

ENERGIBRUK OG UTSLIPP FRA GODSTRANSPORT PÅ JERNBANE. EN LIVSLØPSANALYSE.

Morten Simonsen

Vestlandsforskning 8/12/09

Innhold

Innledning	4
Direkte energi Tank-to-Wheel	5
Energibruk	5
Utslipp CO2-ekvivalenter	9
Indirekte energi	10
Infrastruktur	10
Energibruk.....	11
Utslipp av CO2-ekvivalenter.....	12
Produksjon av transportmiddel	13
Bombardier F140 MS	13
Bombardier P160 DE	15
Godsvogn	16
Veid gjennomsnitt.....	17
Brutto direkte energitillegg Well-to-Tank.....	18
Oppsummering.....	20
Energibruk.....	20
Utslipp CO2-ekvivalenter	21
Valgte estimat.....	21
Tabell 1 Energibruk godstog med ulik framdriftsenergi 1970-97	6
Tabell 2 Energiforbruk Tank-to-Wheel for ulike typer godstog i ulike land.....	8
Tabell 3 Utslipp i Tank-to-Wheel kjeden for diesel godstog.....	9
Tabell 4 Utslipp av gram CO2 pr tonn-km for ulike typer godstog.....	9
Tabell 5 Energiforbruk for passasjertransport og godstransport norsk jernbane 2004.....	11
Tabell 6 Primærenergi til konstruksjon, drift og vedlikehold av jernbanes infrastruktur 2007.	11
Tabell 7 Utslipp av CO2-ekvivalenter for konstruksjon, drift og vedlikehold av jernbanens infrastruktur 2007.....	12
Tabell 8 Materialsammensetning, energibruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for Bombardier F140 MS	13
Tabell 9 Energibruk og utslipp knyttet til vedlikehold av F140 MS.....	14
Tabell 10 Energibruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for fabrikasjon og vedlikehold av Bombardier F140MS	14
Tabell 11 Materialsammensetning, energibruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for Bombardier P160 DE.....	15
Tabell 12 Energibruk og utslipp knyttet til vedlikehold av P160 DE	15
Tabell 13 Energibruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for fabrikasjon og vedlikehold av Bombardier P160 DE.....	16

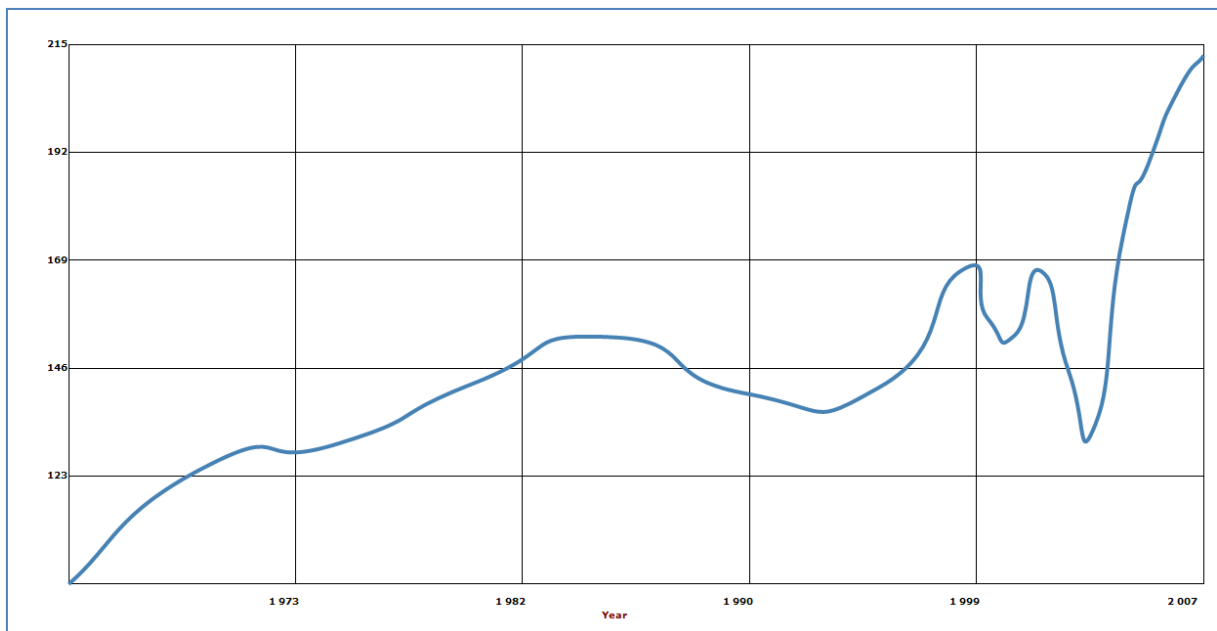
Tabell 14	Energibruk og utslipp av CO ₂ -ekvivalenter for materialer til godsvogner.....	16
Tabell 15	Veid estimat for fabrikasjon av lokomotiv og vogner for godstransport.....	17
Tabell 16	Estimat for godstog fra ProBas.....	17
Tabell 17	Brutto direkte tilleggsenergi, Well-to-Tank, for framstilling av drivstoff til godstransport med jernbane. 2004.	18
Tabell 18	Brutto direkte tilleggsenergi, Well-to-Tank, for framstilling av drivstoff til godstransport med jernbane Norge og Tyskland.	19
Tabell 19	Utslipp av CO ₂ -ekvivalenter	20
Tabell 20	Energibruk i MJ pr tonn-km fordelt på ulike livsløpsfaser for godstransport med elektrisk og dieseldrevet jernbane.....	20
Tabell 21	Utslipp av gram CO ₂ -ekvivalenter pr tonn-km fordelt på ulike livsløpsfaser for godstransport med elektrisk og dieseldrevet jernbane	21
Tabell 22	Energibruk MJ pr tonn-km for elektriske og dieseldrevne godstog Norge 2010 i ulike livsløpsfaser.....	21
Tabell 23	Utslipp gram CO ₂ -ekvivalenter pr tonn-km for elektriske og dieseldrevne godstog Norge 2010 i ulike livsløpsfaser.....	22
Tabell 24	Utslippsfaktorer for SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i gram pr MJ for ulike energikjeder	23
Tabell 25	Utslipp av gram SO ₂ -ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstog i ulike livsløpsfaser Norge 2010.....	23
Figur 1	Utvikling av godstransportarbeidet med jernbane i Norge 1965-2007- Indeks 1965=100.	4
Figur 2	Energibruk i MJ pr tonn-km for dieseldrevet og elektrisk jernbane 1970-1997.	6
Figur 3	Energiforbruk MJ/tonn-km mot vekt for ulike typer godstog 1997	7
Figur 4	Energiforbruk i MJ pr tonn-km for ulike typer godstog Sverige 1998.....	8
Figur 5	Utslipp av CO ₂ i gram pr tonn-km for godstransport med ulike typer tog.....	10
Figur 6	Primærenergi i MJ pr tonn-km for konstruksjon, drift og vedlikehold av jernbanens infrastruktur 2007.....	12
Likning 1	Beregning av energibruk Well-to-Tank.....	18

Innledning

Vi skal i dette dokumentet se nærmere på energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter for godstransport med jernbane. Vi skal dele analysen inn i tre deler. Først skal vi se på den direkte energibruken, den energien og de utslipp som er knyttet til framdrift av godstoget. Deretter skal vi se på den indirekte energibruken som omfatter energi og utslipp knyttet til jernbanens infrastruktur og til fabrikasjon av togmateriellet. Deretter skal vi se på brutto direkte energibruk hvor energi og utslipp knyttet til produksjon av elektrisitet som drivstoff for godstoget vil bli analysert.

Det ble produsert 2 467 millioner tonn-km med jernbane i Norge i 2007 ¹. Det er 1 307 millioner tonn-km mer produksjonen i 1965.

Figur 1 Utvikling av godstransportarbeidet med jernbane i Norge 1965-2007- Indeks 1965=100.



Figur 1 viser utviklingen av godstransportarbeidet i Norge fra 1965 til 2007. Figuren viser en indeks hvor 1965 er satt til 100. Indeksverdien i 2007 er på 213 som gir en økning på 113% i hele perioden. Til sammenlikning hadde godstransport på vei en indeksverdi på 747 i 2007 mens den samlede fastlandstransporten med gods hadde en indeksverdi på 585. Godstransport med jernbane har derfor vokst lavere enn den generelle veksten i godstransport i Norge fra 1965 til 2004. Jernbanes andel av det samlede godstransportarbeidet i fastlands-Norge var på 10,4 prosent i 1965 og 7 prosent i 2007.

Vi vil i denne analysen kombinere makro- og mikroanalyser. Med makroanalyser menes drøfting av nasjonale gjennomsnittstall. Med mikroanalyse menes analyse av et enkelt tog eller ett enkelt lokomotiv.

