8%	-26,6%
Water scarcity	%	-18,5%	-18,7%

Tabel 7 foroven illustrerer de reduktioner, der er i miljøpåvirkningerne, når resultaterne med brug af genbrugsasfalt sammenlignes med resultaterne uden – begge sat i forhold til en standardopbygning af et bærelag.

For standard belægningen er der besparelser op til -26% afhængigt af miljøpåvirkningskategori, med undtagelse for Ozone depletion, da negativ bidraget i denne kategori skyldes forbruget af methylenklorid, som kun udgør en del af den samlede asfalt, når genbrugsasfalt medregnes, og denne står for ~100% af bidraget i denne kategori.



9 LIVSCYKLUS FORTOLKNING

9.1 RESULTATER

9.1.1 Miljøbelastning af asfalttyper pr. ton asfalt

For hver af de asfalttyper der anvendes, er der genereret resultater for 1 ton, produceret med og uden genbrugsasfalt i blandingen. BSM-løsningen vil have ens sammensætning i begge scenarier.

Energibesparelsen målt som CO₂-ækvivalenter er den mest interessante miljøpåvirkningskategori for kunden, hvorfor der i resultaterne og konklusionerne er lagt primært fokus på dette. Forskelle imellem de sammenlignede bærelag og asfalttyper er opgjort som besparelser i %.

Tabel 8: Globalt opvarmningspotentiale pr ton asfalt, med og uden genbrugsasfalt medregnet

Globalt opvarmningspotentiale		Med genbrug	Uden genbrug	
pr. ton	GAB-0	44,9	52,0	kg CO ₂ -eq
pr. ton	GAB-I	39,4	48,7	kg CO ₂ -eq
pr. ton	BSM	17,8	-	kg CO ₂ -eq

GAB-0 asfalten har det højeste bidrag i GWP, som følge af brug af klippematerialer, og det højeste indhold af bitumen pr. ton i blandt de undersøgte asfalttyper.

GAB-I asfalten har det næsthøjeste bidrag i GWP, men væsentligt lavere end GAB-0, da der kun anvendes lokale grusgravsmaterialer samt et lavere indhold af bitumen pr. ton.

BSM har det klart laveste bidrag pr. ton, også sammenlignet med de andre typer asfalt med genbrugsasfalt medregnet. Dette skyldes den væsentligt lavere andel af bitumen pr. ton, erstatningen af virgint materiale med genbrugsasfalt, og i høj grad den kolde blandingproces, som overflødig gør opvarmning ved brug af naturgas.

Det er i beregningerne antaget, at der i GAB-0 typisk anvendes 30% genbrugsasfalt, og i GAB-I typisk anvendes 40% genbrugsasfalt. BSM består allerede af 95% genbrugsasfalt.

Disse andele af genbrugsasfalt medfører en reduktion i GWP på hhv. 13,8% for GAB-0 (52 kg CO₂ -> 44,9 kg CO₂), og 19,1% for GAB-I (48,7 kg CO₂ -> 39,4 kg CO₂).

9.1.2 Miljøbelastning af udlagt bærelag pr. m²

For hver af de analyserede bærelag er der genereret resultater for 1 m², produceret med og uden genbrugsasfalt i blandingen. BSM-løsningen vil have ens sammensætning i begge scenarier. Der er genereret resultater for udlægning beregnet til at understøtte dimensioneringstrafik for trafikklasse T3, samt beregnet til at understøtte dimensioneringstrafik for trafikklasse T4.

Tabel 9: Globalt opvarmningspotentiale pr m² bærelag, for to trafikklasser og opbygninger

Globalt opvarmningspotentiale, pr m ² bærelag	Trafikklasse T3	Trafikklasse T4	enhed
BSM bærelag	5,37	6,19	kg CO ₂ -eq/m ²
Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	11,04	12,61	kg CO ₂ -eq/m ²
Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	13,09	14,93	kg CO ₂ -eq/m ²

Der ses som forventet største bidrag til CO₂-udledning for bærelagene til trafikklasse T4, da der til denne er behov for tykkere lag, og derved større mængder asfalt. BSM bærelaget har markant lavere GWP end de to standardbærelag, og det største bidrag til GWP ses i standard bærelaget beregnet med udelukkende virgine materialer.



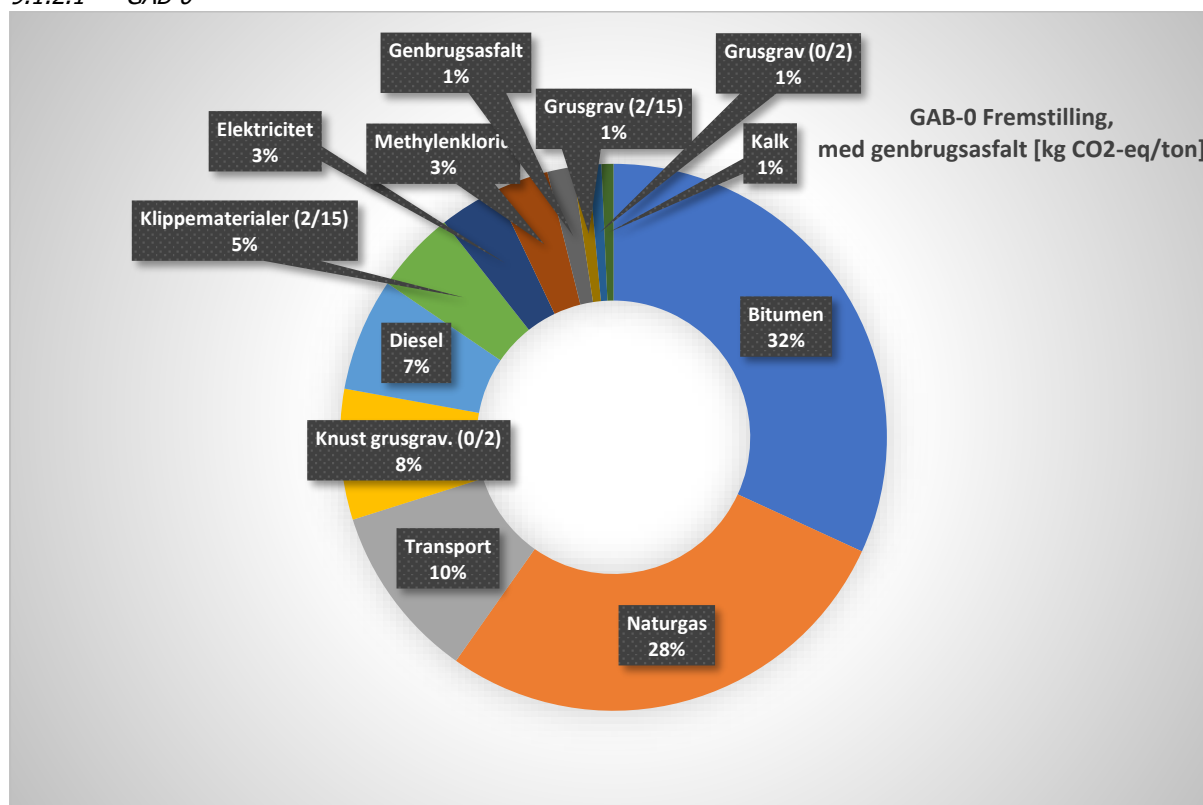
TEKNOLOGISK INSTITUT

I de følgende afsnit præsenteres resultaterne for GWP samlet set, for de forskellige asfalttyper i undersøgelsen, da denne miljøbelastningskategori vurderes at være det mest relevante resultat for sammenligningen.

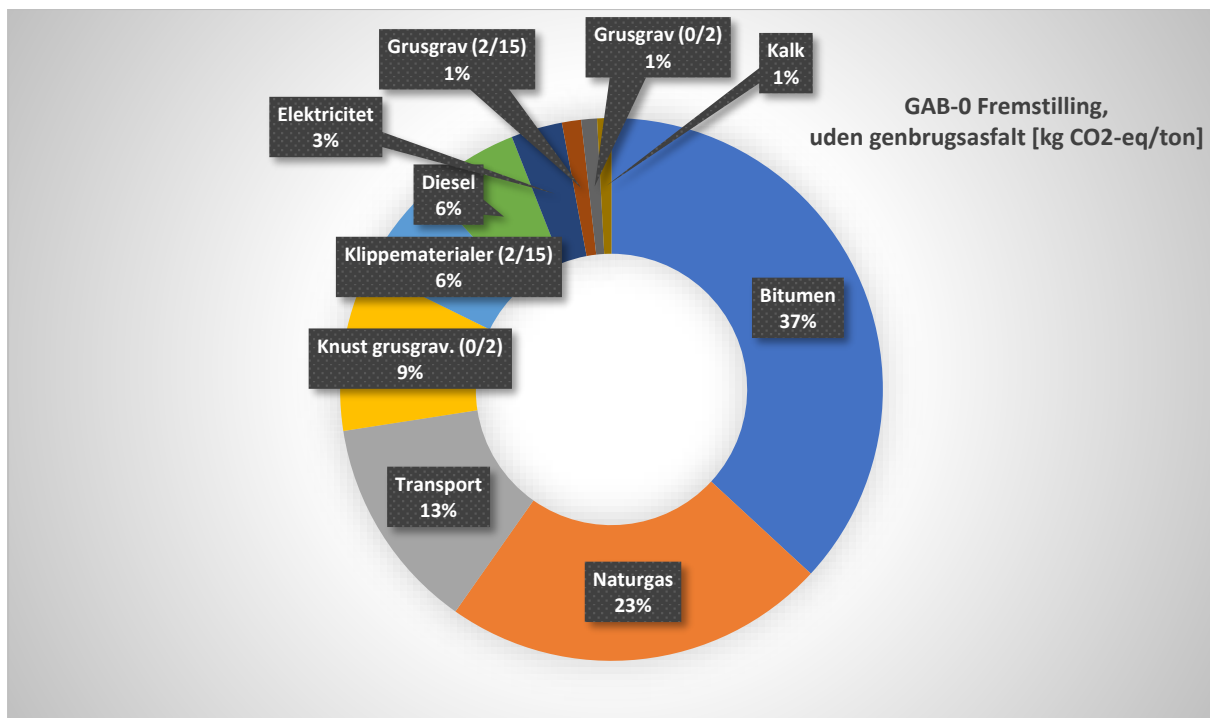
Tabel 10: Betegnelser i figurer

Betegnelse i figur	Detaljeret beskrivelse
Bitumen	Forbrug af bitumen indblandet i asfalt/BSM
Naturgas	Forbrug af naturgas til fremstilling af GAB-0 og GAB-I
Transport	Transport af råvarer til asfaltfabrikken
Diesel	Dieselforbrug til maskineri ved asfaltfremstilling (blander, mm.)
Elektricitet	Elektricitet til drift af asfaltfabrik og maskineri
Knust grusgrav. (0/2)	Knuste grusgravsmaterialer i størrelsesfraktionen 0-2 mm
Grusgrav (2/15)	Grusgravsmaterialer i størrelsesfraktionen 2-15 mm
Grusgrav (0/2)	Grusgravsmaterialer i størrelsesfraktionen 0-2 mm
Klippematerialer (2/15)	Granit/Klippemateriale i størrelsesfraktionen 2-15 mm
Genbrugsasfalt	Knust genbrugsasfalt indblandet i asfalt/BSM
Methylenklorid	Forbrug af methylenklorid til test af GAB-0 og GAB-I
Kalk	Forbrug af Kalkfiller indblandet i GAB-0 og GAB-I
Cement	Forbrug af cement ved fremstilling af BSM
Vand	Forbrug af vand ved fremstilling af BSM

9.1.2.1 GAB-0



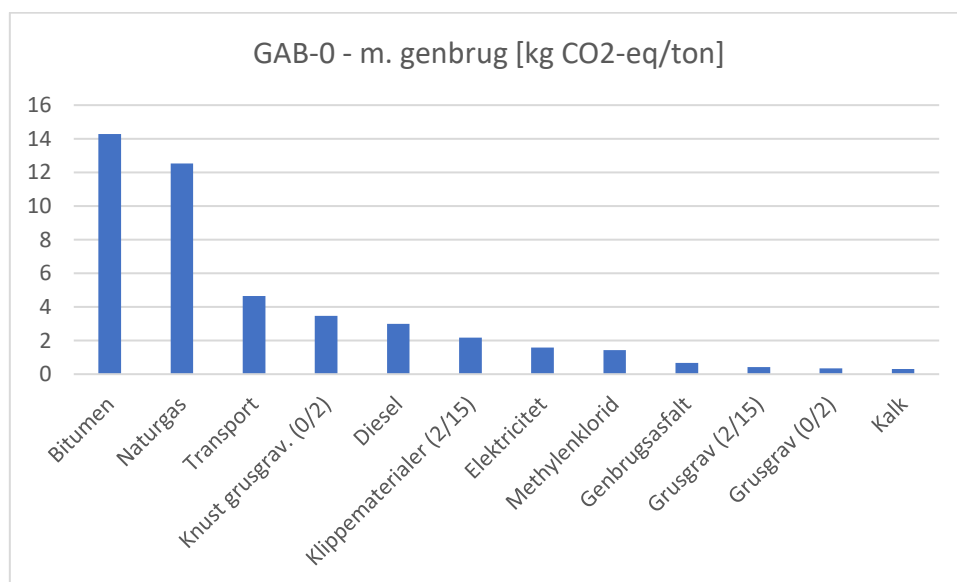
Figur 5: Bidrag til GWP pr. ton asfalt, GAB-0 inkl. genbrugsasfalt



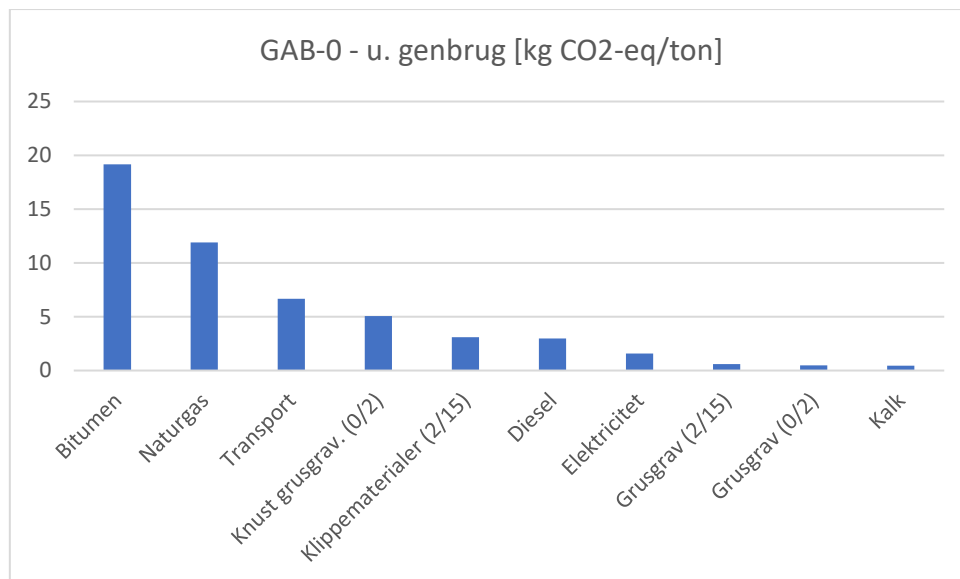
Figur 6: Bidrag til GWP pr. ton asfalt, GAB-0 ekskl. genbrugsasfalt

Til fremstillingen af GAB-0 ekskl. genbrugsasfalt er det brug af bitumen og opvarmning med naturgas, der betyder mest, og disse udgør samlet set 60% af det totale bidrag, mens de resterende bidrag er af mindre betydning, se Figur 5.

