

Vestlandsforskning-rapport nr. 2/2010



Transport, energi og miljø.

- Sluttrapport

Morten Simonsen

Vestlandsforskning rapport

Tittel Transport, energi og miljø	Rapportnummer 2/2010 Dato Gradering Open
Prosjekttittel Transport, energi og miljø (TRANSDATA)	Tal sider 67 Prosjektnr 6121
Forskar(ar) Morten Simonsen	Prosjektansvarleg Karl Georg Høyer
Oppdragsgivar Norges Forskningsråd	Emneord transport, energi, miljø

Samandrag

Rapporten beregner energibruk og utslipp for ulike transportmiddel som brukes til passasjertransport eller til godstransport i ulike livsløpfaser. Med livsløpfaser menes framdrift av transportmiddel, produksjon og distribusjon av drivstoff til transportmiddel, konstruksjon, drift og vedlikehold av transportmiddelets infrastruktur samt framstilling og vedlikehold av transportmiddelet selv.

Andre publikasjoner frå prosjektet

ISBN: ISBN 978-82-428-0297-2

Pris:

Innhold

Definisjoner.....	9
Sammendrag.....	10
Innledning.....	27
Referansegruppen.....	27
Problemstillinger.....	27
Dokumentasjon.....	28
Livsløp.....	29
Validitet.....	30
Metodiske utfordringer.....	31
Triangulering.....	31
Analyseform.....	32
Systemgrenser.....	33
Allokering av infrastruktur mellom ulike transportmiddel.....	33
Empiriske tester vs simulering.....	34
Utslipp.....	34
Resultat.....	36
Passasjertransport.....	36
Personbil.....	36
Buss.....	46
Jernbane.....	50
Trikk og T-bane.....	54
Fly.....	56
Godstransport.....	60
Lastebil.....	60
Jernbane.....	65
Skip.....	66
Kilder.....	71

Tabeller

Tabell 1 Energibruk i MJ pr passasjer-km for transportmidler brukt på korte reiser i ulike livsløpfaser.....	11
Tabell 2 Prosentandelen av samlet energibruk pr passasjer-km i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt på korte reiser	11
Tabell 3 Energibruk i MJ pr passasjer-km for transportmidler brukt på lange reiser i ulike livsløpfaser.....	13
Tabell 4 Prosentvis energibruk i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt på lange reiser .	13
Tabell 5 Utslipp gram CO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler brukt på korte reiser i ulike livsløpfaser	14
Tabell 6 Prosentvis fordeling av CO ₂ -ekvivalenter i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt på korte reiser.....	15
Tabell 7 Utslipp gram CO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler brukt på lange reiser i ulike livsløpfaser	16
Tabell 8 Prosentvis utslipp av CO ₂ -ekvivalenter i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt på lange reiser.....	17
Tabell 9 Utslipp gram SO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på korte reiser i ulike livsløpfaser	18
Tabell 10 Utslipp gram SO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på lange reiser i ulike livsløpfaser	18
Tabell 11 Utslipp gram TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler på korte reiser	20
Tabell 12 Utslipp gram TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler på lange reiser.....	21
Tabell 13 Energibruk i MJ pr tonn-km for transportmidler til godstrafikk i ulike livsløpfaser...	22
Tabell 14 Prosentvis energibruk i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt til godstransport	23
Tabell 15 Utslipp av gram CO ₂ -ekvivalenter pr tonn-km for transportmidler til godstrafikk i ulike livsløpfaser	24
Tabell 16 Utslipp gram SO ₂ -ekvivalenter pr tonn-km for lastebil og godstog i ulike livsløpfaser.....	25
Tabell 17 Utslipp gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for lastebil og godstog i ulike livsløpfaser.....	26
Tabell 18 Energibruk i MJ pr vogn-km over alle livssykluser Norge 2010.	38
Tabell 19 Energibruk i MJ pr passasjer-km for korte reiser over alle livssykluser Norge 2010.	39
Tabell 20 Energibruk i MJ pr passasjer-km for lange reiser over alle livssykluser.	40
Tabell 21 Utslipp av gram CO ₂ -ekvivalenter pr vogn-km over alle livssykluser Norge 2010.	40
Tabell 22 Utslipp av gram CO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for korte reiser over alle livssykluser Norge 2010.	41
Tabell 23 Utslipp av gram CO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for lange reiser over alle livssykluser Norge 2010.	41
Tabell 24 Utslippsfaktorer i gram pr MJ for SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter Norge 2010.	42
Tabell 25 Utslipp SO ₂ -ekvivalenter pr vogn-km for personbiler med ulikt drivstoff Norge 2010.	43

Tabell 26 Utslipp SO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for for personbiler på korte reiser med ulikt drivstoff Norge 2010.	43
Tabell 27 Utslipp SO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for for personbiler på lange reiser med ulikt drivstoff Norge 2010.	44
Tabell 28 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for personbiler med ulikt drivstoff Norge 2010.	44
Tabell 29 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for personbiler på korte reiser med ulikt drivstoff Norge 2010.	45
Tabell 30 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for personbiler på lange reiser med ulikt drivstoff Norge 2010.	45
Tabell 31 Energibruk i MJ pr vogn-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.	47
Tabell 32 Energibruk i MJ pr passasjer-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.	48
Tabell 33 Energibruk i MJ pr sete-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.	48
Tabell 34 Utslipp av gram CO ₂ -ekvivalenter pr vogn-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.	48
Tabell 35 Utslipp av gram CO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.	49
Tabell 36 Utslipp av gram CO ₂ -ekvivalenter pr sete-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.	49
Tabell 37 Utslippsfaktorer for SO ₂ -ekvivalent og TOPP-ekvivalent i gram pr MJ for busser Norge 2010.	49
Tabell 38 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for busser Norge 2010.	50
Tabell 39 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for busser Norge 2010.	50
Tabell 40 Energibruk MJ pr tog-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.	51
Tabell 41 Energibruk MJ pr passasjer-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.	51
Tabell 42 Energibruk MJ pr sete-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.	52
Tabell 43 Utslipp gram CO ₂ -ekvivalenter pr tog-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.	52
Tabell 44 Utslipp gram CO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.	52
Tabell 45 Utslipp gram CO ₂ -ekvivalenter pr sete-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.	52
Tabell 46 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tog-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010.	53
Tabell 47 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010.	53
Tabell 48 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr sete-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010.	53
Tabell 49 Energibruk i MJ pr vogn-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010. ...	54

Tabell 50 Energibruk i MJ pr passasjer-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.	54
Tabell 51 Energibruk i MJ pr sete-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.	55
Tabell 52 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr vogn-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.	55
Tabell 53 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.	55
Tabell 54 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr sete-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.	55
Tabell 55 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for trikk og T-bane Norge 2010.	56
Tabell 56 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for trikk og T-bane Norge 2010.	56
Tabell 57 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr sete-km for trikk og T-bane Norge 2010.	56
Tabell 58 Energibruk i MJ pr passasjer-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.	58
Tabell 59 Energibruk i MJ pr fly-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.	58
Tabell 60 Energibruk i MJ pr sete-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.	58
Tabell 61 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.	58
Tabell 62 Utslipp kg CO2-ekvivalenter pr fly-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.	59
Tabell 63 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr sete-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.	59
Tabell 64 Utslippsfaktorer gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr MJ i ulike energibrukskjedder for ulike typer fly Norge 2010.	59
Tabell 65 Utslipp gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for ulike typer fly Norge 2010.	59
Tabell 66 Utslipp gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr sete-km for ulike typer fly Norge 2010.	60
Tabell 67 Utslipp gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr fly-km for ulike typer fly Norge 2010.	60
Tabell 68 Energibruk pr tonn-km for diesel lastebiler med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.	61
Tabell 69 Energibruk pr vogn-km for diesel lastebiler med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.	61
Tabell 70 Energibruk pr tonn-km for lastebiler med biodiesel (20%) med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.	61
Tabell 71 Energibruk pr vogn-km for lastebiler med biodiesel (20%) med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.	61
Tabell 72 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr tonn-km for diesel lastebiler med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.	62
Tabell 73 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr vogn-km for diesel lastebiler med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.	62
Tabell 74 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr tonn-km for lastebiler med biodiesel (20%) med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.	62
Tabell 75 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr vogn-km for lastebiler med biodiesel (20%) med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.	63

Tabell 76 Utslippsfaktorer for SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i ulike energibrukskjedder for dieseldrevne lastebiler Norge 2010	63
Tabell 77 Utslippsfaktorer for SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i ulike energibrukskjedder for lastebiler med biodiesel-blanding (20% biodiesel RME, 80% diesel) Norge 2010	63
Tabell 78 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for dieseldrevne lastebiler i ulike vektclasser Norge 2010.	64
Tabell 79 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for lastebiler med biodiesel-blanding (20% biodiesel RME, 80% diesel) i ulike vektclasser Norge 2010. ..	64
Tabell 80 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for dieseldrevne lastebiler i ulike vektclasser Norge 2010.	64
Tabell 81 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for lastebiler med biodiesel-blanding (20% biodiesel RME, 80% diesel) i ulike vektclasser Norge 2010. ..	64
Tabell 82 Energibruk MJ pr tonn-km for elektriske og dieseldrevne godstog i alle livsløpfaser Norge 2010.	65
Tabell 83 Utslipp gram CO ₂ -ekvivalenter pr tonn-km for elektriske og dieseldrevne godstog Norge 2010 i alle livsløpfaser	65
Tabell 84 Utslippsfaktorer for SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i gram pr MJ i ulike livsløpfaser.....	66
Tabell 85 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstog i ulike livsløpfaser Norge 2010.	66
Tabell 86 Energibruk i MJ pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpfaser.....	67
Tabell 87 Utslipp av gram CO ₂ pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpfaser ...	68
Tabell 88 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med ulike typer skip i ulike livsløpfaser	69
Tabell 89 Utslipp av gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med ulike typer skip i ulike livsløpfaser	70

Figurer

Figur 1 Samlet energibruk i MJ pr passasjer-km for korte reiser med ulike transportmidler ..	10
Figur 2 Samlet energibruk i MJ pr passasjer-km for lange reiser med ulike transportmidler .	12
Figur 3 Totale utslipp gram CO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler på korte reiser.....	14
Figur 4 Totale utslipp gram CO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler på lange reiser.....	16
Figur 5 Utslipp SO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på korte reiser	17
Figur 6 Utslipp gram SO ₂ -ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på lange reiser i ulike livsløpfaserTabell 10 viser underlagsmaterialet for Figur 6 hvor utslippene er fordelt pr livsløpfase.....	18
Figur 7 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på korte reiser	19
Figur 8 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på lange reiser.....	20
Figur 9 Samlet energibruk i MJ pr tonn-km for ulike typer transportmidler for godstransport	22
Figur 10 Samlet utslipp av gram CO ₂ -ekvivalenter pr tonn-km for ulike typer transportmidler for godstransport	23
Figur 11 Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter pr tonn-km for ulike typer transportmidler for godstransport.....	24

Figur 12 Utslipp av gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for ulike typer transportmidler for godstransport..... 25

Likninger

Likning 1 Beregning av tilleggsenergi i brutto direkte energikjede 36

Definisjoner

Med vogn-km mener vi framdrift av et kjøretøy i en km. En tog-km er totalt antall km kjørt av lokomotiv og vogner ¹. Vogn-km for tog eller trikk er antall vogner multiplisert med antall tog-km ². En fly-km er framdriften av et fly en km.

Med passasjer-km mener vi den distansen et transportmiddel er kjørt multiplisert med antall passasjerer i transportmiddelet ³. En passasjer-km er en passasjer fraktet en km. Dersom 10 passasjerer blir fraktet en km er dette 10 passasjer-km, det samme får vi om en passasjer blir fraktet 10 km. Med person-km mener vi distansen kjøretøyet er kjørt multiplisert med passasjerer inklusive fører av kjøretøyet. Passasjer-km bruker vi om kollektive transportmiddel mens person-km brukes om personbiler. Vår bruk av begrepet passasjer-km omfatter begrepet person-km for personbiler.

Med tonn-km mener vi utkjørt distanse for et transportmiddel multiplisert med mengde gods i tonn som ble fraktet av transportmiddelet. En transport-km er derfor ett tonn fraktet en km.

CO₂-ekvivalenter ⁴ måler utslipp av et sett med klimagasser hvor utslipp av hver klimagass er regnet om til ekvivalente utslipp av gassen CO₂ over en gitt tidsperiode. Med ekvivalente utslipp mener vi hvor mye CO₂ som må slippes ut for å ha samme potensielle effekt på global oppvarming som den aktuelle gassen vi måler CO₂ mot. En enhet metan (CH₄) har f.eks. 21 ganger større påvirkning på den globale oppvarming enn CO₂ over en nedbrytingsperiode på 100 år slik at det kreves 21 ganger så mye utslipp av CO₂ for å utligne utslipp av en enhet metan. Gassene som inngår i indikatoren er CO₂, CH₄ (metan), N₂O (lystgass), perfluorkarboner (PFC), hydrofluorkarboner (HFC) og svovel-hexafluorid (SF₆).

SO₂-ekvivalenter ⁵ måler surhetsgraden i utslipp fra transportmidlene. SO₂-ekvivalent er et mål på forsureningspotensiale til et sett med komponenter. Komponentene er regnet om til SO₂-verdier etter deres bidrag til forsurening relativt til SO₂. Komponentene er SO₂, NO_x, HCl (saltsyre), HF (hydrogenfluorid), NH₃ (amoniakk) og H₂S (hydrogensulfid). Jo større ekvivalentverdi, jo større bidrag til forsurening.

TOPP-ekvivalent er et mål for dannelse av bakkenært ozon. Ekvivalentverdien består av et sett med komponenter som er veid i forhold til hverandre etter deres bidrag til ozondannelse ⁶. Komponentene er CO, NMVOC, NO_x og CH₄. Jo større ekvivalentverdi, jo større er bidraget til bakkenær ozondannelse.

Grensen mellom korte og lange reiser er 100 km.

¹ <http://www.ntva.no/rapporter/NTVA-transport-rapport.pdf>

² <http://www.vegvesen.no/Fag/Trafikk/Nokkeltall+transport/Definisjoner>

³ Toutain, J.E.W, Taarneby, G., Selvig, E., *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*, Statistisk Sentralbyrå, Rapport 2998/49. Heretter omtalt som SSB (2008), side 3
http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

⁴ Side 8, http://www.ssb.no/nos_utslipp/nos_d312/nos_d312.pdf

⁵

<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/glossar.php?&PHPSESSID=8ebfcf27e1a9f0cc32886e49f85363fd#S>

<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/glossar.php?&PHPSESSID=8ebfcf27e1a9f0cc32886e49f85363fd#T>

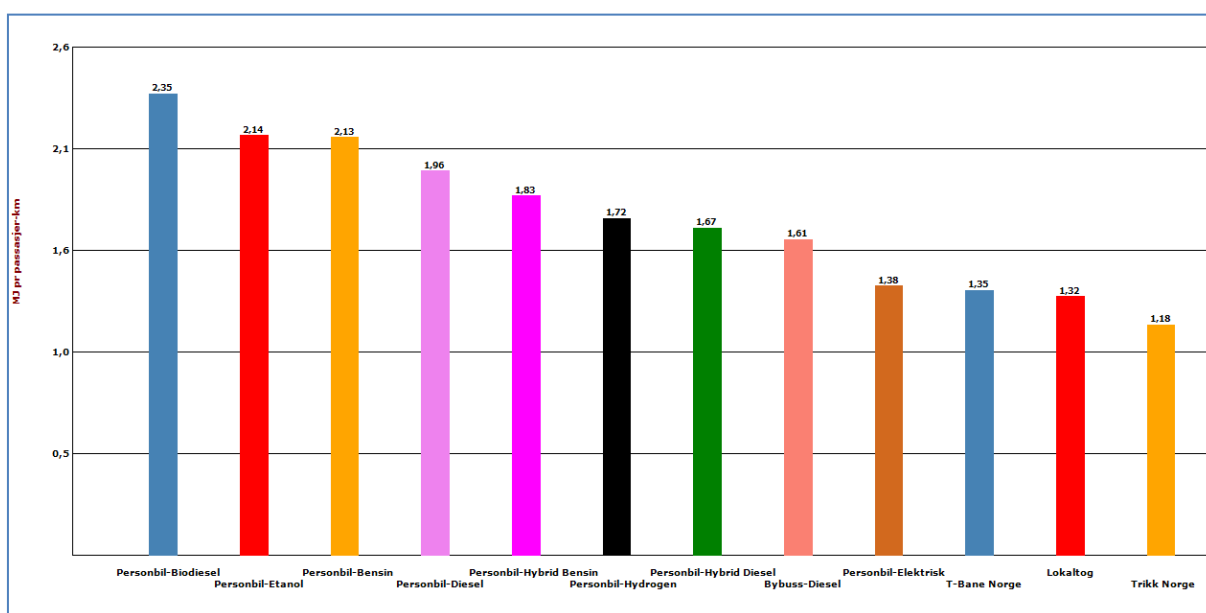
Vi bruker begrepet energikjede om en kjede som starter med energikilde og inkluderer omdanning av denne kilden til nyttbar energi. Dette gjelder den brutto direkte energikjede som starter med en energikilde og slutter med bruk av nyttbar energi til framdrift av transportmidlene.

Vi bruker begrepet *energibrukskjede* om en kjede som består av flere ledd med energibruk som hører til samme formål. Dette kan være direkte energibruk til framdrift av transportmidler, det kan være energibruk for konstruksjon, vedlikehold og drift av transportmidlenes infrastruktur eller det kan være energibruk for produksjon og vedlikehold av transportmidler. Disse kjedene bruker energi som innsatsfaktor slik at omdanning til nyttbar energi skjer forut for denne bruken.

Sammendrag

Figur 1 viser energibruk i MJ pr passasjer-km for korte reiser med ulike transportmiddel. For en dokumentasjon av estimatene viser vi til en mer detaljert gjennomgang senere i rapporten samt i underlagsdokumentene for sluttrapporten.

For personbiler brukes korte reiser om distanser under 100 km. Vi bruker passasjer-km for personbiler med samme betydning som person-km, det vil at føreren av personbilen er inkludert som passasjer. Dette gjelder ikke for de kollektive transportmidler.



Figur 1 Samlet energibruk i MJ pr passasjer-km for korte reiser med ulike transportmidler

Energibruken i Figur 1 omfatter sum av energi i følgende livsløpfaser eller energibrukskjeder:

- Direkte energibruk, ofte omtalt som Tank-to-Wheel. Vi bruker disse begrepene som synonyme. For elektriske tog og for trikk/T-bane er tap i det interne nettet inkludert i denne energibrukskjeden.
- Brutto direkte energibruk. Dette er energienes energikjede, det vil si den energi som går med til produksjon og distribusjon av energien som transportmidlene bruker til direkte energibruk. Vi gir estimat for den energi som kommer i tillegg til den direkte energibruk. Dette tillegg omtales ofte som Well-to-Tank energibruk.

- Konstruksjon, vedlikehold og drift av transportmidlenes infrastruktur.
- Produksjon og vedlikehold av transportmidlene.

Det er kun estimert energibruk for elektriske passasjertog, ikke for dieseldrevne. Tog, trikk, T-bane og elektrisk personbil antas å bruke norsk vannkraft. Etanol antas å bli produsert med sukkerrør fra Brasil som råvare mens biodiesel bruker rapsolje som råvare (RME). Alle estimat for personbil gjelder for en 5-dørs sedan med blandet kjøremønster by/landevei. Hydrogen i personbiler brukes i en brenselcelle og hydrogen produseres i sentrale anlegg med reformering av naturgass og transport til tankanlegg med pipeline.

Figuren viser at trikk har den laveste energibruken pr passasjer-km, fulgt av lokaltog, T-bane og bybuss. Av personbilene kommer hybridene best ut, og dieselhybriden kommer noe bedre ut enn bensin-hybriden. Personbiler med biodrivstoff har den høyeste energibruk pr passasjer-km.

Tabell 1 viser underlagstallene for Figur 1 hvor energibruken er fordelt pr livsløpfasen.

Tabell 1 Energibruk i MJ pr passasjer-km for transportmidler brukt på korte reiser i ulike livsløpfaser

Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Personbil-Diesel	1,275	0,044	0,439	0,204	1,961
Personbil-Bensin	1,445	0,044	0,439	0,202	2,130
Personbil-Elektrisk	0,726	0,044	0,439	0,166	1,375
Personbil-Etanol	1,445	0,044	0,439	0,213	2,141
Personbil-Hydrogen	0,723	0,044	0,439	0,513	1,719
Personbil-Hybrid bensin	1,185	0,044	0,439	0,166	1,834
Personbil-Hybrid diesel	1,023	0,044	0,439	0,164	1,670
Personbil-Biodiesel	1,275	0,044	0,439	0,595	2,352
Bybuss-Diesel	1,332	0,040	0,040	0,199	1,611
Lokaltog	0,598	0,574	0,013	0,137	1,321
Trikk Norge	0,782	0,194	0,023	0,177	1,176
T-Bane Norge	0,631	0,499	0,079	0,143	1,352

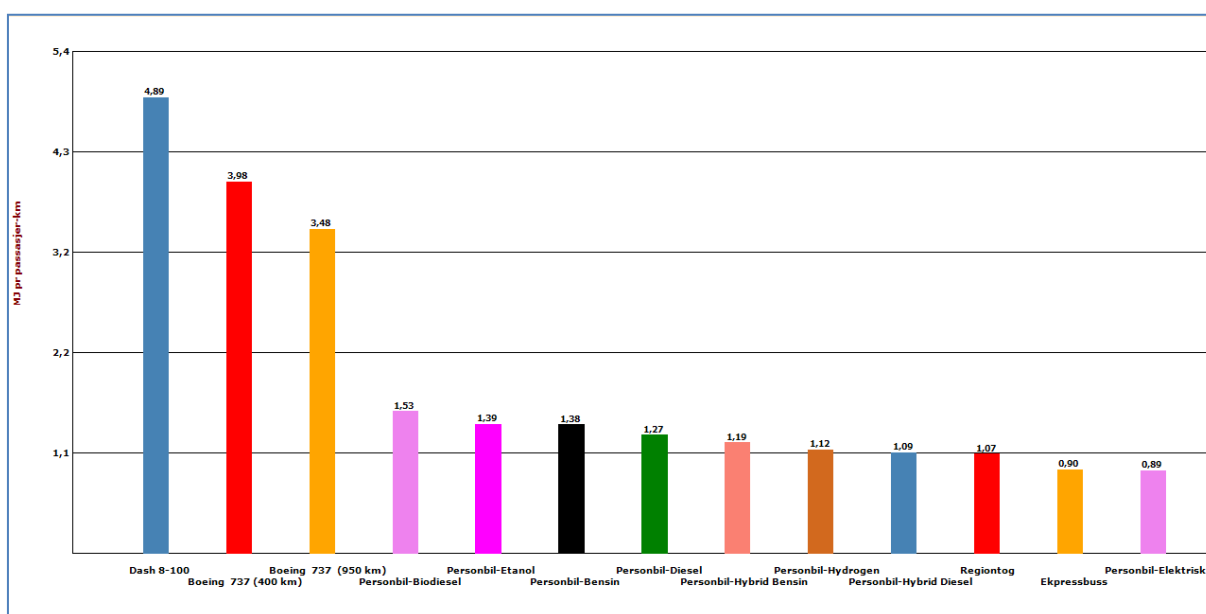
Tabell 2 viser prosentvis fordeling av energibruken pr passasjer-km på de ulike livsløpfasene for transportmidler som brukes på korte reiser.