¹ <http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/>

Direkte energi Tank-to-Wheel

Energibruk

SSB (2008)² oppgir energibruk til framdrift pr tonn-km for elektrisk jernbane til å være 0,252 MJ pr tonn-km (0,07 kWh/tonn-km) i 2004. Transportarbeidet var på 2 218 millioner tonn-km dette året. Elektrisk jernbane sto for 75% av godstransportarbeidet med jernbane i 2004.

Det har vært en *økning* i energibruken for elektrisk drevet jernbane på 0,037 MJ pr tonn-km fra 1998 til 2004 i følge SSB-rapporten. Sammenlikningen er noe usikker da tallet for 2004 inneholder tap ved omforming av spenning til jernbanens ledningsnett samt tap i overføring av energi fra kontaktledningen til toget. For å gjøre tallene sammenliknbare har SSB antatt 15 prosent tap ved omforming og 5 prosent tap ved overføring fra kontaktledning i 1998. Usikkerheten er knyttet til anslaget på disse tilleggene i 1998.

Det ble utført 548 millioner tonn-km med *dieseldrevet* jernbane i Norge i 2004³. Energibruken var på 0,566 MJ/tonn-km, med andre ord betydelig høyere enn for elektrisk jernbane. Energibruken for dieseldrevet jernbane omfatter *ikke* tap ved produksjon av drivstoffet eller tap ved fylling av diesel. Den dieseldrevne godstrafikken med jernbane bruker 0,15 MJ pr tonn-km mindre i 2004 enn i 1998. Samtidig øker den dieseldrevne jernbanens andel av det samlede gods-transportarbeidet marginalt, andelen var på 24,6% i 1998 mens den var 24,7% i 2004.

En rapport fra Vestlandsforskning⁴ viser en energibruk på 0,612 MJ pr tonn-km for all godstrafikk med jernbane i Norge i 1997, både elektrisk og dieseldrevet. Rapporten angir det totale energiforbruket for diesel og elektrisitet i TWh sammen med den totale energieffektiviteten i KWh. På bakgrunn av disse tallene er det mulig å beregne godstransportarbeidet som ligger til grunn. Rapporten oppgir at den dieseldrevne jernbanen sto for 60% av alt godstransportarbeid i perioden 1992-97. Bruker vi den samme fordeling for hele perioden 1970-1997 kan vi konstruere Figur 2 som viser energibruken i MJ pr tonn-km for elektrisk og dieseldrevet jernbane fra 1970 til 1997. Her er energibruk og godsarbeid fordelt på tog med ulik framdriftsenergi.

Tabell 1 viser de underliggende data for Figur 2. Transportarbeidet er beregnet ut fra energieffektiviteten pr KWh og total forbruk i TWh. Tallene fra Vestlandsforskning gir et noe annet bilde enn tallene fra SSB. I rapporten fra SSB er energibruken pr tonn-km omlag 3,3 ganger så høy for dieseldrevet jernbane som for elektrisk. I tallene fra VF-rapporten ligger elektrisk jernbane over dieseldrevet jernbane i alle år. Mens den dieseldrevne godstransporten blir mer energieffektiv etter 1990 går den elektriske jernbane den motsatte vei.

Tabellen i VF-rapporten viser at de dieseldrevne godstog får en stadig lavere andel av total energiforbruk samtidig som andelen av totalt transportarbeid (60%) antas å være konstant. Dette gir

² 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 37, http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf, heretter SSB-rapporten.

³ *ibid.*, side 38

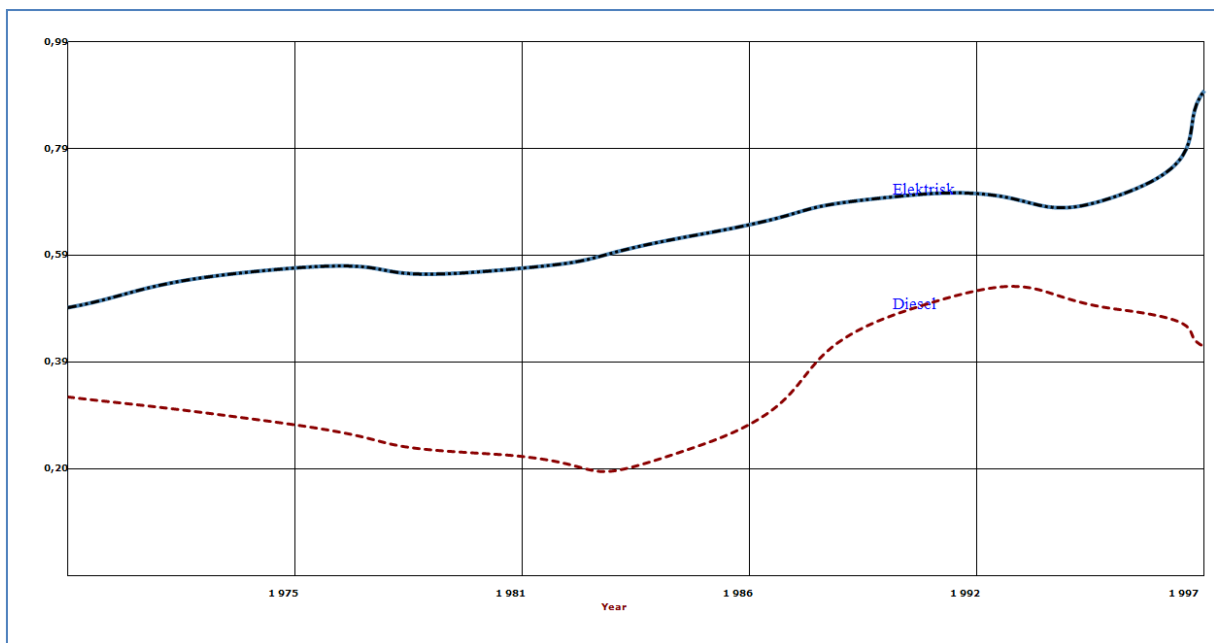
⁴ ⁴ Kilde: Holdskog og Rypdal (1997) og SSB (1997) fra Andersen, O. Groven, K., Brendehaug, E., Uusitalo, O., Suutari, U., Lehtinen, J., Ahlvik, P., Hjortsberg, H.: *Energy Saving in transport of goods – a pilot project in rural natural resource based industries*, Rapport Vestlandsforskning 4/2001., <http://www.vestforsk.no/www/show.do?page=10&articleid=886>, heretter VF-rapporten.

lavere energibruk pr tonn-km. I 1997 er energibruken pr tonn-km 0,472 MJ lavere for den dieseldrevne enn for den elektriske. Det er ikke oppgitt i VF-rapporten om tap ved omforming eller ved overføring fra kjøreledning er inkludert i tallene for energibruk.

Tabell 1 Energibruk godstog med ulik framdriftsenergi 1970-97 ⁵.

År	Diesel TWh	Elektrisitet TWh	Total TWh	Energi-effektivitet KWh pr tonn-km	Estimert mill tonn-km totalt	Mill tonn-km diesel	Mill tonn-km elektrisk	Diesel MJ / tonn-km	Elektrisk MJ/ tonn-km
1970	0,16	0,16	0,32	0,11	2 909	1 745	1 164	0,330	0,495
1975	0,12	0,16	0,28	0,11	2 545	1 527	1 018	0,283	0,566
1980	0,12	0,2	0,32	0,1	3 200	1 920	1 280	0,225	0,563
1985	0,12	0,21	0,33	0,11	3 000	1 800	1 200	0,240	0,630
1990	0,21	0,2	0,41	0,16	2 563	1 538	1 025	0,492	0,702
1995	0,22	0,21	0,43	0,16	2 688	1 613	1 075	0,491	0,703
1997	0,17	0,24	0,41	0,17	2 412	1 447	965	0,423	0,896

Figur 2 Energibruk i MJ pr tonn-km for dieseldrevet og elektrisk jernbane 1970-1997.



I VF-rapporten er det rapportert energiforbruket pr tonn-km for elektrisk og dieseldrevet jernbane for Finland i 1997 ⁶. Tallene er oppgitt for tog i ulike vektclasser. Det antas at togenes egenvekt er inkludert i vekten. Det er ikke oppgitt om tap ved omforming eller overføring er inkludert i tallene.