For GAB-0 uden genbrugsasfalt er det stadig bitumen og naturgas der udgør det største bidrag, på samlet set 60% af det totale GWP, dog gør den øgede mængde af bitumen, at denne betyder mest, se Figur 6.



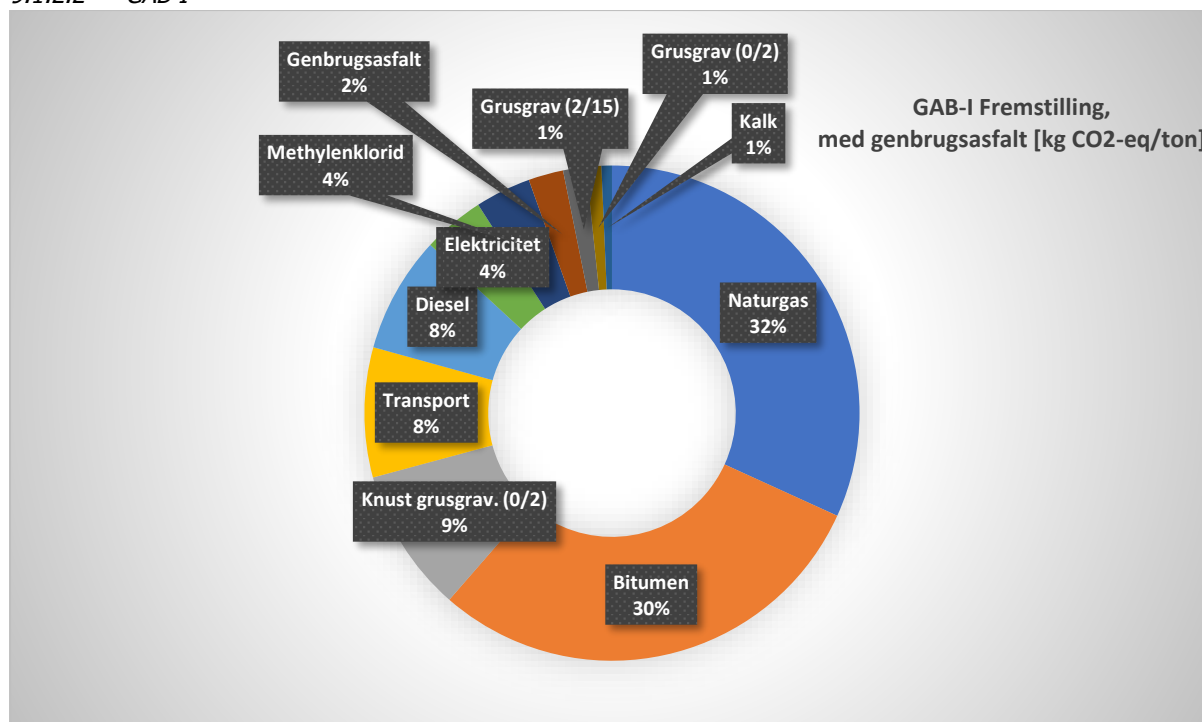
Figur 7: Bidrag til GWP pr. ton asfalt, GAB-0 inkl. genbrugsasfalt



Figur 8: Bidrag til GWP pr. ton asfalt, GAB-0 ekskl. genbrugsasfalt

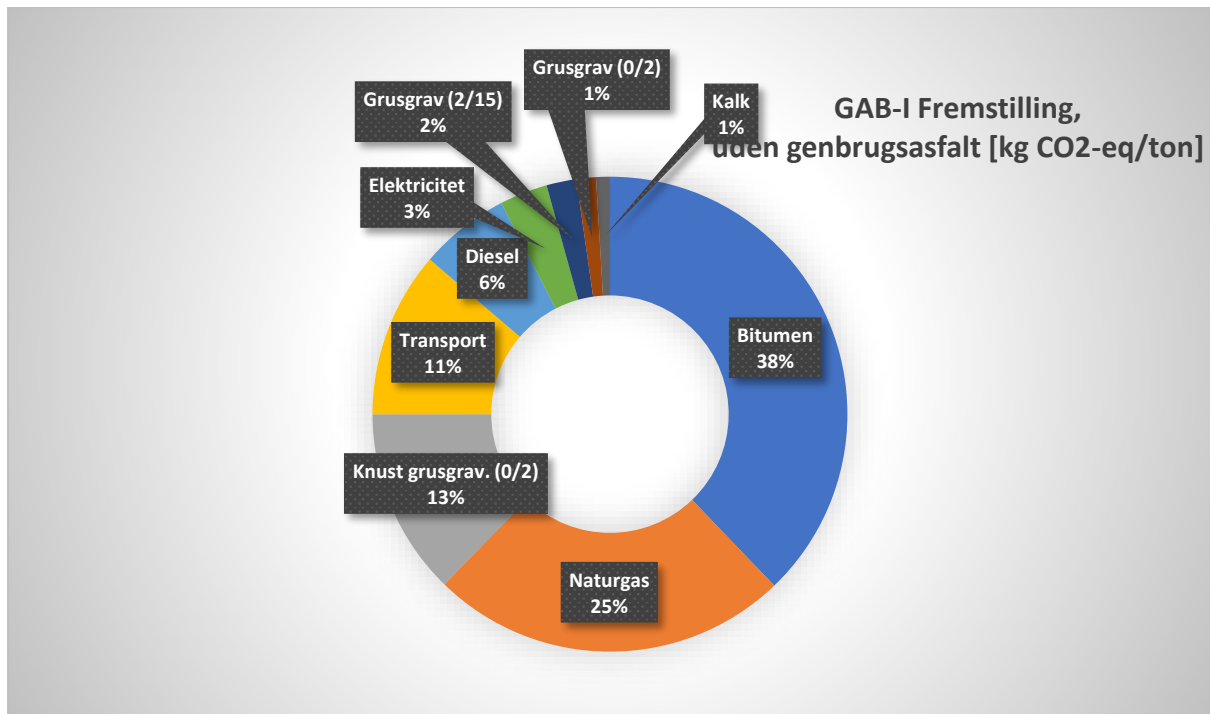
Når genbrugsasfalt erstattes af virgine materialer, stiger det samlede bidrag til GWP med 15,9% pr ton for GAB-0.

9.1.2.2 GAB-I



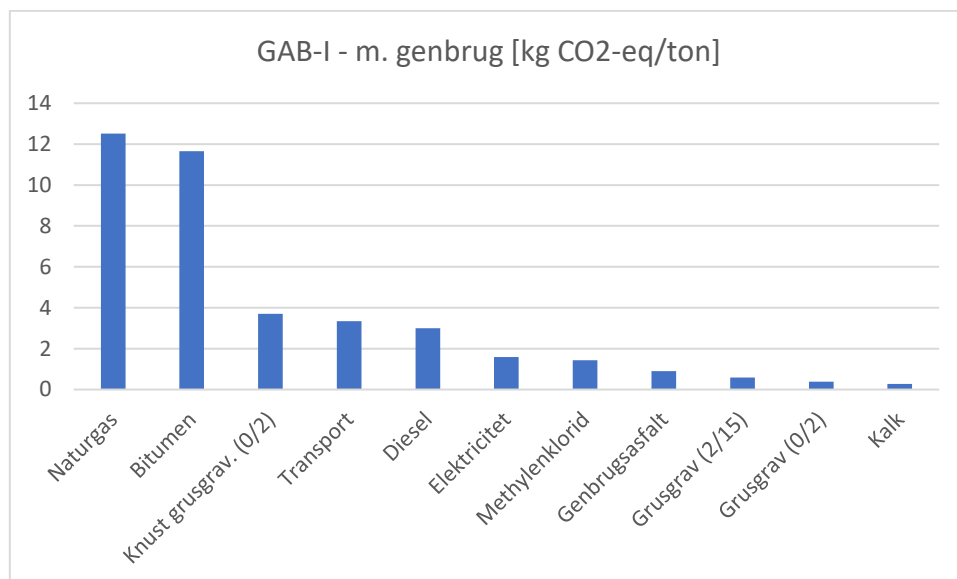
Figur 9: Bidrag til GWP pr. ton asfalt, GAB-I inkl. genbrugsasfalt

I fremstillingen af GAB-I er det naturgas der udgør det største bidrag, efterfulgt af bitumen, mens de resterende kategorier yder mindre bidrag. Tilsammen udgør naturgas og bitumen 62% af det samlede bidrag til GWP, mens de resterende processer er 10% eller derunder, se Figur 9.

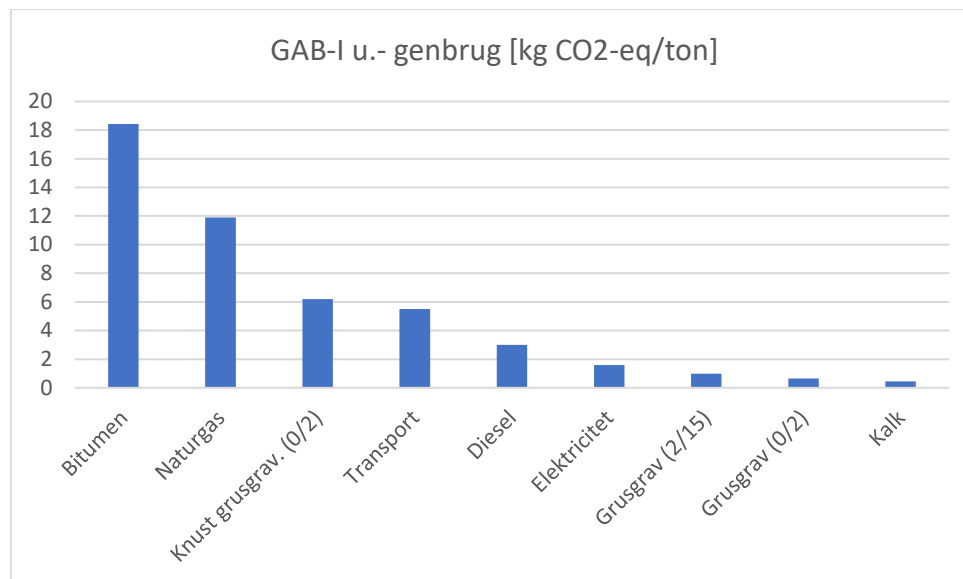


Figur 10: Bidrag til GWP pr. ton asfalt, GAB-I ekskl. genbrugsasfalt

For GAB-I ændrer billedet sig signifikant, når genbrugsasfalt ikke anvendes, da denne udgør 40% af sammensætningen. Når der anvendes virgine råvarer, ses et øget forbrug af bitumen samt et reduceret forbrug af naturgas, derfor udgør bitumen det største bidrag. Det samlede bidrag til GWP stiger med 23,7%, se Figur 10.