Tabell 2 Prosentandelen av samlet energibruk pr passasjer-km i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt på korte reiser

Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Personbil-Diesel	65,0 %	2,2 %	22,4 %	10,4 %	100,0 %
Personbil-Bensin	67,8 %	2,1 %	20,6 %	9,5 %	100,0 %
Personbil-Elektrisk	52,8 %	3,2 %	31,9 %	12,1 %	100,0 %

Personbil-Etanol	67,5 %	2,1 %	20,5 %	9,9 %	100,0 %
Personbil-Hydrogen	42,1 %	2,6 %	25,5 %	29,9 %	100,0 %
Personbil-Hybrid bensin	64,6 %	2,4 %	23,9 %	9,0 %	100,0 %
Personbil-Hybrid diesel	61,3 %	2,6 %	26,3 %	9,8 %	100,0 %
Personbil-Biodiesel	54,2 %	1,9 %	18,7 %	25,3 %	100,0 %
Bybuss-Diesel	82,7 %	2,5 %	2,5 %	12,3 %	100,0 %
Lokaltog	45,3 %	43,4 %	0,9 %	10,4 %	100,0 %
Trikk Norge	66,5 %	16,5 %	1,9 %	15,1 %	100,0 %
T-Bane Norge	46,7 %	36,9 %	5,8 %	10,6 %	100,0 %

Figur 2 viser samlet energibruk i MJ pr passasjer-km for transportmidler på lange reiser. Vi har skilt mellom flyreiser på kortbanenettet (Dash-8) samt flyreiser på 400 km og på 950 km med fly av typen Boeing 737⁷. En distanse på 400 km er omlag representativt for distansen mellom de største byer i Sør-Norge mens 950 km er omlag representativt for distansen mellom byer i Sør-Norge og Nord-Norge. Energibruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for infrastruktur fly er veid med andel innenlands passasjerer med rutefly og charterfly i 2005. Andelen er beregnet fra SSB's Statistikkbank⁸. Med omlag 23 millioner passasjerer innenlands av totalt 34,8 millioner passasjerer har vi satt vekten for innenlands passasjertransport med fly til 0,66.



Figur 2 Samlet energibruk i MJ pr passasjer-km for lange reiser med ulike transportmidler

Figur 2 viser at fly er de mest energikrevende transportmidler og at reiser på kortbanenettet er de mest energikrevende av flyreisene. Ekspresbuss og regiontog kommer best ut sammen med en elektrisk bil. En elektrisk bil vil være mer energikrevende på lange reiser

⁷ Vi har definert dette til følgende flytyper som SAS benytter: Airbus A321-200, Airbus A319-100, Boeing 737-800, Boeing 737-400, Boeing 737-700, Boeing 737-500, Boeing 737-600, McDonnell Douglas MD-81, McDonnell Douglas MD-82, McDonnell Douglas MD-87.

⁸ <http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?MainTable=FlytrafikkAar&SubjectCode=10&planguage=0&nvl=True&mt=1&nyTmpVar=true>

enn på korte reiser i motsetning til biler med forbrenningsmotor. Vi har ikke korrigert for dette i figurene og tallene som presenteres.

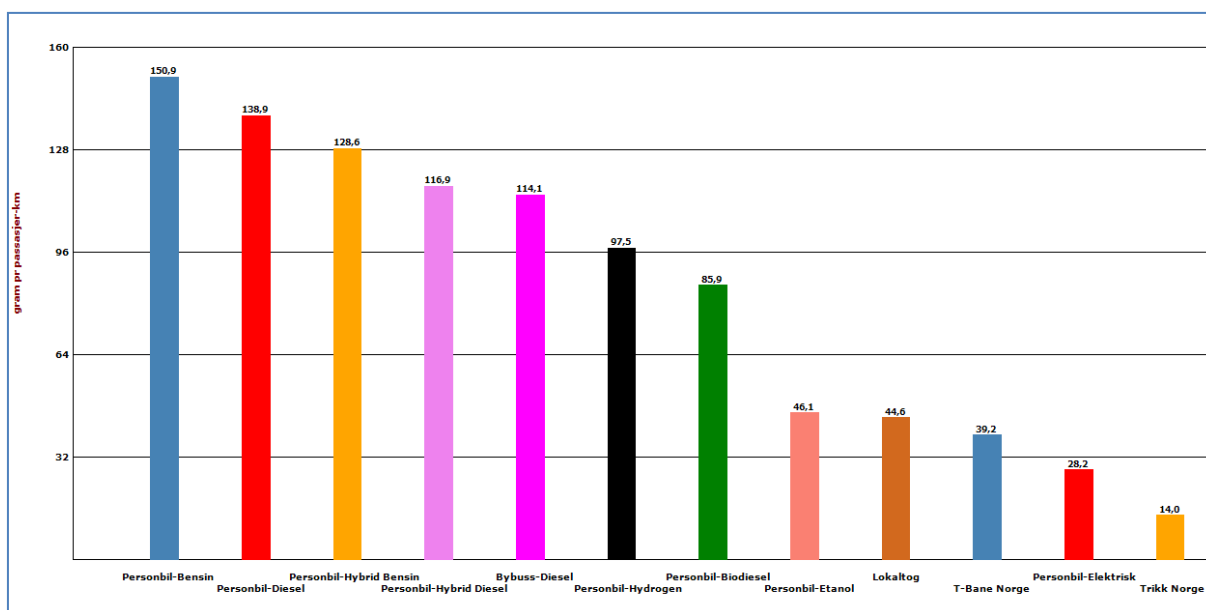
Tabell 3 Energibruk i MJ pr passasjer-km for transportmidler brukt på lange reiser i ulike livsløpfaser

Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Personbil-Diesel	0,829	0,029	0,285	0,133	1,275
Personbil-Bensin	0,940	0,029	0,285	0,132	1,385
Personbil-Elektrisk	0,472	0,029	0,285	0,108	0,894
Personbil-Etanol	0,940	0,029	0,285	0,138	1,391
Personbil-Hydrogen	0,470	0,029	0,285	0,334	1,117
Personbil-Hybrid Bensin	0,771	0,029	0,285	0,108	1,192
Personbil-Hybrid Diesel	0,665	0,029	0,285	0,106	1,085
Personbil-Biodiesel	0,829	0,029	0,285	0,387	1,529
Ekspressbuss	0,710	0,043	0,043	0,106	0,902
Boeing 737 (400 km)	2,599	0,916	0,077	0,392	3,985
Boeing 737 (950 km)	2,160	0,916	0,077	0,326	3,479
Dash 8-100	3,384	0,916	0,077	0,510	4,888
Regiontog	0,393	0,574	0,013	0,090	1,070

Tabell 3 viser underlagstallene for Figur 2 hvor energibruken er fordelt pr livsløpfase. Tabell 4 viser prosentvis fordeling av energibruken pr passasjer-km på ulike livsløpfaser for transportmidler brukt på lengre reiser.

Tabell 4 Prosentvis energibruk i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt på lange reiser

Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Personbil-Diesel	65,0 %	2,2 %	22,4 %	10,4 %	100 %
Personbil-Bensin	67,8 %	2,1 %	20,6 %	9,5 %	100 %
Personbil-Elektrisk	52,8 %	3,2 %	31,9 %	12,1 %	100 %
Personbil-Etanol	67,5 %	2,1 %	20,5 %	9,9 %	100,0 %
Personbil-Hydrogen	42,1 %	2,6 %	25,5 %	29,9 %	100 %
Personbil-Hybrid Bensin	64,6 %	2,4 %	23,9 %	9,0 %	100 %
Personbil-Hybrid Diesel	61,3 %	2,6 %	26,3 %	9,8 %	100 %
Personbil-Biodiesel	54,2 %	1,9 %	18,7 %	25,3 %	100 %
Ekspressbuss	78,7 %	4,7 %	4,8 %	11,8 %	100 %
Boeing 737 (400 km)	65,2 %	23,0 %	1,9 %	9,8 %	100 %
Boeing 737 (950 km)	62,1 %	26,3 %	2,2 %	9,4 %	100 %
Dash 8-100	69,2 %	18,7 %	1,6 %	10,4 %	100 %
Regiontog	36,8 %	53,7 %	1,2 %	8,4 %	100 %



Figur 3 Totale utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler på korte reiser

Figur 3 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler på korte reiser. Det er ikke utslipp for transportmiddel som drives med elektrisitet (tog, trikk, T-bane, elektrisk bil) i den direkte energibrukskjeden. Disse utslippene er knyttet til infrastruktur, transportmiddel og til produksjon av elektrisitet. Trikk slipper ut minst CO2-ekvivalenter pr passasjer-km, fulgt av elektriske biler, T-bane og lokaltog. Det er først og fremst utslipp knyttet til konstruksjon, drift og vedlikehold av infrastrukturen som føre til forskjell mellom trikk på den ene siden og jernbane og T-bane på den andre.

Personbiler med konvensjonelle drivstoff slipper ut mest CO2-ekvivalenter pr passasjer-km. Bensinbiler har større utslipp enn dieslbiler. Personbiler med biodrivstoff slipper ut betydelig mindre enn tilsvarende biler med konvensjonelle drivstoff.

Tabell 5 viser utslippene i Figur 3 fordelt pr livsløpfasen. Tabell 6 viser prosentvis fordeling av utslippene pr passasjer-km på de ulike livsløpfasen for transportmidler som brukes på korte reiser.

Tabell 5 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler brukt på korte reiser i ulike livsløpfasen

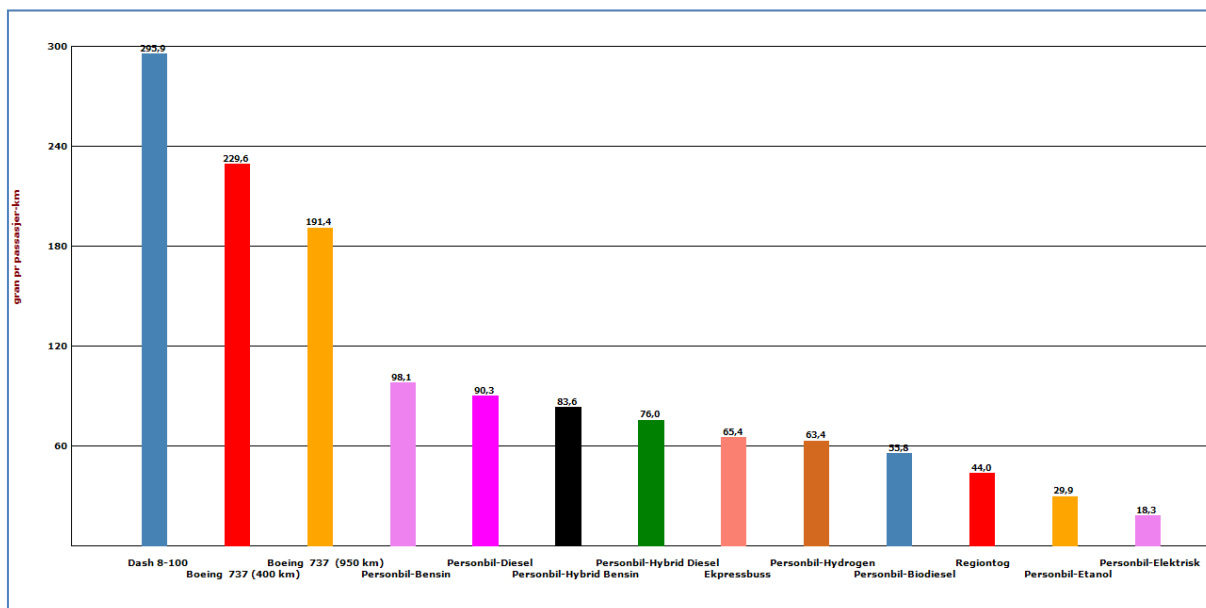
Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Personbil-Diesel	94,7	2,6	23,5	18,1	138,9
Personbil-Bensin	106,8	2,6	23,5	18,1	150,9
Personbil-Elektrisk	0,0	2,6	23,5	2,1	28,2
Personbil-Etanol	1,4	2,6	23,5	18,6	46,1
Personbil-Hydrogen	0,0	2,6	23,5	71,4	97,5
Personbil-Hybrid bensin	87,7	2,6	23,5	14,8	128,6
Personbil-Hybrid diesel	76,2	2,6	23,5	14,5	116,9

Personbil-Biodiesel	1,3	2,6	23,5	58,5	85,9
Bybuss-Diesel	94,0	2,9	1,8	15,5	114,1
Lokaltog	0,0	40,9	2,0	1,7	44,6
Trikk Norge	0,0	10,6	1,2	2,2	14,0
T-Bane Norge	0,0	31,8	5,6	1,8	39,2

Tabell 6 Prosentvis fordeling av CO2-ekvivalenter i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt på korte reiser

Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Personbil-Diesel	68,2 %	1,9 %	16,9 %	13,0 %	100,0 %
Personbil-Bensin	70,7 %	1,7 %	15,6 %	12,0 %	100,0 %
Personbil-Elektrisk	0,0 %	9,2 %	83,4 %	7,4 %	100,0 %
Personbil-Etanol	3,0 %	5,6 %	51,0 %	40,3 %	100,0 %
Personbil-Hydrogen	0,0 %	2,7 %	24,1 %	73,2 %	100,0 %
Personbil-Hybrid bensin	68,2 %	2,0 %	18,3 %	11,5 %	100,0 %
Personbil-Hybrid diesel	65,2 %	2,2 %	20,1 %	12,4 %	100,0 %
Personbil-Biodiesel	1,5 %	3,0 %	27,4 %	68,1 %	100,0 %
Bybuss-Diesel	82,4 %	2,5 %	1,5 %	13,5 %	100,0 %
Lokaltog	0,0 %	91,8 %	4,4 %	3,8 %	100,0 %
Trikk Norge	0,0 %	75,7 %	8,3 %	16,0 %	100,0 %
T-Bane Norge	0,0 %	81,2 %	14,2 %	4,6 %	100,0 %

Figur 4 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler som brukes på lengre reiser. Fly på kortbanenettet slipper ut mest CO2-ekvivalenter pr passasjer-km mens regiontog og elektriske personbiler kommer best ut. Fly har betydelig høyere utslipp pr passasjer-km også sammenliknet med personbiler med konvensjonelle drivstoff. Personbiler med alternative drivstoff kommer bedre ut enn ekspressbuss med konvensjonelle drivstoff.



Figur 4 Totale utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler på lange reiser

Tabell 7 viser underlagstallene for Figur 4 hvor utslippene er fordelt pr livsløpfasen. Tabell 8 viser prosentvis fordeling av utslippene pr passasjer-km på de ulike livsløpfaser for transportmidler på lange reiser.

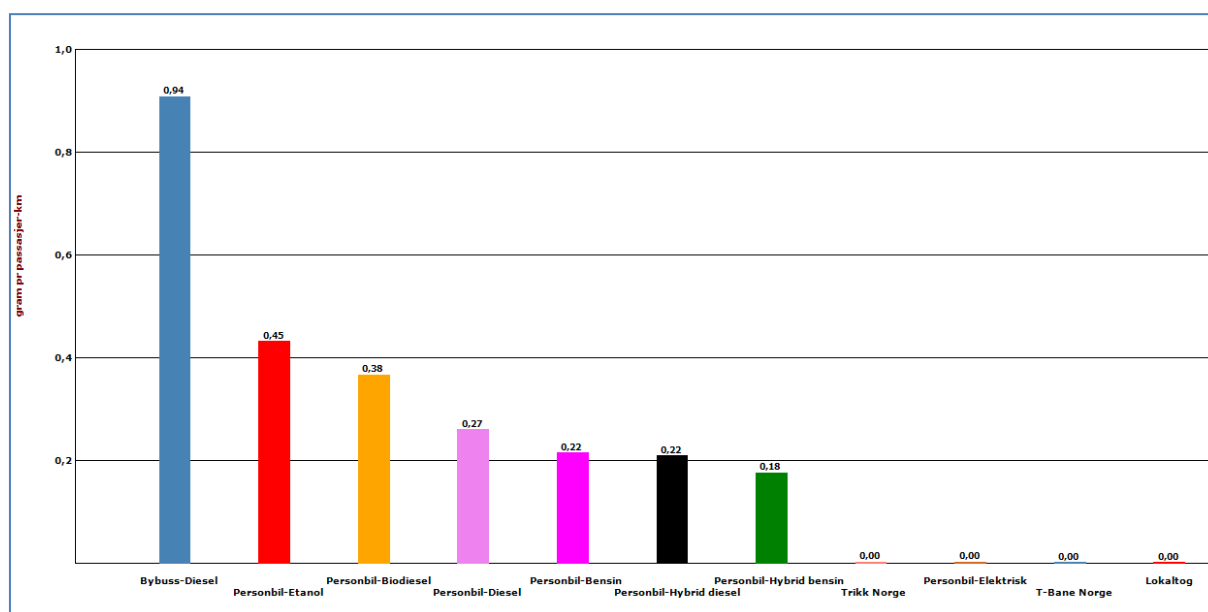
Tabell 7 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler brukt på lange reiser i ulike livsløpfaser

Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Personbil-Diesel	61,6	1,7	15,3	11,8	90,27
Personbil-Bensin	69,4	1,7	15,3	11,7	98,10
Personbil-Elektrisk	0,0	1,7	15,3	1,4	18,31
Personbil-Etanol	0,9	1,7	15,3	12,1	29,94
Personbil-Hydrogen	0,0	1,7	15,3	46,4	63,40
Personbil-Hybrid Bensin	57,0	1,7	15,3	9,6	83,59
Personbil-Hybrid Diesel	49,6	1,7	15,3	9,4	75,95
Personbil-Biodiesel	0,9	1,7	15,3	38,0	55,81
Ekspressbuss	52,2	3,1	1,9	8,2	65,40
Boeing 737 (400 km)	191,0	2,0	5,9	30,7	229,59
Boeing 737 (950 km)	158,0	2,0	5,9	25,5	191,41
Dash 8-100	248,0	2,0	5,9	39,9	295,85
Regiontog	0,0	40,9	2,0	1,1	43,99

Tabell 8 Prosentvis utslipp av CO2-ekvivalenter i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt på lange reiser

Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Personbil-Diesel	68,2 %	1,9 %	16,9 %	13,0 %	100,0 %
Personbil-Bensin	70,7 %	1,7 %	15,6 %	12,0 %	100,0 %
Personbil-Elektrisk	0,0 %	9,2 %	83,4 %	7,4 %	100,0 %
Personbil-Etanol	3,0 %	5,6 %	51,0 %	40,3 %	100,0 %
Personbil-Hydrogen	0,0 %	2,7 %	24,1 %	73,2 %	100,0 %
Personbil-Hybrid Bensin	68,2 %	2,0 %	18,3 %	11,5 %	100,0 %
Personbil-Hybrid Diesel	65,2 %	2,2 %	20,1 %	12,4 %	100,0 %
Personbil-Biodiesel	1,5 %	3,0 %	27,4 %	68,1 %	100,0 %
Ekspressbuss	79,8 %	4,7 %	2,9 %	12,6 %	100,0 %
Boeing 737 (400 km)	83,2 %	0,9 %	2,6 %	13,4 %	100,0 %
Boeing 737 (950 km)	82,5 %	1,1 %	3,1 %	13,3 %	100,0 %
Dash 8-100	83,8 %	0,7 %	2,0 %	13,5 %	100,0 %
Regiontog	0,0 %	93,0 %	4,5 %	2,6 %	100,0 %

Figur 5 viser utslipp av SO2-ekvivalenter for transportmiddel som brukes på korte reiser.



Figur 5 Utslipp SO2-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på korte reiser

Det er bare regnet utslipp for to energibrukskjeder, den direkte energikjede og tillegget i den brutto direkte energikjede. Vi har ikke hatt datamateriale for å beregne utslipp for infrastruktur og transportmiddel. Vi har heller ikke estimat for personbiler med hydrogen i brenselcelle.

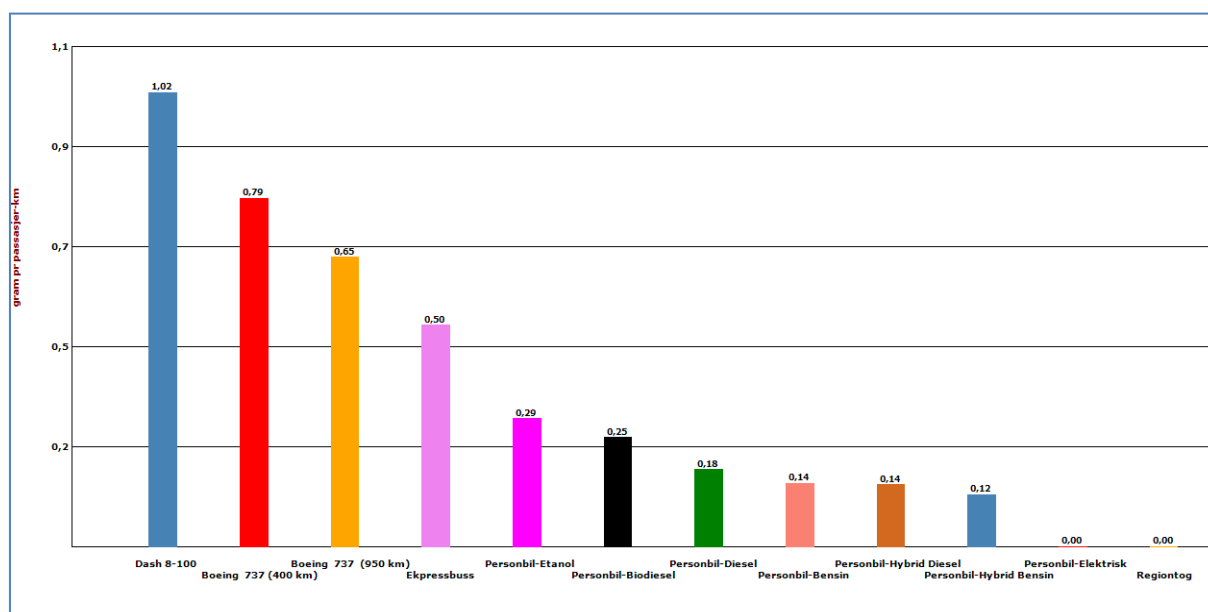
Figur 5 viser at de fossile drivstoff sammen med biodrivstoff har de høyeste utslipp. Transportmiddel som bruker elektrisitet som drivstoff har de laveste. Utslipp av SO2-

ekvivalenter ved produksjon av biodrivstoff kommer fra dyrking av råvaren . Tabell 9 viser underlagsmateriale for Figur 5.

Tabell 9 Utslipp gram SO₂-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på korte reiser i ulike livsløpfaser

	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-tillegg	Sum
Personbil-Diesel	0,201	0,069	0,270
Personbil-Bensin	0,129	0,093	0,223
Personbil-Elektrisk	0,000	0,004	0,004
Personbil-Etanol	0,054	0,392	0,446
Personbil-Hydrogen	0,000	0,000	0,000
Personbil-Hybrid bensin	0,106	0,077	0,183
Personbil-Hybrid diesel	0,161	0,055	0,217
Personbil-Biodiesel	0,106	0,274	0,380
Bybuss-Diesel	0,866	0,072	0,938
Lokaltog	0,000	0,003	0,003
Trikk Norge	0,000	0,004	0,004
T-Bane Norge	0,000	0,003	0,003

Figur 6 viser utslipp av SO₂-ekvivalenter for transportmiddel som brukes på lange reiser.

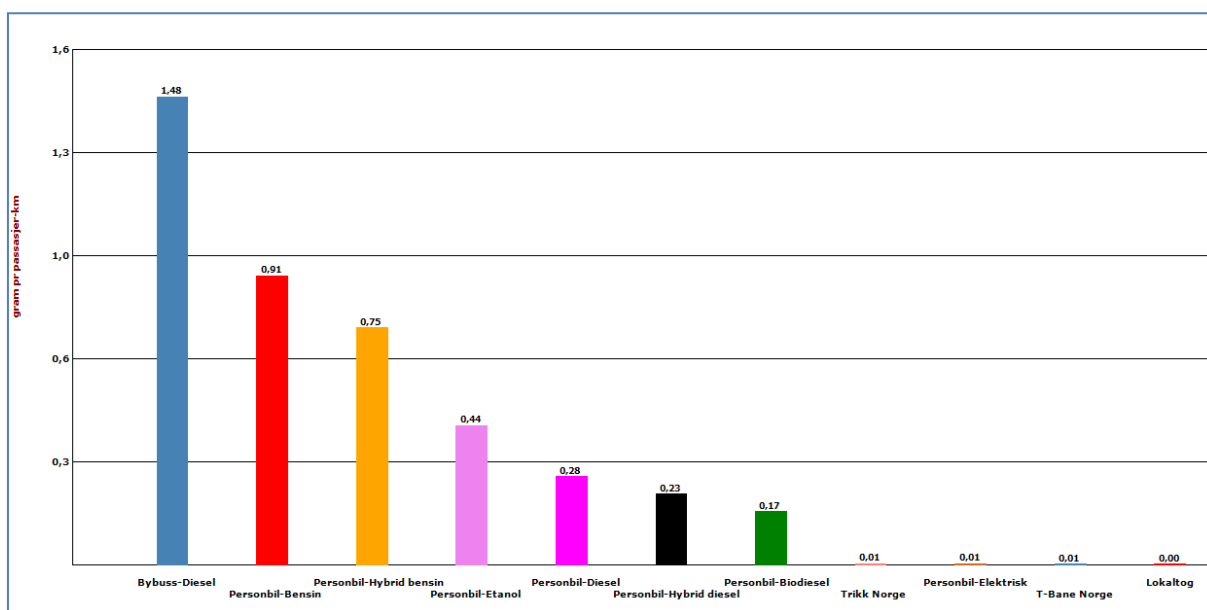


Figur 6 Utslipp gram SO₂-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på lange reiser i ulike livsløpfaser Tabell 10 viser underlagsmateriale for Figur 6 hvor utslippene er fordelt pr livsløpfaser.