Figur 3 viser sammenhengen for vekt og energiforbruk i MJ pr tonn-km for elektrisk drevet og dieseldrevet jernbane i 1997. I gjennomsnitt over alle vektclasser bruker de elektriske togene 0,047 MJ/tonn-km. For dieseldrevne tog finner vi i gjennomsnitt 0,173 MJ/tonn-km. Begge disse verdiene

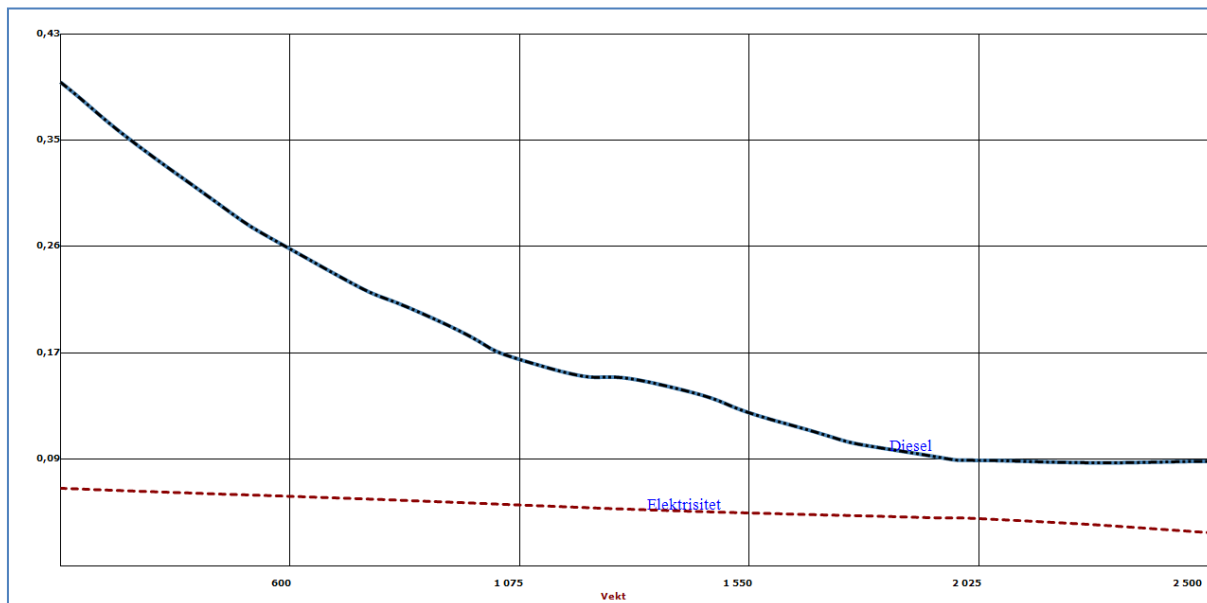
⁵ VF-Rapport (2001), side 15

⁶ ibid., side 31

er betydelig under verdiene rapportert i SSB-rapporten. Forskjellen er større enn hva energitap ved omforming og overføring fra pantograf skulle tilsi. I tillegg er forholdet mellom dieseldrevne og elektriske godstog omvendt av hva tilfellet er i Tabell 1, de dieseldrevne godstog har den høyeste energibruk pr tonn-km.

Figur 3 viser at energiforbruket synker med økende vekt på godstogene. Effekten er større for dieseldrevne godstog, det vil si at energiforbruket synker raskere for en gitt vektendring med dieseldrevne tog enn for elektrisk drevne.

Figur 3 Energiforbruk MJ/tonn-km mot vekt for ulike typer godstog 1997 ⁷.



VF-rapporten oppgir også energibruken for svensk jernbane. ⁸ Her er forbruket delt inn etter type tog. Tradisjonelle godstog (utenom diesel) har en utnyttelsesgrad på 69% og brukes på vanlig måte mellom ulike destinasjoner og med ulike vogner med ulikt innhold. Disse oppgis å ha et energiforbruk på 0,042 kWh pr tonn-km. Systemtog er elektrisk drevne tog som kun kjører mellom to destinasjoner med samme last hver gang. De har ikke last på tilbaketuren og har en utnyttelsesgrad på 56%. De oppgis med et energiforbruk på 0,05 kWh pr tonn-km. Kombitog er containertog der containere kan byttes fra tog til lastebil og omvendt. Disse oppgis med et energiforbruk på 0,043 kWh pr tonn-km og en utnyttelsesgrad på 66%. Til slutt har vi de dieseldrevne tog som egen gruppe med et energiforbruk på 0,064 kWh pr tonn-km og en utnyttelsesgrad på 55%.

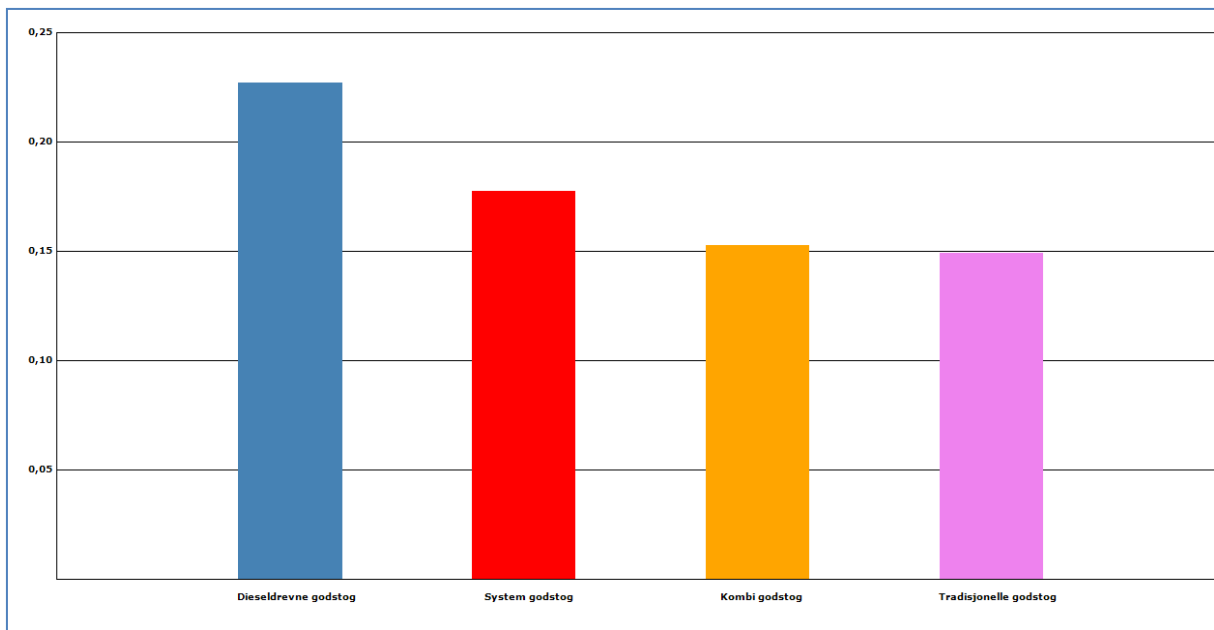
Figur 4 viser fordelingen for energiforbruk for ulike typer godstog i MJ pr tonn-km. Tallene rimer godt med tallene fra SSB for elektriske tog. For dieseldrevne godstog ligger de svenske tallene mye lavere.

Tallene for Sverige inkluderer tap fra kraftverket til jernbanens eget nett. Dette tap anslås til 4%.

⁷ VF-rapport, side 31, Table 27

⁸ VF-rapport, side 52, Table 37

Figur 4 Energiforbruk i MJ pr tonn-km for ulike typer godstog Sverige 1998.



Den sveitsiske databasen Ecoinvent oppgir to estimat for framdrift av tog⁹. Det ene estimatet er for et gjennomsnittlig sveitsisk godstog og inkluderer tap ved omforming til jernbanens elektrisitetsnett på 15%. Energiforbruket anslås til 0,22 MJ pr tonn-km. Dette estimatet gjelder bare for elektriske tog. Det andre estimatet er for et gjennomsnittlig godstog i EU. Dette estimatet inkluderer både dieseldrevne tog og elektrisk drevne tog. Det samlede energiforbruket anslås til 0,23 MJ pr tonn-km.

Den tyske LCA databasen ProBas¹⁰ inneholder estimat for tre typer godstog. Disse er elektrisk godstog i Norge 2010, elektrisk godstog i Tyskland 2010 og et generisk diesel godstog. Med generisk menes at estimatet ikke er bundet til ett enkelt land. Estimaten for diesel godstoget gjelder for 2000. ProBas oppgir energibruken som er nødvendig for framdrift av godstogene pr tonn-km. Denne energibruken er oppgitt i Tabell 2 sammen med de andre estimat for Tank-to-Wheel energibruk som er presentert her.

Tabell 2 Energiforbruk Tank-to-Wheel for ulike typer godstog i ulike land

Land	År	Elektrisk	Diesel
Norge	1997	0,896	0,423
Finland	1997	0,047	0,173
Sverige	1997	0,162	0,230
Norge	2010	0,210	
Tyskland	2010	0,210	0,327
Sveits	2000	0,220	

⁹ Spielmann, M., Scholz, R.W.: *Life Cycle Inventories of Transport Services. Background data for freight transport*. International Journal LCA, Online Publication, October 22, 2004.

http://www.uns.ethz.ch/people/hs/scholz/publ/prj/UNS_A121.pdf

¹⁰ ProBas er et samarbeidsprosjekt mellom det tyske miljøverdepartementet og det tyske forskningsinstituttet Öko-Institut, se <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

Utslipp CO2-ekvivalenter

For elektriske godstog antar vi null utslipp av CO2-ekvivalenter for framdrift av togene siden en elektrisk motor ikke forbrenner fossilt drivstoff.