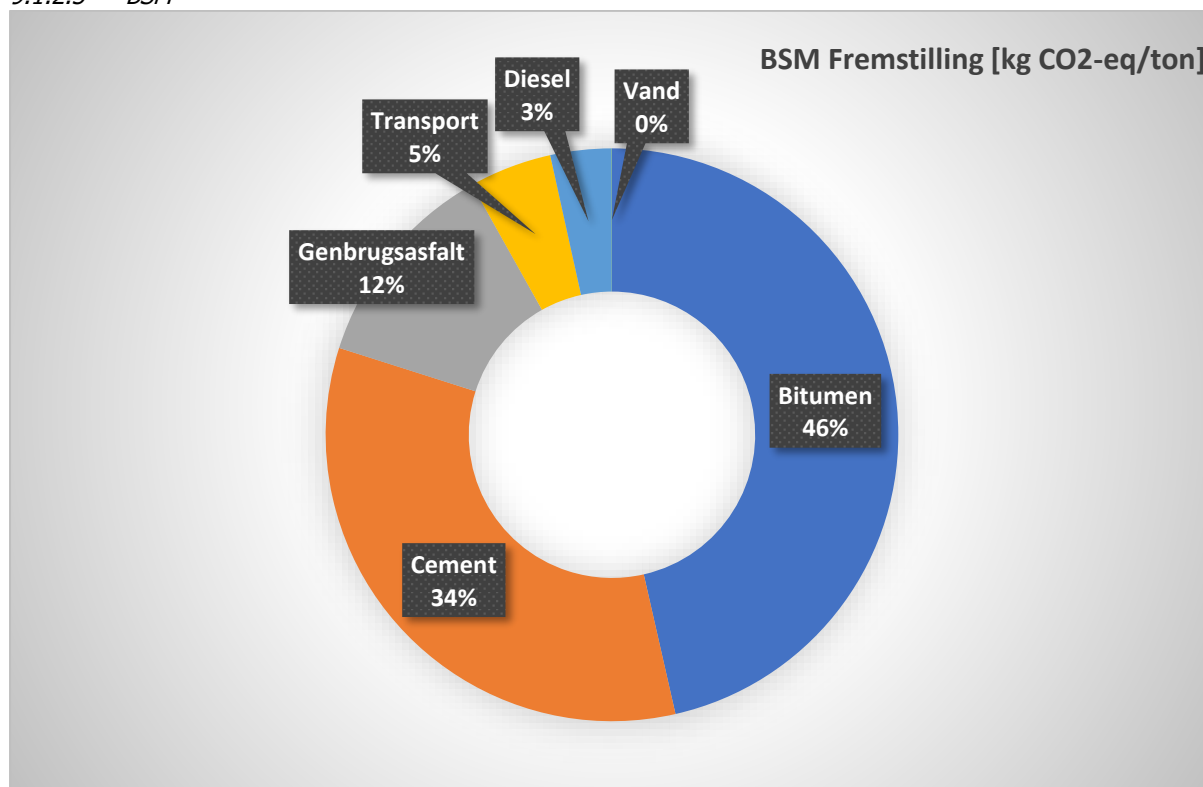


Figur 11: Bidrag til GWP pr. ton asfalt, GAB-I inkl. genbrugsasfalt



Figur 12: Bidrag til GWP pr. ton asfalt, GAB-I ekskl. genbrugsasfalt

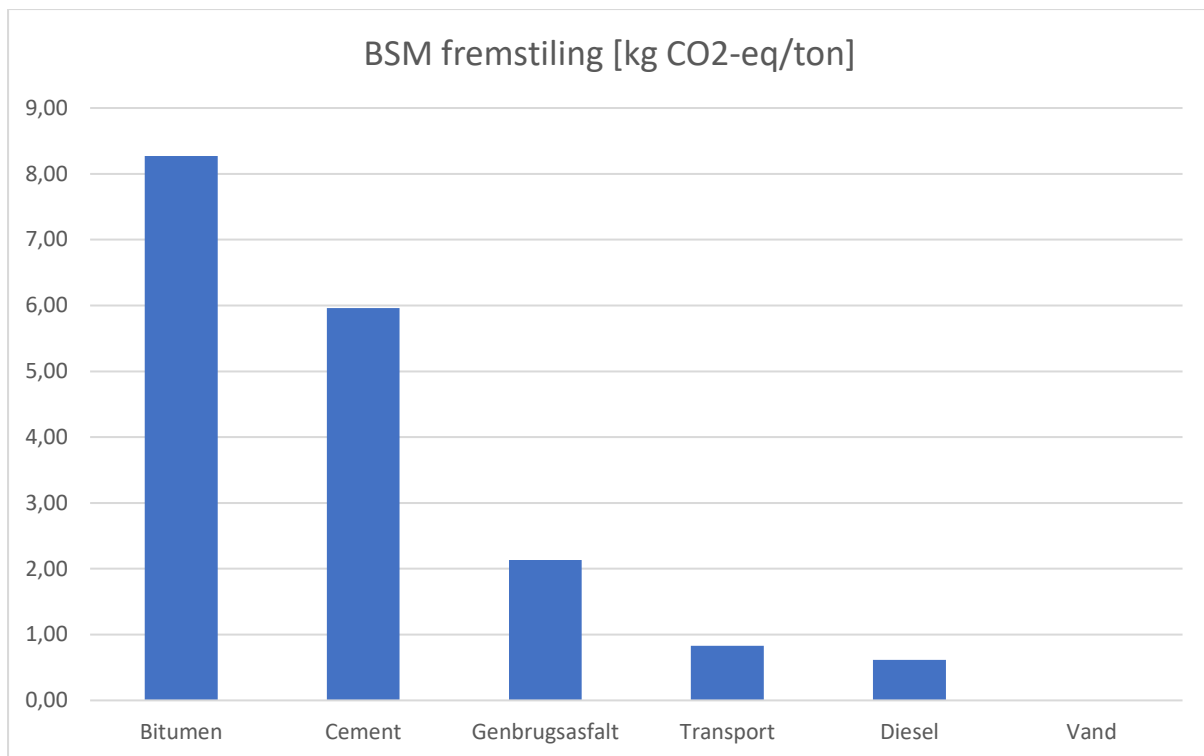
9.1.2.3 BSM



Figur 13: Bidrag til GWP pr. ton BSM

For fremstillingen af BSM er det bitumen, der giver det højeste bidrag til GWP, efterfulgt af cement og genbrugsasfalt. Bitumen og cement udgør til sammen 80% af det samlede GWP, se Figur 13.

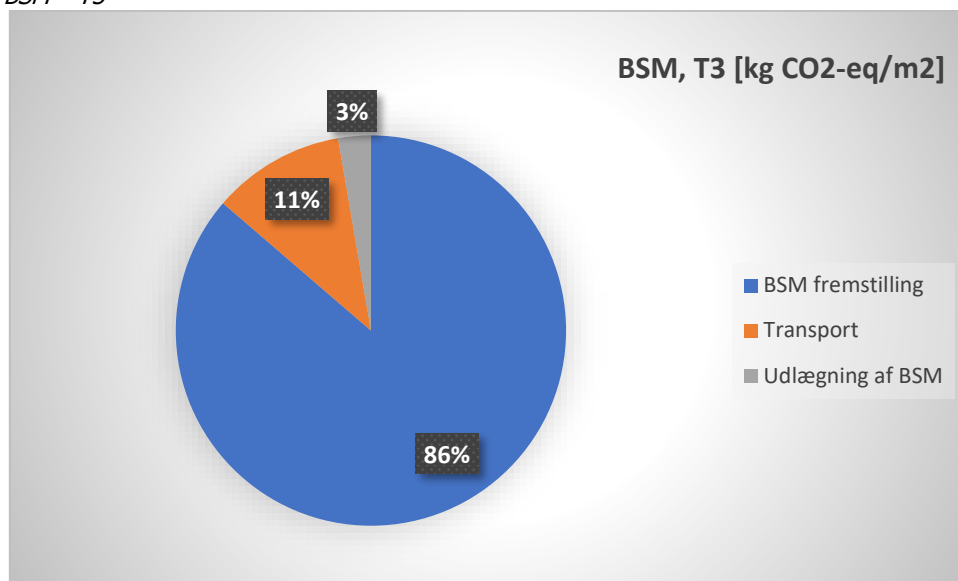
Fremstillingen af genbrugsasfalten har et meget lavt bidrag, som består af dieselforbruget til knusning og oparbejdningen. Knusning og oparbejdningen af genbrugsasfalten udgør 12% af det samlede GWP. Bidragene fra transport, diesel og vand til GWP er samlet set 8%.



Figur 14: Bidrag til GWP pr. ton BSM.

9.1.3 Globalt opvarmningspotentiale af asfaltbærelag pr m²

9.1.3.1 BSM – T3



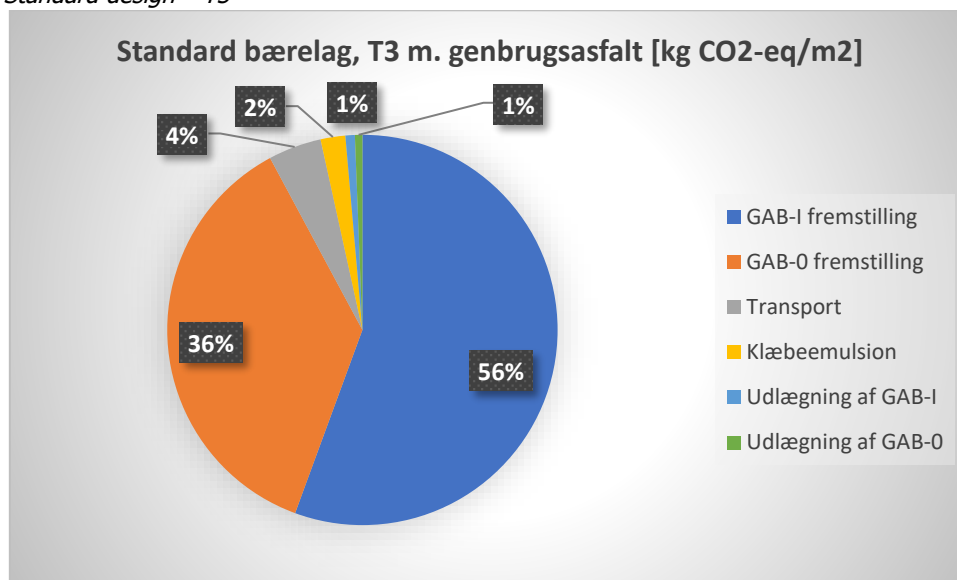
Figur 15: Fordeling af GWP pr m² bærelag, BSM bærelag til trafikklasse T3.

De relative bidrag til GWP for BSM-baseret asfaltbærelag pr m² fremgår af Figur 15.

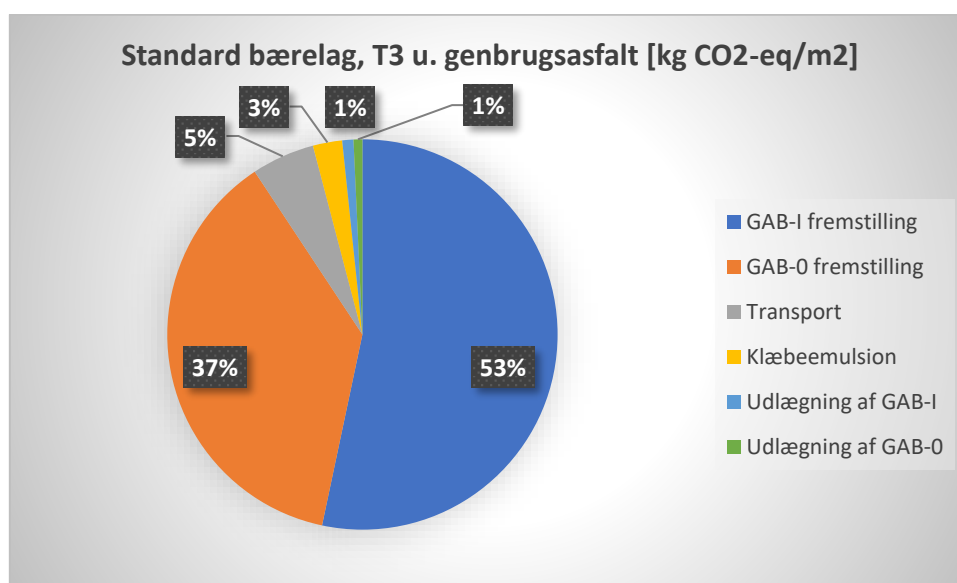
For begge trafikklasser T3/T4 udgør fremstillingen af BSM det største bidrag til globalt opvarmningspotentiale (GWP) på 86%, efterfulgt af transport fra asfaltfabrikken til udlægningen der bidrager 11%, og et mindre bidrag fra udlægningen på 3%.

Den afgørende faktor er derfor tykkelsen af det designede lag, som afgør hvor mange kg/m² der er anvendes af BSM'en.

9.1.3.2 Standard design – T3



Figur 16: Fordeling af GWP pr m² bærelag, standardopbygning medregnet genbrugsasfalt, til trafikklasse T3.

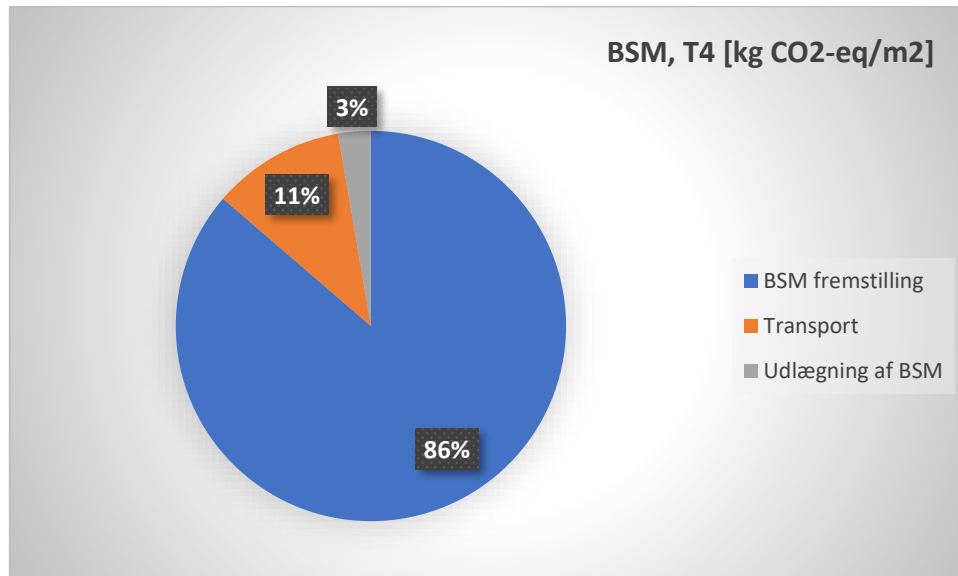


Figur 17: Fordeling af GWP pr m² bærelag, standardopbygning uden genbrugsasfalt, til trafikklasse T3.

I Figur 16 og Figur 17 foroven vises den relative fordeling af bidrag til GWP for standardbærelaget dimensioneret til trafikklasse T3, hhv. med og uden iblandet genbrugsasfalt. De samlede resultater ses i Tabel 4

For standardbelægningen til trafikklasse T3 gælder for begge med og uden genbrugsasfalt, at fremstillingen af GAB-I står for den største del af bidraget til GWP, på hhv. 56% medregnet genbrug og 53% uden genbrug. Det næsthøjeste bidrag kommer fra GAB-0, som modsvarer hhv. 36% og 37% for beregningen med og uden genbrug medregnet. Transport bidrager med 4-5%, klæbeemulsion bidrager 2-3% og udlægning med samlet set 2%.

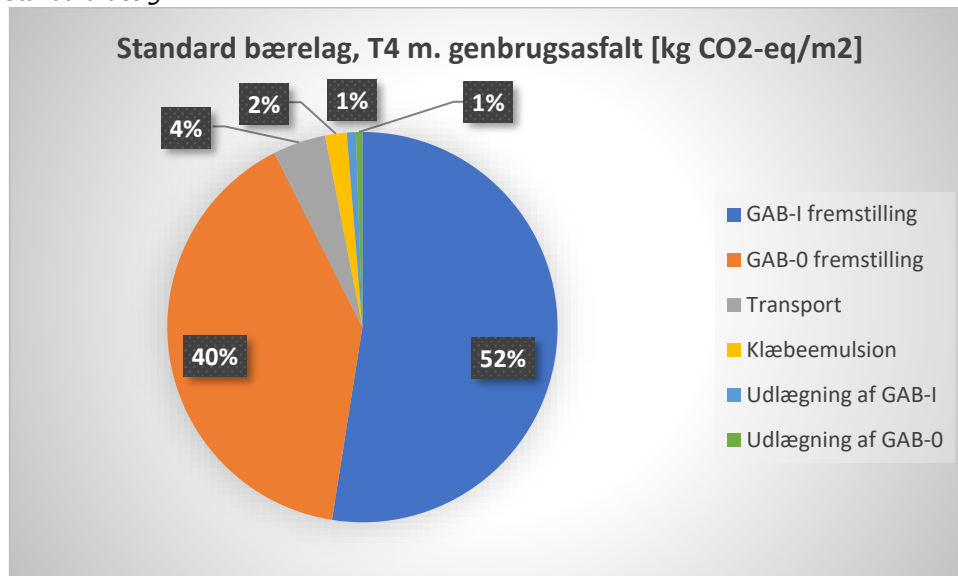
Denne inddeling stemmer overens med de forskellige lagtykkelser, hvor GAB-I har den største lagtykkelse på 65 mm, og GAB-0 har den næst største lagtykkelse på 40 mm. Selvom der anvendes 62,5% mere GAB-I end GAB-0, er dennes bidraget til GWP kun 52% højere for scenariet uden genbrugsasfalt, og 43% højere med genbrug, grundet GAB-I's markant lavere bidrag pr ton og større andel af genbrugsmaterialer.