Tabell 10 Utslipp gram SO₂-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på lange reiser i ulike livsløpfaser

	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Personbil-Diesel	0,131	0,045	0,175
Personbil-Bensin	0,084	0,061	0,145
Personbil-Elektrisk	0,000	0,002	0,002
Personbil-Etanol	0,035	0,255	0,290
Personbil-Hydrogen	0,000	0,000	0,000
Personbil-Hybrid Bensin	0,069	0,050	0,119
Personbil-Hybrid Diesel	0,105	0,036	0,141
Personbil-Biodiesel	0,069	0,178	0,247
Ekspressbuss	0,461	0,038	0,500
Boeing 737 (400 km)	0,619	0,167	0,786
Boeing 737 (950 km)	0,515	0,139	0,654
Dash 8-100	0,806	0,218	1,024
Regiontog	0,000	0,002	0,002

Figur 7 viser utslipp av TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for korte reiser.



Figur 7 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på korte reiser

Figur 7 viser at transportmidler drevet med elektrisitet praktisk talt ikke bidrar til dannelse av bakkenært ozon. Personbiler med konvensjonelle drivstoff har de høyeste utslipp. Biodiesel har betydelig lavere utslipp enn etanol. Dette skyldes at glyserol som er et biprodukt i produksjon av biodiesel blir belastet utslipp fra prosessen.

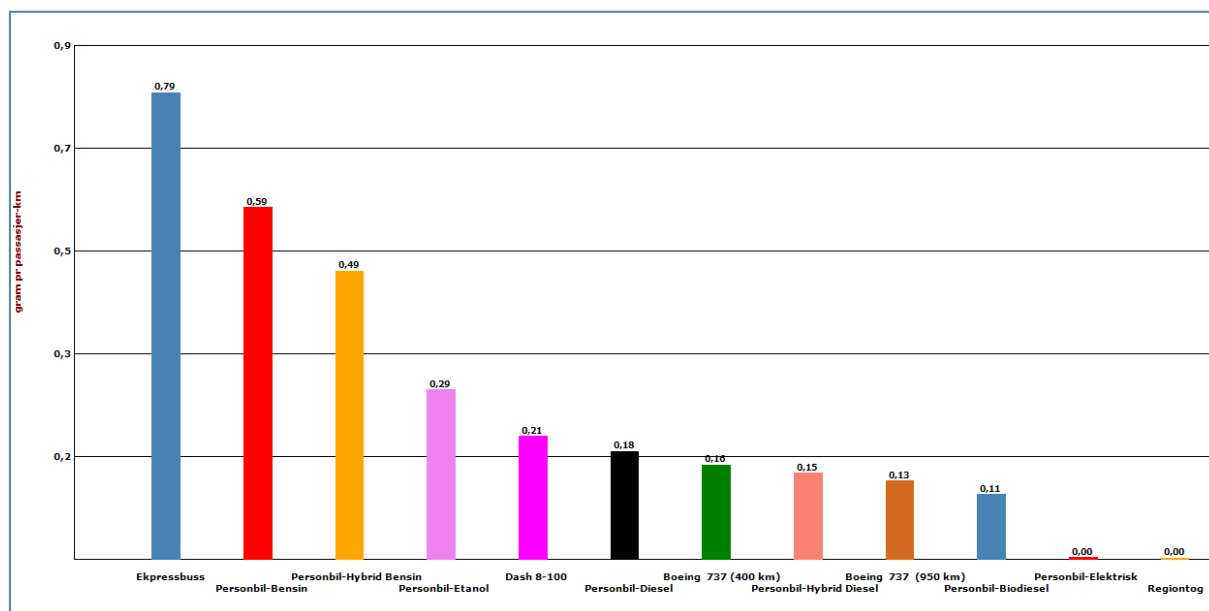
Bensinbiler har større utslipp av TOPP-ekvivalenter enn dieslbiler. Dette skyldes at utslipp av CO fra en liten bensinbil er nesten femten ganger høyere, utslipp av CH4 (metan) er nesten nitten ganger høyere og utslipp av NMVOC er over sju ganger høyere enn utslipp fra

en liten diesebil ved framdriften av kjøretøyet ⁹. Utslipp av NOx er derimot høyere for diesel. I tillegg brukes det mer prosessvarme og elektrisitet ved raffinering av bensin enn diesel.

Tabell 11 viser underlagsmateriale for Figur 7 hvor utslippene er fordelt pr livsløpfase.

Tabell 11 Utslipp gram TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler på korte reiser

	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-t tillegg	Sum
Personbil-Diesel	0,216	0,065	0,281
Personbil-Bensin	0,635	0,279	0,914
Personbil-Elektrisk	0,000	0,006	0,006
Personbil-Etanol	0,157	0,284	0,441
Personbil-Hydrogen	0,000	0,000	0,000
Personbil-Hybrid bensin	0,521	0,229	0,749
Personbil-Hybrid diesel	0,173	0,052	0,226
Personbil-Biodiesel	0,216	-0,047	0,169
Bybuss-Diesel	1,409	0,068	1,477
Lokaltog	0,000	0,005	0,005
Trikk Norge	0,000	0,006	0,006
T-Bane Norge	0,000	0,005	0,005



Figur 8 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmiddel på lange reiser

Figur 8 viser utslipp av TOPP-ekvivalenter for transportmidler på lange reiser. Transportmidler med konvensjonelle drivstoff kommer ut med høyest utslipp. Fly har lavere

⁹ Se ProBas [ProBas - Details: Pkw-Otto-klein-DE-2005](#) og [ProBas - Details: Pkw-Diesel-klein-DE-2005](#)

utslipp enn busser og personbiler siden flyene bare påvirker dannelse av bakkenært ozon ved landing og take-off.

Tabell 12 Utslipp gram TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for transportmidler på lange reiser

	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-tillegg	Sum
Personbil-Diesel	0,140	0,042	0,183
Personbil-Bensin	0,413	0,181	0,594
Personbil-Elektrisk	0,000	0,004	0,004
Personbil-Etanol	0,102	0,185	0,287
Personbil-Hydrogen	0,000	0,000	0,000
Personbil-Hybrid Bensin	0,338	0,149	0,487
Personbil-Hybrid Diesel	0,113	0,034	0,147
Personbil-Biodiesel	0,140	-0,030	0,110
Ekspressbuss	0,751	0,036	0,787
Boeing 737 (400 km)	0,012	0,148	0,160
Boeing 737 (950 km)	0,010	0,123	0,133
Dash 8-100	0,015	0,193	0,208
Regiontog	0,000	0,003	0,003

Tabell 12 viser underlagsmateriale for Figur 8 hvor utslippene er fordelt pr livsløpfasen.

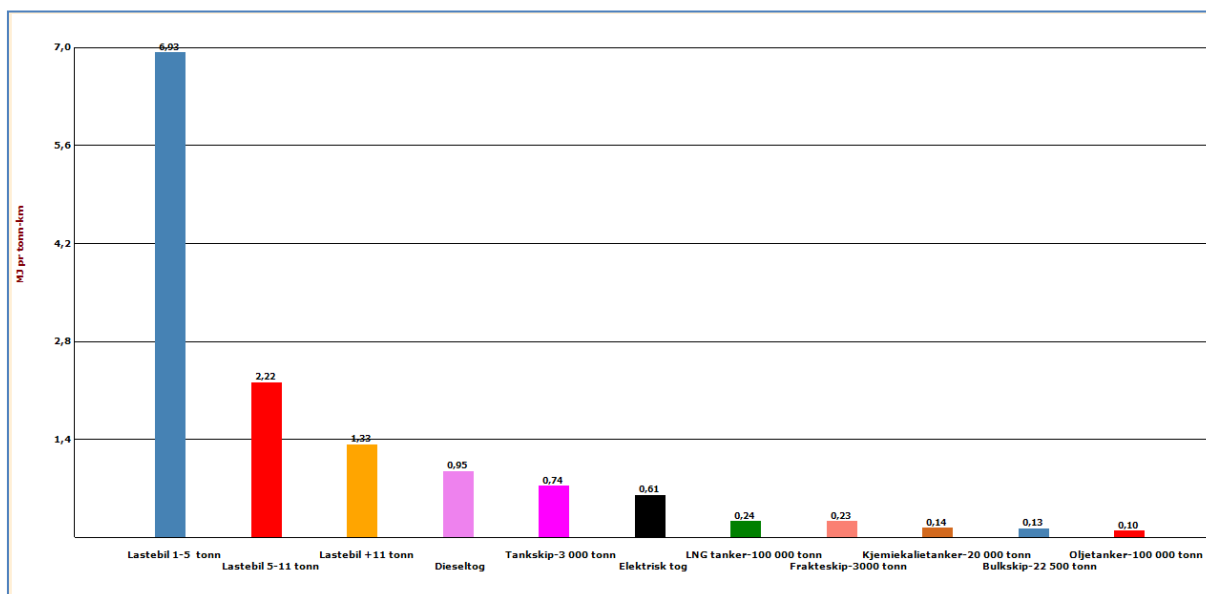
Figur 9 viser samlet energibruk for transportmidler som brukes til godstransport. Vi har tatt med tre typer transportmidler, disse er lastebil, tog og skip. Inndeling av skip i ulike grupper er basert på en IMO-studie av CO₂-utslipp fra skip¹⁰. Siden Norge er en stor skipsfartsnasjon ønsker vi å vise omfanget av energibruk og utslipp fra internasjonal skipstransport som en bakgrunn for å vurdere Norges bidrag til global energibruk og utslipp. Noen skipsgrupper vil da være mindre relevante siden norsk skipsfart i liten grad benytter slike skip. Vi velger å ta med en oljetanker, en kjemikalietanker, et tankskip, et bulkskip, et frakteskip og et LNG-skip. Vi tar ikke med LPG-skip siden disse har mindre relevans for norsk skipsfart. IMO-rapporten deler hver gruppe av skip inn i flere undergrupper etter størrelsen på skipene målt i dødvekt. Vi har brukt antall i skip i hver undergruppe som kriterium for å velge ut et representativt skip i hver hovedgruppe. Den fullstendige listen over alle grupper av skip er vist senere i rapporten.

Lastebilene i Figur 9 er fordelt etter nyttelast og inndelingen er hentet fra SSB (2008)¹¹.

¹⁰ Buhaug, Ø.; Corbett, J. J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D. S.; Lee, D.; Lindstad, H.; Mjelde, A.; Pålsson, C.; Wanqing, W.; Winebrake, J. J.; Yoshida, K: *Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships: Phase I Report*; International Maritime Organization IMO London, http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D26402/INF-6.pdf, tabell 51, side 91

¹¹ Toutain, J.E.W, Taarneby, G., Selvig, E., *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*, Statistisk Sentralbyrå, Rapport 2998/49. Heretter omtalt som SSB (2008), http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

Energibruken i Figur 9 er summert over de samme livsløpfaser som er brukt for passasjertransport. Fasene er direkte energi til framdrift, indirekte energi til infrastruktur og transportmiddel samt tillegget i brutto direkte energikjede for framstilling av drivstoff.



Figur 9 Samlet energibruk i MJ pr tonn-km for ulike typer transportmidler for godstransport

Figuren viser at lastebilene er de klart mest energikrevende transportmidler for godstransport mens de største skipene er de mest energieffektive. Figuren viser også at elektriske godstog er mer energieffektive enn dieseltog, men selv de minste skipene er mer energieffektive enn elektriske godstog.

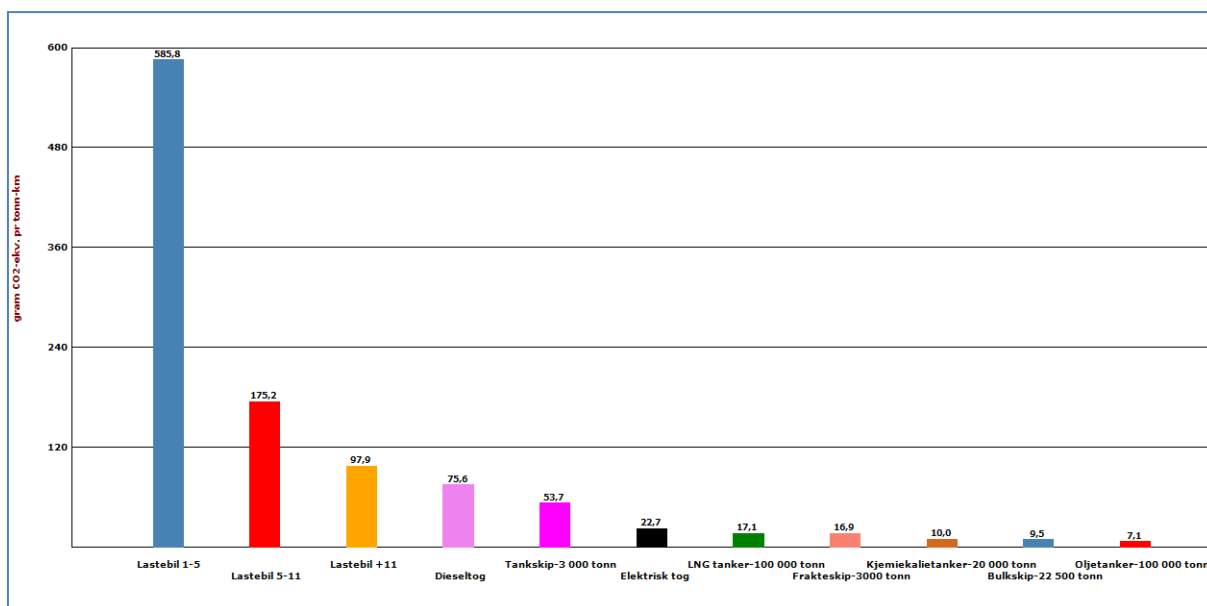
Tabell 13 viser underlagsmateriale til Figur 9 hvor energibruken er fordelt pr livsløpfase. Tallene etter skipstypene refererer til middel dødvekt for gruppen av skip. Lastebiler er fordelt etter nyttelast. Tabell 14 viser energibruken pr tonn-km fordelt prosentvis i de ulike livsløpfaser.

Tabell 13 Energibruk i MJ pr tonn-km for transportmidler til godstrafikk i ulike livsløpfaser

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lastebil 1-5 tonn	6,617	0,106	0,054	0,152	6,929
Lastebil 5-11 tonn	1,908	0,106	0,054	0,152	2,220
Lastebil +11 tonn	1,018	0,106	0,054	0,152	1,330
Elektrisk tog	0,252	0,298	0,003	0,057	0,610
Dieseltog	0,566	0,298	0,003	0,085	0,951
Oljetanker-100 000 tonn	0,079	0,00001	0,004	0,015	0,098
Tankskip-3 000 tonn	0,605	0,00001	0,021	0,116	0,741
Kjemiekalietanker-20 000 tonn	0,113	0,00001	0,003	0,022	0,138
LNG tanker-100 000 tonn	0,195	0,00001	0,004	0,037	0,237
Bulkskip-22 500 tonn	0,106	0,00001	0,005	0,020	0,131
Frakteskip-3000 tonn	0,187	0,00001	0,010	0,036	0,233

Tabell 14 Prosentvis energibruk i ulike livsløpfaser for transportmidler brukt til godstransport

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lastebil 1-5 tonn	95,5 %	1,5 %	0,8 %	2,2 %	100,0 %
Lastebil 5-11 tonn	85,9 %	4,8 %	2,4 %	6,8 %	100,0 %
Lastebil +11 tonn	76,5 %	8,0 %	4,1 %	11,4 %	100,0 %
Elektrisk tog	41,3 %	48,9 %	0,5 %	9,3 %	100,0 %
Diesel tog	59,5 %	31,3 %	0,3 %	8,9 %	100,0 %
Oljetanker-100 000 tonn	80,6 %	0,0 %	4,1 %	15,3 %	100,0 %
Tankskip-3 000 tonn	81,5 %	0,0 %	2,8 %	15,6 %	100,0 %
Kjemikalietanker-20 000 tonn	81,9 %	0,0 %	2,2 %	15,9 %	100,0 %
LNG tanker-100 000 tonn	82,6 %	0,0 %	1,7 %	15,7 %	100,0 %
Bulkskip-22 500 tonn	80,9 %	0,0 %	3,8 %	15,3 %	100,0 %
Frakteskip-3000 tonn	80,3 %	0,0 %	4,3 %	15,4 %	100,0 %



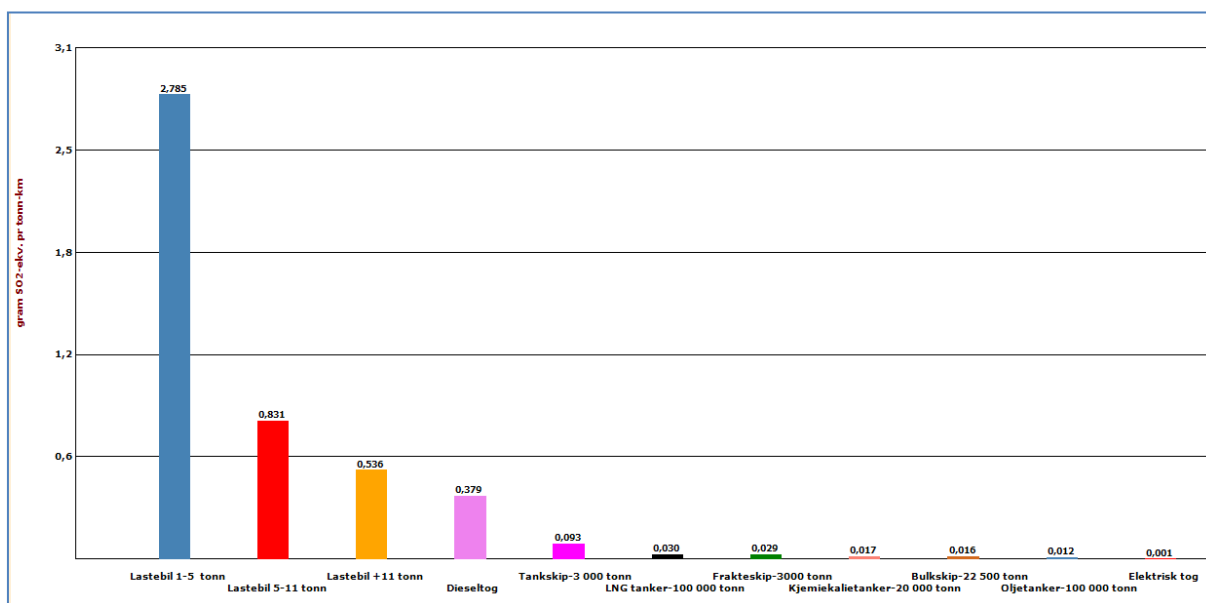
Figur 10 Samlet utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr tonn-km for ulike typer transportmidler for godstransport

Figur 10 viser samlede utslipp av CO2-ekvivalenter pr tonn-km for de samme transportmidler som benyttes til godstransport. Figuren viser noenlunde samme bilde som for energibruken, elektriske tog kommer likevel noe bedre ut sammenliknet med skip når det gjelder utslipp.

Tabell 15 viser underlagsmateriale til Figur 10 hvor utslippene er fordelt pr livsløpfasen.

Tabell 15 Utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr tonn-km for transportmidler til godstrafikk i ulike livsløpfaser

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lastebil 1-5 tonn	499,0	7,4	2,7	76,8	585,8
Lastebil 5-11 tonn	143,0	7,4	2,7	22,1	175,2
Lastebil +11 tonn	76,00	7,38	2,69	11,81	97,87
Elektrisk tog	0,00	21,70	0,28	0,72	22,70
Dieseltog	47,00	21,70	0,28	6,57	75,55
Oljetanker-100 000 tonn	5,90	0,0013	0,32	0,91	7,13
Tankskip-3 000 tonn	45,00	0,0013	1,74	6,96	53,69
Kjemikalietanker-20 000 tonn	8,40	0,0013	0,26	1,30	9,96
LNG tanker-100 000 tonn	14,50	0,0013	0,37	2,24	17,11
Bulkskip-22 500 tonn	7,90	0,0013	0,41	1,22	9,54
Frakteskip-3000 tonn	13,90	0,0013	0,86	2,15	16,91



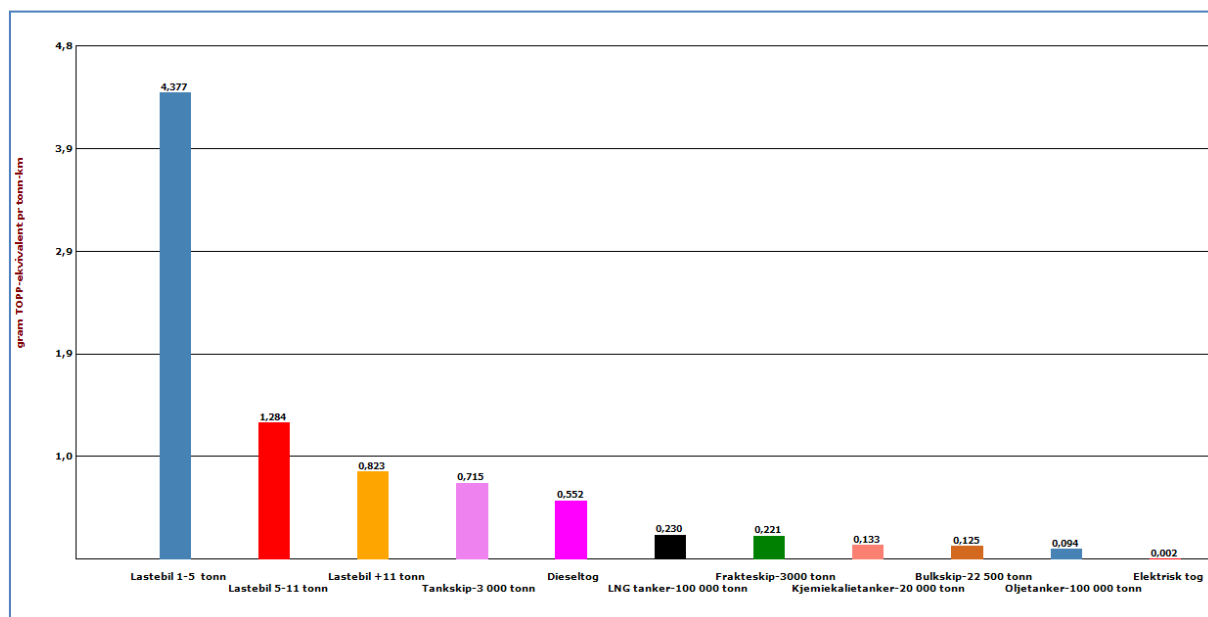
Figur 11 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter pr tonn-km for ulike typer transportmidler for godstransport

Tabell 16 Utslipp gram SO₂-ekvivalenter pr tonn-km for lastebil og godstog i ulike livsløpfaser

SO ₂ -ekv.	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-t tillegg	Sum
Lastebil 1-5 tonn	2,427	0,358	2,785
Lastebil 5-11 tonn	0,728	0,103	0,831
Lastebil +11 tonn	0,481	0,055	0,536
Elektrisk tog	0,000	0,001	0,001
Dieselstog	0,348	0,031	0,379
Oljetanker-100 000 tonn	0,113	0,012	0,125
Tankskip-3 000 tonn	0,863	0,093	0,955
Kjemikalietanker-20 000 tonn	0,161	0,017	0,178
LNG tanker-100 000 tonn	0,278	0,030	0,308
Bulkskip-22 500 tonn	0,151	0,016	0,168
Frakteskip-3000 tonn	0,266	0,029	0,295

Figur 11 og Tabell 16 viser utslipp av gram SO₂-ekvivalenter pr tonn-km for transportmidler for godstransport. Tabellen viser at de minste lastebilene har de høyeste utslippene og at de største skipene har de laveste utslippene bortsett fra elektriske godstog som praktisk talt har null-utslipp. Vi har bare data for utslipp i to energibrukskjeder, den direkte energibruk og tillegget i den brutto direkte energikjede. Vi har ikke data for utslipp fra godstransport med skip.