Tabell 3 Utslipp i Tank-to-Wheel kjeden for diesel godstog

		gram CO2 pr tonn-km	gram CO2-ekv pr tonn- km	Kilde
Dieseltog Norge	1998	53	59	SSB ¹¹
Dieseltog Norge	2004	42	47	SSB
Generisk dieseltog	2000		25	ProBas ¹²

Tabell 3 viser estimat for utslipp av CO2 og CO2-ekvivalenter for diesel godstog i Norge 1998 og 2004 samt estimat for et generisk dieseltog i 2000. Det siste estimatet er hentet fra ProBas.

En IMO-rapport om utslipp av CO2 fra skipstrafikk inneholder også noen estimat for utslipp av CO2 fra godstrafikk med tog¹³. Det er uklart om disse utslipp skal tilskrives Tank-to-Wheel kjeden eller Well-to-Tank kjeden. IMO bruker data til en sammenlikning av av direkte utslipp av CO2 fra godstransport med skip. Vi velger å ta med utslippene her. Tabell 4 og Figur 5 viser resultatet.

Tabell 4 Utslipp av gram CO2 pr tonn-km for ulike typer godstog

Diesel lokomotiv, UK	49
Godstrafikk tog EU	119
Gjennomsnitt Eurostat	81
Gjennomsnitt USA	14
Bulk godstog USA	12
Container tog USA	43

Amerikanske godstog slipper ut mindre gram pr tonn-km enn europeiske. Blant amerikanske tog er det tog som frakter bulk-last som er mest energieffektive. Bulk-last er last som ikke pakket inn. Den kan være fast eller flytende, om den er fast inneholder den i regelen små enheter som korn eller kull

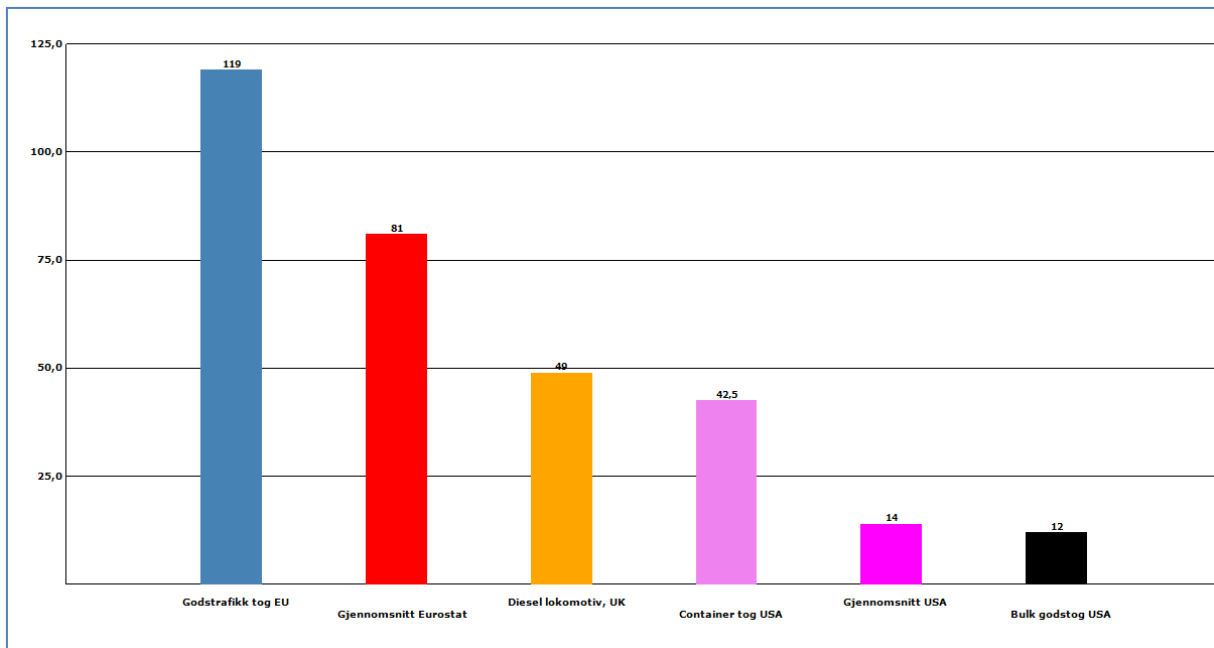
¹¹ Toutain, J.E.W, Taarneby, G., Selvig, E., *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*, Statistisk Sentralbyrå, Rapport 2998/49. Heretter omtalt som SSB (2008). Tabell 2.45. Se http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

¹² Intern-navn i ProBas [Zug-Diesel-generisch](#)

¹³ Buhaug, Ø.; Corbett, J. J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D.: 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%3D23703/INF-6.pdf, side 93

¹⁴ som er lette å pakke sammen. Bulk-last er som regel ikke tiltenkt forbrukere men snarere uferdig, ubearbeidet råvare som blir behandlet av andre produsenter lenger opp i produksjonskjeden ¹⁵.

Figur 5 Utslipp av CO2 i gram pr tonn-km for godstransport med ulike typer tog



Tallene fra IMO ligger både over og under estimatene fra SSB. Estimatenes for de amerikanske godstogene ligger under, med unntak av container-tog som ligger på linje med estimatet fra SSB. Gjennomsnitt for EU og fra Eurostat ligger høyere, det kan skyldes forskjeller mellom europeisk og norsk elektrisitetsmiks.

Indirekte energi

Den indirekte energibruk omfatter konstruksjon, drift og vedlikehold av infrastruktur samt produksjon og vedlikehold av transportmiddel. Både for infrastruktur og transportmiddel omfatter energibruken all energi bundet til materialer som er input til de ulike prosessene i tillegg til selve prosessenergien som brukes for å bearbeide og anvende materialene.

For energibruksfaktorer og utslippsfaktorer samt energibruk og utslipp pr veg-km refererer vi til Simonsen (2009a) ¹⁶, for levetid og lengden på jernbanenettet som konstrueres, vedlikeholdes og driftes i løpet av ett år refererer vi til Simonsen (2010a) ¹⁷.

Infrastruktur

Konstruksjon av jernbanens infrastruktur omfatter banelegeme, sviller og jernbaneskiner samt forsterkning av banelegemet. Konstruksjon av bruer og tunneler er også inkludert. I tallene som presenteres her er konstruksjon av jernbanestasjoner *ikke* inkludert. Derimot er den delen av jernbanestasjonene som er knyttet til drift av jernbanen inkludert i tallene for drift og vedlikehold.

¹⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Bulk_cargo

¹⁵ <http://de.wikipedia.org/wiki/Bulk-Ware>

¹⁶ Simonsen, M: *Indirect energy use*, upublisert notat Vestlandsforskning desember 2009

¹⁷ Simonsen, M.: *Levetid og lengde for vei og jernbane*, Upublisert notat Vestlandsforskning januar 2010.

Dette omfatter ikke kiosker, restauranter etc. Konstruksjon av parkeringsplasser for jernbanestasjoner er definert som egen aktivitet.

Drift av infrastruktur omfatter ventilasjon og belysning for tunneler, oppvarming av stasjoner og verkstedhaller, heiser på jernbanestasjoner, togkontroll, signalsystem, snørydding, lydbeskyttelsesmur og viltgjerder. Vedlikehold omfatter erstatning av banelegeme, sviller og jernbaneskinner, vedlikehold av strømnnett. Det omfatter også materialer til vedlikehold samt all energi for maskiner som brukes i vedlikeholdet. Materialer til jernbanestasjoner er inkludert, men bare den delen av stasjonene som er knyttet til driften av jernbanen.

All energi og utslipp for konstruksjon, drift og vedlikehold av parkeringsplasser for jernbanestasjoner er fordelt på jernbanens persontransport.

For å fordele jernbanes infrastruktur på gods og passasjertransport skal vi bruke tall for forbruk av energi fordelt på transportformene utgitt av Jernbaneverket¹⁸. Tabell 5 viser energibruk for jernbanen fordelt på passasjertransport og godstransport. Dette er framdriftsenergi for togene, inklusive tap ved omforming til jernbanens strømnnett og tap ved overføring av strøm fra kjøreledning til lokomotiv. Vi skal bruke disse tallene til å beregne vekt for passasjer- og godstransportens andel av det totale transportarbeidet. Disse vektene bruker vi til å fordele energibruk for konstruksjon, vedlikehold og drift av jernbanens infrastruktur.