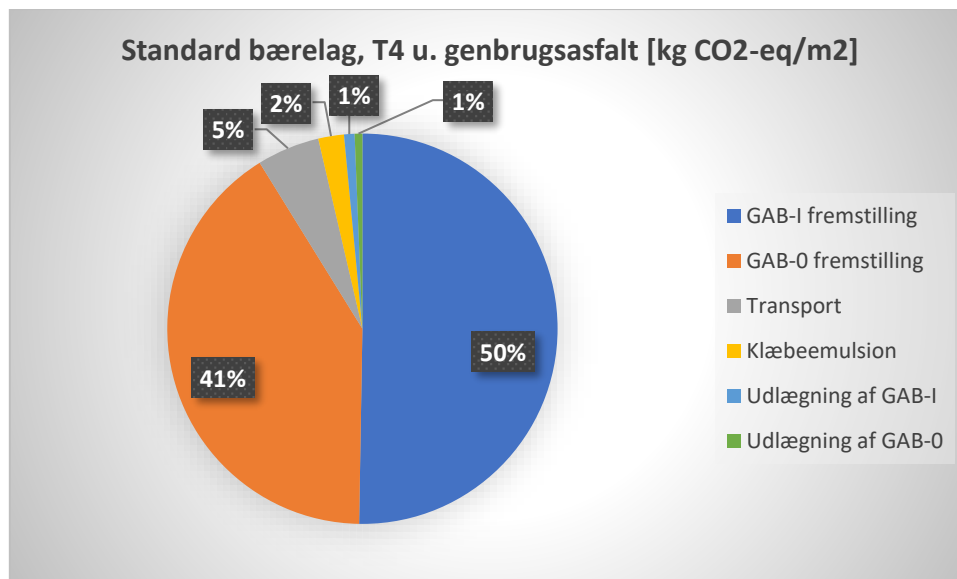
Figur 18: Fordeling af GWP pr m² bærelag, BSM bærelag til trafikklasse T4.

Bidragene til GWP for BSM designet til trafikklasse T4 følger samme tendens som trafikklasse T3, hvor BSM-laget udgør det markant største bidrag på 86%, efterfulgt et mindre signifikant bidrag fra transport på 11% og udlægning på 3%. Resultaterne er stort set ens som for T3, da den eneste forskel er at der kræves 150 mm BSM til forskel for de 130 mm fra T3 løsningen. Dette medfører et forbrug af BSM der stiger fra 250 kg/m² til 300 kg/m². Transportbidraget og bidraget fra udlægning følger en konstant ratio, opgjort pr ton asfalt, som er ensartet for T3 og T4.

9.1.3.4 Standard design – T4



Figur 19: Fordeling af GWP pr m² bærelag, standardopbygning medregnet genbrugsasfalt, til trafikklasse T4.



Figur 20: Fordeling af GWP pr m² bærelag, standardopbygning uden genbrugsasfalt, til trafikklasse T4.

For standardbelægningen til trafikklasse T4 gælder som for T3 i begge resultater, med og uden genbrugsasfalt, at GAB-I står for den største del af bidraget til GWP, på hhv. 52% medregnet genbrug og 50% uden genbrug. Det næsthøjeste bidrag kommer fra GAB-0 som modsvarer hhv. 40% med genbrug medregnet og 41% uden genbrug medregnet. Transport bidrager med 4-5%, klæbeemulsion med 2%, og udlægning med samlet set 2%.

9.2 USIKKERHED

Der er en række forskellige kilder til informationer og data anvendt i denne vurdering, herunder sekundære data fra rapporter, ekspertvurderinger for sammensætninger mm., direkte informationer fra SR-Gruppen, Loudon, og Wirtgen.

Det er ikke muligt at etablere specifikke værdier for usikkerhed, for de forskellige datakilder, hvorfor der i stedet for er regnet med en gennemsnitlig usikkerhedsgrad for resultaterne på +/- 10%. Resultaterne fra vurderingen undersøges for, om de ligger indenfor +/- 10% af hinanden, og om denne usikkerhed derfor kan have signifikant indflydelse på konklusionerne.

Det ses i hovedresultaterne, at forskellene i resultaterne mellem BSM bærelaget og standard bærelaget ligger i spændet 18-100%. De 100% er gældende for Ozone Depletion, som er ~100% domineret af methylenklorid. Ses der bort fra denne kategori er spændet 18-66%.

Der er ingen kategorier hvor forskellen er mindre end 10%, så der er ingen der falder indenfor usikkerheden på +/- 10%. De kategorier der er tættest på, er climate change (biogenic) på 18%, og water scarcity på 21%. For disse to kategorier vil usikkerheden være relevant at nævne. Hovedfokus af vurderingen er dog udledningen af CO₂-ækvivalenter, i den kategori er forskellen 51-59%, derfor ikke i nærheden af 10% og vurderet til at være robust.

For følgende følsomhedsanalyser vurderes også denne usikkerhed, og hvorvidt de beregnede scenarier er tilstrækkeligt følsomme til, at resultaterne falder indenfor 10%.

9.3 FØLSOMHEDSANALYSE

Der er gennemført følsomhedsanalyser på forbruget af naturgas til varmblandet asfalt, samt dieselforbrug til knusning og oparbejdning af genbrugsasfalten. Disse parametre er valgt på grund af asfalttypernes sammensætninger, hvor disse optræder som væsentlige forskelle. Resultaterne fra analyserne i de følgende afsnit viser, at resultaterne er robuste, da der ved en forøgelse af naturgasforbruget på 50%, observeres en forskel i GWP på 10-12%, afhængigt af andelen af genbrugsasfalt. Ved en reduktion i dieselforbrug til knusning og oparbejdning af genbrugsasfalt på 100%, observeres en reduktion i GWP på 11% for BSM-bærelagene, 2% for standard bærelag inkl. genbrugsasfalt, og 0% for standard bærelaget ekskl. genbrugsasfalt.



9.3.1 Følsomhed af udeladt affræsning af genbrugsasfalt

I nærværende vurdering er affræsningen af genbrugsasfalt ikke medregnet, da genbrugsasfalten forudsættes at findes på lager på asfaltfabrikken, og nedrivningen af en eksisterende vej ikke er inkluderet.

Dieselforbrug til affræsning af genbrugsasfalt er baseret på oplysninger i rapporten over cirkulær asfaltproduktion (Miljøstyrelsen, Andersson et al.: "Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark", 2018), hvor der regnes med 1,25 liter diesel pr affræst ton asfalt.

Analysen viser at inklusionen af affræsningen medfører et øget bidrag til GWP på 6% for BSM bærelaget, 3% for standard bærelaget inkl. genbrugsasfalt, mens standard bærelaget uden genbrugsasfalt er uforandret.

Inklusionen af affræsningen medfører at forskellen mellem et bærelag af BSM og et standard bærelag inkl. genbrugsasfalt er 1% lavere, mens forskellen er 3% lavere når der sammenlignes med et standard bærelag ekskl. genbrugsasfalt.

Udeladelsen er derfor væsentlig for de overordnede resultater, men af mindre betydning i den direkte sammenligning.

9.3.2 Følsomhedsscenario: Dieselforbrug til knusning/oparbejdning af genbrugsasfalt udeladt af analysen.

En væsentlig faktor i sammenligningen er dieselforbruget til knusning af genbrugsasfalt ved asfaltfabrikken, som i denne LCA blev vurderet til at ligge efter "end-of-waste" (altså at genbrugsasfalten modtaget hos asfaltproducenten eller nedbrydningsentreprenøren under alle omstændigheder forarbejdes til et egnet 0/16 (eller 0/32) mm genbrugsasfaltgranulat, uanset efterfølgende anvendelse i varm asfalt, BSM eller som "bitustabil" grus). Det ses at denne oparbejdelse bidrager med 12% af bidraget til GWP pr ton BSM.

Derfor analyseres et følsomhedsscenario, hvor knusning og oparbejdning af genbrugsasfalt vurderes til at ligge før "end-of-waste", således at dieselforbruget justeres fra 0,75 l/ton til 0 l/ton.



Tabel 11: LCIA resultater pr m2 bærelag – dimensioneret til hhv. trafikklasse T3 og T4, Følsomhedsscenario: dieselbrændstof til knusning/oparbejdning udeladt

Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag		Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T3			Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T4		
Miljøpåvirknings kategori	Enhed	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	[kg CO ₂ eq.]	4,81E+00	1,08E+01	1,31E+01	5,55E+00	1,24E+01	1,49E+01
Climate Change (fossil)	[kg CO ₂ eq.]	4,77E+00	1,08E+01	1,30E+01	5,51E+00	1,23E+01	1,48E+01
Climate Change (biogenic)	[kg CO ₂ eq.]	2,90E-02	4,12E-02	5,67E-02	3,35E-02	4,70E-02	6,47E-02
Climate Change (land use change)	[kg CO ₂ eq.]	9,68E-03	2,01E-02	2,40E-02	1,12E-02	2,27E-02	2,72E-02
Ozone depletion	[kg CFC-11 eq.]	4,40E-15	4,71E-06	3,62E-14	5,08E-15	5,39E-06	4,13E-14
Acidification terrestrial and freshwater	[Mole of H ⁺ eq.]	1,58E-02	3,83E-02	4,87E-02	1,83E-02	4,40E-02	5,59E-02
Eutrophication freshwater	[kg P eq.]	6,50E-06	1,46E-05	1,87E-05	7,50E-06	1,67E-05	2,13E-05
Eutrophication marine	[kg N eq.]	4,39E-03	1,30E-02	1,68E-02	5,07E-03	1,50E-02	1,93E-02
Eutrophication terrestrial	[Mole of N eq.]	4,85E-02	1,44E-01	1,85E-01	5,59E-02	1,65E-01	2,13E-01
Photochemical ozone formation - human health	[kg NMVOC eq.]	1,37E-02	3,73E-02	4,91E-02	1,59E-02	4,30E-02	5,66E-02
Resource use, mineral and metals	[kg Sb eq.]	6,45E-07	1,41E-06	1,89E-06	7,45E-07	1,61E-06	2,15E-06
Resource use, energy carriers	[MJ]	2,66E+02	4,79E+02	6,58E+02	3,07E+02	5,48E+02	7,50E+02
Water scarcity	[m ³ world equiv.]	3,04E-01	3,93E-01	4,85E-01	3,51E-01	4,49E-01	5,55E-01



Tabel 12: Ændring i Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, sammenlignet med hovedscenarie, for bærelagene dimensioneret til hhv. trafikklasse T3 og T4.

Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag		Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m2, til trafikklasse T3		Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m2, til trafikklasse T4	
Miljøpåvirknings kategori	Enhed	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	%	-55,6%	-63,2%	-55,2%	-62,8%
Climate Change (fossil)	%	-55,7%	-63,3%	-55,3%	-62,9%
Climate Change (biogenic)	%	-29,5%	-48,8%	-28,7%	-48,2%
Climate Change (land use change)	%	-51,7%	-59,7%	-50,8%	-58,9%
Ozone depletion	%	-100,0%	-87,8%	-100,0%	-87,7%
Acidification terrestrial and freshwater	%	-58,7%	-67,5%	-58,5%	-67,3%
Eutrophication freshwater	%	-55,6%	-65,3%	-55,0%	-64,8%
Eutrophication marine	%	-66,3%	-73,9%	-66,3%	-73,8%
Eutrophication terrestrial	%	-66,2%	-73,8%	-66,2%	-73,7%
Photochemical ozone formation - human health	%	-63,1%	-72,0%	-63,1%	-72,0%
Resource use, mineral and metals	%	-54,3%	-65,8%	-53,9%	-65,4%
Resource use, energy carriers	%	-44,5%	-59,6%	-44,0%	-59,1%
Water scarcity	%	-22,7%	-37,3%	-22,0%	-36,9%



Tabel 12 foroven viser forskellen mellem de nye beregnede resultater, og resultaterne fra hovedberegningen, se Tabel 4 og Tabel 5 i afsnit 8.

Da genbrugsasfalten udgør en markant større del af BSM bærelaget, sammenlignet med standardbærelaget, er der en forventet gevinst i miljøpåvirkningskategorierne, sammenlignet med hovedscenariet. For GWP betyder eksklusionen af dieselforbrug til knusningen en besparelse på 10,3% for BSM bærelaget, 1,8% for standard bærelaget med genbrugsasfalt inkluderet, og 0% for standard bærelaget uden genbrugsasfalt. De samlede forskelle ses i Tabel 12, forskellene varierer kun marginalt (<1%) mellem T3 og T4.

Tabel 13: Forskel i besparelse i miljøpåvirkning, sammenlignet med besparelse i hovedscenariet

Forskel i besparelse i miljøpåvirkning, sammenlignet med besparelse i hovedscenariet		Trafikklasse T3		Trafikklasse T4	
Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	%	4,2%	4,2%	4,3%	4,3%
Climate Change (fossil)	%	4,2%	4,2%	4,2%	4,2%
Climate Change (biogenic)	%	10,4%	10,5%	10,5%	10,7%
Climate Change (land use change)	%	17,2%	18,7%	17,6%	19,1%
Ozone depletion	%	0,0%	0,3%	0,0%	0,3%
Acidification terrestrial and freshwater	%	6,5%	6,2%	6,6%	6,2%
Eutrophication freshwater	%	9,4%	9,0%	9,5%	9,2%
Eutrophication marine	%	9,3%	8,5%	9,4%	8,5%
Eutrophication terrestrial	%	9,4%	8,6%	9,4%	8,6%
Photochemical ozone formation - human health	%	6,3%	5,7%	6,4%	5,7%
Resource use, mineral and metals	%	2,6%	2,4%	2,7%	2,4%
Resource use, energy carriers	%	1,2%	1,1%	1,3%	1,1%
Water scarcity	%	1,0%	1,1%	1,0%	1,1%

I Tabel 13 foroven illustreres den forskel der observeres pr. miljøpåvirkningskategori, sammenlignet med hovedscenariet, se Tabel 6 i afsnit 8. Tabellen viser dieselforbrugets indflydelse på de forskellige kategorier.