Figur 12 og Tabell 17 viser tall for utslipp av gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for de samme transportmidler. Tabellen viser samme tendens som Figur 11.



Figur 12 Utslipp av gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for ulike typer transportmidler for godstransport

Tabell 17 Utslipp gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for lastebil og godstog i ulike livsløpfaser

	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lastebil 1-5 tonn	4,038	0,338	4,377
Lastebil 5-11 tonn	1,187	0,097	1,284
Lastebil +11 tonn	0,771	0,052	0,823
Elektrisk tog	0,000	0,002	0,002
Dieseltog	0,523	0,029	0,552
Oljetanker-100 000 tonn	0,088	0,006	0,094
Tankskip-3 000 tonn	0,672	0,043	0,715
Kjemikalietanker-20 000 tonn	0,125	0,008	0,133
LNG tanker-100 000 tonn	0,217	0,014	0,230
Bulkskip-22 500 tonn	0,118	0,007	0,125
Frakteskip-3000 tonn	0,208	0,013	0,221

Innledning

Prosjektet Transport, energi og miljø er finansiert av Norges Forskningsråd. Prosjektet har blitt gjennomført av forsker Morten Simonsen. Prosjektleder har vært professor Karl Georg Høyer ved Høgskolen i Oslo og professor Il ved Vestlandsforsking. I tillegg har Otto Andersen og Hans Jakob Walnum ved Vestlandsforsking bidratt i prosjektet.

Referansegruppen

Følgende personer har deltatt i prosjektets referansegruppe:

- Christina Bu, Norges Automobil-Forbund
- Halvor Jutulstad, Ruter AS
- Leif Storsve, Nordisk Transportpolitisk nettverk
- Sigrun Nygård/Julie Mathilde Amlie, Jernbaneverket
- Tor Olaf Andersen, NSB

Olav Mosvold Larsen, Avinor har bidratt med viktige synspunkt på flere av møtene med referansegruppa. Det har vært avholdt 4 møter i referansegruppa. Medlemmene fra Jernbaneverket og NSB mener at møtene har vært relativt få og korte med fokus på presentasjon av resultat og at møtene i mindre grad har gitt anledning til drøfting av resultatene.

Problemstillinger

Problemstillingen i prosjektet har vært å produsere kunnskap om ulike transportmidlers og transportsystemers samlede energi- og miljøegenskaper. Mer presist er målet å kvantifisere energibruk og utslippsmengde pr enhet transportarbeid med ulike transportmidler i ulike transportsystem. Med transportarbeid mener vi produksjon av passasjer-km for transportmidler som brukes til passasjertransport og produksjon av tonn-km for transportmidler som brukes til godstransport.

Energibruk og utslipp beregnes for hele produksjonskjeden for transportarbeidet. Det innebærer at ikke bare energibruk og utslipp knyttet til framdrift av transportmidlene estimeres. I tillegg kommer energibruk nytt til produksjon av drivstoff, infrastruktur for transportmiddelet og transportmiddelet selv. Dette gir ulike livsløpfaser eller energibrukskjeder som energibruk og utslipp beregnes for. Vi vil gi en mer uttømmende presentasjon av de ulike livsløpfaser nedenfor.

Vi vil også studere energibruk og utslipp i forhold til trafikkarbeidet som ulike transportmidler utfører. Med trafikkarbeid mener vi her energibruk og utslipp beregnet i forhold til transportmidlenes vogn-km, den samlede utkjørte distansen som hvert transportmiddel

utfører. Transportarbeidet er således den mengde passasjerer eller gods som transportmidlene frakter i sitt trafikkarbeid ¹².

Når det gjelder vei-baserte transportmidler beregner vi energibruk og utslipp for ulike typer drivstoff. I tillegg til de konvensjonelle drivstoff som bensin og diesel vil biodrivstoff, hydrogen og elektrisitet bli analysert. For kjøretøy med dieselmotorer er biodiesel fra ulike råvarer biodrivstoffet. For kjøretøy med otto-motorer er etanol fra ulike råvarer biodrivstoffet.

Ulike typer drivstoff brukes i ulike former for motorteknologi. De konvensjonelle drivstoff og biodrivstoff brukes i forbrenningsmotorer som krever ingen eller få endringer i forhold til dagens rådende motorteknologi for veibasert transport. Elektriske motorer bruker elektrisitet som forsynes til motoren fra et batteri. Hydrogen brukes også sammen med elektriske motorer men her er det brenselceller som sørger for produksjon av elektrisitet.

For veibaserte transportmidler som brukes til passasjertransport ser vi også på ulike hybridalternativ som kombinerer elektrisk motor med forbrenningsmotor.

For skinnegående transportmidler brukes norsk vannkraft som drivstoff. Dette begrunnes i Jernbaneverkets kjøp av elektrisk strøm med opphavssertifikater. Vi kjenner ikke til tilsvarende sertifikater for strøm kjøpt av Ruter i Oslo men vil anta at strømmen er produsert fra norsk vannkraft.

Prosjektets mål er også å beregne energibruk og utslipp for ulike type reiser. Vi skiller transportmiddel som brukes på korte og lange reiser. Et eksempel kan være bybusser som brukes til korte, lokale reiser og en ekspressbuss som brukes til lange regionale reiser.

Samlet sett gir prosjektet mulighet til sammenlikning av energibruk og utslipp fra transportmidler fordelt på ulike drivstoff og reisetypen. Resultatene som presenteres i denne rapporten gjelder 2010. Når det gjelder personbiler dokumenterer underlagsdokumentet estimat for personbiler med ulike typer drivstoff i 2020.

Rapporten estimerer utslipp av CO₂-ekvivalenter for alle transportmidler i alle livsløpfasen. Videre estimeres utslipp av TOPP-ekvivalenter og SO₂-ekvivalenter for alle transportmidler utenom skip til godstransport. Disse ekvivalentverdier er estimert for den direkte energibruk og for tillegget i den brutto direkte energikjeden. For de andre livsløpfasene har det ikke vært mulig å estimere utslipp av SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter.

SO₂-ekvivalenter måler utslipp av stoffer som øker surhetsgraden i omgivelsene. En TOPP-ekvivalent måler utslipp som bidrar til dannelse av bakkenært ozon. Vi gir en nærmere beskrivelse av SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter senere i rapporten.

Dokumentasjon

Vi vil legge særlig vekt på å gjøre våre analyser etterprøvbare. Dette innebærer grundig dokumentasjon av hvilke grunnlagsmateriale som er brukt, enten i form av litteraturreferanser eller i form av estimat fra LCA- databaser. Dette prosjektet innebærer analyser av store

¹² Andersen, O., Sataøen, H.L.: Samfunnsregnskap for Oslo Sporveier 2005, VF-Notat 8/06, Vestlandsforsking 2006, <http://www.vestforsk.no/www/show.do?page=12&articleid=1094>

mengder med tall. Den viktigste garanti for at analysene er korrekt utført er å gjøre dem tilgjengelige for andre slik at analysene kan etterprøves med samme eller varierte forutsetninger. Avdekking av eventuelle feil og mangler vil være nyttig for forskingen selv om det isolert sett ikke er til fordel for oss.

Alle forutsetninger som ligger til grunn for analysene er dokumentert i åtte hoveddokument. Disse dokumentene omhandler passasjertransport med personbil, buss, trikk og T-bane samt jernbane. I tillegg er det et dokument for godstransport med jernbane, et for godstransport med lastebil og et for godstransport med skip. Disse underlagsdokument vil bli gjort tilgjengelig fra Vestlandsforskning sine nettsider¹³. I hovedrapporten vil det føre for langt å gå i detalj om hver enkelt forutsetning som er lagt til grunn og hvordan dette påvirker beregningene. I hoveddokumentet vil vi derfor vise til hvilket underlagsdokument som drøfter problemet. De åtte underlagsdokument refererer i sin tur til mange andre underlagsdokument som er produsert i løpet av prosjektet. Alle disse dokument vil bli gjort tilgjengelige på Vestlandsforskning sine nettsider med relevante linker fra de dokument der de er omtalt.

Videre vil alle Excel regneark som er benyttet i prosjektet bli gjort tilgjengelige på de samme nettsider. Det er et eller flere regneark knyttet til hvert av hoveddokumentene. Disse regneark er ikke referert til i teksten, men nettsidene vil vise hvilke regneark som er knyttet til hvilke dokument.

Til slutt vil vi lage en egen database for underlagsmateriale og resultater fra prosjektet. Databasen er i Microsoft Access format. Denne databasen er tilgjengelig på <http://transport.vestforsk.no/>. Det er laget en applikasjon til databasen som gjør det mulig å bla i underlagsmateriale og resultater.

Vi har brukt den tyske LCA-databasen ProBas i mange av analysene. Denne databasen er tilgjengelig gratis online på nettstedet <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>. Databasen er et samarbeidsprosjekt mellom det tyske miljøverndepartementet og forskingsinstituttet Öko-Institut. Databasen gir et godt grunnlag for analyser av kjeder av energibruk og utslipp. Vi har lagt vekt på å dokumentere hvilke estimat fra ProBas som er brukt slik at leseren selv kan finne disse estimatene og eventuelt selv etterprøve estimatene som er brukt.

Livsløp

Energibruk og utslipp vil bli beregnet i fire ulike livsløpfaser som hver består av flere ledd. Energibruk og utslipp i en fase er akkumulert over alle ledd som inngår i den. Vi har fire ulike energibruksfaser eller energibrukskjeder¹⁴:

- Den direkte energibruk og utslipp som følger av framdrift av transportmiddelet. Leddene i denne fasen omfatter tanking av drivstoff, tap ved overføring av drivstoff i interne system slik som jernbanens, trikkens og T-banens interne overføringsnett i tillegg til selve framdriften. Denne fasen kalles også Tank-to-Wheel.

¹³ <http://fp1.vestforsk.no/sip/index.html>

¹⁴ Se Høyer, K.G.: *Persontransport - konsekvenser for energi og miljø*, VF-Rapport 1/93, side xxxi.

- Energibruk og utslipp knyttet til produksjon og distribusjon av drivstoffet. Denne fasen omfatter energi for framstilling av energi. Leddene i fasen inkluderer utvinning av råstoff (f eks boring etter olje), transport av drivstoffet til prosesseringsanlegg, prosessering av råvare til ferdig drivstoff (f eks forestring av rapsolje til Raps-Metyl-Ester eller RME) samt distribusjon av produsert drivstoffet til tankanlegg. Denne fasen kalles også Well-to-Tank.
- Indirekte energibruk består av to livsløpsfaser. Den første fasen er konstruksjon, vedlikehold og drift av infrastrukturen som transportmiddelet benytter. Denne fasen omfatter energibruk og utslipp knyttet til framstilling av materialer og maskiner samt energi som benyttes direkte i de ulike leddene i fasen samt utslipp som er knyttet til denne energibruken.
- Den andre fasen i indirekte energibruk er energibruk og utslipp knyttet til produksjon og vedlikehold av transportmiddelet selv. Dette omfatter energibruk og utslipp knyttet til framstilling og prosessering av materialer samt energi som benyttes direkte i produksjonen og utslipp som følger av dette.

Summen av Tank-to-Wheel og Well-to-Tank utgjør Well-to-Wheel energikjede. Vi kaller dette en energikjede siden den starter med en energikilde og omfatter omdanning av denne til nyttbar energi. Denne kjeden kalles også brutto direkte energikjede hvor energibruk til framdrift av transportmiddelet legges til energibruk for framstilling og distribusjon av drivstoffet som transportmiddelet bruker.

Dette gir fire livsløpsfaser som all energibruk og utslipp vil bli rapportert i forhold til: Direkte energibruk (Tank-to-Wheel), brutto direkte energibruk (Well-to-Tank), indirekte energibruk knyttet til infrastruktur og indirekte energibruk knyttet til produksjon av transportmiddelet.

Validitet

De teoretiske definisjoner er presentert ovenfor som livsløpsfaser. Utfordringen består i operasjonalisering av disse teoretiske definisjonene. Operasjonalisering innebærer å definere hvordan fasene måles og ikke minst definere overgangen mellom dem. Utfordringen består i å bruke sammenfallende grenser for fasene for ulike transportsystem som f eks veitransport og skinnegående transport. Samsvar mellom teoretisk og operasjonell definisjon kaller vi validitet.

Den direkte energibruk omtales ofte som Tank-to-Wheel mens tillegget i brutto direkte energikjede kalles Well-to-Tank. For noen transportmiddel, f eks for personbiler, synes det åpenbart hvor skillet mellom disse to livsløpsfasene er. Men heller ikke for personbiler er det åpenbart. Tanking av drivstoff medfører tap i form av fyllingstap. Slike tap kan være betydelige når de summeres over mange kjøretøy. I hvilken fase skal dette tapet registreres? Er det et tap i den direkte energibruk eller i tillegget i den brutto direkte energikjede (Well-to-Tank)?

Jernbanen har slike tap i forbindelse med omforming av spenning til det nasjonale jernbanenettet og i tap fra kjøreledning til toget. Statistisk Sentralbyrå bokfører disse tapene i

den direkte energibrukskjede ¹⁵ mens Jernbaneverkets Miljørapport 2008 presenterer tall for framdriftsenergi uten slike tap ¹⁶. For personbiler oppgis som regel framdriftsenergien som forbrukt energi eller som forbrukt drivstoff uten slike tap.

For noen drivstoff er slike tap betydelige, særlig for hydrogen som transporteres i komprimert form til tankanlegg for kjøretøyet. For hydrogen oppstår også andre problem. I hvilken fase skal selve produksjonen av hydrogenet bokføres? Om det er sentrale anlegg for produksjon av hydrogen som blir distribuert til tankanlegg er det naturlig å bokføre energibruk til produksjon av hydrogen i den brutto direkte energibruksfase. Men noen hydrogenbiler kan reformere drivstoff til hydrogen i en reformer ombord på kjøretøyet. Er det da like åpenbart hvilken fase energitapet ved produksjon av hydrogen skal bokføres i? Og hvordan kan man sikre seg en enhetlig behandling av energibruken slik at estimat for ulike hydrogenbiler kan sammenliknes i ulike livsløpfaser?

Denne rapporten bokfører interne tap i jernbanens nett i den direkte energibruksfase. Det samme gjelder energibruk for trikk og T-bane. For personbiler og andre kjøretøy er vi henvist til kildenes behandling av problem som fyllingstap. Vi henviser til underlagsdokumentene for en nærmere presisering. Som brukere av andre estimat består vår jobb i å dokumentere så detaljert som mulig hvilke forutsetninger eller systemgrenser som ligger til grunn for ulike estimat samt å sikre at sammenlikninger blir gjort på en mest mulig enhetlig og systematisk måte.

Metodiske utfordringer

Triangulering

Vi har i prosjektet lagt vekt på metode-triangulering, det vil si at vi forsøker å bruke flere typer metodetilnærming og estimat for beregning av samme prosess som analyseres. Ved å triangulere forsøker vi å se flest mulige aspekt ved et fenomen på flest mulige måte. Poenget er å kryssjekke og kvalitetssjekke estimat ved å sammenlikne flest mulig med likest mulig systemgrenser. Dersom forskjellige estimat gir noenlunde samme svar styrkes troverdigheten til estimatet.

Vi har også brukt data-triangulering. Det betyr at det er brukt flere estimat for den samme prosessen, f eks framdrift av et transportmiddel. I denne sammenheng betyr data-triangulering å studere flere forskjellige estimat for å komme fram til et valgt estimat som vi benytter som representativt for den prosessen vi ønsker å måle.

Utfordringen ligger ofte i å sikre at ulike estimat bruker samme systemgrenser og eventuelt korrigerer for ulike forutsetninger som ligger til grunn for estimatene. Triangulering vil forhåpentligvis også bidra til å øke etterprøvbareheten av de estimat som presenteres.

For noen estimat foreligger det mange ulike estimat fra mange ulike kilder. Et eksempel kan være Tank-to-Wheel energibruk og utslipp for personbiler med konvensjonelle drivstoff. For

¹⁵ Se f eks Toutain, J.E.W, Taarneby, G., Selvig, E., *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*, Statistisk Sentralbyrå, Rapport 2998/49. Heretter omtalt som SSB (2008), side 25, http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

¹⁶ Miljørapport 2008, Jernbaneverket, <http://www.jernbaneverket.no/PageFiles/7815/Miljørapport%202008.pdf>

andre prosesser kan det være vanskelig å finne estimat, for eksempel for energibruk og utslipp knyttet til konstruksjon, drift og vedlikehold av infrastruktur for ulike transportmiddel.

Analyseform

LCA-analyse bygger på to typer hovedtilnærminger: Input-output analyse (IO-analyser) eller prosessanalyse. En IO-analyse kalles også en kryssløpsanalyse. Denne bruker en matrise med økonomiske transaksjoner mellom ulike sektorer som utgangspunkt for analysen. Hver rekke og kolonne i matrisen representerer en økonomisk sektor. Hver kolonne viser hvor mye en sektor har kjøpt av de andre sektorene mens hver rekke viser hvor mye en sektor har solgt til de andre sektorene¹⁷. Summen av en rekke eller kolonne viser de totale transaksjoner en sektor har med alle andre sektorer. Analysen av en slik matrise er derfor velegnet til å vise de direkte og indirekte virkningene av en sektors kjøp og salg av tjenester. De direkte er hver enkelt transaksjon mens de indirekte er summen av transaksjonene langs en rekke eller kolonne. Ved å bruke matematisk rekkeutvikling kan man også beregne energibruk eller utslipp i mange ledd bakover i transaksjonene.

På samme måte er kryssløpsanalyse velegnet til å vise de totale virkninger på energibruk eller utslipp mellom ulike sektorer. En slik analyse forutsetter at energibruken og utslippet gis en pris pr energienhet eller utslippsenhet. Deretter kan den direkte og indirekte energibruken eller utslippsvirkning for en sektors økonomiske aktivitet beregnes. Fordelen med en slik analyse er at alle virkninger, direkte og indirekte, automatisk blir inkludert. Ingen effekt vil bli utelatt, hverken den direkte effekten på andre sektorer eller de indirekte effektene via kjøp og salg av varer og tjenester fra alle andre sektorer. Problemet med en lik tilnærming kan være å identifisere de ulike indirekte virkningene i alle sine enkelte komponenter, fordelen er at ingen av dem er utelukket.

Prosessanalyse er en standard ingeniør-analyse. Analysen er basert på identifisering av energibruk og utslipp knyttet til hver enkelt-komponent som er inkludert i en prosess. Fordelen med en slik tilnærming er at alle enkelt-komponenter er identifisert og kvantifisert. Ulempen er at ikke alle enkelt-komponenter lar seg identifisere eller kvantifisere. Beregningen av de *totale* virkningene på energibruk og utslipp fra en bestemt prosess er derfor mer usikre.

Vi kan oppsummere slik: Fordel med kryssløpsanalyse er identifisering og kvantifisering av de totale virkninger, ulempen er identifisering av hver enkelt av dem. Fordelen med prosess-analyse er identifisering og kvantifisering av hver enkelt virkning, ulempen er at ikke alle *kan* identifiseres og kvantifiseres.

De to former for analyse kan også kombineres i en hybrid-analyse. Dette innebærer at kryssløpsanalyse brukes for beregning av energibruk og utslipp knyttet til ulike komponenter i en prosess-analyse. For eksempel kan mengden stål eller betong som kreves for konstruksjon av jernbanelinje beregnes ved hjelp av prosess-analyse. Energiforbruk for produksjon av 1 kg med stål eller betong beregnes deretter ved hjelp av kryssløpsanalyse. Estimat av energibruk og utslipp pr kg kombineres deretter med estimat for mengden som

¹⁷ Hertwich, E., Larsen, H.N.: Energiforbruk og klimagassutslipp i Trondheim, NTNU, Program for industriell økologi, Rapport 2/2007, side 66,
http://www.ntnu.no/eksternweb/multimedia/archive/00023/rapport2_07web_23569a.pdf

kreves av hvert materiale. Dette gir estimat av samlet energibruk og utslipp for konstruksjon av jernbanelinje¹⁸. I tillegg kommer materialer som benyttes i kjøreledninger, signalanlegg, pukk og stein osv. Beregningen av energibruk og utslipp for disse materialer kan beregnes på samme måte.

Vi har ikke selv gjennomført kryssløpsanalyser men vi bruker estimat fra andre kilder som har benyttet denne analyseformen. Estimaten vi presenterer er bygd på litteratur-studier, på egne prosess-analyser eller hentet fra LCA-databasen ProBas.

Systemgrenser

LCA-analyser fører med seg særskilte metodiske problem. Et problem er knyttet til systemgrensene for infrastrukturen. Hva er det riktige grunnlaget for sammenlikning av persontransport på vei og jernbane? Skal jernbanestasjoner inkluderes? Hva med bensinstasjoner og veikroer, må de inkluderes for å gi et rett sammenlikningsgrunnlag? Skal kafeer, restauranter på flyplasser inkluderes i infrastrukturen for fly? Denne rapporten velger å presentere tall for jernbanens infrastruktur uten stasjoner og tall for flyenes infrastruktur uten flyplass.

Sammenlikning av framdriftsenergi er heller ikke rett fram. Skal tap ved tanking inkluderes for transportmiddel på vei? *Interne* tap er inkludert i den direkte energibruken, Tank-to-Wheel, for jernbane, trikk og T-bane. Hvordan påvirker dette sammenlikning med andre transportmiddel? Tap i det *nasjonale* overføringsnettet for jernbane, trikk og T-bane er derimot inkludert i brutto direkte energitillegg, Well-to-Tank. Gir dette konsistente sammenlikninger med andre transportformer?

Analyse av energibruk ved produksjon av transportmiddel medfører også problem med systemgrenser. Er all energibruk fra underleverandører inkludert? Er prosess-energien inkludert eller bare energibruk knyttet til framstilling av materialer? Hvilke resirkuleringsgrader benyttes for ulike typer materialer? Er vedlikeholdet inkludert og hvordan håndteres skroting av transportmiddel og videre resirkulering av materialene?

Vi vil legge spesiell vekt på å definere systemgrenser som er benyttet i analysene. Det er en vanskelig om ikke umulig jobb å ha konsistente systemgrenser i alle sammenlikninger. Det viktigste er å redegjøre klart og entydig hvilke systemgrenser som er benyttet i ulike sammenlikninger.

Allokering av infrastruktur mellom ulike transportmiddel

Et spesielt problem omfatter allokering av infrastruktur mellom flere transportmidler som benytter denne infrastrukturen samtidig. En vei benyttes av personbiler, busser og lastebiler samtidig. Hvordan skal vi fordele energibruk og utslipp knyttet til konstruksjon, vedlikehold og drift av denne infrastrukturen mellom transportmidlene? Og hvor mye energibruk skal fordeles for konstruksjon pr år? Vi har valgt å operere med egne vekt for vei og jernbane. Allokering av infrastruktur mellom passasjer- og godstransport gjøres derfor på ulik måte for vei og for jernbane. For vei brukes personbilkvivalenter, for jernbane brukes den direkte energibruken for framdrift som grunnlag for allokering mellom passasjer- og godstransport.

¹⁸ Se Chester, M., Horvath, A.: *Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air v.2*, side 65-66.

http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=its/future_urban_transport

Videre opererer vi med forskjellig levetid og volum for konstruksjon, drift og vedlikehold av både vei og jernbane.

Empiriske tester vs simulering

Mange av estimatene vi presenterer er bygd på simulering av empiriske tester ved hjelp av datamodeller. Dette gjelder for eksempel estimering av framdriftsenergi for ulike typer drivstoff¹⁹. Andre estimat er resultat av virkelige tester med drivstoff. Det ideelle fra et forskningssynspunkt er test av drivstoff med en kontrollgruppe med konvensjonelt drivstoff brukt under samme testforhold, f.eks. samme bussrute, over en tidsperiode. Slike ideelle forsøk er ofte vanskelige å finne.

Som forskere er vi dermed ofte prisgitt simuleringsforsøk hvor det gjøres forutsetninger som ikke kan manipuleres eller kontrolleres for. I et prosjekt utført av CONCAWE/EUCAR antas det for eksempel at Tank-to-Wheel energibruk til framdrift pr km er lik for konvensjonelle drivstoff (bensin og diesel) og alternative drivstoff (etanol, biodiesel). Kjøretøy som bruker blandinger av bensin og etanol antas også å ha samme energibruk pr km²⁰. Energibruken varierer dermed bare i liter eller kg pr km siden energiinnholdet i 1 liter eller 1 kg med de ulike drivstoff er ulik.