Tabell 5 Energiforbruk for passasjertransport og godstransport norsk jernbane 2004

Passasjer-transport	Elektrisk drevet	370 850
	Dieseldrevet	80 654
	Sum	451 504
Gods-transport	Elektrisk drevet	116 750
	Dieseldrevet	86 200
	Sum	202 950
Sum Passasjer+gods		654454

Med tallene i Tabell 5 blir vekten for passasjertransport 0,69 og vekten for godstransport 0,31.

Energibruk

Tabell 6 viser energibruk til infrastruktur pr bane-km pr år. Tallene er for 2007. All energibruk er regnet ut i primærenergi, det vil si inklusive tap ved framstilling av energien. Kolonne A viser at det brukes nesten 91 000 TJ for jernbanens infrastruktur over hele dens levetid for både passasjer- og godstransport. Vi bruker en levetid på 40 år for konstruksjon av infrastrukturen, 25 år for vedlikehold og 40 år for drift. Energi for både passasjer- og godstransport er fordelt på konstruksjon, vedlikehold og drift pr år i kolonne B i Tabell 6. Denne totalenergien kan vi fordele på godstransporten ved å bruke vekten regnet ut ovenfor. Dette gir godstransportens andel i kolonne C. I kolonne D er energibruken pr år regnet om til MJ pr tonn-km ved å bruke 2 467 millioner tonn-km¹⁹ i 2007.

Tabell 6 Primærenergi til konstruksjon, drift og vedlikehold av jernbanes infrastruktur 2007.

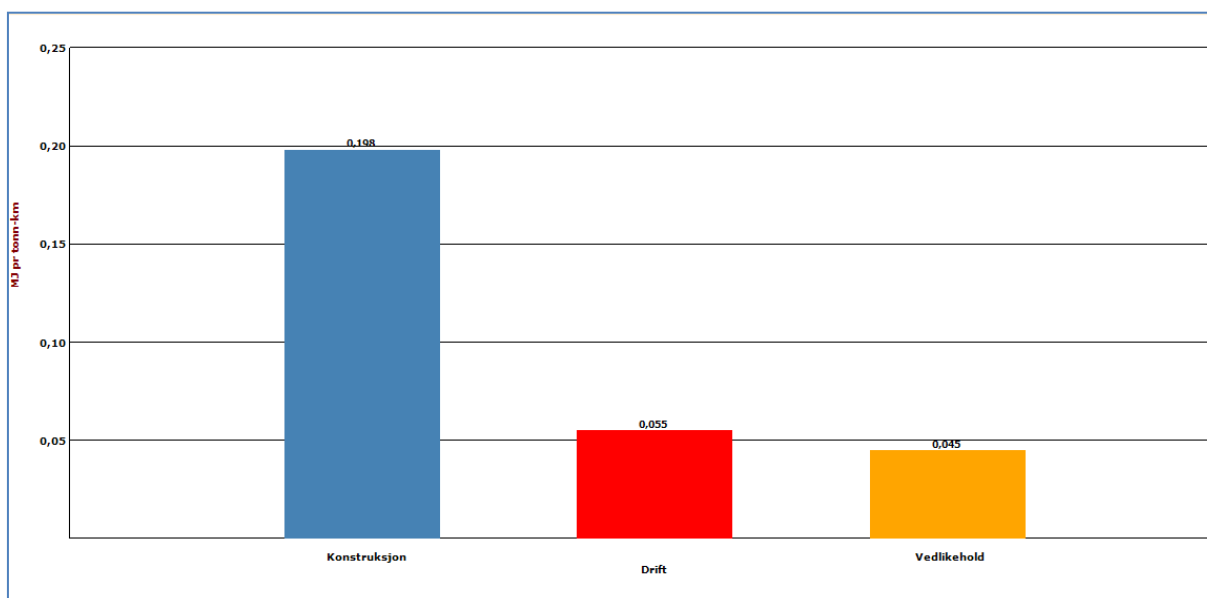
¹⁸ http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf , side 25 og 37

¹⁹ <http://www.ssb.no/aarbok/tab/tab-413.html>

Aktivitet	TJ levetid (A)	TJ pr år (B)	Godstransportens andel i TJ (C)	MJ pr tonn-km for godstransport (D)
Konstruksjon	63 000	1 575	488	0,198
Parkering	1 382	35	0	0,000
Drift	17 455	436	135	0,055
Vedlikehold	9 000	360	112	0,045
Totalt	90 836	2 406	735	0,298

Tabell 6 viser at pr tonn-km kreves det 0,298 MJ for å konstruere, vedlikeholde og drifte infrastrukturen for jernbanen. Konstruksjon av infrastrukturen utgjør over 66% av denne energien. Vedlikehold utgjør omlag 15% mens drøyt 18% går til drift.

Figur 6 Primærenergibruk i MJ pr tonn-km for konstruksjon, drift og vedlikehold av jernbanens infrastruktur 2007.



Figur 6 er en oppsummering av Tabell 6.

Utslipp av CO2-ekvivalenter

Vi bruker de samme forutsetninger for å analysere utslipp av CO2-ekvivalenter knyttet til konstruksjon, drift og vedlikehold av jernbanens infrastrukturen som vi bruke for energibruken.

Tabell 7 viser utslipp av CO2-ekvivalenter knyttet til konstruksjon, drift og vedlikehold av jernbanens infrastruktur i 2007. Kolonne A viser samlede utslipp av CO2-ekvivalenter over hele infrastrukturens levetid for både passasjer- og godstransport. Kolonne B viser utslipp for både passasjer- og godstransport for ett år. I kolonne C er utslippene pr år fordelt på godstransport ved å bruke samme vektter som diskutert ovenfor. I kolonne D er utslippene beregnet pr tonn-km ved å bruke et transportarbeid på 2 467 millioner tonn-km for jernbanen i 2007.

Tabell 7 Utslipp av CO2-ekvivalenter for konstruksjon, drift og vedlikehold av jernbanens infrastruktur 2007.

Aktivitet	Tonn CO2-	Tonn CO2-ekvivalenter		Gram pr
-----------	-----------	-----------------------	--	---------

	ekvivalenter pr levetid (A)	pr pr år (B)	Godstransportens andel i tonn (C)	tonn-km for godstransport (D)
Konstruksjon	4 723 600	118 090	36 620	14,8
Drift	821 589	20 540	6 369	2,6
Vedlikehold	850 000	34 000	10 544	4,3
Totalt	6 395 189	172 630	53 533	21,7

Produksjon av transportmiddel

Vi skal i denne delen se på konstruksjon av selve transportmiddelet. Bombardier er en produsent av jernbanelokomotiv som har publisert to produktdeklarasjoner, en for et elektrisk gods-lokomotiv og ett for et dieseldrevet passasjer-lokomotiv²⁰. Vi kjenner ingen produkt-deklarasjon for elektriske passasjer-lokomotiv eller dieseldrevet gods-lokomotiv. Vi vil derfor bruke det dieseldrevne lokomotivet for passasjertransport som gods-lokomotiv i denne sammenhengen. Dette gir oss et elektrisk og et dieseldrevet lokomotiv.

Estimering av energi og utslipp knyttet til produksjon av transportmidlene for jernbane bygger på energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for ulike typer materialer. Vi henviser til Simonsen (2009b)²¹ for en drøfting av de forutsetninger som ligger til grunn for disse faktorene. Det er tatt hensyn til produksjonsmåte, råvareutvinning og transport i beregningen av de ulike faktorene. Tallene for energi er i primærenergi, det vil si at det blir tatt hensyn til tap ved produksjon og distribusjon.

Bombardier F140 MS

Bombardier F140 MS er et elektrisk lokomotiv for frakt av gods. Tabell 8 viser energibruk og utslipp knyttet til framstilling av råvarer, transport og fabrikasjon av materialer som inngår i Bombardier F140 MS. Energiforbruk og utslipp er beregnet for hele lokomotivets levetid som i følge produktdeklarasjonen er 30 år.

Til sammen veier lokomotivet 84 tonn. Ved hjelp av Tabell 8 kan vi gjøre rede for energibruk og utslipp for 74 tonn av materialene i lokomotivet.

Tabell 8 Materialsammensetning, energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter for Bombardier F140 MS

Material	Kg	MJ/kg	Total energi- behov (GJ)	kg CO ₂ - ekvivalenter pr kg material	Tonn CO ₂ - ekvivalenter ²²
	A	B	C	D	E
Steel	58 059	22,8	1 324	1,7	98,8
Aluminium	5 009	175,9	881	16,9	84,7
Kopper	7 867	48,9	385	4	31,6
PVC ²³	2 958	56,2	166	2,7	8

²⁰ http://www.bombardier.com/files/en/supporting_docs/TRAXX_MS_EMAS.pdf

²¹ Simonsen, M: *Energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for ulike metaller*, Upublisert notat Vestlandsforskning juni 2009.