Det ses at forskellen ved skift fra standardbærelag til BSM bærelag er f.eks. 4,2-4,3% større for Climate Change for dette scenarie, sammenlignet med hovedscenariet. Ligeledes er der en større reduktion at se i samtlige miljøpåvirkningskategorier.

Det er derfor relevant for de endelige konklusioner om dieselforbruget til knusning/oparbejdning af genbrugsasfalten medtages eller ej.



TEKNOLOGISK INSTITUT

9.3.3 Følsomhedsscenario: Naturgasforbrug til fremstilling af GAB-0 og GAB-I øget med 50%.

Der er noget usikkerhed vedrørende naturgasforbruget til fremstillingen af traditionel asfalt, da denne kan variere afhængigt af en række parametre, som fx årstid og vejforhold mm.

Baseret på erfaringer fra Teknologisk Instituts asfalt- og belægningssektion kan dette forbrug i nogle tilfælde være væsentligt højere, end det, der er regnet med i denne rapport. Det undersøges derfor hvilken effekt det har på resultaterne, hvis forbruget af naturgas til fremstilling af GAB-0 og GAB-I øges med 50%.

De nye beregnede naturgasforbrug pr ton varmblandet asfalt er så:

- Beregnet energiforbrug med genbrug: $201 \text{ MJ/ton} * 1,5 = 301,5 \text{ MJ/ton}$
- Beregnet energiforbrug uden genbrug: $191 \text{ MJ/ton} * 1,5 = 286,5 \text{ MJ/ton}$

Tabel 14: LCIA resultater pr m2 bærelag – dimensioneret til hhv. trafikklasse T3 og T4, Følsomhedsscenario: 50% øget naturgasforbrug

Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag		Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T3			Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T4		
Miljøpåvirknings kategori	Enhed	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	[kg CO ₂ eq.]	5,37E+00	1,26E+01	1,45E+01	6,19E+00	1,43E+01	1,66E+01
Climate Change (fossil)	[kg CO ₂ eq.]	5,32E+00	1,25E+01	1,44E+01	6,13E+00	1,43E+01	1,65E+01
Climate Change (biogenic)	[kg CO ₂ eq.]	3,50E-02	4,35E-02	5,69E-02	4,04E-02	4,96E-02	6,49E-02
Climate Change (land use change)	[kg CO ₂ eq.]	1,42E-02	2,17E-02	2,40E-02	1,64E-02	2,45E-02	2,72E-02
Ozone depletion	[kg CFC-11 eq.]	4,51E-15	4,71E-06	3,62E-14	5,20E-15	5,39E-06	4,14E-14
Acidification terrestrial and freshwater	[Mole of H ⁺ eq.]	1,88E-02	4,02E-02	4,95E-02	2,17E-02	4,62E-02	5,68E-02
Eutrophication freshwater	[kg P eq.]	8,19E-06	1,53E-05	1,87E-05	9,46E-06	1,74E-05	2,13E-05
Eutrophication marine	[kg N eq.]	5,82E-03	1,39E-02	1,71E-02	6,72E-03	1,60E-02	1,97E-02
Eutrophication terrestrial	[Mole of N eq.]	6,44E-02	1,53E-01	1,89E-01	7,43E-02	1,76E-01	2,17E-01
Photochemical ozone formation - human health	[kg NMVOC eq.]	1,65E-02	3,93E-02	5,01E-02	1,91E-02	4,52E-02	5,76E-02
Resource use, mineral and metals	[kg Sb eq.]	6,90E-07	1,45E-06	1,91E-06	7,96E-07	1,66E-06	2,18E-06
Resource use, energy carriers	[MJ]	2,73E+02	5,07E+02	6,82E+02	3,15E+02	5,80E+02	7,78E+02
Water scarcity	[m ³ world equiv.]	3,09E-01	3,96E-01	4,86E-01	3,57E-01	4,52E-01	5,56E-01



Tabel 15: Forskel i Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T3, sammenlignet med hovedscenarie

Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag		Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m2, til trafikklasse T3		Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m2, til trafikklasse T4	
Miljøpåvirknings kategori	Enhed	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	%	-57,3%	-63,1%	-56,8%	-62,6%
Climate Change (fossil)	%	-57,4%	-63,2%	-57,0%	-62,8%
Climate Change (biogenic)	%	-19,5%	-38,5%	-18,6%	-37,8%
Climate Change (land use change)	%	-34,6%	-41,0%	-33,3%	-39,8%
Ozone depletion	%	-100,0%	-87,6%	-100,0%	-87,4%
Acidification terrestrial and freshwater	%	-53,2%	-62,0%	-53,0%	-61,8%
Eutrophication freshwater	%	-46,3%	-56,3%	-45,5%	-55,6%
Eutrophication marine	%	-58,0%	-66,0%	-57,9%	-65,9%
Eutrophication terrestrial	%	-57,9%	-65,9%	-57,8%	-65,8%
Photochemical ozone formation - human health	%	-57,9%	-67,0%	-57,8%	-66,9%
Resource use, mineral and metals	%	-52,5%	-63,9%	-52,0%	-63,4%
Resource use, energy carriers	%	-46,1%	-59,9%	-45,6%	-59,5%
Water scarcity	%	-21,9%	-36,3%	-21,1%	-35,9%

Tabel 14 og Tabel 15 foroven viser ændringerne i resultaterne, for scenariet med 50% øget naturgasforbrug, sammenlignet med hovedscenariet, se Tabel 4 og Tabel 5 i afsnit 8.

Resultaterne for BSM bærelaget er som forventet uforandret, da der ikke benyttes naturgas til opvarmning af BSM. Resultaterne for standard bærelaget er steget med op til 13,8%, sammenlignet med hovedscenariet, og den primære vækst ses i hhv. Climate Change total og Climate change (Fossil). Ændringerne er de samme for både T3 og T4.

Det øgede forbrug af naturgas til fremstillingen af GAB-0 og GAB-I medfører øgede resultater i samtlige miljøpåvirkningskategorier, og som følge af dette vil forskellene mellem standardopbygningen og BSM opbygningen vokse.



Tabel 16: Forskel i besparelse i miljøpåvirkning, sammenlignet med besparelse i hovedscenariet

Forskel i besparelse i miljøpåvirkning, sammenlignet med besparelse i hovedscenariet		Trafikklasse T3		Trafikklasse T4	
Miljøpåvirkningskategori	Enheden	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	%	5,9%	4,1%	5,9%	4,1%
Climate Change (fossil)	%	5,9%	4,1%	5,9%	4,1%
Climate Change (biogenic)	%	0,4%	0,2%	0,4%	0,2%
Climate Change (land use change)	%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%
Ozone depletion	%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Acidification terrestrial and freshwater	%	1,0%	0,6%	1,0%	0,6%
Eutrophication freshwater	%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%
Eutrophication marine	%	1,0%	0,7%	1,0%	0,6%
Eutrophication terrestrial	%	1,1%	0,7%	1,1%	0,7%
Photochemical ozone formation - human health	%	1,1%	0,6%	1,1%	0,6%
Resource use, mineral and metals	%	0,8%	0,4%	0,8%	0,4%
Resource use, energy carriers	%	2,8%	1,5%	2,8%	1,5%
Water scarcity	%	0,2%	0,1%	0,2%	0,1%

Tabel 16 foroven illustreres den forskel man opnår i besparelsen pr miljøpåvirkningskategori, sammenlignet med hovedscenariet, se Tabel 6 i afsnit 8. Tabellen viser det øgede naturgasforbrugs indflydelse på de forskellige kategorier.

Det ses at der opnås en større besparelse ved brugen af BSM, sammenlignet med standard bærelaget hvor der medregnes genbrugsasfalt. Dette skyldes det større forbrug af naturgas til varmblandet asfalt, når denne skal indeholde genbrugsasfalt.

Besparelsen ved brug af BSM stiger sammenlignet med hovedscenariet i alle miljøpåvirkningskategorier. For Climate Change stiger den med hhv. 5,9% sammenlignet med standard bærelag inkl. Genbrugsasfalt, og 4,1% sammenlignet med standard bærelag uden genbrugsasfalt. Ændringerne i besparelserne er stort set identiske for T3 og T4 (<1%).



9.3.4 Opsummering

Tabel 17: Forskel i miljøpåvirkningskategorier ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag, for 1 m2 til trafikklasse T3. Præsenteret for Hovedscenarie og følsomhedsscenarier

Trafikklasse T3, besparelse pr. m2 ved brug af BSM bærelag, sammenlignet med standard bærelag		Hovedscenarie		Følsomhedsscenarie: Dieselforbrug til knusning/oparbejdning af genbrugsasfalt ekskluderet		Følsomhedsscenarie: Naturgasforbrug til fremstilling af GAB-I og GAB-0 øget med 50%	
Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	%	-51,4%	-59,0%	-55,6%	-63,2%	-57,3%	-63,1%
Climate Change (fossil)	%	-51,6%	-59,1%	-55,7%	-63,3%	-57,4%	-63,2%
Climate Change (biogenic)	%	-19,1%	-38,3%	-29,5%	-48,8%	-19,5%	-38,5%
Climate Change (land use change)	%	-34,5%	-40,9%	-51,7%	-59,7%	-34,6%	-41,0%
Ozone depletion	%	-100,0%	-87,5%	-100,0%	-87,8%	-100,0%	-87,6%
Acidification terrestrial and freshwater	%	-52,2%	-61,3%	-58,7%	-67,5%	-53,2%	-62,0%
Eutrophication freshwater	%	-46,2%	-56,3%	-55,6%	-65,3%	-46,3%	-56,3%
Eutrophication marine	%	-57,0%	-65,3%	-66,3%	-73,9%	-58,0%	-66,0%
Eutrophication terrestrial	%	-56,8%	-65,2%	-66,2%	-73,8%	-57,9%	-65,9%
Photochemical ozone formation - human health	%	-56,8%	-66,3%	-63,1%	-72,0%	-57,9%	-67,0%
Resource use, mineral and metals	%	-51,7%	-63,4%	-54,3%	-65,8%	-52,5%	-63,9%
Resource use, energy carriers	%	-43,3%	-58,5%	-44,5%	-59,6%	-46,1%	-59,9%
Water scarcity	%	-21,7%	-36,2%	-22,7%	-37,3%	-21,9%	-36,3%



Tabel 18: Forskel i miljøpåvirkningskategorier ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag, for 1 m² til trafikklasse T4. Præsenteret for Hovedscenarie og følsomhedsscenarier

Trafikklasse T4, besparelse pr. m ² ved brug af BSM bærelag, sammenlignet med standard bærelag		Hovedscenarie		Følsomhedsscenario : Dieselforbrug til knusning/oparbejdning af genbrugsasfalt ekskluderet		Følsomhedsscenario : Naturgasforbrug til fremstilling af GAB-I og GAB-0 øget med 50%	
Miljøpåvirkningskategori	Enheden	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	%	-50,9%	-58,5%	-55,2%	-62,8%	-56,8%	-62,6%
Climate Change (fossil)	%	-51,1%	-58,7%	-55,3%	-62,9%	-57,0%	-62,8%
Climate Change (biogenic)	%	-18,2%	-37,5%	-28,7%	-48,2%	-18,6%	-37,8%
Climate Change (land use change)	%	-33,3%	-39,8%	-50,8%	-58,9%	-33,3%	-39,8%
Ozone depletion	%	-100,0%	-87,4%	-100,0%	-87,7%	-100,0%	-87,4%
Acidification terrestrial and freshwater	%	-52,0%	-61,1%	-58,5%	-67,3%	-53,0%	-61,8%
Eutrophication freshwater	%	-45,5%	-55,6%	-55,0%	-64,8%	-45,5%	-55,6%
Eutrophication marine	%	-56,9%	-65,3%	-66,3%	-73,8%	-57,9%	-65,9%
Eutrophication terrestrial	%	-56,8%	-65,1%	-66,2%	-73,7%	-57,8%	-65,8%
Photochemical ozone formation - human health	%	-56,7%	-66,3%	-63,1%	-72,0%	-57,8%	-66,9%
Resource use, mineral and metals	%	-51,2%	-63,0%	-53,9%	-65,4%	-52,0%	-63,4%
Resource use, energy carriers	%	-42,8%	-58,0%	-44,0%	-59,1%	-45,6%	-59,5%
Water scarcity	%	-20,9%	-35,7%	-22,0%	-36,9%	-21,1%	-35,9%

Tabel 17 og Tabel 18 foroven viser besparelsen pr miljøpåvirkningskategori, når man erstatter standard bærelaget med et bærelag baseret på BSM. Tabellerne præsenterer reduktionen i miljøpåvirkningspotentiale for hver kategori i %, for hovedscenariet og de to beregnede følsomhedsanalyser.

Resultaterne viser, at der for begge følsomhedsscenarier findes en øget besparelse ved brug af BSM. Hvis der for et givent scenarie både anvendes 50% mere naturgas, samtidigt med at knusningen af asfalten udelades, stiger besparelserne kumulativt. Således kan der for fx climate change opnås en besparelse på 61,1% medregnet genbrugsasfalt, og 66,9% uden genbrugsasfalt for trafikklasse T3. De samme besparelser er hhv. 60,7% og 66,5% for trafikklasse T4.

9.3.4.1 Usikkerhed

Resultaterne fra følsomhedsanalyserne vurderes efter den antagne usikkerhed i resultaterne på +/- 10%, for at se om der for nogen af scenarierne findes resultater, der falder indenfor det spænd, og derfor har relevant betydning ift. følsomhed.

Det ses at forskellene mellem BSM bærelaget og standard bærelaget er større i alle miljøpåvirkningskategorier, sammenlignet med hovedscenariet. Der er altså ingen kategorier hvor resultaterne er tættere på hinanden, og derved falder indenfor de 10%, for nogen af de vurderede følsomhedsscenarier.



9.4 VÆRDIBASEREDE VALG, RATIONALER OG EKSPERTVURDERINGER

9.4.1 Ekspertvurdering af typiske asfaltsammensætninger

Asfaltsammensætningerne for GAB-0 og GAB-I, hhv. med genbrugsasfalt og med udelukkende virgine materialer, er baseret på standard værdier og erfaringer fra Teknologisk Institut asfalt- og belægningssektion.

9.4.2 Ekstern dimensionering af BSM-baseret opbygning

BSM-dimensioneringsberegningerne, som fremgår af rapportens bilag 1, er udarbejdet af de sydafrikanske BSM-specialistrådgivere fra firmaet LOUDON International, som har mangeårig praktisk erfaring med anvendelse og dimensionering af BSM-belægninger i lande som f.eks. Sydafrika, Brasilien og USA. LOUDON har således opstillet belægninger som dimensioneringsmæssigt kan tage mindst samme trafik som de danske standard-katalogbefæstelser for T3 og T4. Der er i alle dimensioneringsberegninger forudsat "frostdtvivlsom" underbund med et E-modul på 40 MPa og der er konsekvent anvendt en beregningsmæssigt forventet levetid på mindst 20 år.