I den tyske databasen ProBas oppgis derimot ulik energibruk pr person-km²¹ km for de ulike typer drivstoff. Siden vi ikke har noen grunn til å anta at passasjerer pr km er ulik med ulike typer drivstoff betyr dette også ulikt forbruk pr km. Problemet med ProBas er at de ulike forutsetninger som blir brukt i estimatene ikke kan endres. I hvilken grad forutsetninger ligger fast vil variere fra database til database som benyttes i LCA-analyser.

Utslipp

Vi vil gi estimat for utslipp av tre typer ekvivalenter. Disse er CO₂-ekvivalenter, SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter.

CO₂-ekvivalenter er hentet fra ulike estimat. Ekvivalentene svarer til definisjonen gitt av IPCC. Komponentene som inngår i ekvivalentverdiene er CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, PFC (perfluorkarboner) og HFC (hydrofluorkarboner). Disse gassene er definert som drivhusgasser i Kyoto-protokollen og omtales derfor som Kyoto-gasser²². Komponentene omregnes til den mengde CO₂ som ville gitt samme effekt på global oppvarming.

TOPP-ekvivalent er et mål for dannelse av bakkenært ozon. Ekvivalentverdien består av et sett med komponenter som er veid i forhold til hverandre etter deres bidrag til ozondannelse

¹⁹ Se for eksempel CONCAWE/EUCAR: *Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains In the European Context*. Concawe/Eucar er et samarbeidsprosjekt mellom EU-kommisjonens Institutt for miljø og bærekraft, Eucar som er bilindustriens forskningsråd og Concawe som er oljeindustriens bransjeorgan for helse, miljø og sikkerhet i raffinering og distribusjon.

<http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/V3.1%20TTW%20Report%2007102008.pdf>

²⁰ *ibid.*, side 10, se også tabell 4.1.6-1 side 15 og Tabell 5.1.5-1 side 20. Samme forhold gjelder for diesel og biodiesel.

²¹ Med person-km mener vi her passasjer-km hvor fører av kjøretøy er inkludert.

²² <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/glossar.php?#THG>

²³. Komponentene er CO, NMVOC, NO_x og CH₄. Jo større ekvivalentverdi, jo større er bidraget til bakkenær ozondannelse.

SO₂-ekvivalent er et mål på forsuringspotensiale til et sett med komponenter ²⁴. Komponentene er regnet om til SO₂-verdier etter deres bidrag til forsurelse relativt til SO₂. Komponentene er SO₂, NO_x, HCl (saltsyre), HF (hydrogenfluorid), NH₃ (amoniakk) og H₂S (hydrogensulfid). Jo større ekvivalentverdi, jo større bidrag til forsurelse.

Vi har valgt å bruke disse ekvivalentverdiene framfor å beregne utslipp for hver av delkomponentene. Fordelen med å bruke ekvivalentverdier er at vi får et samlet mål for utslippet for flere komponenter samtidig. Dette letter tolkingen av stoffenes bidrag til bakkenær ozondannelse eller deres forsuringspotensiale siden antall verdier som sammenliknes blir kraftig redusert. Samtidig sikrer vi at stoffene blir sammenliknet på et enhetlig måte.

Verdiene er hentet fra ProBas. Vi har med andre ord ikke beregnet disse ekvivalentverdiene selv. Verdiene fra ProBas er regnet om til gram pr MJ for ulike produkt. Et produkt kan være en passasjer-km med personbil eller en energienhet produsert diesel eller elektrisitet. Deretter er denne utslippsfaktoren multiplisert med den direkte energibruken for å gi utslippene pr passasjer-km, pr vogn-km eller pr tonn-km.

ProBas gir verdier for den direkte energibruken og tillegget i den brutto direkte energikjede. ProBas gir ingen estimat for transportmiddel eller for transportmidlenes infrastruktur. Følgelig presenterer vi bare utslippstall for direkte energibruk (Tank-to-Wheel) og for tillegget i brutto direkte energikjede (Well-to-Tank). Utslippsfaktoren for tillegget i den brutto direkte energikjede multipliseres med den direkte energibruken siden det er produksjon av denne mengde energi som utløser utslippene. Med andre ord: Utslippene i Well-to-Tank kjeden utløses for å produsere den direkte energibruken (Tank-to-Wheel).

ProBas gir ikke utslippsverdier for SO₂-ekvivalenter eller TOPP-ekvivalenter for lastebiler eller busser som går på biodiesel. ProBas gir bare utslippstall for biodiesel i personbiler. Vi har regnet utslippsfaktorer i gram pr MJ for biodiesel i busser og lastebiler ved å anta samme forhold mellom utslippsfaktorer for diesel og biodiesel i en lastebil eller en buss som i en personbil. Det relative forholdet mellom utslippsfaktorene for diesel og biodiesel i en personbil kjenner vi fra ProBas.

ProBas gir negative verdi for TOPP-ekvivalent for biodiesel produsert fra rapsolje (RME). ProBas oppgir at produksjon av 1 TJ med energi fra RME ²⁵ utløser -36,5 kg TOPP-ekvivalenter. ProBas gir ingen detaljert forklaring på den negative verdien. Generelt oppgir ProBas at negative verdier framkommer ved at fradrag for energibruk eller utslipp i en prosess allokeres for et biprodukt i prosessen ²⁶. I produksjon av biodiesel fra RME blir glyserol produsert som biprodukt. Dette produktet blir skilt ut i forestringsleddet ved at

²³

<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/glossar.php?&PHPSESSID=8ebfcf27e1a9f0cc32886e49f85363fd#T>

²⁴

<http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/glossar.php?&PHPSESSID=8ebfcf27e1a9f0cc32886e49f85363fd#S>

²⁵ Se ProBas estimat for [Tankstelle\RME-2010/Sojaschrot+Glyzerin](#)

²⁶ Se avsnittet Allgemeine Informationen, seksjon 1.3 i alle ProBas estimat.

glyserol i planteoljen blir byttet ut med metyl. Vi antar at den negative verdien framkommer ved allokering av fradrag for biprodukt. Eventuelle negative verdier for TOPP-ekvivalenter fra RME pr passasjer-km, pr vogn-km eller pr tonn-km skyldes derfor denne allokeringen.

Resultat

I denne delen skal vi presentere resultat fra analysen for hvert enkelt transportmiddel. Vi vil presentere tall for de ulike livsløpfasene pr passasjer-km eller pr tonn-km og pr vogn-km der hvor det er relevant. For skip og godstog gjøres det ingen beregninger pr km, bare pr tonn-km.

For en nærmere dokumentasjon av hvert enkelt estimat inklusive systemgrenser refererer vi til grunnlagsdokumentene som er benyttet i analysen.

Når det gjelder tillegg i energibruk i den brutto direkte energikjede, altså Well-to-Tank estimatet, bruker vi tapsmultiplikatorer hentet fra ProBas. For norsk vannkraft er multiplikatoren hentet fra ProBas, Concawe/Eucar og Høyer (2009)²⁷. Vi viser til underlagsdokumentene for en grundigere dokumentasjon. Vi beregner tillegget i den brutto direkte energikjede ved å multiplisere den direkte energibruk med tapsmultiplikatoren. Differensen mellom dette produktet og den direkte energibruken gir oss tillegget i den brutto direkte energikjede.

Likning 1 Beregning av tilleggsenergi i brutto direkte energikjede

$$Energi_{Tillegg-brutto-direkte-energi} = (Energi_{Direkte-energi} * T) - Energi_{Direkte-energi}$$

Likning 1 viser formel for beregning av tillegget i den brutto direkte energikjede beregnet med tapsmultiplikator. I likningen står T for tapsmultiplikator.

Utslipp av CO₂-ekvivalenter beregner vi ved å bruke utslippsfaktorer i gram pr MJ for ulike drivstoff. Disse er hentet fra ProBas og Concawe/Eucar. Disse utslippsfaktorene bruker vi sammen med estimat for direkte energibruk siden utslippene utløses for å produsere energimengden som brukes til direkte energi for framdrift av transportmiddelet.

Estimater for energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter for konstruksjon, vedlikehold og drift av infrastruktur for vei, jernbane og fly er dokumentert i Simonsen (2010c)²⁸.

Passasjertransport

Personbil

Estimatene som presenteres for personbiler er dokumentert i Simonsen (2010a)²⁹.

Estimatene som er valgt ut som representative for Norge 2010 er stort sett hentet fra Concawe/Eucar^{30 31}. Estimater for etanol med sukkerrør fra Brasil som råvare er hentet fra

²⁷ Høyer, K.G.: *Høyhastighetstog. Analyser av direkte og brutto direkte energiforbruk*. Høgskolen i Oslo, TDM-Rapport 1/09.

²⁸ Simonsen, M.: *Indirect Energy Use*. Notat Vestlandsforskning, januar 2010.

<http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

²⁹ Simonsen, M.: *Energibruk og utslipp fra persontransport med personbil. En livsløpanalyse*. Notat Vestlandsforskning januar 2010. <http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

³⁰ <http://ies.jrc.ec.europa.eu/W/TW.html>

Macedo & Seabra ³² og dokumentert i Simonsen (2010a). Estimater er korrigert for transport til tankanlegg i EU siden estimatet fra Macedo og Seabra bare omfatter levering tankanlegg Brasil. Alle estimat i Concawe/Eucar gjelder for en 5 seter sedan ³³, altså en middels familiebil med fire dører i Golf-klassen ³⁴. Concawe/Eucar har analysert energibruken for en slik bil ved å simulere et "standard europeisk kjøremønster" ³⁵. Simuleringen er gjort med datamodellen ADVISOR som er utviklet av NREL, et direktorat som hører inn under det amerikanske miljøverndepartementet ³⁶. Energibruken er altså ikke analysert ved empirisk testing men ved hjelp av datasimuleringer.

En god del av personbiler solgt i Norge har større motor enn den bilen vi her bruker som representativ for personbil ³⁷. Disse bilene vil selvsagt ha større energibruk og utslipp enn den personbilen vi her har valgt som representativ.

Beregningene i tillegget i den brutto direkte energikjede (Well-to-Tank) er gjort med utgangspunkt i et regneark mottatt av Concawe/Eucar ³⁸ med unntak av etanol fra sukkerrør i Brasil.

Statistisk Sentralbyrå ³⁹ oppgir et gjennomsnittlig passasjerbelegg på 1,73 passasjerer for alle typer reiser med personbil i 2005.

Vestlandsforskning oppgir et belegg på 1,6 for tilslutningsreiser og 2,2 for hovedreisen i 1998 ⁴⁰. Det opplyses at belegget for tilslutningsreiser gjelder for by-reiser mens belegget for hovedreisen gjelder for lange reiser ⁴¹. ProSus oppgir i en rapport ⁴² fra 2001 et belegg på 1,77 som gjennomsnitt for alle typer turer og et belegg på 2 for reiser over 100 km. I en

³¹ Tank-to-Wheel rapport

<http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/V3.1%20TTW%20Report%2007102008.pdf>

³² Macedo, I.C., Seabra, J.E.A.: *Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol*, i Zuurbier, P., van de Vooren, J.: *Sugarcane Ethanol, Contributions to climate change mitigation and the environment*, Wageningen Academic Publishers, 2008,

http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0811_Wageningen_-_Sugarcane_ethanol_-_Contributions_to_climate_change_mitigation_and_the_environment.pdf

³³ *ibid.*, side 5: "...coherent, compact sized European sedan".

³⁴ *ibid.*, side 6.

³⁵ *ibid.*, side 9. Kjøremønstret kalles NEDC og består av fire repeterte kjøresykluser i by og en på motorvei. Bilene antas å kaldstartes i en ute-temperatur på 20°C, se

http://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle.

³⁶ <http://www.nrel.gov/>

³⁷ Opplysningsrådet for veitrafikken,

http://www.ofvas.no/BILSALGET/Bilsalget_2010/H%C3%B8y+registreringstakt+p%C3%A5+nye+personbiler+ogs%C3%A5+i+februar.9UFRrYYk.ips

³⁸ Regnearket "Updated_figures_communicated_

_Update_on_Data_on_pathways_for_RES_Directive(1).xlsx" mottatt 19/12/2009 av Otto Andersen, Vestlandsforskning

³⁹ Toutain, J.E.W., Taarneby, G., Selvig, E., *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*, Statistisk Sentralbyrå, Rapport 2998/49. Heretter omtalt som SSB (2008),

http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

⁴⁰ Andersen, O., Lundli, H.E: *NSB MILJØDATA. Kvalitetssikring av en database for energibruk, utslipp til luft, risiko for ulykker og samfunnsøkonomiske kostnader ved ulike former for gods- og persontransport*. VF-Notat 8/1999. <http://www.vestforsk.no/filearchive/notat-8-99.pdf>

⁴¹ *ibid.*, side 1

⁴² Holden, E., Norland, I.T.: *En undersøkelse av husholdningers forbruk av energi til bolig og transport i Stor-Oslo*. Dokumentasjonsrapport. ProSus-rapport 3/04, fotnote 80 side 140,

<http://www.prosus.uio.no/publikasjoner/Rapporter/2004-3/rapport3.pdf>

rapport fra ProSam⁴³ gis det et estimat for belegget på 1,36 basert på trafikk-telling på Fornebu i 1998. Ruter⁴⁴ oppgir 1,3 som belegg for Oslo mens Vestlandsforskning⁴⁵ i en analyse av arbeidsreiser for ansatte i Oslo Sporveier kommer fram til et belegg på 1,18.

SSB⁴⁶ oppgir tall for passasjer-belegg for ulike typer reiser og ulike typer fylker for 1995. SSB oppgir 1.78 som belegg for alle typer reiser, 1,23 for reiser til og fra arbeid, 1,87 for reiser til og fra skole og barnehage og 2,48 for helsereiser og fritidskjøring. Tallene gjelder for hele landet.

Med utgangspunkt i disse tallene velger vi et belegg på 2 for lange reiser over 100 km og 1,3 for korte reiser. Vi bruker 1,73 som gjennomsnitt for alle reiser i tråd med SSB (2008).

Etanol fra sukkerroe er produsert uten produksjon av biogass i prosessen. Produksjon av etanol fra hvete og mais bruker prosessenergi og prosessvarme fra naturgasskjele. Restmateriale etter gjæring er brukt som dyrefor i all etanolproduksjon utenom sukkerrør. Ved produksjon av etanol fra sukkerrør benyttes deler av overskuddsmateriale fra gjæring til produksjon av elektrisitet som leveres elektrisitetsnettet.

All produksjon av hydrogen foregår i sentrale produksjonsanlegg og blir transportert til fyllingsstasjon med pipeline. Hydrogen med karbonfangst og lagring gjelder for reformering av naturgass.

Alle estimat for bensin og etanol gjelder for motorer med direkte innsprøyting. Dette gjelder også bensinhybriden. Alle estimat for dieserbiler (konvensjonell, biodiesel, hybrid) gjelder for biler med partikkelfilter.

Tabell 18 viser energibruk i MJ pr vogn-km for personbiler med ulike typer drivstoff. Begrepet Tank-to-Wheel brukes med samme betydning som direkte energibruk, det vil si energi som benyttes til framdrift av kjøretøyet. Begrepet Well-to-Tank brukes med samme betydning som tillegget i brutto direkte energikjede, det vil den nødvendige energibruken for å produsere framdriftsenergien.

Tabell 18 Energibruk i MJ pr vogn-km over alle livssykluser Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk	Infra-struktur	Transport-middel	Brutto direkte energikjede-t tillegg	Sum
Diesel	Diesel	1,657	0,057	0,570	0,265	2,550
Bensin	Bensin	1,879	0,057	0,570	0,263	2,770
Elektrisk	Elektrisk	0,944	0,057	0,570	0,216	1,788
Etanol	Etanol -sukkerroe	1,879	0,057	0,570	1,426	3,932
Etanol	Etanol - hvete	1,879	0,057	0,570	1,018	3,525

⁴³ ProSam: *Forundersøkelse transport i forbindelse med ny hovedflyplass Gardermoen*. ProSam-rapport no 60, Mars 1999, Side 13, <http://www.prosam.org/dbcf?magic=Oed389fb317e53b60429221b10cde078337&s=data.element&pf=did&pv=114>

⁴⁴ Tabell 1.2, side 10, http://ruter.no/Global/PDF_filer/rapporter/milj%C3%B8/miljo.pdf

⁴⁵ Andersen, O.: *Arbeidsreisene for ansatte i AS Oslo Sporveier*, Side 26,

<http://www.arbeidsreiser.no/nytt/RVUPDF-fil.pdf>

⁴⁶ <http://www.ssb.no/us/utg/9626/2-7t.txt>

Etanol	Etanol - mais	1,879	0,057	0,570	0,832	3,338
Etanol	Etanol - sukkerrør	1,879	0,057	0,570	0,276	2,783
Brenselcelle	Hydrogen, reformering naturgass	0,940	0,057	0,570	0,667	2,235
Brenselcelle	Hydrogen, karbonfangst+lagring	0,940	0,057	0,570	0,724	2,291
Brenselcelle	Hydrogen, vindkraft+elektrolyse av vann	0,940	0,057	0,570	0,743	2,310
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	1,541	0,057	0,570	0,216	2,384
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	1,330	0,057	0,570	0,213	2,170
Biodiesel	Biodiesel-Soyabønner	1,657	0,057	0,570	0,974	3,259
Biodiesel	Biodiesel-RME	1,657	0,057	0,570	0,773	3,058
Biodiesel	Biodiesel-SME	1,657	0,057	0,570	0,700	2,985
Biodiesel	Biodiesel-TME	1,657	0,057	0,570	1,262	3,547

Tabell 19 viser energibruk i MJ pr passasjer-km for korte reiser for personbiler med ulike typer drivstoff.

Tabell 19 Energibruk i MJ pr passasjer-km for korte reiser over alle livssykluser Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Diesel	Diesel	1,275	0,044	0,439	0,204	1,961
Bensin	Bensin	1,445	0,044	0,439	0,202	2,130
Elektrisk	Elektrisk	0,726	0,044	0,439	0,166	1,375
Etanol	Etanol -sukkerroe	1,445	0,044	0,439	1,097	3,025
Etanol	Etanol - hvete	1,445	0,044	0,439	0,783	2,711
Etanol	Etanol - mais	1,445	0,044	0,439	0,640	2,568
Etanol	Etanol - sukkerrør	1,445	0,044	0,439	0,213	2,141
Brenselcelle	Hydrogen, reformering naturgass	0,723	0,044	0,439	0,513	1,719
Brenselcelle	Hydrogen, karbonfangst+lagring	0,723	0,044	0,439	0,557	1,763
Brenselcelle	Hydrogen, vindkraft+elektrolyse av vann	0,723	0,044	0,439	0,571	1,777
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	1,185	0,044	0,439	0,166	1,834
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	1,023	0,044	0,439	0,164	1,670
Biodiesel	Biodiesel-Soyabønner	1,275	0,044	0,439	0,749	2,507
Biodiesel	Biodiesel-RME	1,275	0,044	0,439	0,595	2,352
Biodiesel	Biodiesel-SME	1,275	0,044	0,439	0,539	2,296
Biodiesel	Biodiesel-TME	1,275	0,044	0,439	0,971	2,728

Tabell 20 viser energibruk i MJ pr passasjer-km for lange reiser for personbiler med ulike typer drivstoff.

Tabell 20 Energibruk i MJ pr passasjer-km for lange reiser over alle livssykluser.

	Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Diesel	Diesel	0,829	0,029	0,285	0,133	1,275
Bensin	Bensin	0,940	0,029	0,285	0,132	1,385
Elektrisk	Elektrisk	0,472	0,029	0,285	0,108	0,894
Etanol	Etanol -sukkerroe	0,940	0,029	0,285	0,713	1,966
Etanol	Etanol - hvete	0,940	0,029	0,285	0,509	1,762
Etanol	Etanol - mais	0,940	0,029	0,285	0,416	1,669
Etanol	Etanol - sukkerrør	0,940	0,029	0,285	0,138	1,391
Brenselcelle	Hydrogen, reformering naturgass	0,470	0,029	0,285	0,334	1,117
Brenselcelle	Hydrogen, karbonfangst+lagring	0,470	0,029	0,285	0,362	1,146
Brenselcelle	Hydrogen, vindkraft+elektrolyse av vann	0,470	0,029	0,285	0,371	1,155
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	0,771	0,029	0,285	0,108	1,192
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	0,665	0,029	0,285	0,106	1,085
Biodiesel	Biodiesel-Soyabønner	0,829	0,029	0,285	0,487	1,629
Biodiesel	Biodiesel-RME	0,829	0,029	0,285	0,387	1,529
Biodiesel	Biodiesel-SME	0,829	0,029	0,285	0,350	1,492
Biodiesel	Biodiesel-TME	0,829	0,029	0,285	0,631	1,773

Tabell 21 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr vogn-km for valgte estimat over alle livssykluser.

Tabell 21 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr vogn-km over alle livssykluser Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Diesel	Diesel	123,1	3,4	30,5	23,5	180,5
Bensin	Bensin	138,8	3,4	30,5	23,5	196,2
Elektrisk	Elektrisk	0,0	3,4	30,5	2,7	36,6
Etanol	Etanol -sukkerroe	1,8	3,4	30,5	61,6	97,3
Etanol	Etanol - hvete	1,8	3,4	30,5	73,2	108,9
Etanol	Etanol - mais	1,8	3,4	30,5	69,5	105,2
Etanol	Etanol - sukkerrør	1,8	3,4	30,5	24,2	59,9
Brenselcelle	Hydrogen, reformering naturgass	0,0	3,4	30,5	92,9	126,8
Brenselcelle	Hydrogen, karbonfangst+lagring	0,0	3,4	30,5	35,5	69,5
Brenselcelle	Hydrogen, vindkraft+elektrolyse av vann	0,0	3,4	30,5	8,6	42,5
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	114,0	3,4	30,5	19,3	167,2
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	99,1	3,4	30,5	18,9	151,9
Biodiesel	Biodiesel-Soyabønner	1,7	3,4	30,5	82,6	118,2
Biodiesel	Biodiesel-RME	1,7	3,4	30,5	76,0	111,6

Biodiesel	Biodiesel-SME	1,7	3,4	30,5	57,3	92,9
Biodiesel	Biodiesel-TME	1,7	3,4	30,5	116,5	152,1

Tabell 22 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for korte reiser over alle livssykluser for valgte estimat.

Tabell 22 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for korte reiser over alle livssykluser Norge 2010.

	Estimat	Direkte energi- bruk	Infra- struktur	Transport- middel	Brutto direkte energikjede- tillegg	Sum
Diesel	Diesel	94,7	2,6	23,5	18,1	138,9
Bensin	Bensin	106,8	2,6	23,5	18,1	150,9
Elektrisk	Elektrisk	0,0	2,6	23,5	2,1	28,2
Etanol	Etanol -sukkerroe	1,4	2,6	23,5	47,4	74,9
Etanol	Etanol - hvete	1,4	2,6	23,5	56,3	83,7
Etanol	Etanol - mais	1,4	2,6	23,5	53,4	80,9
Etanol	Etanol - sukkerrør	1,4	2,6	23,5	18,6	46,1
Brenselcelle	Hydrogen, reformering naturgass	0,0	2,6	23,5	71,4	97,5
Brenselcelle	Hydrogen, karbonfangst+lagring	0,0	2,6	23,5	27,3	53,4
Brenselcelle	Hydrogen, vindkraft+elektrolyse av vann	0,0	2,6	23,5	6,6	32,7
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	87,7	2,6	23,5	14,8	128,6
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	76,2	2,6	23,5	14,5	116,9
Biodiesel	Biodiesel-Soyabønner	1,3	2,6	23,5	63,5	90,9
Biodiesel	Biodiesel-RME	1,3	2,6	23,5	58,5	85,9
Biodiesel	Biodiesel-SME	1,3	2,6	23,5	44,1	71,5
Biodiesel	Biodiesel-TME	1,3	2,6	23,5	89,6	117,0

Tabell 23 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for lange reiser over alle livssykluser for valgte estimat.

Tabell 23 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for lange reiser over alle livssykluser Norge 2010.