²² Beregningen bruker noen flere desimaler for utslippsfaktorer slik at multiplikasjonen A*D vil gi noen unøyaktigheter i forhold til kolonne E

²³ Produktdeklarasjonen oppgir polymer som er en samlebetegnelse for materialer med lange karbonkjeder. Vi har brukt PVC som representativt for polymer.

Total	73 893		2 756		223,1
-------	--------	--	-------	--	-------

I tillegg kommer prosessenergi og utslipp knyttet til selve fabrikasjonen. Ved hjelp av produktdeklarasjonen anslår vi prosessenergien til 289,3 GJ. Vi får da til sammen 3 045,4 GJ for fabrikasjon av lokomotivet, inklusive energi bundet til materialene. Tilsvarende legger vi til utslipp av CO₂-ekvivalenter knyttet til fabrikasjonen som anslås til 315 tonn på bakgrunn av produktdeklarasjonen. Til sammen får vi da utslipp på 538,2 tonn CO₂-ekvivalenter til materialer og fabrikasjon av lokomotivet.

Det er også knyttet energibruk og utslipp til vedlikehold av lokomotivet. I produktdeklarasjonen er det oppgitt materialer som går med til vedlikeholdet. Ved å bruke samme energibruks- og utslippsfaktorene som ovenfor kan vi beregne energibruk og utslipp som følger av vedlikeholdet. Tabell 9 viser resultatet. Energibruk og utslipp er fordelt på hele levetiden.

Tabell 9 Energibruk og utslipp knyttet til vedlikehold av F140 MS

Material	Kg vedlikehold over hele levetida	Energibruksfaktor MJ/kg	Total energi GJ levetid	Kg CO ₂ -ekv. pr kg material	Utslipp tonn CO ₂ -ekvivalenter levetid
Steel	13 676	22,8	312	1,7	23,3
Aluminium	515	175,9	91	16,9	8,7
Kopper	11	48,9	1	4	0,04
Total	14 202		403		32,00

I følge produkt-deklarasjonen har lokomotivet en årlig utkjørt distanse på 150 000 km. Bombardier bruker 1 260 tonn last i gjennomsnitt for sine beregninger pr tonn-km. Dette gir 189 millioner tonn-km pr år for lokomotivet. I dette tallet er vekten av lokomotivet ikke inkludert. Til sammenlikning er det samlede godstransportarbeidet på 2 467 millioner tonn-km. Vi bruker her 189 millioner tonn-km for lokomotivet pr år fra produkt-deklarasjonen selv om dette ikke nødvendigvis er representativt for Norge.

For å beregne energi og utslipp i forhold til tonn-km må vi beregne energibruk og utslipp pr år. Produktdeklarasjonen oppgir en levetid på 30 år. Dette gir følgende total energibruk og utslipp for produksjon og vedlikehold av Bombardier F140 MS pr tonn-km.

Tabell 10 Energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter for fabrikasjon og vedlikehold av Bombardier F140MS

	GJ levetid	CO ₂ -ekv tonn levetid	GJ pr år	CO ₂ -ekv pr år	MJ pr tonn-km	g CO ₂ pr tonn-km
Materialer	2 756	223,1	91,9	7,4	0,0005	0,0394
Fabrikasjon	289,3	315	9,6	10,5	0,0001	0,0556
Vedlikehold	403	32,00	13,4	1,1	0,0001	0,0056
Sum	3 448	570	114,9	19	0,0006	0,1006

Bombardier P160 DE

Bombardier P160 DE er et diesel-lokomotiv for passasjertransport. Vi vil her bruke lokomotivet som representativt for diesel-lokomotiv til godstransport. Tabell 11 viser materialsammensetning, energibruk og utslipp knyttet til materialene i lokomotivet. Energiforbruk og utslipp er fordelt på hele lokomotivets levetid som er anslått til 30 år.

Tabell 11 Materialsammensetning, energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter for Bombardier P160 DE

Material	Kg	MJ/kg	Total energi- behov (GJ)	kg CO ₂ - ekvivalenter kr kg material	Tonn CO ₂ - ekvivalenter ²⁴
	A	B	C	D	E
Steel	76672	22,8	1 751	1,7	130,4
Aluminium	7950	175,9	1 398	16,9	134,4
Kopper	3045	48,9	149	4	12,2
PVC ²⁵	1314	56,2	74	2,7	3,5
Total	88 981		3 372		280,5

I tillegg kommer prosessenergi for fabrikasjon som anslås til 288 GJ og utslipp av CO₂-ekvivalenter til fabrikasjon som anslås til 306,7 tonn. Dette gir totalt 3 661,1 GJ til fabrikasjon av lokomotivet inklusive energi til utvinning, transport og bearbeiding av materialer og 587,2 tonn CO₂-ekvivalenter for de samme prosessene.

Bombardier oppgir ressursbruk av materialer i kg pr tonn-km for lokomotivet, selv om det er et lokomotiv for passasjertransport. Med vekt av vogner og passasjerer anslås gjennomsnittlig tonn pr km til 226,2 tonn. Vekten av lokomotivet er ikke inkludert i dette tallet. Utkjørt distanse anslås til 175 000 km pr år med 30 års levetid. Siden det er forskjell på last og utkjørt distanse med godstog og passasjertog velger vi å bruke de samme tall for utkjørt distanse og tonn pr km som lokomotivet F140 MS. Vi bruker dermed 150 000 km utkjørt distanse hvert år og 1 260 tonn pr km i gjennomsnitt for å beregne transportarbeidet til lokomotivet P160 DE.

Tabell 12 Energiforbruk og utslipp knyttet til vedlikehold av P160 DE

Material	Kg vedlikehold over hele levetida	Energiforbruks- faktor MJ/kg	Total energi (GJ)	Kg CO ₂ - ekv. pr kg material	Utslipp tonn CO ₂ - ekvivalenter
Steel	14547	22,8	332	1,7	24,7
Aluminium	1049	175,9	185	16,9	17,7
Kopper	38	48,9	2	4	0,2
Total	15634		519		42,6

²⁴ Beregningen bruker noen flere desimaler for utslippsfaktorer slik at multiplikasjonen A*D vil gi noen unøyaktigheter i forhold til kolonne E

²⁵ Produktdeklarasjonen oppgir polymer som er en samlebetegnelse for materialer med lange karbonkjeder. Vi har brukt PVC som representativt for polymer.

Med disse forutsetninger viser Tabell 13 energibruk og utslipp forbundet med produksjon og vedlikehold av diesel-lokomotiv P160 DE. Vi anslår energibruk til konstruksjon og vedlikehold til 0,0007 MJ pr tonn-km. Utslipp av CO2-ekvivalenter anslås til 0,11 gram pr tonn-km.

Tabell 13 Energifbruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for fabrikasjon og vedlikehold av Bombardier P160 DE

	GJ levetid	CO2-ekv tonn levetid	GJ pr år	CO2-ekv pr år	MJ pr tonn-km	g CO2 pr tonn-km
Materialer	3 372	280,5	112,4	9,3	0,0006	0,0495
Fabrikasjon	288,8	306,7	9,6	10,2	0,0001	0,0541
Vedlikehold	519	42,6	17,3	1,4	0,0001	0,0075
Sum	4 180	629,8	139,3	21,0	0,0007	0,1111

Godsvogn

Ecoinvent²⁶ gir et estimat av materialsammensetningen for godsvogner. Estimaten er fordelt på åpne og lukkede vogner, samt på isolerte og ikke-isolerte tankvogner. Det gis også et estimat for en gjennomsnittlig vogn. Vi velger å bruke det siste estimatet da vi ikke har opplysninger om sammensetningen av vognparken for norsk godstransport.

Vi lar antall tonn-km for en godsvogn være identisk med tonn-km for lokomotivet til godstoget.

Tabell 14 viser energibruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for materialer til en gjennomsnittlig godsvogn. For tre bruker vi her et estimat for furu levert fra sagbruk fra den tyske databasen ProBas som er et samarbeidsprosjekt mellom det tyske miljøverndepartementet og det tyske forskningsinstituttet Öko-Institut²⁷.

Tabell 14 Energifbruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for materialer til godsvogner

	kg	MJ/kg	GJ pr år	CO2 ekviv. kg/kg	CO2 tonn pr år	MJ pr tonn- km	CO2-ekviv g pr tonn-km
Stål	20952	19,9	13,9	1,5	1,05	7,35E-05	0,005543
Aluminium	1072	175,9	6,3	16,9	0,604	3,33E-05	0,003195
Tre	1037	0,998	0,03	0,0666	0,0023	1,82E-07	1,22E-05
Gummi	10	36,6	0,0122	3,18	0,00106	6,46E-08	5,61E-06
Sum	23071		20,2		1,65	0,00011	0,00876

²⁶ Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., Tuchschnid, M.: *Transport Services Data v2.0*, ecoinvent report No 14, December 2007, side 119

²⁷ <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

Veid gjennomsnitt

Tabell 15 Tabell 14 viser et veid estimat for de to lokomotivene pluss energi og utslipp knyttet til materialene i godsvognene. Vektene for fordeling på elektrisk og dieseldrevne godstog er den andelen av transportarbeidet i 2004 som ble utført med henholdsvis elektrisitet og diesel som framdriftsenergi. Til sammen var det 2218.36 millioner tonn-km, 1670,4 av disse ble utført med elektriske godstog²⁸.