10 ALTERNATIVT SCENARIE FOR REHABILITERINGSLØSNING

10.1 OPBYGNING

Et bærelag baseret på BSM kan erstatte en traditionel opbygning, både ved udførelse af nye asfaltbelægninger, samt ved renovering og rehabilitering af eksisterende belægninger. Ved traditionelle rehabiliteringer af eksisterende asfaltbelægninger, affræses den eksisterende asfalt og erstattes med en ny belægning. Ved inklusionen af BSM i bærelaget, kan den affræste asfalt indgå direkte i den nye belægning, da hovedbestanddelen af BSM er genbrugsasfalt.

Det alternative scenarie for sammenligningen omhandler derfor rehabilitering, hvor en eksisterende belægning skal erstattes, enten af en standard opbygning (GAB-0 + GAB-I) eller af en BSM opbygning. Det ønskes undersøgt hvordan dette påvirker sammenligningen, hvis det udvider reduktionerne i miljøpåvirkning dokumenteret i afsnit 8, og i så fald i hvor høj grad det påvirker sammenligningen.

10.2 SYSTEMGRÆNSE

Systemgrænsen er i dette scenarie udvidet, og indeholder den eksisterende asfaltbelægning der skal erstattes. Der er ikke medregnet affræsning af den eksisterende asfalt, da denne er identisk for de to systemer, og i begge systemer vil hele den eksisterende asfalt affræses. Den eneste nye faktor er derfor transport af affræset asfalt, fra eksisterende lokation til nærmeste asfaltfabrik, en distance som er defineret på forhånd, se afsnit 7.3. For BSM kan denne udlægges direkte, uden behov for transport.

Den funktionelle enhed for denne alternative betragtning bliver da:

1. 1 m^2 færdiglagt asfaltbærelag ved rehabilitering af eksisterende asfaltbelægning, beregnet til at understøtte dimensioneringstrafik for trafikklasse T3, i en periode på 20 år.
2. 1 m^2 færdiglagt asfaltbærelag ved rehabilitering af eksisterende asfaltbelægning, beregnet til at understøtte dimensioneringstrafik for trafikklasse T4, i en periode på 20 år.

10.3 LIVSCYKLUSKORTLÆGNING

Livscykluskortlægningen bygger videre på den oprindelige kortlægning, som er beskrevet i afsnit 7, og udvider denne til at inkludere en eksisterende asfaltbelægning, som skal rehabiliteres med en ny tilsvarende belægning.

Der regnes derfor med rehabilitering af en eksisterende belægning bestående af GAB-0, GAB-I, samt et slidlag af SMA. Der regnes med en gennemsnitlig asfaltdensitet på 23 kg/cm, og lagtykkelser modsvarende dem for ny udlægning, som beskrevet i afsnit 7.1.2 for T3 og 7.1.3 for T4. Hertil regnes et slidlag med tykkelsen 25 mm.

Samlet set giver det for T3 en tykkelse på 130 mm eksisterende asfalt, svarende 299 kg/m², som affræses og transporteres til lokal asfaltfabrik. For trafikklasse T4 er den samlede tykkelse af eksisterende asfalt lig 145 mm, hvorved der affræses samlet set 334 kg/m². Herefter kan denne asfalt indgå i fremstillingen af GAB-0 og GAB-I, i mængderne 30% for GAB-0 og 40% for GAB-I, som beskrevet i den oprindelige livscykluskortlægning, se afsnit 7.2.

For den alternative opbygning med BSM kan asfalten udlægges direkte, uden behov for først at transportere genbrugsasfalten til asfaltfabrikken. Her vil der i stedet være en mindre transportafstand forbundet med udlægningen, og den maksimale afstand man typisk vil udlægge BSM, før man flytter anlægget. I dette scenarie regnes med 4 km, som anses være den maksimale afstand man vil køre før anlægget flyttes, og det vurderes være den mest konservative tilgang.

I BSM løsningen indgår hhv. 130 mm = 260 kg/m² for trafikklasse T3, og 150 mm = 300 kg/m² for trafikklasse T4. Det betyder at der fra affræsningen er overskydende asfalt, denne regnes som kørt til lokal asfaltfabrik, efter udført udlægning. For T3 er der tale om overskudsaffald på 39 kg/m², og for T4 er overskuddet 34 kg/m².



10.4 VURDERING AF POTENTIELLE MILJØPÅVIRKNINGER

forneden viser de samlede resultater af miljøvurderingen, fordelt på de to trafikklasser, og opdelt på de tre analyserede asfaltbærelag; BSM bærelag, og standard bærelag hhv. med og uden genbrugsasfalt. Resultater er opgjort pr m2 bærelag.

Tabel 19: LCIA for rehabiliteringsscenarie, resultater pr m2 bærelag – dimensioneret til trafikklasse T3

Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag		Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T3			Miljøpåvirkning pr. m2 bærelag, til trafikklasse T4		
Miljøpåvirknings kategori	Enhed	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	BSM bærelag	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	[kg CO ₂ eq.]	4,94E+00	1,17E+01	1,38E+01	5,68E+00	1,34E+01	1,57E+01
Climate Change (fossil)	[kg CO ₂ eq.]	4,90E+00	1,16E+01	1,37E+01	5,62E+00	1,33E+01	1,56E+01
Climate Change (biogenic)	[kg CO ₂ eq.]	3,57E-02	4,22E-02	5,56E-02	4,12E-02	4,81E-02	6,34E-02
Climate Change (land use change)	[kg CO ₂ eq.]	1,08E-02	2,71E-02	2,94E-02	1,22E-02	3,06E-02	3,32E-02
Ozone depletion	[kg CFC-11 eq.]	4,43E-15	4,71E-06	3,63E-14	5,10E-15	5,39E-06	4,15E-14
Acidification terrestrial and freshwater	[Mole of H ⁺ eq.]	1,74E-02	4,16E-02	5,09E-02	2,00E-02	4,77E-02	5,83E-02
Eutrophication freshwater	[kg P eq.]	6,92E-06	1,73E-05	2,08E-05	7,91E-06	1,96E-05	2,36E-05
Eutrophication marine	[kg N eq.]	5,20E-03	1,45E-02	1,78E-02	5,96E-03	1,67E-02	2,05E-02
Eutrophication terrestrial	[Mole of N eq.]	5,74E-02	1,60E-01	1,96E-01	6,58E-02	1,84E-01	2,25E-01
Photochemical ozone formation - human health	[kg NMVOC eq.]	1,53E-02	4,02E-02	5,11E-02	1,76E-02	4,63E-02	5,87E-02
Resource use, mineral and metals	[kg Sb eq.]	6,56E-07	1,48E-06	1,94E-06	7,55E-07	1,69E-06	2,21E-06
Resource use, energy carriers	[MJ]	2,68E+02	4,91E+02	6,67E+02	3,09E+02	5,61E+02	7,60E+02
Water scarcity	[m ³ world equiv.]	3,05E-01	4,02E-01	4,91E-01	3,52E-01	4,59E-01	5,62E-01



10.5 LIVSCYKLUS FORTOLKNING

Tabel 20: Forskel i miljøpåvirkning for rehabiliteringsscenarie, ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m2, til trafikklasse T3

Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag		Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m2, til trafikklasse T3		Forskel i miljøpåvirkning ved skift fra standard bærelag til BSM bærelag. For 1 m2, til trafikklasse T4	
Miljøpåvirknings kategori	Enhed	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	%	-57,8%	-64,1%	-57,5%	-63,8%
Climate Change (fossil)	%	-58,0%	-64,2%	-57,7%	-63,9%
Climate Change (biogenic)	%	-15,3%	-35,8%	-14,3%	-35,0%
Climate Change (land use change)	%	-60,1%	-63,3%	-59,9%	-63,1%
Ozone depletion	%	-100,0%	-87,8%	-100,0%	-87,7%
Acidification terrestrial and freshwater	%	-58,1%	-65,7%	-58,0%	-65,7%
Eutrophication freshwater	%	-60,0%	-66,7%	-59,7%	-66,5%
Eutrophication marine	%	-64,2%	-70,8%	-64,3%	-70,9%
Eutrophication terrestrial	%	-64,2%	-70,7%	-64,3%	-70,8%
Photochemical ozone formation - human health	%	-61,9%	-70,0%	-62,0%	-70,1%
Resource use, mineral and metals	%	-55,7%	-66,2%	-55,4%	-65,8%
Resource use, energy carriers	%	-45,5%	-59,9%	-45,0%	-59,4%
Water scarcity	%	-24,0%	-37,9%	-23,3%	-37,4%

I Tabel 20 foroven præsenteres forskellene i miljøpåvirkning, som opnås når standard bærelaget sammenlignes med BSM bærelaget. Forskellen er beregnet som den besparelse der kan opnås, pr. miljøpåvirkningskategori pr udlagt m2 bærelag.

Således betyder det at der kan opnås en reduktion i CO₂-udledning for bærelaget til trafikklasse T3 på hhv. 57,8% når genbrugsasfalt medregnes, og op til 64,1% når der kun regnes med virgine materialer. For trafikklasse T4 ses samme mønster, hvor de modsvarende besparelser er hhv. 57,5% og 63,8%.

Der opnås en reduktion i samtlige miljøpåvirkningskategorier, når der i rehabiliteringsscenariet anvendes et BSM-baseret bærelag, sammenlignet med et standard bærelag (GAB-0 + GAB-I).



Tabel 21: Forskel i besparelse i miljøpåvirkning, sammenlignet med besparelse i hovedscenariet

Rehabiliteringsscenarie, forskel i besparelse i miljøpåvirkning pr. m2 ved rehabilitering, sammenlignet med ny konstruktion					
Miljøpåvirkningskategori	Enhed	Trafikklasse T3		Trafikklasse T4	
		Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), inkl. Genbrugsasfalt	Standard bærelag (GAB-0 + GAB-I), ekskl. Genbrugsasfalt
Climate Change	%	6,4%	5,1%	6,6%	5,3%
Climate Change (fossil)	%	6,4%	5,1%	6,6%	5,3%
Climate Change (biogenic)	%	-3,8%	-2,5%	-3,9%	-2,6%
Climate Change (land use change)	%	25,7%	22,4%	26,7%	23,4%
Ozone depletion	%	0,0%	0,3%	0,0%	0,3%
Acidification terrestrial and freshwater	%	5,9%	4,4%	6,0%	4,5%
Eutrophication freshwater	%	13,7%	10,4%	14,2%	10,9%
Eutrophication marine	%	7,2%	5,4%	7,4%	5,6%
Eutrophication terrestrial	%	7,3%	5,5%	7,5%	5,7%
Photochemical ozone formation - human health	%	5,2%	3,7%	5,3%	3,8%
Resource use, mineral and metals	%	4,0%	2,8%	4,2%	2,9%
Resource use, energy carriers	%	2,2%	1,4%	2,2%	1,4%
Water scarcity	%	2,3%	1,7%	2,3%	1,7%

Tabel 21 foroven illustreres den forskel man opnår i besparelsen pr miljøpåvirkningskategori, når der regnes et rehabiliteringsscenario, sammenlignet med hovedscenariet, se Tabel 6 i afsnit 8. Tabellen viser det øgede potentiale for besparelser, fordelt på de forskellige kategorier.

Det ses at der opnås en større besparelse ved brugen af BSM, sammenlignet med standard bærelaget hvor der medregnes genbrugsasfalt. Dette skyldes den øgede transport ved løsningen med varmblandet asfalt, da den affræsedes asfalt skal transporteres til fabrikken, hvor den i BSM løsningen kan bearbejdes på pladsen.

Besparelsen ved brug af BSM stiger sammenlignet med hovedscenariet i alle miljøpåvirkningskategorier, undtagen biogen climate change, som optræder i ubetydelige mængder og vurderes have meget lille betydning. For Climate Change stiger den potentielle besparelse med hhv. 6,4% sammenlignet med standard bærelag inkl. Genbrugsasfalt, og 5,1% sammenlignet med standard bærelag uden genbrugsasfalt, til trafikklasse T3. For trafikklasse T4 er disse værdier hhv. 6,6% og 5,3%. Ændringerne i besparelserne er stort set identiske for T3 og T4 (<1%).

Der er altså endnu større potentiale for reducere af miljøpåvirkningspotentialer ved brugen af BSM-baserede bærelag, når denne erstatter standard bærelag til rehabiliteringsprojekter.

11 KONKLUSION

Resultaterne i denne LCA viser at der er potentiale for signifikante besparelser ved brug af BSM bærelag i vejopbygninger, for alle de scenarier der optræder i rapporten. Besparelsen optræder i samtlige af de analyserede miljøpåvirkningskategorier, for begge trafikklasser og for alle scenarier:

1. 1 m² bærelag til nyanlæg, inkl. genbrugsasfalt i standardbærelaget, for hhv. T3 og T4.
2. 1 m² bærelag til nyanlæg, ekskl. genbrugsasfalt i standardbærelaget, for hhv. T3 og T4.
3. 1 m² bærelag til rehabilitering af eksisterende belægning, inkl. genbrugsasfalt i standardbærelaget, for hhv. T3 og T4.
4. 1 m² bærelag til rehabilitering af eksisterende belægning, ekskl. genbrugsasfalt i standardbærelaget, for hhv. T3 og T4.

Resultaterne viser at BSM har et markant lavere miljøbelastningspotentiale sammenlignet med både GAB-0 og GAB-I, og at der bl.a. opnås store besparelser i CO₂-udledning pr ton udlagt asfalt ved at erstatte varm asfalt med BSM. Dette skyldes den kolde blandingsproces, hvor behovet for naturgas til opvarmning elimineres samt et reduceret forbrug af bitumen og reduceret behov for materialer, der skal udvindes og transporteres.

Resultaterne viser, at der ved erstatning af GAB-0 med BSM kan opnås en reduktion i CO₂-udledning pr ton på 60%, når denne indeholder 30% genbrugsasfalt, og 66% når den kun indeholder virgine materialer. Ved erstatning af GAB-I med BSM opnås en reduktion i CO₂-udledning pr ton på 55%, når 40% genbrugsasfalt medregnes, og 63% når den kun indeholder virgine asfalt.