	Estimat	Direkte energi- bruk	Infra- struktur	Transport- middel	Brutto direkte energikjede- tillegg	Sum
Diesel	Diesel	61,6	1,7	15,3	11,8	90,3
Bensin	Bensin	69,4	1,7	15,3	11,7	98,1
Elektrisk	Elektrisk	0,0	1,7	15,3	1,4	18,4
Etanol	Etanol -sukkerroe	0,9	1,7	15,3	30,8	48,7
Etanol	Etanol - hvete	0,9	1,7	15,3	36,6	54,4
Etanol	Etanol - mais	0,9	1,7	15,3	34,7	52,6
Etanol	Etanol - sukkerrør	0,9	1,7	15,3	12,1	29,9

Brenselcelle	Hydrogen, reformering naturgass	0,0	1,7	15,3	46,4	63,4
Brenselcelle	Hydrogen, karbonfangst+lagring	0,0	1,7	15,3	17,8	34,7
Brenselcelle	Hydrogen, vindkraft+elektrolyse av vann	0,0	1,7	15,3	4,3	21,2
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	57,0	1,7	15,3	9,6	83,6
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	49,6	1,7	15,3	9,4	76,0
Biodiesel	Biodiesel-Soyabønner	0,9	1,7	15,3	41,3	59,1
Biodiesel	Biodiesel-RME	0,9	1,7	15,3	38,0	55,8
Biodiesel	Biodiesel-SME	0,9	1,7	15,3	28,7	46,5
Biodiesel	Biodiesel-TME	0,9	1,7	15,3	58,2	76,0

Tabell 24 viser utslippsfaktorer i gram pr MJ for SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter for ulike estimat. ProBas gir ikke ekvivalentverdier for produksjon av hydrogen eller for biodiesel produsert fra soyabønner. Estimat for brenselceller eller for biodiesel fra soyabønner er derfor ikke med i tabellen.

Tabell 24 Utslippsfaktorer i gram pr MJ for SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg	
		SO ₂ -ekvivalent	TOPP-ekvivalent	SO ₂ -ekvivalent	TOPP-ekvivalent
Diesel	Diesel	0,158	0,169	0,054	0,051
Bensin	Bensin	0,090	0,439	0,065	0,193
Elektrisk	Elektrisk	0,000	0,000	0,005	0,008
Etanol	Etanol -sukkerroe	0,038	0,109	0,230	0,296
Etanol	Etanol - hvet	0,038	0,109	0,159	0,236
Etanol	Etanol - mais	0,038	0,109	0,230	0,281
Etanol	Etanol - sukerrør	0,038	0,109	0,271	0,196
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	0,090	0,439	0,065	0,193
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	0,158	0,169	0,054	0,051
Biodiesel	Biodiesel-RME	0,083	0,169	0,215	-0,037
Biodiesel	Biodiesel-SME	0,086	0,169	0,094	0,003
Biodiesel	Biodiesel-TME	0,083	0,169	0,012	0,055

Basert på disse utslippsfaktorene viser Tabell 25 utslipp av SO₂-ekvivalenter pr vogn-km for personbiler med ulikt drivstoff basert på utslippsfaktorene ovenfor. Utslippsfaktorene både for den direkte energibruk (Tank-to-Wheel) og tillegget i den brutto direkte energikjede (Well-to-Tank) er multiplisert med den direkte energibruk for å finne utslipp pr vogn-km eller pr passasjer-km. Utslippene i brutto direkte energikjede (Well-to-Tank) utløses for å produsere den mengde energi som benyttes til framdrift, derfor er utslippsfaktoren fra Well-to-Tank kjeden multiplisert med den direkte energibruken.

Tabell 25 Utslipp SO2-ekvivalenter pr vogn-km for personbiler med ulikt drivstoff Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-t tillegg	Sum
Diesel	Diesel	0,261	0,090	0,351
Bensin	Bensin	0,168	0,121	0,290
Elektrisk	Elektrisk	0,000	0,005	0,005
Etanol	Etanol -sukkerroe	0,070	0,432	0,503
Etanol	Etanol - hvete	0,070	0,299	0,369
Etanol	Etanol - mais	0,070	0,432	0,503
Etanol	Etanol - sukkerrør	0,070	0,510	0,580
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	0,138	0,100	0,237
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	0,210	0,072	0,281
Biodiesel	Biodiesel-RME	0,138	0,356	0,494
Biodiesel	Biodiesel-SME	0,142	0,155	0,297
Biodiesel	Biodiesel-TME	0,138	0,020	0,158

Tabell 26 og Tabell 27 viser utslipp av SO2-ekvivalenter pr passasjer-km for korte og lange reiser med personbiler med ulikt drivstoff.

Tabell 26 Utslipp SO2-ekvivalenter pr passasjer-km for personbiler på korte reiser med ulikt drivstoff Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-t tillegg	Sum
Diesel	Diesel	0,201	0,069	0,270
Bensin	Bensin	0,129	0,093	0,223
Elektrisk	Elektrisk	0,000	0,004	0,004
Etanol	Etanol -sukkerroe	0,054	0,332	0,387
Etanol	Etanol - hvete	0,054	0,230	0,284
Etanol	Etanol - mais	0,054	0,332	0,387
Etanol	Etanol - sukkerrør	0,054	0,392	0,446
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	0,106	0,077	0,183
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	0,161	0,055	0,217
Biodiesel	Biodiesel-RME	0,106	0,274	0,380
Biodiesel	Biodiesel-SME	0,109	0,119	0,229
Biodiesel	Biodiesel-TME	0,106	0,016	0,121

Tabell 27 Utslipp SO2-ekvivalenter pr passasjer-km for for personbiler på lange reiser med ulikt drivstoff Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-tillegg	Sum
Diesel	Diesel	0,131	0,045	0,175
Bensin	Bensin	0,084	0,061	0,145
Elektrisk	Elektrisk	0,000	0,002	0,002
Etanol	Etanol -sukkerroe	0,035	0,216	0,251
Etanol	Etanol - hvete	0,035	0,149	0,185
Etanol	Etanol - mais	0,035	0,216	0,251
Etanol	Etanol - sukkerrør	0,035	0,255	0,290
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	0,069	0,050	0,119
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	0,105	0,036	0,141
Biodiesel	Biodiesel-RME	0,069	0,178	0,247
Biodiesel	Biodiesel-SME	0,071	0,078	0,149
Biodiesel	Biodiesel-TME	0,069	0,010	0,079

Tabell 28 viser utslipp av TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for personbiler med ulikt drivstoff mens Tabell 29 og Tabell 30 viser utslipp pr passasjer-km for korte og lange reiser med personbiler med ulikt drivstoff.

Tabell 28 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for personbiler med ulikt drivstoff Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-tillegg	Sum
Diesel	Diesel	0,281	0,085	0,365
Bensin	Bensin	0,825	0,363	1,188
Elektrisk	Elektrisk	0,000	0,008	0,008
Etanol	Etanol -sukkerroe	0,204	0,556	0,760
Etanol	Etanol - hvete	0,204	0,443	0,647
Etanol	Etanol - mais	0,204	0,528	0,732
Etanol	Etanol - sukkerrør	0,204	0,369	0,573
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	0,677	0,297	0,974
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	0,225	0,068	0,293
Biodiesel	Biodiesel-RME	0,281	-0,060	0,220
Biodiesel	Biodiesel-SME	0,281	0,006	0,286
Biodiesel	Biodiesel-TME	0,281	0,090	0,371

Tabell 29 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for personbiler på korte reiser med ulikt drivstoff Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-tillegg	Sum
Diesel	Diesel	0,216	0,065	0,281
Bensin	Bensin	0,635	0,279	0,914
Elektrisk	Elektrisk	0,000	0,006	0,006
Etanol	Etanol -sukkerroe	0,157	0,428	0,585
Etanol	Etanol - hvete	0,157	0,341	0,498
Etanol	Etanol - mais	0,157	0,406	0,563
Etanol	Etanol - sukkerrør	0,157	0,284	0,441
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	0,521	0,229	0,749
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	0,173	0,052	0,226
Biodiesel	Biodiesel-RME	0,216	-0,047	0,169
Biodiesel	Biodiesel-SME	0,216	0,004	0,220
Biodiesel	Biodiesel-TME	0,216	0,069	0,285

Tabell 30 Utslipp TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for personbiler på lange reiser med ulikt drivstoff Norge 2010.

	Estimat	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-tillegg	Sum
Diesel	Diesel	0,140	0,042	0,183
Bensin	Bensin	0,413	0,181	0,594
Elektrisk	Elektrisk	0,000	0,004	0,004
Etanol	Etanol -sukkerroe	0,102	0,278	0,380
Etanol	Etanol - hvete	0,102	0,222	0,324
Etanol	Etanol - mais	0,102	0,264	0,366
Etanol	Etanol - sukkerrør	0,102	0,185	0,287
Hybrid	Hybrid bensin 1,3 l	0,338	0,149	0,487
Hybrid	Hybrid diesel 1,6 l	0,113	0,034	0,147
Biodiesel	Biodiesel-RME	0,140	-0,030	0,110
Biodiesel	Biodiesel-SME	0,140	0,003	0,143
Biodiesel	Biodiesel-TME	0,140	0,045	0,186

Buss

Estimatene som presenteres for buss er dokumentert i Simonsen (2010b) ⁴⁷.

Vi skiller mellom busser brukt i bykjøring og ekspressbusser. De første brukes på korte reiser og de andre på lengre reiser. Estimatet for bybusser henter vi Ruters årsrapport for 2009 ⁴⁸. Estimatet for ekspressbuss henter vi fra Schlaupitz ⁴⁹.

Vi skal også estimere energibruk og utslipp for busser med alternative drivstoff. Vi skal bruke estimatet for busser med biodiesel hentet fra et forsøk i St Louis Metro ⁵⁰. Bussene brukte en blanding med 20% biodiesel og 80% konvensjonell diesel. Disse bussene ble brukt i helt andre ruter og med helt andre passasjer-belegg enn norske busser. Vi kan derfor ikke overføre estimatet til norske forhold uten videre.

I forsøket i St Louis ble det også brukt en kontrollgruppe med diesel-busser. Disse ble brukt under identiske forhold og hadde identisk størrelse som bussene som brukte biodiesel. Det gir oss en mulighet til å se på det relative forholdet i energibruk mellom noenlunde identiske busser brukt under identiske forhold. Vi beregner en multiplikator-effekt som er et forholdstall mellom biodiesel-bussene og dieselbussene i kontrollgruppen. Denne multiplikatoren kan vi benytte sammen med estimat for energibruk og utslipp for norske busser. Vi forutsetter da at forholdet mellom biodieselbusser og norske busser brukt i bykjøring eller som ekspressbusser er det samme som forholdet mellom biodieselbussene og kontrollgruppen i flåteforsøket i St Louis Metro. Vi benytter altså ikke *absolutte* tall for biodiesel-bussene fra St Louis, vi benytter bare det *relative* forholdet mellom biodiesel-bussene og vanlige diesel-busser i kontrollgruppen.

Vi antar at det relative forholdet mellom biodiesel-busser og diesel-busser brukt i som ekspressbusser er det samme som det relative forholdet mellom de samme busstyper brukt i bykjøring. Vi kjenner forholdstallet (multiplikatoren) for bybusser. Estimat for biodiesel ekspressbusser framkommer derfor ved å multiplisere forholdstallet med energibruk eller utslipp for diesel ekspressbuss.

Forholdstallet mellom biodiesel-busser og diesel-busser i St Louis er regnet ut som forholdet mellom median energibruk i de to gruppene. Når det gjelder utslipp antar vi at forholdet mellom *utslipp* for direkte energibruk (Tank-to-Wheel) i de to gruppene er det samme som forholdet mellom *energiebruk*. Utslippsfaktorene styres altså av det relative forholdet mellom energibruk i de to grupper av busser.

I et forsøket med hybridbusser i New York ⁵¹ brukte man også en kontrollgruppe med dieselbusser. For å estimere energibruk og utslipp for hybridbusser bruker vi samme oppskrift som skissert ovenfor for biodiesel-bussene.

⁴⁷ Simonsen, M.: *Buss*. Notat Vestlandsforskning, februar 2010. <http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

⁴⁸ http://ruter.no/PageFiles/1829/Aarsrapport_2010_.pdf

⁴⁹ Schlaupitz, H.: "Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer", Norsk Naturvernforbund Rapport 3/2008, september 2008, http://naturvern.imaker.no/data/f/1/24/31/4_2401_0/Rapport_250908.pdf

⁵⁰ Barnitt, R., McCormick, R.L., Lammert, M.: St Louis Metro Biodiesel(B20) Transit Bus Evaluation <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43486.pdf>

⁵¹ Chandlers, K., Eberts, E., Eudy, L.: *New York City Transit Hybrid and CNG Transit Buses: Interim Evaluation Results*, NREL Technical Report January 2006, <http://www.afdc.energy.gov/afdc/pdfs/38843.pdf>

For hybrid-busser bruker vi tapsmultiplikatorer og utslippsfaktorer for diesel som brukes i forbrenningsmotoren som produserer elektrisitet til batteriet i den elektriske motoren.

Vi vil også presentere estimat for hydrogen-busser. Her har vi ikke hatt noen kontrollgruppe med dieselbusser. Vi bruker tallene pr vogn-km og pr passasjer-km og sete-km slik de er beregnet for hydrogenbussene uten å gå veien om multiplikatorer i forhold til diesel-busser. Dette betyr at egenskaper ved ruter og egenskaper ved busser som ble brukt i forsøkene med hydrogenbusser vil påvirke estimatet siden vi ikke kan kontrollere for disse forskjellene på samme måte som vi kan for biodiesel-busser og hybrid-busser. I tillegg ble et forsøk med hydrogen-busser (CUTE-prosjektet)⁵² bare gjennomført for bybusser. Vi gir derfor bare gi estimat for hydrogenbusser brukt som bybusser.

Tabell 31 viser energibruk pr vogn-km for bybusser og ekspressbusser med ulike typer drivstoff i alle livsløpfasene. **Tabell 32** viser samme energibruk pr passasjer-km og **Tabell 33** viser samme energibruk pr sete-km.

For bybusser har vi brukt et passasjer-belegg på 19,3 passasjerer pr km og en kapasitetsutnyttelse på 26,7%⁵³. For ekspressbussen har vi brukt et belegg på 15,9 passasjerer pr km og en kapasitetsutnyttelse på 34,9% hentet fra SSB's Statistikkbank⁵⁴.

Tabell 31 Energibruk i MJ pr vogn-km for busser med ulikt drivstoff i ulike typer kjøring i alle livsløpfasene Norge 2010.

MJ/vogn-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Bybuss	15,7	0,7	0,7	2,3	19,4
Ekspressbuss Norge	11,3	0,7	0,7	1,7	14,3
Biodiesel bybuss	15,7	0,7	0,7	2,5	19,6
Biodiesel ekspressbuss	11,3	0,7	0,7	2,5	15,1
Hybrid bybuss	10,6	0,7	0,7	1,6	13,6
Hybrid ekspressbuss	7,6	0,7	0,7	1,1	10,1
Hydrogen bybuss	28,7	0,7	0,7	22,5	52,5

⁵² http://www.fuel-cell-bus-club.com/modules/UpDownload/store_folder/Publications/DETAILED_SCREEN.pdf

⁵³ Sataøen, H.L., Andersen. O: *Samfunnsregnskap for Oslo Sporveier 2005*, VF-Notat 8/06, side 10-11 og 17-19, <http://www.vestforsk.no/www/show.do?page=12&articleid=1094>

⁵⁴ <http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?MainTable=KollektnyA&SubjectCode=10&language=0&nvl=True&mt=1&nyTmpVar=true>

Tabell 32 Energibruk i MJ pr passasjer-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.

MJ/passasjer-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Bybuss	1,332	0,040	0,040	0,199	1,611
Ekspressbuss Norge	0,710	0,043	0,043	0,106	0,902
Biodiesel bybuss	1,275	0,040	0,040	0,200	1,556
Biodiesel ekspressbuss	0,680	0,043	0,043	0,107	0,873
Hybrid bybuss	0,901	0,040	0,040	0,135	1,116
Hybrid ekspressbuss	0,480	0,043	0,043	0,072	0,638
Hydrogen bybuss	1,684	0,040	0,040	4,493	6,256

Tabell 33 Energibruk i MJ pr sete-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.

MJ pr sete-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Bybuss	0,369	0,015	0,015	0,055	0,454
Ekspressbuss Norge	0,247	0,015	0,015	0,037	0,315
Biodiesel bybuss	0,369	0,016	0,016	0,058	0,459
Biodiesel ekspressbuss	0,248	0,016	0,016	0,039	0,318
Hybrid bybuss	0,256	0,018	0,018	0,038	0,330
Hybrid ekspressbuss	0,172	0,018	0,018	0,026	0,234
Hydrogen bybuss	0,956	0,023	0,023	0,749	1,750

Tabell 34 viser utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr vogn-km for bybusser og ekspressbusser med ulikt type drivstoff i alle livsløpfaser. Tabell 35 viser utslippene pr passasjer-km og Tabell 36 viser utslippene pr sete-km.

Tabell 34 Utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr vogn-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.

Gram CO ₂ -ekv pr vogn-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Bybuss	1116,0	48,7	30,0	182,5	1377,2
Ekspressbuss Norge	830,1	48,7	30,0	130,9	1039,7
Biodiesel bybuss	1116,3	48,7	30,0	186,8	1381,7
Biodiesel ekspressbuss	830,3	48,7	30,0	134,0	1043,0
Hybrid bybuss	755,1	48,7	30,0	123,5	957,3
Hybrid ekspressbuss	561,7	48,7	30,0	88,6	729,0
Hydrogen bybuss	0,0	48,7	30,0	1522,7	1601,4

Tabell 35 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.

Gram CO2-ekv pr pass-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjede-tillegg	Sum
Bybuss	94,0	2,9	1,8	15,5	114,1
Ekspressbuss Norge	52,2	3,1	1,9	8,2	65,4
Biodiesel bybuss	90,0	2,9	1,8	15,1	109,7
Biodiesel ekspressbuss	50,0	3,1	1,9	8,1	63,0
Hybrid bybuss	63,6	2,9	1,8	10,5	78,7
Hybrid ekspressbuss	35,3	3,1	1,9	5,6	45,9
Hydrogen bybuss	0,0	2,9	1,8	304,5	309,2

Tabell 36 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr sete-km for busser med ulikt drivstoff i ulik type kjøring i alle livsløpfaser Norge 2010.

Gram CO2-ekv pr sete-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjede-tillegg	Sum
Bybuss	17,4	1,1	1,1	4,3	23,9
Ekspressbuss Norge	18,2	1,1	1,1	2,9	23,3
Biodiesel bybuss	17,4	1,2	1,2	4,4	24,1
Biodiesel ekspressbuss	18,2	1,2	1,2	2,9	23,5
Hybrid bybuss	12,1	1,3	1,3	3,0	17,7
Hybrid ekspressbuss	12,6	1,3	1,3	2,0	17,3
Hydrogen bybuss	0,0	1,7	1,7	50,8	54,1

Tabell 37 viser utslippsfaktorer for SO2-ekvivalent og TOPP-ekvivalent i gram pr MJ for busser i Norge 2010. ProBas gir ikke estimat for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter for hydrogen. Vi har derfor ikke noe estimat for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter for busser som går på hydrogen.

Tabell 37 Utslippsfaktorer for SO2-ekvivalent og TOPP-ekvivalent i gram pr MJ for busser Norge 2010.

g/MJ	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg	
	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv
Bybuss	0,65	1,06	0,05	0,05
Ekspressbuss Norge	0,65	1,06	0,05	0,05
Biodiesel bybuss	0,52	0,85	0,09	0,03
Biodiesel ekspressbuss	0,52	0,85	0,09	0,03
Hybrid bybuss	0,65	1,06	0,05	0,05
Hybrid ekspressbuss	0,65	1,06	0,05	0,05

Tabell 38 viser utslipp av SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i gram pr vogn-km for busser i Norge 2010. Tabell 39 viser samme utslipp pr passasjer-km.

Tabell 38 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for busser Norge 2010.

g pr vogn-km	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg		Sum	
	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv
Bybuss	10,23	16,64	0,85	0,80	11,08	17,44
Ekspressbuss Norge	7,34	11,94	0,61	0,58	7,95	12,51
Biodiesel bybuss	8,18	13,31	1,36	0,53	9,54	13,84
Biodiesel ekspressbuss	5,87	9,55	0,97	0,38	6,84	9,93
Hybrid bybuss	6,92	11,26	0,58	0,54	7,50	11,80
Hybrid ekspressbuss	4,96	8,08	0,41	0,39	5,38	8,47

Tabell 39 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for busser Norge 2010.

	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg		Sum	
	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv
Bybuss	0,87	1,41	0,07	0,07	0,94	1,48
Ekspressbuss Norge	0,46	0,75	0,04	0,04	0,50	0,79
Biodiesel bybuss	0,66	1,08	0,11	0,04	0,77	1,12
Biodiesel ekspressbuss	0,35	0,58	0,06	0,02	0,41	0,60
Hybrid bybuss	0,59	0,95	0,05	0,05	0,63	1,00
Hybrid ekspressbuss	0,31	0,51	0,03	0,02	0,34	0,53

Jernbane

Vi presenterer bare estimat for elektriske passasjertog i Norge 2010. Vi ser dermed bort fra dieseltog. Estimatenes for energibruk og utslipp fra passasjertransport med jernbane er dokumentert i Simonsen (2010d) ⁵⁵.

Estimatene er splittet på korte og lange reiser. For de korte reisene velger vi lokaltog på Østlandsområdet som representative. For de lange reisene bruker vi et veid estimat for regiontog. Dette estimatet er en veid sum av estimatene for de to kategoriene Regiontog Østlandet og Regiontog by-by. Vi presenterer det veide estimatet sammen med de uveide estimatene. Opplysninger om passasjer-km, tog-km, setekm og energibruk er hentet fra SSB's Statistikkbank ⁵⁶ og fra Jernbaneverkets miljørapport 2008 ⁵⁷.

Vi bruker andelen av passasjer-km som ble produsert av de to kategoriene i 2008 som vekt i det veide estimatet. SSB's Statistikkbank opplyser at i 2008 ble det produsert 2,78 millioner

⁵⁵ Simonsen, M.: *Persontransport jernbane*. Notat Vestlandsforskning februar 2010.

⁵⁶

<http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?MainTable=KollektivTOG2&SubjectCode=10&planguage=0&nvl=True&mt=1&nyTmpVar=true>

⁵⁷ <http://www.jernbaneverket.no/PageFiles/7815/Miljorapport%202008.pdf>

passasjer-km for alle typer passasjertog i Norge, inklusive dieseldrevne tog. Av dette ble 0,6 millioner passasjer-km produsert av regiontog på Østlandet mens omlag 1 million passasjer-km ble produsert av regiontog by-til-by. Vi allokerer all passasjer-transport med dieseltog til kategorien Regiontog by-til-by. Begrunnelsen er at de tyngste togstrekninger med dieseldrevne tog er Nordlandsbanen og Rørosbanen som vi hører til kategorien Regiontog by-til-by. Korrigert for produksjon av passasjer-km for dieseldrevne tog får vi til sammen en produksjon på 0,73 millioner passasjer-km med elektriske tog i kategorien Regiontog by-til-by. Dette gi en vekt på 0,45 for Regiontog Østlandet og en vekt på 0,55 for Regiontog by-til-by. Ved å bruke disse vektene kommer vi fram til et veid estimat for regiontog som vi bruker som estimat for passasjer-transport med elektriske tog på lengre reiser.

For lokaltog på Østlandet er det brukt et belegg på 78,9 passasjerer pr km i snitt og en kapasitetsutnyttelse på 26,1%. For regiontog by-til-by er det brukt 141,5 passasjerer pr km i snitt og en kapasitetsutnyttelse på 48,8% mens regiontog Østlandet har et belegg på 101,2 passasjerer i snitt pr km og en kapasitetsutnyttelse på 34,7%. Tallene er hentet fra SSB's Statistikkbank.

Tabell 40 viser energibruk pr tog-km for ulike typer elektriske passasjertog i Norge 2010, fordelt på alle livsløpfaser. Tabell 41 viser samme energibruk pr passasjer-km mens Tabell 42 viser energibruken pr sete-km.

Tabell 40 Energibruk MJ pr tog-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.

MJ pr tog-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lokaltog Norge	47,1	56,9	2,0	10,8	116,8
Regiontog Østlandet	47,1	56,9	2,0	10,8	116,8
Regiontog by-til-by	47,1	56,9	2,0	10,8	116,8
Regiontog	47,1	56,9	2,0	10,8	116,8

Tabell 41 Energibruk MJ pr passasjer-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.