For å legge til energi og utslipp fra materialer til godsvogner må vi gjøre noen antakelser om hvor mange godsvogner det er pr tog. Vi velger å bruke 20 godsvogner for hvert lokomotiv som grunnlag for estimatet i Tabell 15. Tabellen viser et veid gjennomsnitt for elektrisk- og dieseldrevne lokomotiv samt tillegg for 20 godsvogner pr lokomotiv.

Tabell 15 Veid estimat for fabrikasjon av lokomotiv og vogner for godstransport

	MJ pr tonn-km	CO2-ekv. pr tonn-km
Materialer	0,0027	0,2170
Fabrikasjon	0,0001	0,0552
Vedlikehold	0,0001	0,0061
Sum	0,0028	0,2783

Den tyske databasen ProBas inneholder et estimat for norsk elektrisk godstog 2010. Det oppgis en vekt for godstoget på 300 tonn. I estimatet er det utelukkende brukt stål som materiale. Vi tar som gitt at vekten som brukes i ProBas omfatter både lokomotiv og vogner.

Tabell 16 oppsummerer estimatet fra ProBas. Vi har brukt de samme energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for primærstål som vi har brukt ovenfor. I tillegg har vi brukt samme anslag på tonn-km, 150 000 km hvert år med 1260 tonn i gjennomsnitt pr km over 30 år. Som Tabell 16 viser gir dette 0,0012 MJ pr tonn-km og 0,09 gram pr tonn-km. I dette estimatet er det kun energi og utslipp knyttet til materialet stål som er inkludert. Vi ser at estimatet fra ProBas kommer lavere ut enn estimatene som er laget på bakgrunn av produktdeklarasjonene fra Bombardier.

Tabell 16 Estimat for godstog fra ProBas

	Stål
Kg	300 000
MJ/kg	22,8
CO2 kg/kg	1,7
GJ totalt	6 840
CO2-ekv. tonn totalt	510
Tonn-km levetid	5 670 000 000
MJ/tonn-km	0,0012
CO2 g/tonn-km	0,0899

²⁸ SSB (2008), side 37 og 38.

Brutto direkte energitillegg Well-to-Tank

Brutto direkte energi omfatter energi og utslipp knyttet til produksjon av drivstoff for togene. Denne energikjeden kalles også Well-to-Tank kjeden. ProBas gir et estimat for energibruk og utslipp knyttet til produksjon av 1 TJ med diesel i Tyskland 2010²⁹. Der anslås en kjedevirkningsgrad (well-to-tank) på 87%. Dette gir en tapsmultiplikator på $1/0,87=1,1494$ for en liter diesel. Det anslås også at 1 TJ med diesel fører til utslipp av 11,6 tonn med CO₂-ekvivalenter. Med et energiinnhold på 43,1 MJ/kg og en tetthet på 0,84 kg/liter gir dette 27 621 liter og følgelig 420 gram CO₂-ekvivalenter pr liter for produksjon av drivstoffet.

Høyser³⁰ anslår en tapsmultiplikator for elektrisitet fra norsk vannkraft på 1,2075. Denne multiplikatoren omfatter et tap på 15% for elektrisitet levert ved kraftverks vegg og et tap på 5% for tap i overføringsnettet fram til jernbanens eget nett. Tapet på 15% før elektrisiteten sendes ut i overføringsnettet omfatter tap i tunneler/rørgater, turbiner og generatorer i kraftverket samt eget strømforbruk i kraftverket selv. Denne tapsmultiplikatoren er høyere enn den vi har estimert for diesel.

ProBas gir et estimat for energibruk og utslipp knyttet til produksjon av elektrisitet fra et stort norsk vannkraftverk³¹. Estimaten omfatter energibruk og utslipp for utvinning og framstilling av materialene stål og sement som brukes til konstruksjon av magasin og kraftanlegg samt til anleggsmaskiner. ProBas anslår en multiplikator på 1,01561. Vi multipliserer denne med multiplikatoren fra Høyser og får en samlet tapsmultiplikator på 1,2264.

ProBas anslår også et utslipp av CO₂-ekvivalenter på 2 863 kg for produksjon av 1 TJ med elektrisitet fra norsk vannkraftverk. Dette gir 2,86 gram CO₂-ekvivalenter pr MJ.

For å beregne Well-to-Tank energibruk multipliserer vi tapsmultiplikatoren med framdriftsenergien for å beregne total energibruk inklusive tap for framdrift av togene. Differensen mellom dette totale Well-to-Wheel energiestimat og framdriftsenergien gir energibruk Well-to-Tank. Dette er tapet av energiinnhold i primærenergikildene som utløses for produksjon av sluttenergi til framdrift av togene. Likning 1 viser formelen som er brukt for beregningene.

Likning 1 Beregning av energibruk Well-to-Tank

$$MJ_{Well-to-Tank} = (MJ_{Tank-to-Wheel} * T) - MJ_{Tank-to-Wheel}$$

Tabell 17 Brutto direkte tilleggsenergi, Well-to-Tank, for framstilling av drivstoff til godstransport med jernbane. 2004.

	MWh	Millioner tonn-km	Taps-multiplikator	Brutto direkte tillegg MWh	MJ pr tonn-km
--	-----	-------------------	--------------------	----------------------------	---------------

²⁹ Simonsen, M.: *Bensin og diesel*, Upublisert notat Vestlandsforskning oktober 2009. Estimaten for diesel har intern-navnet *Tankstelle\Diesel-DE-2010*. Dette navnet kan limes inn i søkefeltet for Volltextsuche i hovedmenyen for raskt å finne igjen estimaten.

³⁰ Høyser, K.H.: *Høyhastighetstog. Analyser av direkte og brutto direkte energibruk*. Høgskolen i Oslo. TDM-Rapport 1/09.

³¹ Intern-navn *Wasser-KW-gross-NO*

	(A)	(B)	(C)	(D=A*C-A)	(E=(D*3600)/(B*1E6))
Elektrisitet	116 750	1670,4	1,2263	26 426	0,0570
Diesel	86 200	547,96	1,1493	12 872	0,0846

Tabell 17 viser brutto direkte energi som kreves for å produsere drivstoff til norsk godstransport på jernbane 2004. Kolonne A er det direkte energiforbruket for framdrift av togene. Dette er Tank-to-Wheel estimatet. Kolonne B er transportarbeidet i 2004. Kolonne C er tapsmultiplikatorene som er diskutert ovenfor.

Tallene i kolonne D framkommer ved å multiplisere tapsmultiplikatorene i kolonne C med verdiene kolonne A og deretter ta differensen i forhold til kolonne A. Kolonne D er derfor tilleggsenergien, Well-to-Tank, som kreves for å framstille drivstoffet. Kolonne E er kolonne D regnet om til MJ ved å multiplisere med 3600 og dividere med transportarbeidet i kolonne B. Dette gir MJ pr tonn-km.

Tabell 18 viser estimat for Well-to-Tank energibruk for godstog fra ProBas. Estimaten for godstransport med elektriske tog i Norge bruker tapsmultiplikatoren slik den er estimert i ProBas til motsetning fra tabellen ovenfor hvor tapsmultiplikatoren var hentet fra Høyer (2009). Well-to-Tank estimatet for elektriske godstog i Tyskland er basert på tysk elektrisitetsmiks i 2010.

Tabell 18 Brutto direkte tilleggsenergi, Well-to-Tank, for framstilling av drivstoff til godstransport med jernbane Norge og Tyskland.

	Tank-to-Wheel MJ / tonn-km (A)	Taps-multiplikator (B)	Well-to-Tank MJ/tonn-km (C=(A*B)-A)
Zug-el-Güter-NO-2010	0,210	1,153	0,032
Zug-el-Güter-DE-2010	0,210	2,735	0,364
Zug-Diesel-generisch	0,327	1,309	0,101

Tabell 19 viser utslipp av CO₂-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med elektrisk og dieseldrevet jernbane. Tabellen viser hvilke utslippsfaktorer i gram CO₂-ekvivalenter pr MJ som er benyttet i utregningene. For elektriske godstog i Norge 2004 antar vi en elektrisitetsmiks på 100% vannkraft. Vi bruker estimatet fra ProBas på utslipp av 2,863 kg CO₂-ekvivalenter pr MJ for elektrisk strøm levert fra norske vannkraftverk. For dieseldrevne godstog Norge 2004 bruker vi estimat fra ProBas for levering av diesel fra tankanlegg 2010 på 11,6 gram CO₂-ekvivalenter pr MJ.