Den koldt blandede BSM skal udlægges i tykkere lag end de modsvarende GAB-0 og GAB-I asfalter for at opnå samme bæreevne til understøttelse af 25 mm SMA slidlag til de to trafikklasser T3 og T4. Dette medfører et øget samlet forbrug af materiale, når bærelaget er bygget med BSM. Men resultaterne viser, at behovet for den øgede tykkelse af lagene ikke i væsentlig grad ændrer reduktionerne i miljøpåvirkninger, der opnås ved brug af BSM fremfor GAB-0/GAB-I.

Ved BSM bærelaget kan der for trafikklasse T3 sammenlignet med en standard opbygning, opnås en reduktion i CO₂-udledning på 51,4% svarende til 5,7 kg CO₂-eq/m², når standardbærelaget indeholder genbrugsasfalt, og op til 59% svarende til 7,7 kg CO₂-eq/m², hvis denne kun indeholder virgine materialer. For trafikklasse T4 er besparelsen hhv. 50,9% svarende til 6,4 kg CO₂-eq/m², når standardbærelaget indeholder genbrugsasfalt, og 58,5% svarende til 8,7 kg CO₂-eq/m², når denne kun indeholder virgine materialer.

Når knusningen af genbrugsasfalten ekskluderes, stiger denne besparelse til 55,6% svarende til 6 kg CO₂-eq/m² for T3, og 55,2% svarende til 6,9 kg CO₂-eq/m² for T4, når der medregnes genbrugsasfalt i standard bærelaget. Når der kun regnes med virgine materialer i standardbærelaget, er besparelserne i stedet 63,2% svarende til 8,3 kg CO₂-eq/m² for T3, og 62,8% svarende til 9,4 kg CO₂-eq/m² for T4.

Besparelsen når naturgasforbruget til varmbladet asfalt øges med 50% er 57,3% svarende til 7,2 kg CO₂-eq/m² for T3, og 56,8% svarende til 8,1 kg CO₂-eq/m² for T4, når der medregnes genbrugsasfalt i standard bærelaget. Når der kun regnes med virgine materialer i standardbærelaget, er besparelserne i stedet 63,1% svarende til 9,2 kg CO₂-eq/m² for T3, og 62,6% svarende til 10,4 kg CO₂-eq/m² for T4.

Såfremt begge følsomhedsscenarier kombineres, og der regnes et scenarie der indeholder både 50% øget naturgasforbrug til varmbladet asfalt, sammen med udeladelse af knusning af genbrugsasfalten, opnås en endnu større besparelse. I dette scenarie er besparelsen af CO₂-udledningen lig 61,1%/66,9% med/uden genbrugsasfalt i standardbærelaget for T3, svarende til 7,5/9,7 kg CO₂-eq/m², og 60,7%/66,5% for de modsvarende beregninger for T4 svarende til 8,6/11 kg CO₂-eq/m².

Analysen viser at der ved inklusionen af genbrugsasfalt i standard opbygningen (GAB-0 + GAB-I) kan opnås reduktioner i CO₂-udledninger på 15,7% for trafikklasse T3, og 15,6% for trafikklasse T4. Denne reduktion stiger til 17,2% og 17% når knusningen af genbrugsasfalten ekskluderes af beregningen.

For alle tre asfalttyper, GAB-0, GAB-I, og BSM er det forbruget af bitumen der er den mest kritiske råvare, der har den største indflydelse på beregningen af CO₂-udledning. For produktionen af BSM er det ligeledes inklusionen af cement der har stor betydning. En reduktion i brugen af disse materialer, vil sandsynligvis medføre en stor modsvarende reduktion i miljøpåvirkningspotentialerne.



TEKNOLOGISK INSTITUT

Den alternative beregning for et scenarie med rehabilitering af eksisterende asfaltbelægning viser, at de positive indvirkninger på miljøbelastningskategorierne der opnås ved brugen af BSM, kan øges yderligere i sådanne anvendelsesscenarier. Her opnås besparelser i CO₂-udledninger der er ~6,5% større modsvarende besparelser fra ny konstruktion, når genbrugsasfalt medregnes, og ~5,2% større når der kun regnes virgine materialer. Det svarer til en samlet besparelse på 6,8/8,8 kg CO₂-eq/m² for T3, hhv. med og uden genbrug medregnet, og 7,7/10 kg CO₂-eq/m² for T4.

I alle de analyserede scenarier er der miljømæssige fordele ved brugen af BSM, det der kan variere, er størrelsesordenen af de besparelser der kan opnås, som følge af det gældende scenarie.



12 REFERENCER

12.1 DATABASES

- GaBi 10.0 (2021) Professional Database (Service pack 42): <http://www.gabi-software.com/international/databases/gabi-databases/professional/>
- GaBi 10.0 (2021) Extension DB II, Energy (Service pack 42): <http://www.gabi-software.com/international/databases/gabi-databases/energy/>
- GaBi 10.0 (2021) Extension DB XIV, Construction materials (Service pack 42): <http://www.gabi-software.com/international/databases/gabi-databases/construction-materials/>
- Ecoinvent version 3.6 (2019): <https://www.ecoinvent.org/database/older-versions/ecoinvent-36/ecoinvent-36.html>

12.2 STANDARDER

DS/EN 15804+A2:2019 - "Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Miljøvaredeklarationer Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer"

DS/EN ISO 14040:2008 – "Miljøledelse – Livscyklusvurdering – Principper og struktur"

DS/EN ISO 14044:2008 – "Miljøledelse – Livscyklusvurdering – Krav og vejledning"

12.3 PUBLIKATIONER

Andersson et al. (2018) Cirkulær Asfaltproduktion i Danmark. MUDP Projekt - <https://www2.miljostyrelsen.dk/Udgiv/publikationer/2018/10/978-87-93710-95-5.pdf>.

Håndbog for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger - <https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/vd20170126?showExact=true>.

12.4 HJEMMESIDER

SR-Gruppen - <https://www.sr-gruppen.dk/>.

Ecoinvent - <https://www.ecoinvent.org/>.

GaBi - <http://www.gabi-software.com/index/>.

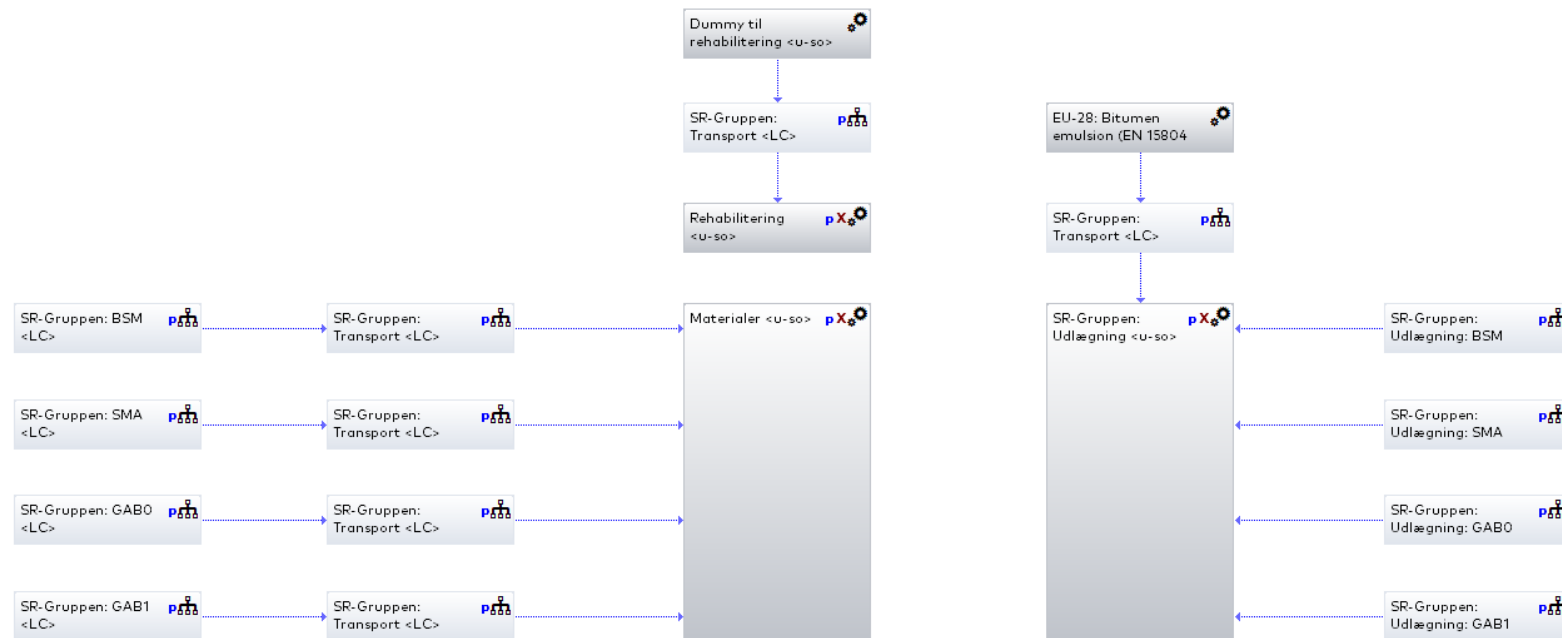
Vejreglerne - <https://vejregler.dk/>



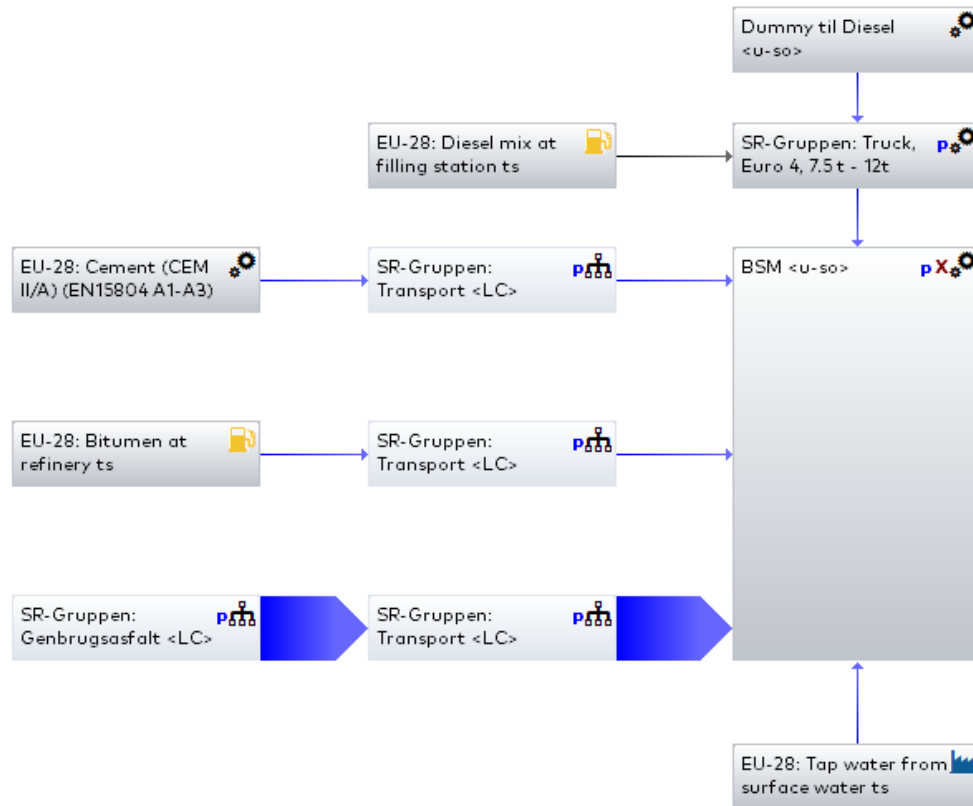
13 GABi 10.0 MODEL

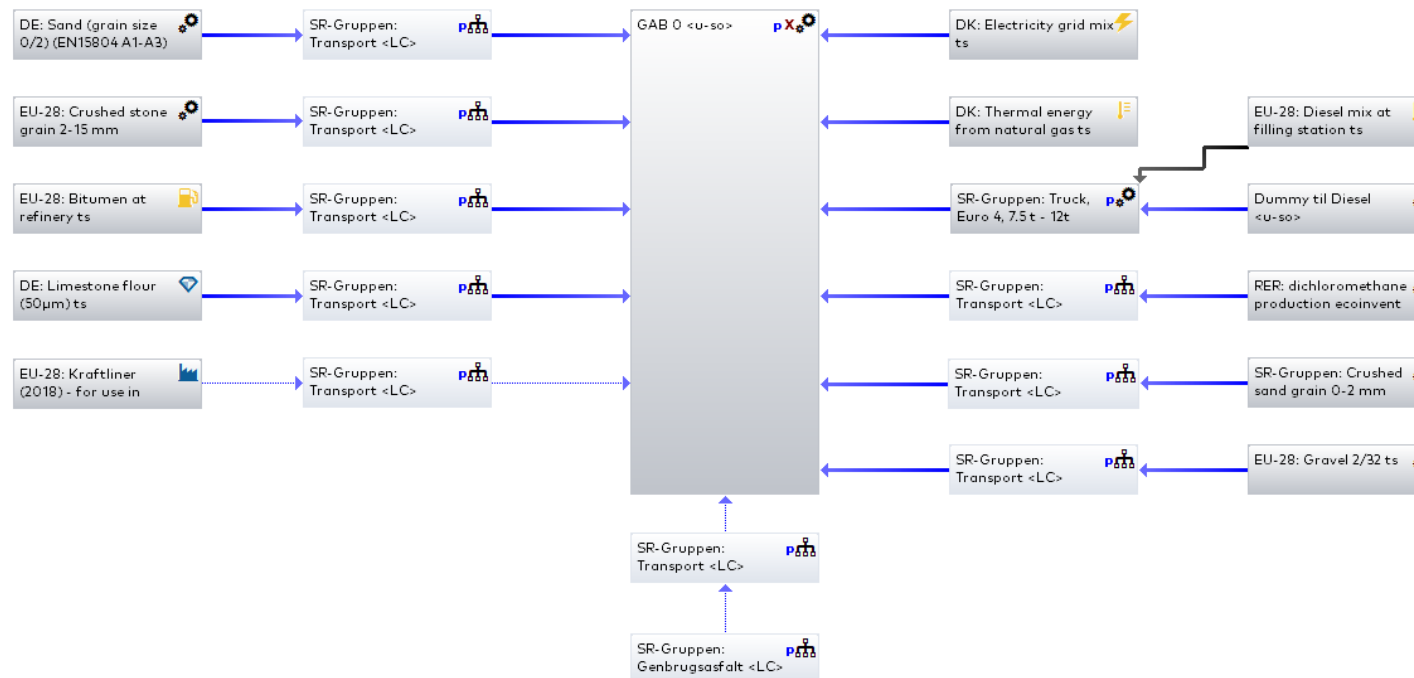
SR-Gruppen Hovedplan

Process plant: Mass [kg]
The names of the basic processes are shown.

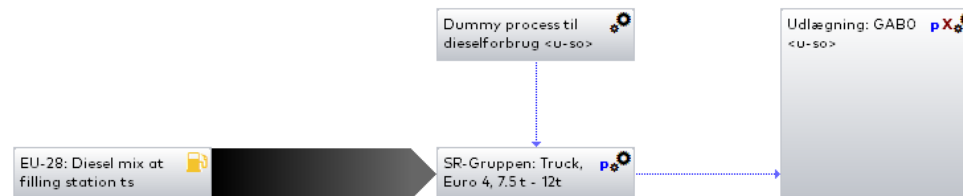


Hovedplanen indeholder sub-planer for fremstilling og udlægning af SMA, men da denne ikke er medregnet i nærværende analyse, er begge disse defineret som lig 0.





Planerne for GAB-I og GAB-0 er identiske, det er samme enhedsprocesser der optræder, og det er parametrene der varierer.



Eksempel på udlægningsproces, den er identisk for alle asfalttyper, bortset fra dieselforbrug pr udlagt ton



Appendix A – Kritisk Review

Issue	Svar	Resolution
Afsnit 2, 3 og 5: Den påtænkte anvendelse af resultaterne kan læses som en "comparative assertion intended to be disclosed to the public". Det betyder, at ISO 14044 kræver, at kritisk review gennemføres af et panel. Vejdirektoratet er som udsteder af de "vejregler", som referencescenariet baseres på, en "konkurrent" til udbyder af den alternative udformning af bærelag. Der er givet et forslag til ændret formulering omkring den påtænkte anvendelse.	Forslaget til ændring er accepteret i rapporten, og den nye formulering er anvendt.	
Afsnit 2, 3, 5 og 6: Beskrivelser af de sammenlignede scenarier (alternativer) er ikke konsekvente i indledning, sammenfatning og resten af rapporten. Tabel 3 og tabel 3.1 bør sammenskrives. Resultater fra LCI og LCIA bør struktureres tabelmæssigt tilsvarende.	Beskrivelserne af scenarierne er gjort mere tydelige, og udeladte processer er beskrevet mere detaljeret. Resultattabeller i rapporten er ændret, således at de har samme struktur.	
Der mangler en liste over forkortelser. Det er ikke et krav i ISO 14044, men vil være nyttigt for læseren.	Liste over forkortelser er tilføjet i afsnit over indhold.	
Afsnit 2 og 3: Introduktion og sammenfatning har fokus på klimapåvirkning uden at det er forklaret, hvorfor dette er den vigtigste miljøpåvirkning. Der mangler en samlet oversigt over de medtagne miljøpåvirkninger i sammenfatningen og en begrundelse for valget af EN 15804+A2 som reference herfor.	Der er tilføjet en beskrivelse i introduktionen og sammenfatningen der tydeliggør, at der er primært fokus på CO2-ækv., da det er denne kategori som bliver efterspurgt af producentens kunder.	
Afsnit 6.1: Definitionen af den funktionelle enhed bør skærpes. Der er kun 1 funktionel enhed i en sammenlignende LCA, nemlig den som specificerer, hvad de medtagne alternativer (scenarier) forventes at yde. Tidsdimension mangler i definitionen.	FU er skærpet, men der er stadig fastholdt 2 separate: én for trafikklasse T3, og én for trafikklasse T4. Tidsdimension er tilføjet, og specificeret som de 20 år asfaltdimensioneringen kræver.	
Afsnit 6.1: Systemafgrænsning er illustreret i figur 1 for et af scenarierne; der mangler tilsvarende illustration for de andre scenarier.	Systemafgrænsning er præciseret i illustration, efter kommentarer i dokumentet. Der er tilføjet tilsvarende illustration for rehabiliteringsscenariet.	
Afsnit 6.1: Opfræsning er ikke medtaget, da det henføres til en forudgående livscyklus. Det er efter min bedste overbevisning ikke korrekt. Det bør som	Som aftalt ved vores møde er opfræsning stadig udeladt af analysen, men det er beskrevet mere tydeligt, at det er dette scenarie vurderingen gælder for.	



minimum medtages i en følsomhedsanalyse i kapitel 9.	Afsnit er tilføjet til følsomhedsanalysen, for affræsningens mulige indvirkning.	
Afsnit 6.1 og 9.1: Det bør tydeliggøres, at energiforbrug til knusning og oparbejdning ikke medtages. Jeg mener ikke, at det kan udelades, men det er jeres valg.	Det formuleres mere tydeligt at affræsning af asfalt ikke er medregnet, mens knusning og oparbejdning er medregnet. Affræsning er tilføjet som følsomhedsberegning, med analyse af indvirkningen på de overordnede resultater, samt sammenligningerne.	
Afsnit 7.1.2: Mangler beregning fra Loudon; fx som annex. Indgår ikke i medsendt bilag.	På nuværende tidspunkt har vi kun modtaget det fra Loudon som jeg vedlagde. Hvis der skal tilføjes annex med beregning, må denne tilføjes senere. Brev fra Loudon indsættes som bilag.	
Afsnit 7.4.3: Bedre forklaring – er det med eller uden genbrugsasfalt?	Afsnit 7.4.3 og 7.4.4 er udvidet med mere tydelige beskrivelser af naturgasforbruget af dieselforbruget.	
Afsnit 7: Der er ikke altid overensstemmelse mellem danske og engelske betegnelser for de valgte datasæt fx omkring "knust" og "partikelfordeling". Forklaring bør tilføjes.	Det er præciseret i afsnittet, at enhedsprocessen for knust sten vurderes som repræsentativ for klippematerialer. De dataset der omhandler knuste materialer til 0/2, indeholder derfor også en proces med "crushed". For grusgravsmaterialer der ikke er knust til små fraktioner, anvendes stadig enhedsproces uden "crushed".	
Afsnit 7.5.3: ISO 14044 kræver, at de anvendte data er repræsentative, men ikke at de nødvendigvis er "primære" altså specifikke producent- eller leverandørdata. Men det kræver EN 15804+A2, hvis kravene heri skal være opfyldt.	Den forklarende tekst i det afsnit er rettet, så der ikke opstår forvirring omkring standarderne. Kravene i EN 15804+A2 skal ikke være opfyldt, det er karakteriseringsmodellen der anvendes, og resultaterne der er inspiration.	
Afsnit 7.5.6: Det meste postevand i Danmark kommer fra grundvand. Reference på anvendelse af overfladevand bør tilføjes.	Det er udspecificeret at der kan anvendes alle mulige typer vand, i fremstillingen af BSM. Der er derfor anvendt enhedsproces for overfladevand, da det typisk er det der bruges. F.eks. fra vand efter rengøringer eller lignende.	
Afsnit 7.5.9: Diesel i Danmark indeholder 7 % biodiesel, ikke 6,41 %; er det en afrunding? Diskussion omkring bæredygtighed og klimaneutralitet af biodiesel er ikke medtaget, men burde indgå i en følsomhedsanalyse, da forbruget af diesel er afgørende for resultaterne?	Der er ikke nogen proces i GaBi databaserne for diesel i Danmark, der er i stedet anvendt proces for diesel i EU-28. Denne proces angiver et biodiesel indhold på 6,41%. Der er derfor regnet med 6.41%, selvom der muligvis er andre værdier specifikt for Danmark.	
Afsnit 7.5.5: Det er uklart om LCA-studiet forventes at efterleve kravene i EN 15804+A2, eller om	EN 15804+A2 skal IKKE overholdes, den er kun anvendt til inspirationskilde til	



standarden kun bruges som kilde til listen over miljøpåvirkninger. Standarden indeholder "core" og "additional" miljøpåvirkninger, som alle skal indgå i LCA-studiet, hvis kravene i EN 15804+A2 skal opfyldes.	resultatberegningerne. Dette er valgt efter kundens ønske, om senere udarbejdelse af EPD efter EN 1580+A2. Hvor der er interesse i at resultaterne er sammenlignelige.	
Afsnit 7.5.10: Stationært maskineri modelleres med datasæt for lastbil grundet manglende specifikke data (både primære og sekundære). Der burde være data fra producenten af maskinerne fx fra Wirtgen, som allerede indgår som reference. Fastholdes brugen af sekundære data bør der gennemføres en følsomhedsanalyse på valget af størrelse og klasse af lastbil.	Der er kun en opgørelse af dieselforbrug af maskineriet, opgjort i liter/time, og så beregnet i udlagt m ² bærelag pr. time. Der er derfor anvendt dieselforbrug i lastbil som proxy. Der er beregnet referenceværdier for de forskellige størrelser af lastbil, hvor den mindste har størst bidrag til miljøpåvirkningskategorierne. Den er anvendt da den ses som værende mest konservativ.	
Afsnit 8: "Particulate matter" indgår ikke som "core" miljøpåvirkning i EN 15804+A2, men bør som "additional" medtages i studiet. Denne miljøpåvirkning afhænger fx af forbrug af diesel og andre former for energi, som er afgørende for studiets resultater.	"Additional" miljøpåvirkninger er beregnet og tilføjet i hovedresultaterne, så alle kategorier fra EN15804+A2 er inkluderet. De efterfølgende analyser vil stadig fokusere primært på CO ₂ -ækv., da det er kundens primære interesse.	
Afsnit 9 og evt. 7. Der bør indsættes en tabel med navne på alle indgående enhedsprocesser, input og output og de forkortelser herfor, som anvendes i tabeller og figurer. Det er dog ikke et krav i ISO 14044.	Der er indsat en tabel med detaljerede beskrivelser af, hvad navnene i tabellerne refererer til.	
Afsnit 9.1: Det er ikke muligt at vurdere følsomheden, når der ikke er angivet en værdi for usikkerheden på de anvendte data og den heraf resulterende usikkerhed på resultaterne.	Efter tilføjelse af nyt afsnit 9.2 om usikkerhed, kommenteres der på følsomhedsanalyserne i forhold til den antagne usikkerhed på +/- 10%.	
Der mangler et afsnit om usikkerhed ("uncertainty analysis"). Det er et krav i ISO 14044, fx afsnit 4.3.2.6 om datakvalitet og 4.4.5 om brug af LCIA og 5.3 om brug af LCA til "comparativ assertion". Hvis dette ikke forventes, vil jeg alligevel varmt anbefale et afsnit om usikkerhed fx til brug for følsomhedsanalyserne (ISO 14044, 4.5.1.1).	Der tilføjes et afsnit omkring usikkerhed, i afsnit 9.2. Her gennemgås datakilderne, deres forskelle, og kilder til mulig usikkerhed. Der antages en usikkerhed på +/- 10%, og kommenteres på dennes indflydelse på resultaterne.	

01 March 2021

DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE
GREGERSENSVEJ 1
2630 TAASTRUP

Attention : Mr. Ole Grann Andersson

Dear Sir,

ALTERNATIVE PAVEMENT DESIGNS FOR THE DANISH T3 & T4 CATEGORY PAVEMENTS UTILISING BITUMEN STABILISED MATERIAL TECHNOLOGY

BACKGROUND

Mr Ole Grann Andersson from the *Danish Technological Institute* requested the Engineers from *Loudon International* to supply alternative pavement designs, utilising Bitumen Stabilised Material (BSM) technology, for the standard T3 and T4 pavement structures (20-year design life) as included in the Danish Handbook for *Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger* published in September 2017.

INTRODUCTION TO LOUDON INTERNATIONAL

Loudon International has been intimately involved in the research and development of Bitumen Stabilised Material as a superior road building material. Our engineers have spent the last 25 years working in partnership with Wirtgen to apply this technology by designing and constructing successful pavements on all continents (except the cold one). Such projects have allowed us to amass a wealth of experience that is available to anyone in the global construction industry who is serious about improving the state of their road network by adopting this environmentally sensitive and economically beneficial technology.

DANISH PAVEMENT STRUCTURE

The two Danish Pavements that required alternative pavement designs are shown in the figure below:

Trafik- klasse ¹⁾	T3	T4
Lastbiler pr. døgn ²⁾	65-120	120-560
Æ10- belastning ³⁾	20-50	50-200
Asfalt + SG 20 års trafik	25 SMA 70/100 40 GAB 0 70/100 65 GAB I 70/100 170 SG 300 BL	25 SMA 40/60 50 GAB 0 40/60 70 GAB I 40/60 220 SG 335 BL

DESIGN TRAFFIC CONSIDERATIONS

The pavement design traffic was calculated for a 20-year design period with a yearly growth of 4%. The results for the T3 and T4 traffic classes are shown below.

- T3 (20 to 50 E100 per day): 0.211 million to 0.527 million total E100 load repetitions
- T4 (50 to 200 E100 per day): 0.527 million to 2.108 million total E100 load repetitions

The calculated traffic ranges were used as the basis for the alternative designs.

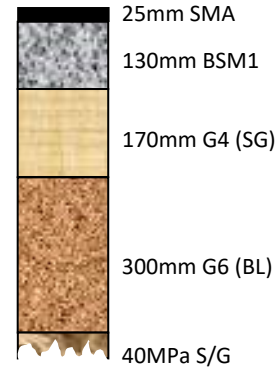
ALTERNATIVE DESIGNS

The alternative designs, utilising BSM technology, was completed using the *South African Mechanistic Design Method* as described in the *South African Pavement Engineering Manual (2014)*. The results of the mechanistic design method was checked with the *Pavement Number Method* as published in the *SABITA Technical Guideline 2 (2020)* and the final results of this process is shown in the figures below:

STANDARD PAVEMENT FOR T3 TRAFFIC CLASS

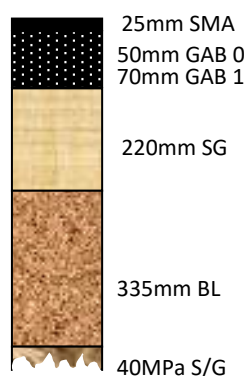


ALTERNATIVE BSM PAVEMENT



For the T3 traffic class the 105mm GAB asphalt can be replaced with an 130mm BSM1 layer to ensure an equivalent pavement structure.

STANDARD PAVEMENT FOR T4 TRAFFIC CLASS



ALTERNATIVE BSM PAVEMENT



For the T4 traffic class the 120mm GAB asphalt can be replaced with an 150mm BSM1 layer to ensure an equivalent pavement structure.

FINAL WORD

For the above alternative pavement design to achieve the indicated structural capacity, the BSM must meet the quality standards specified in the TG2 (2020) publication for BSM1 classification.