MJ pr pass-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lokaltog Norge	0,598	0,574	0,013	0,137	1,321
Regiontog Østlandet	0,466	0,574	0,013	0,107	1,159
Regiontog by-til-by	0,333	0,574	0,013	0,076	0,996
Regiontog veid	0,393	0,574	0,013	0,090	1,070

Tabell 42 Energibruk MJ pr sete-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.

MJ pr sete-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lokaltog Norge	0,156	0,150	0,003	0,036	0,344
Regiontog Østlandet	0,162	0,199	0,004	0,037	0,403
Regiontog by-by	0,207	0,356	0,008	0,047	0,617
Regiontog veid	0,186	0,285	0,006	0,043	0,520

Tabell 43 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr tog-km for ulike elektriske passasjertog i Norge 2010 over alle livsløpfaser. Tabell 44 viser utslippene pr passasjer-km mens Tabell 45 viser utslippene pr sete-km.

Tabell 43 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr tog-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.

g CO2-ekv pr tog-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lokaltog Norge	0,0	4055,8	306,8	135,0	4497,6
Regiontog Østlandet	0,0	4055,8	306,8	135,0	4497,6
Regiontog by-by	0,0	4055,8	306,8	135,0	4497,6
Regiontog veid	0,0	4055,8	306,8	135,0	4497,6

Tabell 44 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.

g CO2-ekv pr pass-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lokaltog Norge	0,0	40,9	2,0	1,7	44,6
Regiontog Østlandet	0,0	40,9	2,0	1,3	44,2
Regiontog by-by	0,0	40,9	2,0	1,0	43,8
Regiontog veid	0,0	40,9	2,0	1,1	44,0

Tabell 45 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr sete-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpfaser. Norge 2010.

g CO2-ekv pr sete-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Lokaltog Norge	0,0	10,7	0,5	0,4	11,6
Regiontog Østlandet	0,0	14,2	0,7	0,5	15,4
Regiontog by-by	0,0	25,4	1,2	0,6	27,2
Regiontog veid	0,0	20,3	1,0	0,5	21,8

For elektriske tog er det ingen utslipp av SO₂-ekvivalenter eller TOPP-ekvivalenter ved framdrift av togene siden de bruker en elektrisk motor uten forbrenning av fossilt drivstoff. I brutto direkte energikjede er det beregnet utslipp av begge ekvivalentene for norsk vannkraft. Estimater er hentet fra ProBas som anslår 5130 gram SO₂-ekvivalenter pr produsert TJ og 7970 gram TOPP-ekvivalenter pr samme mengde produsert energi fra et stort norsk vannkraftanlegg.

Tabell 46 viser utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tog-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010. Tabell 47 viser de samme utslipp i gram pr passasjer-km mens Tabell 48 viser utslippene pr sete-km.

Tabell 46 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tog-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010.

	Brutto direkte energikjede-tillegg	
	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv
Lokaltog Norge	0,24187	0,37576
Regiontog Østlandet	0,24187	0,37576
Regiontog by-by	0,24187	0,37576
Regiontog veid	0,24187	0,37576

Tabell 47 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010.

	Brutto direkte energikjede-tillegg	
	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv
Lokaltog Norge	0,00307	0,00477
Regiontog Østlandet	0,00239	0,00371
Regiontog by-by	0,00171	0,00265
Regiontog veid	0,00202	0,00313

Tabell 48 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr sete-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010

	Brutto direkte energikjede-tillegg	
	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv
Lokaltog Norge	0,00080	0,00124
Regiontog Østlandet	0,00083	0,00129
Regiontog by-by	0,00106	0,00165
Regiontog veid	0,00096	0,00148

Trikk og T-bane

Estimatene for trikk og T-bane er dokumentert i Simonsen (2010e) ⁵⁸. Vi velger estimatene for Trikk Oslo 2008 og T-bane Oslo 2008 som representative for passasjer-transport med disse transportsystem i Norge 2010.

For T-bane i Oslo er det brukt en kapasitetsutnyttelse på 20,4% mens det for T-banen er brukt 15,3%. Disse tall sammen med tall for energibruk og produksjon av passasjer-km og vogn-km er hentet fra Ruter's årsrapport 2008 ⁵⁹. For beregning av infrastruktur for trikk og T-bane er det tatt utgangspunkt i en amerikansk rapport fra Chester og Horvath ⁶⁰. Denne rapporten er også brukt for produksjon av transportmiddel for trikk mens en produktdeklarasjon fra Siemens er brukt for vogner til T-bane ⁶¹.

Tabell 49 viser energibruk for trikk og T-bane i MJ pr vogn-km i alle livsløpfaser Norge 2010. Tabell 50 viser energibruk pr passasjer-km mens Tabell 51 viser energibruk pr sete-km.

Tabell 49 Energibruk i MJ pr vogn-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Trikk	24,8	8,5	0,8	5,6	39,8
T-Bane	46,7	44,6	1,6	10,6	103,5

Tabell 50 Energibruk i MJ pr passasjer-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Trikk	0,782	0,194	0,023	0,177	1,176
T-Bane	0,631	0,499	0,079	0,143	1,352

⁵⁸ Simonsen, M.: *Trikk og T-bane. En livløpsanalyse*. Notat Vestlandsforskning februar 2010.

⁵⁹ http://ruter.no/PageFiles/1831/webrapport_2008.pdf

⁶⁰ ⁶⁰ Chester, M., Horvath, A.: *Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air v.2*,

http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=its/future_urban_transport

⁶¹ Produkt-deklarasjon

http://www.siemens.com/responsibility/report/07/pool/pdf/produktumweltdeklaration_oslo_08_09_final.pdf, teknisk beskrivelse

http://transportation.siemens.com/shared/data/pdf/ts_internet/corp_campaign/v510-b442-x-7600_metro_oslo.pdf

Tabell 51 Energibruk i MJ pr sete-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Trikk	0,170	0,042	0,005	0,038	0,255
T-Bane	0,100	0,079	0,012	0,023	0,214

Tabell 52 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr vogn-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010. Tabell 53 viser utslippene pr passasjer-km mens Tabell 54 viser utslippene pr sete-km.

Tabell 52 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr vogn-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Trikk	0,0	548,9	39,7	71,1	659,7
T-Bane	0,0	3084,3	112,9	133,8	3331,0

Tabell 53 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Trikk	0,0	10,6	1,2	2,2	14,0
T-Bane	0,0	31,8	5,6	1,8	39,2

Tabell 54 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr sete-km for trikk og T-bane i ulike livsløpfaser Norge 2010.

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Trikk	0,0	2,3	0,3	0,5	3,0
T-Bane	0,0	5,0	0,9	0,3	6,2

For trikk og T-bane tog er det ingen utslipp av SO2-ekvivalenter eller TOPP-ekvivalenter ved framdrift siden begge bruker en elektrisk motor uten forbrenning av fossilt drivstoff. I brutto direkte energikjede er det beregnet utslipp av begge ekvivalentene for norsk vannkraft. Estimater er hentet fra ProBas som anslår 5130 gram SO2-ekvivalenter pr produsert TJ og 7970 gram TOPP-ekvivalenter pr samme mengde produsert energi fra et stort norsk vannkraftanlegg.

Tabell 55 viser utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km i brutto direkte energikjede for ulike trikk og T-bane Norge 2010. Tabell 56 viser de samme utslipp i gram pr passasjer-km mens

Tabell 57 viser utslippene pr sete-km.

Tabell 55 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for trikk og T-bane Norge 2010

	Brutto direkte energikjede tillegg	
	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv
Trikk Norge 2008	0,1274	0,1980
T-Bane Norge 2008	0,2398	0,3725

Tabell 56 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for trikk og T-bane Norge 2010

	Brutto direkte energikjede tillegg	
	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv
Trikk Norge 2008	0,0040	0,0062
T-Bane Norge 2008	0,0032	0,0050

Tabell 57 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr sete-km for trikk og T-bane Norge 2010

	Brutto direkte energikjede tillegg	
	SO ₂ -ekv	TOPP-ekv
Trikk Norge 2008	0,0009	0,0014
T-Bane Norge 2008	0,0005	0,0008

Fly

Estimatene for passasjertransport med fly er dokumentert i Simonsen (2010f) ⁶². Energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter for infrastruktur er veid med andel innenlands passasjerer på rutefly og charterfly i 2005.

Vi velger å bruke estimatene for Boeing 737 og Dash-8 fra en rapport fra Vestlandsforsking ⁶³ som representative for energibruk og utslipp i Norge 2010. Estimatene er fra 1999, men drøftingen i Simonsen (2010f) viser at de stemmer godt med estimat fra SSB og fra den tyske databasen ProBas når vi ser på den direkte energibruken som brukes til framdrift av flyene. Med Boeing 737 menes her Boeing 737-400 og Boeing 737-500 eller liknende fly av

⁶² Simonsen, M.: *Passasjertransport med fly*, Notat Vestlandsforsking februar 2010.

⁶³ Andersen, O., Lundli, H.E.: NSB Miljødata, VF-Notat 8/1999, tabell 14, <http://www.vestforsk.no/filearchive/notat-8-99.pdf>

tilsvarende størrelse ⁶⁴. Boeing 737 er derfor en betegnelse på fly brukt på mellomdistanse, det vil si distanser lengre enn på kortbanenett men kortere enn internasjonale ruter.

SSB (2008) ⁶⁵ gir et estimat for framdriftsenergi pr passasjer-km med fly i Norge 2004. Problemet med estimatet er at det er et makro-estimat for all passasjertransport med fly. Det skilles ikke mellom ulike typer fly eller mellom ulike typer reiser. Når det gjelder estimatet fra ProBas ligger dette estimatet rundt estimatet for en Boeing 737 brukt på en distanse på 950 km i Norge.

Chester ⁶⁶ gir estimat for passasjertransport med fly i USA 2008. Disse ligger lavere enn estimatene fra Vestlandsforskning, særlig for Boeing 737. Her er det en del usikkerhet når det gjelder type Boeing 737. Chester hevder ⁶⁷ at Boeing 737 er representativ for modellene 717, 727, 757, 777 samt McDonnell Douglas DC9. Flytypen inkluderer derfor andre typer fly enn betegnelsen Boeing 737 slik den er brukt som mellomdistansefly i estimatene fra Vestlandsforskning.

Den viktigste usikkerheten er likevel knyttet til antall LTO's (Landing-Take-Off syklus) i USA sammenliknet med Norge. Lengre flystrekninger og færre LTO vil gi lavere energibruk pr fly-km og pr passasjer-km. Med hensyn på usikkerheten omkring flytypen antar vi at estimatene fra Chester & Horvath gjelder for større fly med lengre flystrekninger og færre LTO.

Vi velger å presentere tre estimat for fly i Norge. Vi inkluderer ett estimat for korte flyturer på kortbanenettet med Dash-8. Deretter deler vi de lengre reisene inn i to i samsvar med distanse-kategoriene som er brukt av Vestlandsforskning. Dette gir ett estimat for flyreiser på omkring 400 km som tilsvarer reiser mellom de største byene i Sør-Norge. I tillegg gir vi ett estimat for lengre innenlands flyreiser på omlag 950 km som grovt svarer til distansen mellom byer i Sør-Norge og byer i Nord-Norge. Distansen Trondheim-Tromsø er i følge rapporten til Vestlandsforskning på 774 km mens distansen Gardermoen-Bodø er på 802 km og distansen Gardermoen-Evenes er 959 km.

Vi har ikke hatt noe grunnlag for å veie de to distansekategoriene i forhold til hverandre. Følgelig inkluderer vi ett estimat for hver av dem.

For Dash-8 er det brukt en kabinfaktor på 58% ⁶⁸. For Boeing 737 bruker vi en kabinfaktor på 70% for begge distansekategoriene vi presenterer estimat for. Dette er et veit estimat basert på opplysninger om kabinfaktor hos SAS ⁶⁹ og Norwegian ⁷⁰.

⁶⁴ Vi har definert dette til følgende flytyper som SAS benytter: Airbus A321-200, Airbus A319-100, Boeing 737-800, Boeing 737-400, Boeing 737-700, Boeing 737-500, Boeing 737-600, McDonnell Douglas MD-81, McDonnell Douglas MD-82, McDonnell Douglas MD-87.

⁶⁵ Toutain, J.E.W, Taarneby, G., Selvig, E., *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*, Statistisk Sentralbyrå, Rapport 2998/49.

http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

⁶⁶ Chester, M: *Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States*, Institute of Transportation Studies, Berkely, 2008, <http://escholarship.org/uc/item/7n29n303>

⁶⁷ Chester, side 144

⁶⁸ http://www.wideroe.no/stream_file.asp?iEntityId=2007

⁶⁹ <http://www.cisionwire.no/sas-scandinavian-airlines-norway/sas-konsernets-trafikkfall-for-juni-2008--fortsatt-tilvekst--noe-svakere-kabinfaktor--men-mer-stabil-yieldutvikling-forventes>

⁷⁰ http://www.boarding.no/files/trafficanuary_2009_3_2_.pdf

Tabell 58 viser energibruk for ulike flytyper i alle livsløpfaser i MJ pr passasjer-km. Tabell 59 viser samme energibruk i MJ pr fly-km mens Tabell 60 viser samme energibruk i MJ pr sete-km.

Tabell 58 Energibruk i MJ pr passasjer-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.

MJ pr passasjer-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Boeing Norge 737 (400 km)	2,599	0,916	0,077	0,392	3,985
Boeing 737 Norge (950 km)	2,160	0,916	0,077	0,326	3,479
Dash 8-100	3,384	0,916	0,077	0,510	4,888

Tabell 59 Energibruk i MJ pr fly-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.

	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Boeing Norge 737 (400 km)	264,3	93,2	7,9	39,9	405,2
Boeing 737 Norge (950 km)	219,6	93,2	7,9	33,1	353,8
Dash 8-100	74,6	20,2	1,7	11,2	107,7

Tabell 60 Energibruk i MJ pr sete-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.

MJ pr sete-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Boeing Norge 737 (400 km)	1,819	0,641	0,054	0,274	2,789
Boeing 737 Norge (950 km)	1,512	0,641	0,054	0,228	2,436
Dash 8-100	1,963	0,531	0,045	0,296	2,835

Tabell 61 og Tabell 62 viser utslipp av gram CO₂-ekvivalenter for ulike typer fly i alle livsløpfaser i Norge 2010. Tabell 62 viser de samme utslipp i kg pr fly-km mens Tabell 63 viser utslippene i gram pr sete-km.

Tabell 61 Utslipp gram CO₂-ekvivalenter pr passasjer-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.

gram CO ₂ -ekv pr passasjer-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Boeing Norge 737 (400 km)	191,0	2,0	5,9	30,7	229,6
Boeing 737 Norge (950 km)	158,0	2,0	5,9	25,5	191,4
Dash 8-100	248,0	2,0	5,9	39,9	295,9

Tabell 62 Utslipp kg CO2-ekv pr fly-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.

kg CO2-ekv pr fly-km	Direkte energibruk			Brutto direkte energikjede-tillegg	
	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Sum	Sum
Boeing Norge 737 (400 km)	19,4	0,2	0,6	3,1	23,3
Boeing 737 Norge (950 km)	16,1	0,2	0,6	2,6	19,5
Dash 8-100	5,5	0,0	0,1	0,9	6,5

Tabell 63 Utslipp gram CO2-ekv pr sete-km for ulike typer fly i alle livsløpfaser Norge 2010.

gram CO2-ekv pr sete-km	Direkte energibruk			Brutto direkte energikjede-tillegg	
	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Sum	Sum
Boeing Norge 737 (400 km)	133,7	1,4	4,1	21,5	160,7
Boeing 737 Norge (950 km)	110,6	1,4	4,1	17,8	134,0
Dash 8-100	143,8	1,2	3,4	23,2	171,6

Tabell 64 viser utslippsfaktorer for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i gram pr MJ i ulike energibrukskjeder for ulike typer fly Norge 2010.

Tabell 64 Utslippsfaktorer gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr MJ i ulike energibrukskjeder for ulike typer fly Norge 2010.

g/MJ	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg	
	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv
Boeing Norge 737 (400 km)	0,238	0,005	0,064	0,057
Boeing 737 Norge (950 km)	0,238	0,005	0,064	0,057
Dash 8-100	0,238	0,005	0,064	0,057

Tabell 65 viser utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for ulike typer fly Norge 2010.

Tabell 66 viser samme utslipp i gram pr sete-km mens Tabell 67 viser utslippene beregnet pr fly-km.

Tabell 65 Utslipp gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km for ulike typer fly Norge 2010.

gram pr pass-km	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg		Sum	
	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv
Boeing Norge 737 (400 km)	0,619	0,012	0,167	0,148	0,786	0,160
Boeing 737 Norge (950 km)	0,515	0,010	0,139	0,123	0,654	0,133
Dash 8-100	0,806	0,015	0,218	0,193	1,024	0,208

Tabell 66 Utslipp gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr sete-km for ulike typer fly Norge 2010.

	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg		Sum	
	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv
gram pr sete-km						
Boeing Norge 737 (400 km)	0,434	0,008	0,117	0,104	0,550	0,112
Boeing 737 Norge (950 km)	0,360	0,007	0,097	0,086	0,457	0,093
Dash 8-100	0,468	0,009	0,126	0,112	0,594	0,121

Tabell 67 Utslipp gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr fly-km for ulike typer fly Norge 2010.

	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg		Sum	
	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv
Boeing Norge 737 (400 km)	62,975	1,207	16,995	15,066	79,970	16,272
Boeing 737 Norge (950 km)	52,333	1,003	14,123	12,520	66,457	13,523
Dash 8-100	17,770	0,340	4,796	4,251	22,566	4,592

Godstransport

Lastebil

Estimatene for godstransport med lastebil er dokumentert i Simonsen (2010g) ⁷¹.

Vi tar utgangspunkt i de tre lastebilgruppene som er benyttet av SSB (2008) ⁷². Tabell 68 viser estimatene for disse lastebilgruppene. Estimat for energibruk og utslipp for framstilling av drivstoff er hentet fra ProBas.

Vi vil også presentere estimat for biodiesel i lastebil. Vi forutsetter en blanding med 20% RME og 80% diesel. Estimatene for RME i den brutto direkte energikjede er hentet fra ProBas og gjelder for 2010. Vi antar videre at direkte energibruk pr vogn-km er lik og at lastebiler med biodiesel frakter samme mengde tonn pr km som lastebiler med diesel som drivstoff. Dette gir samme direkte energibruk og utslipp pr tonn-km for lastebiler med biodiesel og med vanlig diesel.

Vi antar også samme energibruk for infrastruktur og transportmiddel pr vogn-km eller tonn-km for lastebiler med biodiesel og diesel. Den eneste livsløpsfasen som således blir påvirket av bruk av biodiesel er tillegget i brutto direkte energikjede. Tapsmultiplikatoren som er benyttet i denne energikjede er en veid sum av tapsmultiplikatoren for RME (20%) og diesel (80%).

For utslipp av CO2-ekvivalenter er det litt annerledes. For den direkte energibruk antar vi bare utslipp av CO2-ekvivalenter som ikke stammer fra CO2. Vi antar således at all CO2 som slippes ut fra direkte energibruk tas opp i igjen i råvarenes fotosyntese. Netto utslipp fra karbonkretsløpet er dermed lik null. I den brutto direkte energikjeden er utslippsfaktoren i gram CO2-ekvivalenter pr MJ en veid sum av utslippsfaktorene for diesel og RME.

⁷¹ Simonsen, M.: *Energibruk og utslipp fra godstransport på vei. En livløpsanalyse*. Notat Vestlandsforskning januar 2010.

⁷² Toutain, J.E.W, Taarneby, G., Selvig, E., *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*, Statistisk Sentralbyrå, Rapport 2998/49.
http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

Tabell 68 Energibruk pr tonn-km for diesel lastebiler med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.

Nyttelast	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
1-5 tonn	6,617	0,106	0,054	0,152	6,929
5-11 tonn	1,908	0,106	0,054	0,152	2,220
Over 11 tonn	1,018	0,106	0,054	0,152	1,330

Tabell 69 viser estimat for energibruk pr vogn-km for de samme lastebilgruppene.

Tabell 69 Energibruk pr vogn-km for diesel lastebiler med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.

Nyttelast	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
1-5 tonn	5,294	0,085	0,043	0,122	5,543
5-11 tonn	7,060	0,391	0,200	0,562	8,213
Over 11 tonn	10,893	1,130	0,578	1,627	14,227

Tabell 70 viser energibruk pr tonn-km for de samme lastebilgruppene med 20% blanding RME-diesel. Tabell 71 viser samme energibruk pr vogn-km med samme forutsetning om biodiesel-blanding.

Tabell 70 Energibruk pr tonn-km for lastebiler med biodiesel (20%) med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.

Nyttelast	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
1-5 tonn	6,617	0,106	0,054	1,248	8,024
5-11 tonn	1,908	0,106	0,054	0,360	2,427
Over 11 tonn	1,018	0,106	0,054	0,192	1,370

Tabell 71 Energibruk pr vogn-km for lastebiler med biodiesel (20%) med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.

Nyttelast	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
1-5 tonn	5,294	0,085	0,043	0,998	6,419
5-11 tonn	7,060	0,391	0,200	1,331	8,981
Over 11 tonn	10,893	1,130	0,578	2,054	14,654

Tabell 72 viser utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr tonn-km for diesel lastebiler med ulik nyttelast i alle livsløpfaser. Tabell 73 viser samme utslipp pr vogn-km.

Tabell 72 Utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr tonn-km for diesel lastebiler med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.

Nyttelast	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
1-5 tonn	499,0	7,4	2,7	76,8	585,8
5-11 tonn	143,0	7,4	2,7	22,1	175,2
Over 11 tonn	76,0	7,4	2,7	11,8	97,9

Tabell 73 Utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr vogn-km for diesel lastebiler med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.

Nyttelast	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
1-5 tonn	399,2	5,9	2,2	61,4	468,7
5-11 tonn	529,1	27,3	9,9	81,9	648,2
Over 11 tonn	813,2	78,9	28,8	126,4	1047,3

Tabell 74 viser utslipp av gram CO₂-ekvivalenter for lastebiler med 20% biodiesel blanding i alle livsløpfaser pr tonn-km.

Tabell 75 viser samme utslipp for samme livsløpfaser pr vogn-km. Utslippene fra direkte energibruk (Tank-to-Wheel) er CO₂-ekvivalenter eksklusive CO₂. Opplysninger om utslipp av CO₂ og CO₂-ekvivalenter for de ulike lastebilgruppene er hentet fra SSB (2008) ⁷³.

Tabell 74 Utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr tonn-km for lastebiler med biodiesel (20%) med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.

Nyttelast	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
1-5 tonn	411,2	7,4	2,7	85,8	507,0
5-11 tonn	117,4	7,4	2,7	24,7	152,2
Over 11 tonn	61,8	7,4	2,7	13,2	85,1

⁷³ Tabell 2.40 og Tabell 2.41

Tabell 75 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr vogn-km for lastebiler med biodiesel (20%) med ulik nyttelast i alle livsløpfaser Norge 2010.

Nyttelast	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjede-tillegg	Sum
1-5 tonn	329,4	5,9	2,2	68,6	406,0
5-11 tonn	433,3	27,3	9,9	91,5	562,0
Over 11 tonn	660,6	78,9	28,8	141,2	909,4

Tabellene for lastebiler som bruker innblandet biodiesel som drivstoff viser at utslipp av CO2-ekvivalenter blir noe redusert mens energibruken øker noe sammenliknet med lastebiler som bare bruker diesel.

Tabell 76 viser utslippsfaktorer for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter for ulike typer energibruk for lastebiler i ulike vektclasser med diesel som drivstoff i Norge 2010. Tabell 77 viser de samme utslippsfaktorer om vi antar en blanding med 20% biodiesel fra RME (rapsolje) og 80% diesel. I følge ProBas er utslippsfaktor for gram SO2-ekvivalenter pr MJ større for biodiesel enn for vanlig diesel i den brutto direkte energikjede.