For generiske dieseltog bruker vi estimatet fra ProBas på 21,8 gram pr MJ. Dette er et estimat for generisk dieseltog, det vil si et estimat som ikke er avgrenset til et spesielt land. Estimaten gjelder for 1990. Forskjellen i tid forklarer noe av forskjellen i utslipp pr MJ mellom generisk dieseldrevne godstog og dieseldrevne godstog i Norge 2004.

Estimatet for norsk elektrisk godstog i Norge 2010 fra ProBas bygger på en noe annen elektrisitetsmiks³². Her antas det 93,4% vannkraft, 5,5% gasskraft og resten elektrisitet produsert fra

³² [El-KW-Park-NO-2010](#)

avfall. Dette forklarer forskjellen i estimat for utslipp av CO2-ekvivalenter pr MJ for elektriske godstog Norge 2004 og 2010.

Tabell 19 Utslipp av CO2-ekvivalenter

CO2-ekvivalenter	Tank-to-Wheel MJ/tonn-km (A)	gram pr MJ (B)	Gram CO2-ekv. pr tonn-km (C=A*B)
Elektrisitet	0,252	2,863	0,72
Diesel	0,566	11,6	6,6
Zug-el-Güter-NO-2010	0,210	11,2	2,35
Zug-el-Güter-DE-2010	0,210	171	35,91
Zug-Diesel-generisch	0,327	21,8	7,13

For å beregne utslipp pr tonn-km i Tabell 19 er utslippsfaktoren i gram CO2-ekvivalenter pr MJ multiplisert med energibruken i Tank-to-Wheel kjeden, altså framdriftsenergien. Utslippene i Well-to-Tank kjeden utløses for å produsere den mengde energi som benyttes til framdrift.

Oppsummering

Energibruk

Tabell 20 gir energibruk pr tonn-km for godstransport med jernbane i ulike livsløpsfaser. Vi inkluderer estimatene fra ProBas sammen med estimat for norske tog i 2004. Vi bruker de interne navnene på estimatene fra ProBas i tabellen. Estimaten for elektriske godstog i Norge fra ProBas (internnavn Zug-el-Güter-NO-2010 fra ProBas) bygger på elektrisitetsmiksen slik den er definert i ProBas og beskrevet ovenfor i avsnittet om Well-to-Tank energibruk. Estimaten for elektriske godstog i Norge antas å bruke 100% norsk vannkraft.

Tabellen viser at energibruk til infrastruktur utgjør den største delen av samlet energibruk for elektrisk jernbane i Norge, omlag 49% av samlet energibruk. Energi til framdrift av godstogene utgjør nesten 60% for dieseldrevne tog og litt over 40% for elektriske. Grovt regnet utgjør energibruk til produksjon av drivstoffet, Well-to-Tank, omlag 5-10% av samlet energi for elektriske godstog i Norge. Denne energibruken er mye større for elektriske godstog i Tyskland på grunn av den tyske elektrisitetsmiksen som er langt mer energikrevende å produsere enn den norske. Energibruk til produksjon av transportmiddelet er helt marginal sammenliknet med de andre former for energibruk.

Tabell 20 Energibruk i MJ pr tonn-km fordelt på ulike livsløpsfaser for godstransport med elektrisk og dieseldrevet jernbane

MJ pr tonn-km	Tank-to-Wheel	Infrastruktur	Transportmiddel	Well-to-Tank	Sum
Elektrisk tog	0,252	0,298	0,003	0,057	0,610
Dieseltog	0,566	0,298	0,003	0,085	0,951
Zug-el-Güter-NO-2010	0,210	0,298	0,003	0,032	0,543

Zug-el-Güter-DE-2010	0,210	0,298	0,003	0,364	0,875
Zug-Diesel-generisch	0,327	0,298	0,003	0,101	0,729

Utslipp CO2-ekvivalenter

Tabell 21 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr tonn-km for de samme livsløpfasene. Vi har satt utslipp for framdrift av elektriske tog til null siden en elektrisk motor ikke forbrenner fossilt drivstoff.

Estimatet for utslipp av CO2-ekvivalenter i Well-to-Tank kjeden i Tabell 21 for elektriske godstog i Tyskland bygger på den tyske elektrisitetsmiksen. Estimatet for norske elektriske godstog antar 100% vannkraft mens estimatet for norsk elektrisk godstog fra ProBas (Zug-el-Güter-NO-2010) bygger på norsk elektrisitetsmiks slik den er definert i ProBas for 2010 og beskrevet ovenfor.

Tabell 21 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr tonn-km fordelt på ulike livsløpfasene for godstransport med elektrisk og dieseldrevet jernbane

gram CO2-ekv pr tonn-km	Tank-to-Wheel	Infrastruktur	Transportmiddel	Well-to-Tank	Sum
Elektrisk tog	0,00	21,70	0,28	0,72	22,7
Dieseltog	47,00	21,70	0,28	6,57	75,5
Zug-el-Güter-NO-2010	0,00	21,70	0,28	2,35	24,3
Zug-el-Güter-DE-2010	0,00	21,70	0,28	35,91	57,9
Zug-Diesel-generisch	24,60	21,70	0,28	7,13	53,7

Valgte estimat

Vi skal i denne delen presentere 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. Vi velger estimatene som bygger på framdriftsenergi fra SSB (2008) som representative. Estimatet for elektriske godstog i Norge 2004 er nokså like estimatene for elektriske godstog fra den tyske LCA-databasen ProBas. For dieseldrevne godstog ligger estimatet fra SSB noe høyere enn estimatet for generiske godstog fra ProBas. Estimatet i ProBas er for generiske godstog og er ikke representativt for Norge.

Tabell 22 viser energibruk for godstog drevet med elektrisitet og diesel i ulike livsløpfasene i Norge 2010. Tabell 23 viser utslipp av gram CO2-ekvivalenter for de samme tog i de samme livsløpfasene.

Tabell 22 Energiforbruk MJ pr tonn-km for elektriske og dieseldrevne godstog Norge 2010 i ulike livsløpfasene

MJ pr tonn-km	Direkte energikjede	Infrastruktur	Transportmiddel	Brutto direkte energikjede tillegg	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 23 Utslipp gram CO₂-ekvivalenter pr tonn-km for elektriske og dieseldrevne godstog Norge 2010 i ulike livsløpsfaser

gram CO ₂ -ekv pr tonn-km	Tank-to-Wheel	Infrastruktur	Transportmiddel	Well-to-Tank	Sum
Elektrisk tog	0,0	21,7	0,3	0,7	22,7
Dieseltog	47,0	21,7	0,3	6,6	75,5

Til slutt skal vi se på utslipp av SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter fra godstransport med jernbane i Norge 2010.

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 ozondannelse³³.

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

SO₂-ekvivalent er et mål på forsureningspotensiale til et sett med komponenter³⁴. 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.

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 forsureningspotensiale siden antall verdier som sammenliknes blir kraftig redusert. Samtidig sikrer vi at stoffene blir sammenliknet på et enhetlig måte.

Verdiene er hentet fra ProBas. Verdiene fra ProBas er regnet om til gram pr MJ for den direkte energikjede og for tillegget i brutto direkte energikjede. Deretter er utslippsfaktorene multiplisert med energibruk i den direkte energikjeden for å gi utslipp pr passasjer-km, pr vogn-km eller pr tonn-km.

ProBas gir verdier for to energikjeder, den direkte energikjede 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 energibruk i den direkte energikjede siden det er denne mengde energi som utløser utslippene. Med andre ord: Utslippene i Well-to-Tank kjeden utløses for å realisere den mengde energi som brukes i den direkte energikjeden (Tank-to-Wheel).

³³

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

³⁴

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

Det er ikke utslipp av SO2-ekvivalenter eller TOPP-ekvivalenter for framdrift av elektriske godstog. For disse togene er det bare utslipp i brutto direkte energikjede, det vil si ved produksjon av elektrisitet til toget. Vi skal bruke et estimat fra ProBas for norsk vannkraft. Estimatet 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 24 viser utslippsfaktorer for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter for ulike typer godstog i den direkte energikjeden og for tillegget i brutto direkte energikjede. Tabell 25 viser utslipp av SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for ulike typer godstog i direkte energikjede (Tank-to-Wheel) og tillegget i brutto direkte energikjede (Well-to-Tank) i Norge 2010.

Tabell 24 Utslippsfaktorer for SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter i gram pr MJ for ulike energikjeder

	Direkte energikjede		Tillegg brutto direkte energikjede	
	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 25 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstog i ulike livsløpsfaser Norge 2010.

	Tank-to-Wheel		Well-to-Tank	
	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