Tabell 76 Utslippsfaktorer for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i ulike energibrukskjeder for dieseldrevne lastebiler Norge 2010

Diesel g/MJ	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg	
	SO2-ekv.	TOPP-ekv	SO2-ekv.	TOPP-ekv
1-5 tonn	0,367	0,610	0,054	0,051
5-11 tonn	0,382	0,622	0,054	0,051
Over 11 tonn	0,473	0,757	0,054	0,051

Tabell 77 Utslippsfaktorer for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i ulike energibrukskjeder for lastebiler med biodiesel-blanding (20% biodiesel RME, 80% diesel) Norge 2010

	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg	
	SO2-ekv.	TOPP-ekv	SO2-ekv.	TOPP-ekv
1-5 tonn	0,193	0,610	0,215	-0,037
5-11 tonn	0,201	0,622	0,215	-0,037
Over 11 tonn	0,249	0,757	0,215	-0,037

Tabell 78 viser utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for lastebiler i ulike vektclasser med diesel som drivstoff Norge 2010. Tabell 79 viser de samme

utslipp for en biodiesel-blanding som beskrevet ovenfor. Vi ser en liten nedgang i begge ekvivalent-verdier. Unntaket er utslipp av TOPP-ekvivalenter for biodiesel fra direkte energibruk der ProBas gir høyere utslippsfaktorer for biodiesel enn for vanlig diesel (se tabellen ovenfor).

Tabell 78 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for diesel-drevne lastebiler i ulike vektklasser Norge 2010.

Diesel	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg		Sum	
	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv
Pr vogn-km						
1-5 tonn	1,941	3,231	0,286	0,271	2,228	3,501
5-11 tonn	2,694	4,390	0,382	0,361	3,076	4,751
Over 11 tonn	5,150	8,250	0,589	0,557	5,739	8,806

Tabell 79 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr vogn-km for lastebiler med biodiesel-blanding (20% biodiesel RME, 80% diesel) i ulike vektklasser Norge 2010.

	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg		Sum	
	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv
1-5 tonn	1,758	3,231	0,457	0,178	2,215	3,409
5-11 tonn	2,439	4,390	0,609	0,237	3,048	4,627
Over 11 tonn	4,663	8,250	0,940	0,366	5,603	8,615

Tabell 80 viser utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for lastebiler i ulike vektklasser med diesel som drivstoff Norge 2010. Tabell 81 viser de samme utslipp for lastebiler som bruker biodiesel-blanding.

Tabell 80 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for diesel-drevne lastebiler i ulike vektklasser Norge 2010.

Diesel	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg		Sum	
	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv
Pr tonn-km						
1-5 tonn	2,427	4,038	0,358	0,338	2,785	4,377
5-11 tonn	0,728	1,187	0,103	0,097	0,831	1,284
Over 11 tonn	0,481	0,771	0,055	0,052	0,536	0,823

Tabell 81 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for lastebiler med biodiesel-blanding (20% biodiesel RME, 80% diesel) i ulike vektklasser Norge 2010.

	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg		Sum	
	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv	SO ₂ -ekv.	TOPP-ekv
1-5 tonn	2,198	4,038	0,571	0,222	2,768	4,261
5-11 tonn	0,659	1,187	0,165	0,064	0,824	1,251

Over 11 tonn	0,436	0,771	0,088	0,034	0,524	0,805
--------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Jernbane

Estimatene for godstransport med jernbane i ulike livsløpfaser er dokumentert i Simonsen (2009h) ⁷⁴.

Vi presenterer to estimat som vi velger som representative for godstransport med jernbane i Norge 2010. Vi velger ett estimat for elektriske godstog og ett estimat for dieseldrevne godstog. Estimaten for framdriftsenergi kommer fra SSB (2008). ProBas gir to estimat for elektriske godstog, ett for Norge 2010 og ett for Tyskland 2010. SSB's estimat for elektriske godstog i Norge 2004 er nokså like estimatene fra ProBas. For dieseldrevne godstog ligger estimatet fra SSB noe høyere enn estimatet for generiske godstog fra ProBas. Estimaten i ProBas er for generiske godstog og er ikke representativt for Norge.

Tabell 82 viser energibruk for godstog drevet med elektrisitet og diesel i alle livsløpfaser i Norge 2010. Tabell 83 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter for de samme tog i de samme livsløpfaser.

Tabell 82 Energibruk MJ pr tonn-km for elektriske og dieseldrevne godstog i alle livsløpfaser Norge 2010.

MJ pr tonn-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Elektrisk tog	0,252	0,298	0,003	0,057	0,610
Dieseltog	0,566	0,298	0,003	0,085	0,951

Tabell 83 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr tonn-km for elektriske og dieseldrevne godstog Norge 2010 i alle livsløpfaser

gram CO2-ekv pr tonn-km	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Elektrisk tog	0,0	21,7	0,3	0,7	22,7
Dieseltog	47,0	21,7	0,3	6,6	75,5

Tabell 84 viser utslippsfaktorer for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter for ulike typer godstog. Faktorene gjelder for direkte energibruk og for tillegget i brutto direkte energikjede. Tabell 85 viser utslipp av SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for ulike typer godstog. Utslippene kommer fra direkte energibruk (Tank-to-Wheel) og fra tillegget i brutto direkte energikjede (Well-to-Tank) i Norge 2010.

⁷⁴ Simonsen, M.: *Energibruk og utslipp fra godstransport på jernbane. En livsløpsanalyse*. Notat Vestlandsforskning desember 2009.

Tabell 84 Utslippsfaktorer for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i gram pr MJ i ulike livsløpfaser

	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg	
	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv
Elektrisk tog	0	0	0,005	0,008
Dieseltog	0,615	0,924	0,054	0,051

Tabell 85 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstog i ulike livsløpfaser Norge 2010.

	Direkte energibruk		Brutto direkte energikjede-tillegg	
	SO2-ekv	TOPP-ekv	SO2-ekv	TOPP-ekv
Elektrisk tog	0	0	0,001	0,002
Dieseltog	0,348	0,523	0,031	0,029

Skip

Estimatene for skip er dokumentert i Simonsen (2010i) ⁷⁵.

Tabell 86 gir en oppsummering av energibruk pr tonn-km for skiptransport i ulike livsløpfaser. Vi har beregnet energibruk for konstruksjon av havneanlegg og fordelt dette på transportarbeid for ulike typer skip. Estimatet for havneanlegg er hentet fra Ecoinvent ⁷⁶ og gjelder for Rotterdam. Estimat for bygging av skip baserer seg på en beregning av skipenes egenvekt basert på deres dødvekt. Beregningen er gjort med en regresjonsanalyse dokumentert i Simonsen (2009a) ⁷⁷. Egenvekten er antatt å være stål. Energiforbruk og utslipp er deretter beregnet ved å bruke energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for stål for den beregnede egenvekten for ulike skip.

Estimat for energi og utslipp for tillegget i brutto direkte energikjede er hentet fra ProBas og dokumentert i Simonsen (2009b) ⁷⁸.

⁷⁵ Simonsen, M.: *Godstransport med skip*. Notat Vestlandsforsking februar 2010.

⁷⁶ Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., Tuchschmid, M.: *Transport Services, Data v2.0 (2007)*, Econinvent Report No. 14., Table 8.27 side 192

⁷⁷ Simonsen, M.: *Energiforbruk og CO2-utslipp ved bygging av av skip for godstransport*, Notat Vestlandsforsking juni 2009.

⁷⁸ Simonsen, M.: *Freight ship fuel: Heavy oil*. Notat Vestlandsforsking oktober 2009.

Tabell 86 Energibruk i MJ pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpfaser

Energibruk pr MJ/tkm	Middle value dead-weight	Direkte energibruk	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjedetillegg	Sum
Crude oil tanker	300 000	0,0390	0,000011	0,0023	0,0074	0,0488
Crude oil tanker	160 000	0,0592	0,000011	0,0026	0,0113	0,0731
Crude oil tanker	100 000	0,0793	0,000011	0,0038	0,0152	0,0983
Crude oil tanker	70 000	0,1008	0,000011	0,0055	0,0193	0,1256
Crude oil tanker	35 000	0,1223	0,000011	0,0060	0,0234	0,1517
Crude oil tanker	5 000	0,4477	0,000011	0,0172	0,0855	0,5504
Products tanker	60 000	0,0766	0,000011	0,0038	0,0146	0,0951
Products tanker	40 000	0,1385	0,000011	0,0075	0,0265	0,1724
Products tanker	15 000	0,2514	0,000011	0,0095	0,0480	0,3089
Products tanker	7 500	0,3926	0,000011	0,0135	0,0750	0,4810
Products tanker	3 000	0,6050	0,000011	0,0209	0,1156	0,7414
Chemical tanker	20 000	0,1129	0,000011	0,0031	0,0216	0,1376
Chemical tanker	15 000	0,1452	0,000011	0,0054	0,0277	0,1783
Chemical tanker	7 500	0,2030	0,000011	0,0060	0,0388	0,2478
Chemical tanker	3 000	0,2985	0,000011	0,0110	0,0570	0,3665
LPG tanker	3 000	0,1210	0,000011	0,0049	0,0231	0,1490
LPG tanker	50 000	0,5848	0,000011	0,0765	0,1117	0,7731
LNG tanker	200 000	0,1250	0,000011	0,0034	0,0239	0,1524
LNG tanker	100 000	0,1949	0,000011	0,0044	0,0372	0,2366
Bulk carrier	200 000	0,0336	0,000011	0,0018	0,0064	0,0418
Bulk carrier	150 000	0,0403	0,000011	0,0024	0,0077	0,0504
Bulk carrier	80 000	0,0551	0,000011	0,0040	0,0105	0,0697
Bulk carrier	47 500	0,0766	0,000011	0,0050	0,0146	0,0963
Bulk carrier	22 500	0,1062	0,000011	0,0050	0,0203	0,1315
Bulk carrier	5 500	0,3926	0,000011	0,0230	0,0750	0,4905
General cargo	10 000	0,1600	0,000011	0,0035	0,0306	0,1940
General cargo	7 500	0,2124	0,000011	0,0063	0,0406	0,2593
General cargo	3 000	0,1869	0,000011	0,0103	0,0357	0,2329
Cargo/Container	10 000	0,1479	0,000011	0,0031	0,0282	0,1793
Cargo/Container	7 500	0,2353	0,000011	0,0094	0,0449	0,2897
Cargo/Container	3 000	0,2662	0,000011	0,0065	0,0508	0,3236

Tabell 87 viser utslipp av gram CO2 for de samme skipstypene. Det gjelder de samme forutsetninger som i Tabell 86.

Tabell 87 Utslipp av gram CO2 pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpfaser

Utslipp g CO2 pr tonn-km	Middle value dead-weight	Direkte energi-bruk	Infra-struktur	Transport-middel	Brutto direkte energi-kjede-tillegg	Sum
Crude oil tanker	300 000	2,9	0,0013	0,19	0,09	3,18
Crude oil tanker	160 000	4,4	0,0013	0,22	0,13	4,75
Crude oil tanker	100 000	5,9	0,0013	0,32	0,17	6,39
Crude oil tanker	70 000	7,5	0,0013	0,46	0,22	8,18
Crude oil tanker	35 000	9,1	0,0013	0,50	0,27	9,87
Crude oil tanker	5 000	33,3	0,0013	1,43	0,98	35,71
Products tanker	60 000	5,7	0,0013	0,31	0,17	6,18
Products tanker	40 000	10,3	0,0013	0,62	0,30	11,23
Products tanker	15 000	18,7	0,0013	0,79	0,55	20,04
Products tanker	7 500	29,2	0,0013	1,12	0,86	31,19
Products tanker	3 000	45	0,0013	1,74	1,33	48,07
Chemical tanker	20 000	8,4	0,0013	0,26	0,25	8,91
Chemical tanker	15 000	10,8	0,0013	0,45	0,32	11,57
Chemical tanker	7 500	15,1	0,0013	0,50	0,45	16,05
Chemical tanker	3 000	22,2	0,0013	0,92	0,66	23,77
LPG tanker	3 000	9	0,0013	0,40	0,27	9,67
LPG tanker	50 000	43,5	0,0013	6,37	1,28	51,16
LNG tanker	200 000	9,3	0,0013	0,29	0,27	9,86
LNG tanker	100 000	14,5	0,0013	0,37	0,43	15,30
Bulk carrier	200 000	2,5	0,0013	0,15	0,07	2,72
Bulk carrier	150 000	3	0,0013	0,20	0,09	3,29
Bulk carrier	80 000	4,1	0,0013	0,33	0,12	4,56
Bulk carrier	47 500	5,7	0,0013	0,42	0,17	6,29
Bulk carrier	22 500	7,9	0,0013	0,41	0,23	8,55
Bulk carrier	5 500	29,2	0,0013	1,91	0,86	31,97
General cargo	10 000	11,9	0,0013	0,29	0,35	12,54
General cargo	7 500	15,8	0,0013	0,53	0,47	16,79
General cargo	3 000	13,9	0,0013	0,86	0,41	15,17
Cargo/Container	10 000	11	0,0013	0,26	0,32	11,59
Cargo/Container	7 500	17,5	0,0013	0,79	0,52	18,80
Cargo/Container	3 000	19,8	0,0013	0,55	0,58	20,93

Til slutt skal vi gjengi estimat for utslipp av SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter for ulike grupper av skip. I tabellene for SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter er det brukt samme inndeling av skip som i sammendraget hvor antall i skip i hver undergruppe er brukt som kriterium for å velge ut et representativt skip i hver hovedgruppe. Vi har brukt verdier for utslipp av begge ekvivalenter pr energienhet fra ProBas. Beregningene gjelder for den direkte energibruk (Tank-to-Wheel) og for tillegget i den brutto direkte energikjede (Well-to-Tank). For de andre energibrukskjedene (infrastruktur, produksjon av skip) finnes det ikke utslippsfaktorer i ProBas.

Utslippsfaktorene fra direkte energibruk omfatter direkte utslipp knyttet til framdrift av skipet. Utslippsfaktorene for tillegget i den brutto direkte energikjede omfatter alle utslipp i hele kjeden fram til drivstoff levert til tankanlegg.

Beregningene for direkte energibruk er hentet fra et ProBas-estimat for oversjøisk skipsfart ⁷⁹. Estimaten er generisk og gjelder for år 2000. Med generisk mener vi at estimaten ikke er knyttet til et spesielt land eller til en spesiell region. Vi beregner utslipp av SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr MJ for dette estimaten. Disse utslippsfaktorene multipliserer vi så med den direkte energibruken for skipstypene som er presentert ovenfor. I stedet for å bruke estimaten for utslipp pr tonn-km fra ProBas direkte regner vi utslippsfaktorer pr energienhet og multipliserer med den direkte energibruk for ulike skipstyper pr tonn-km. Dette gir oss muligheten til å la utslippene variere med den direkte energibruken for skipstypene.

Utslippsfaktorene for tillegget i den brutto direkte energikjede (Well-to-Tank) henter vi fra estimaten for tungolje i ProBas ⁸⁰. Dette er drivstoffet som er oppgitt i estimaten for oversjøisk skipsfart. Tungoljen er basert på en råoljemiks fra OPEC-land. Vi beregner utslippsfaktorene for SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i gram pr MJ og multipliserer denne med den direkte energibruken i MJ pr tonn-km siden utslippene utløses for å produsere den mengde energi skipet trenger til framdrift. Dette gir oss utslipp i gram pr tonn-km for skipstypene som er omtalt ovenfor.

Tabell 88 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med ulike typer skip i ulike livsløpsfaser

Utslipp gram SO ₂ -ekvivalent pr tonn-km	Middle value deadweight	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjede-tillegg	Utslipp g CO ₂ pr tkm
Crude oil tanker	300 000	0,06	0,01	0,06
Crude oil tanker	5 000	0,64	0,07	0,71
Products tanker	60 000	0,11	0,01	0,12
Products tanker	3 000	0,86	0,09	0,96
Chemical tanker	20 000	0,16	0,02	0,18
Chemical tanker	3 000	0,43	0,05	0,47
LPG tanker	3 000	0,17	0,02	0,19
LPG tanker	50 000	0,83	0,09	0,92
LNG tanker	200 000	0,18	0,02	0,20
LNG tanker	100 000	0,28	0,03	0,31

⁷⁹ ProBas-estimat [Überseeschiff](http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php). Dette internnavnet kan brukes som søkekriterium i søkemenyen Volltextsuche i hovedmenyen i ProBas, <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

⁸⁰ [ProBas - Details: Raffinerie\Öl-schwer-OPEC-2000](#)

Bulk carrier	200 000	0,05	0,01	0,05
Bulk carrier	5 500	0,56	0,06	0,62
General cargo	10 000	0,23	0,02	0,25
General cargo	3 000	0,27	0,03	0,30
Cargo/ container	10 000	0,21	0,02	0,23
Cargo/ container	3 000	0,38	0,04	0,42

Tabell 89 Utslipp av gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med ulike typer skip i ulike livsløpsfaser

Utslipp gram SO2-ekvivalent pr tonn-km	Middle value deadweight	Direkte energibruk	Brutto direkte energikjedetillegg	Utslipp g CO2 pr tkm
Crude oil tanker	300 000	0,04	0,00	0,05
Crude oil tanker	5 000	0,50	0,03	0,53
Products tanker	60 000	0,09	0,01	0,09
Products tanker	3 000	0,67	0,04	0,71
Chemical tanker	20 000	0,13	0,01	0,13
Chemical tanker	3 000	0,33	0,02	0,35
LPG tanker	3 000	0,13	0,01	0,14
LPG tanker	50 000	0,65	0,04	0,69
LNG tanker	200 000	0,14	0,01	0,15
LNG tanker	100 000	0,22	0,01	0,23
Bulk carrier	200 000	0,04	0,00	0,04
Bulk carrier	5 500	0,44	0,03	0,46
General cargo	10 000	0,18	0,01	0,19
General cargo	3 000	0,21	0,01	0,22
Cargo/ container	10 000	0,16	0,01	0,17
Cargo/ container	3 000	0,30	0,02	0,31

Kilder

Andersen, O.: *Arbeidsreisene for ansatte i AS Oslo Sporveier*.

<http://www.arbeidsreiser.no/nytt/RVUPDF-fil.pdf>

Andersen, O., Lundli, H.E.: *NSB MILJØDATA. Kvalitetssikring av en database for energibruk, utslipp til luft, risiko for ulykker og samfunnsøkonomiske kostnader ved ulike former for gods- og persontransport*. VF-Notat 8/1999. <http://www.vestforsk.no/filearchive/notat-8-99.pdf>

Andersen, O., Sataøen, H.L.: *Samfunnsregnskap for Oslo Sporveier 2005*, VF-Notat 8/06, Vestlandsforskning 2006, <http://www.vestforsk.no/www/show.do?page=12&articleid=1094>

Barnitt, R., McCormick, R.L., Lammert, M.: *St Louis Metro Biodiesel(B20) Transit Bus Evaluation* <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43486.pdf>

Buhaug, Ø.; Corbett, J. J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D. S.; Lee, D.; Lindstad, H.; Mjelde, A.; Pålsson, C.; Wanqing, W.; Winebrake, J. J.; Yoshida, K: *Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships: Phase I Report*; International Maritime Organization (IMO) London, http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D26402/INF-6.pdf

Chandlers, K. , Eberts, E., Eudy, L.: *New York City Transit Hybrid and CNG Transit Buses: Interim Evaluation Results*, NREL Technical Report January 2006, <http://www.afdc.energy.gov/afdc/pdfs/38843.pdf>

Chester, M.: *Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States* , Institute of Transportation Studies, Berkely, 2008, <http://escholarship.org/uc/item/7n29n303>

Chester, M., Horvath, A.: *Environmental Life-cycle Assessment of Passenger Transportation: A Detailed Methodology for Energy, Greenhouse Gas and Criteria Pollutant Inventories of Automobiles, Buses, Light Rail, Heavy Rail and Air v.2*, http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=its/future_urban_transport

CONCAWE/EUCAR: *Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains In the European Context*, <http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/V3.1%20TTW%20Report%2007102008.pdf>

CUTE: *Clean Urban Transport For Europe. A hydrogen Fuel Cell Bus Project in Europe 2001-20006. Detailed Summary of Achievements*. http://www.fuel-cell-bus-club.com/modules/UpDownload/store_folder/Publications/DETAILED_SCREEN.pdf

Hertwich, E., Larsen, H.N.: *Energibruk og klimagassutslipp i Trondheim*, NTNU, Program for industriell økologi, Rapport 2/2007, http://www.ntnu.no/eksternweb/multimedia/archive/00023/rapport2_07web_23569a.pdf

Holden, E., Norland, I.T.: *En undersøkelse av husholdningers forbruk av energi til bolig og transport i Stor-Oslo*. Dokumentasjonsrapport. ProSus-rapport 3/04, <http://www.prosus.uio.no/publikasjoner/Rapporter/2004-3/rapport3.pdf>

Høyer, K.G.: *Høyhastighetstog. Analyser av direkte og brutto direkte energiforbruk*. Høgskolen i Oslo, TDM-Rapport 1/09

Jernbaneverket: Miljørapport 2008, <http://www.jernbaneverket.no/PageFiles/7815/Miljørapport%202008.pdf>

Macedo, I.C., Seabra, J.E.A.: *Mitigation of GHG emissions using sugarcane bioethanol*, i Zuurbier, P., van de Vooren, J.: *Sugarcane Ethanol, Contributions to climate change mitigation and the environment*, Wageningen Academic Publishers, 2008,
[http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0811_Wageningen - Sugarcane ethanol - Contributions to climate change mitigation and the environment.pdf](http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0811_Wageningen_-_Sugarcane_ethanol_-_Contributions_to_climate_change_mitigation_and_the_environment.pdf)

Opplysningsrådet for veitrafikken: *Fortsatt høy registreringstakt på nye personbiler*.
http://www.ofvas.no/BILSALGET/Bilsalget_2010/H%C3%B8y+registreringstakt+p%C3%A5+nye+personbiler+ogs%C3%A5+i+februar.9UFRrYYk.ipsS

ProBas: *ProBas-Projekt*, <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

ProSam: *Forundersøkelse transport i forbindelse med ny hovedflyplass Gardermoen*. ProSam-rapport no 60, Mars 1999,
<http://www.prosam.org/dbcf?magic=Oed389fb317e53b60429221b10cde078337&s=data.element&pf=did&pv=114>

Ruter: *Årsrapport 2008*. http://ruter.no/PageFiles/1829/Aarsrapport_2010_.pdf
http://ruter.no/PageFiles/1831/webrapport_2008.pdf

Ruter: *Årsrapport 2009*. http://ruter.no/PageFiles/1829/Aarsrapport_2010_.pdf

Schlaupitz, H.: *Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer*, Norsk Naturvernforbund Rapport 3/2008, september 2008,
http://naturvern.imaker.no/data/f/1/24/31/4_2401_0/Rapport_250908.pdf

Siemens: *Metro Oslo, Environmental Product Declaration according to ISO 14021*,
http://w1.siemens.com/responsibility/report/07/pool/pdf/produktumweltdeklaration_oslo_08_09_final.pdf

Simonsen, M.: *Buss*. Notat Vestlandsforskning. <http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Indirect Energy Use*. Notat Vestlandsforskning,
<http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Energibruk og utslipp fra persontransport med personbil. En livsløpanalyse*. Notat Vestlandsforskning, <http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Passasjertransport med fly*, Notat Vestlandsforskning.
<http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Persontransport jernbane*. Notat Vestlandsforskning.
<http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Trikk og T-bane. En livløpsanalyse*. Notat Vestlandsforskning.
<http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Energibruk og utslipp fra godstransport på vei. En livløpsanalyse*. Notat Vestlandsforskning. <http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Energibruk og utslipp fra godstransport på jernbane. En livløpsanalyse*.
<http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Godstransport med skip*. Notat Vestlandsforskning .
<http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Energibruk og CO2-utslipp ved bygging av av skip for godstransport*, Notat Vestlandsforskning. <http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Simonsen, M.: *Freight ship fuel: Heavy oil*. Notat Vestlandsforskning. <http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html>

Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., Tuchschild, M.: *Transport Services, Data v2.0 (2007)*, Econinvent Report No. 14., Table 8.27 side 192

Statens Vegvesen: *Definisjon av noen viktige begrep*, <http://www.vegvesen.no/Fag/Trafikk/Nokkeltall+transport/Definisjoner>

Statistisk Sentralbyrå: *Statistikkbanken*. <http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/>

Støren, S.: *Transport og klimaforliket*, Norges Tekniske Vitenskapsakademi, <http://www.ntva.no/rapporter/NTVA-transport-rapport.pdf>

Toutain, J.E.W, Taarneby, G., Selvig, E., *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*, Statistisk Sentralbyrå, Rapport 2998/49. http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf