

PERSONTRANSPORT JERNBANE

Morten Simonsen
Vestlandsforskning
5/2/2010

Innhold

Innledning	5
Transportarbeidet.....	5
Tank-to-wheel energikjede	6
Energibruk.....	6
Energibruk pr tog-km og vogn-km.....	14
Utslipp CO2-ekvivalenter	16
Oppsummering	17
Energibruk.....	17
Utslipp CO2-ekvivalenter.....	19
Indirekte energibruk.....	19
Infrastruktur	19
Energibruk.....	19
Utslipp CO2-ekvivalenter.....	21
Transportmiddel.....	22
Energibruk.....	22
Utslipp CO2-ekvivalenter.....	31
Brutto direkte tillegg - Well-to-Tank.....	32
Energibruk.....	32
Elektrisk strøm.....	32
Diesel.....	35
Utslipp CO2-ekvivalenter	37
Elektriske tog.....	37
Dieseltog.....	38
Oppsummering.....	39
Energibruk.....	39
Utslipp CO2-ekvivalenter	45
Valgte estimat.....	53
Tabell 1 Energiforbruk i MJ pr passasjer-km for tog med ulikt drivstoff Norge 1998-2004	6
Tabell 2 Energibruk til togframføring Norge 2008	7
Tabell 3 Tog-km, passasjer-km og sete-km for ulike typer tog Norge 2008.	7
Tabell 4 Ikke-elektrifiserte jernbanestrekninger Norge	8
Tabell 5 Energibruk pr passasjer-km og pr sete-km for elektriske lokaltog og regionale tog Norge 2008.....	9

Tabell 6 Energibruk pr passasjer-km for utvalgte jernbanestrekninger.....	10
Tabell 7 Energibruk tank-to-wheel pr passasjer-km for amerikansk jernbane	11
Tabell 8 Energibruk i MJ pr passasjerkm for persontransport elektriske tog Tyskland 2005	12
Tabell 9 Energibruk i MJ pr passasjerkm for persontransport dieseldrevne tog Tyskland 2005	13
Tabell 10 Energiforbruk for høyhastighetstog og konvensjonell bane	13
Tabell 11 Energibruk pr tog-km og pr sete-km for ulike typer tog.....	15
Tabell 12 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km Tank-to-Wheel for dieseldrevne tog Tyskland 2005.....	16
Tabell 13 Utslipp av CO2-ekvivalenter i gram pr passasjer-km for framdrift av Caltrain.....	17
Tabell 14 Utslipp CO2-ekvivalenter i gram pr passasjer-km for framdrift av dieseltog. Tank-to-Wheel estimat.....	17
Tabell 15 Tank-to-Wheel energibruk i MJ pr passasjer-km for ulike typer tog.....	18
Tabell 16 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for Tank-to-Wheel kjeden for ulike typer dieseltog i ulike land.....	19
Tabell 17 Fordeling av energibruk i MWh på passasjer- og godstransport jernbane Norge 2004.....	19
Tabell 18 Energibruk infrastruktur for passasjertransport jernbane	20
Tabell 19 Energibruk pr tog-km for jernbanens infrastruktur. Passasjertransport.	21
Tabell 20 Utslipp av CO2-ekvivalenter for jernbanens infrastruktur fordelt på jernbanens passasjertransport	21
Tabell 21 Utslipp CO2-ekvivalenter til jernbanens infrastruktur pr tog-km.....	22
Tabell 22 Materialsammensetning og energibruk for Coradia Lirex	23
Tabell 23 Materialsammensetning i kg for passasjertog Tyskland 2005	26
Tabell 24 Total energibruk i GJ for produksjon av ulike passasjertog Tyskland 2005.....	27
Tabell 25 Total energibruk i GJ for produksjon av ulike passasjertog Tyskland 2005.....	28
Tabell 26 Energibruk i MJ pr passasjer-km for produksjon og vedlikehold av passasjertog USA 2008.	29
Tabell 27 Energibruk MJ pr passasjer-km for produksjon og vedlikehold av transportmiddel	30
Tabell 28 Utslipp av CO2-ekvivalenter for produksjon og vedlikehold av Coradia Lirex.....	31
Tabell 29 Totale utslipp av tonn CO2-ekvivalenter for produksjon av ulike typer tog Tyskland 2005 .	31
Tabell 30 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter som følge av produksjon og vedlikehold av amerikanske tog.....	32
Tabell 31 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for produksjon og vedlikehold av ulike togtyper	32
Tabell 32 Tysk elektrisitet smiks 2005.....	33
Tabell 33 Energibruk Well-to-Tank for elektriske tog	34
Tabell 34 Energibruk Well-to-Tank i MJ pr passasjer-km for ulike dieseltog.....	36
Tabell 35 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for produksjon av elektrisitet til tog....	37
Tabell 36 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for produksjon av drivstoff til dieseltog	38
Tabell 37 Energibruk MJ pr passasjer-km for ulike typer persontog i ulike livsløpsfaser	41
Tabell 38 Energibruk MJ pr tog-km for ulike typer persontog i ulike livsløpsfaser	43
Tabell 39 Energibruk MJ pr sete-km for ulike typer persontog i ulike livsløpsfaser.....	45
Tabell 40 Utslipp av CO2-ekvivalenter gram pr passasjer-km for ulike typer persontog for ulike livsløpsfaser.....	47
Tabell 41 Utslipp av CO2-ekvivalenter gram pr tog-km for ulike typer persontog for ulike livsløpsfaser	50

Tabell 42 Utslipp av CO2-ekvivalenter gram pr sete-km for ulike typer persontog for ulike livsløpsfaser	53
Tabell 43 Energibruk MJ pr tog-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.....	54
Tabell 44 Energibruk MJ pr passasjer-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.....	54
Tabell 45 Energibruk MJ pr sete-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.....	54
Tabell 46 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr tog-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.....	56
Tabell 47 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.....	56
Tabell 48 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr sete-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.....	56
Tabell 49 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tog-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010.	57
Tabell 50 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010.	58
Tabell 51 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr sete-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010	58
Figur 1 Antall passasjerer med norsk jernbane 1950-2008	5
Figur 2 Antall passasjer-km med norsk jernbane 1950-2008.....	6
Figur 3 Estimat MJ pr passasjer-km for ulike elektriske tog	18
Figur 4 Energibruk MJ pr passasjer-km for infrastruktur jernbane fordelt på jernbanens passasjertransport	20
Figur 5 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for jernbanens infrastruktur.....	21
Figur 6 Energibruk i MJ pr passasjer-km for produksjon og vedlikehold av tog.....	30
Figur 7 Prosess-skjema for produksjon av 1 TJ med diesel Tyskland 2010.....	35
Likning 1 Omregning frå passenger-mile til passasjer-km.....	11
Likning 2 Beregning av energibruk pr setekm fra energibruk pr passasjer-km og passasjer-belegg....	14
Likning 3 Beregning av energibruk pr tog-km fra energibruk pr passasjer-km.....	15
Likning 4 Omregning av energibruk pr passenger-mile til passasjer-km.....	29
Likning 5 Utrekning av energibruk pr passasjer-km for Well-to-Tank kjeden ved tapsmultiplikator...	34
Likning 6 Utrekning av tapsmultiplikator gitt Tank-to-Wheel og Well-to-Tank energiestimat.....	37

Innledning

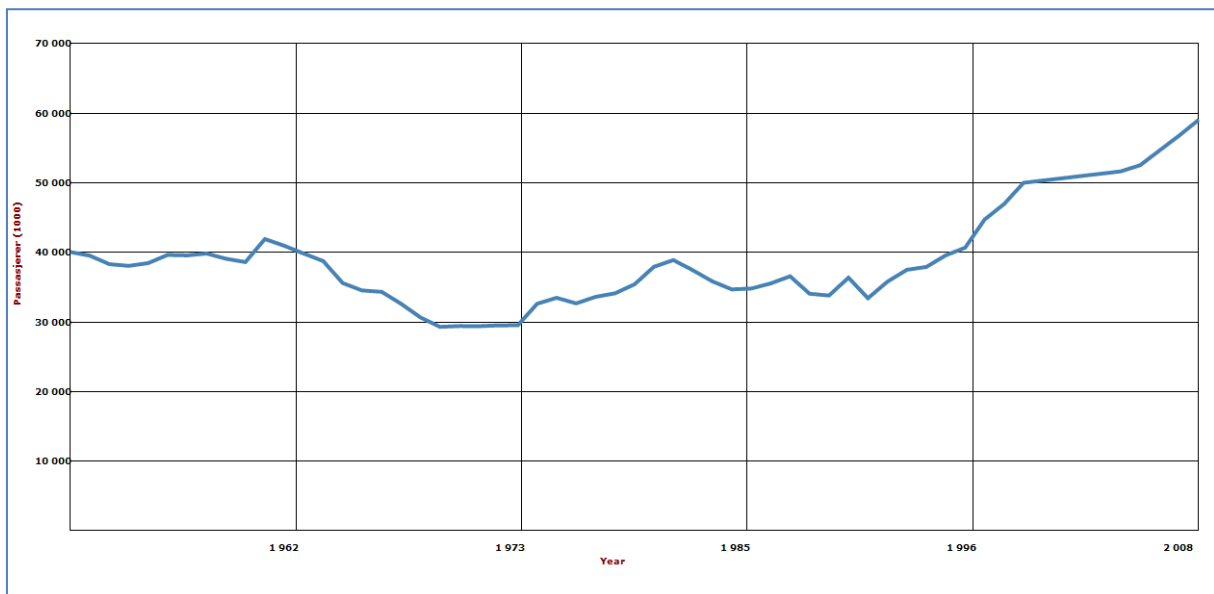
Vi skal i dette notatet se på energibruk og utslipp for jernbanens persontransport. Framstillingen vil bli delt inn i fire deler. Delene svarer til ulike faser i energibruk og utslipp for persontransport med tog. En fase representerer en egen energikjede. En kjede er en sammensetning av flere ledd med energibruk og utslipp. Kjeden vi skal analysere er:

- Energi og utslipp knyttet til framdrift av toget, tank-to-wheel energikjede.
- Energi og utslipp knyttet til framstilling av drivstoff for toget, well-to-tank energikjede.
- Indirekte energibruk og utslipp knyttet til konstruksjon, vedlikehold og drift av jernbanens infrastruktur.
- Energifbruk og utslipp knyttet til fabrikasjon av lokomotiv og vogner for et passasjertog.

Transportarbeidet

Figur 1¹ viser antall passasjerer fraktet med norsk jernbane i årene 1950-2008. Figuren viser at det praktisk talt ikke var noen økning i passasjertransporten fra 1950 til 1996. Deretter viser figuren økning på om lag 34% fra 1996 til 2008 i antall passasjerer.

Figur 1 Antall passasjerer med norsk jernbane 1950-2008

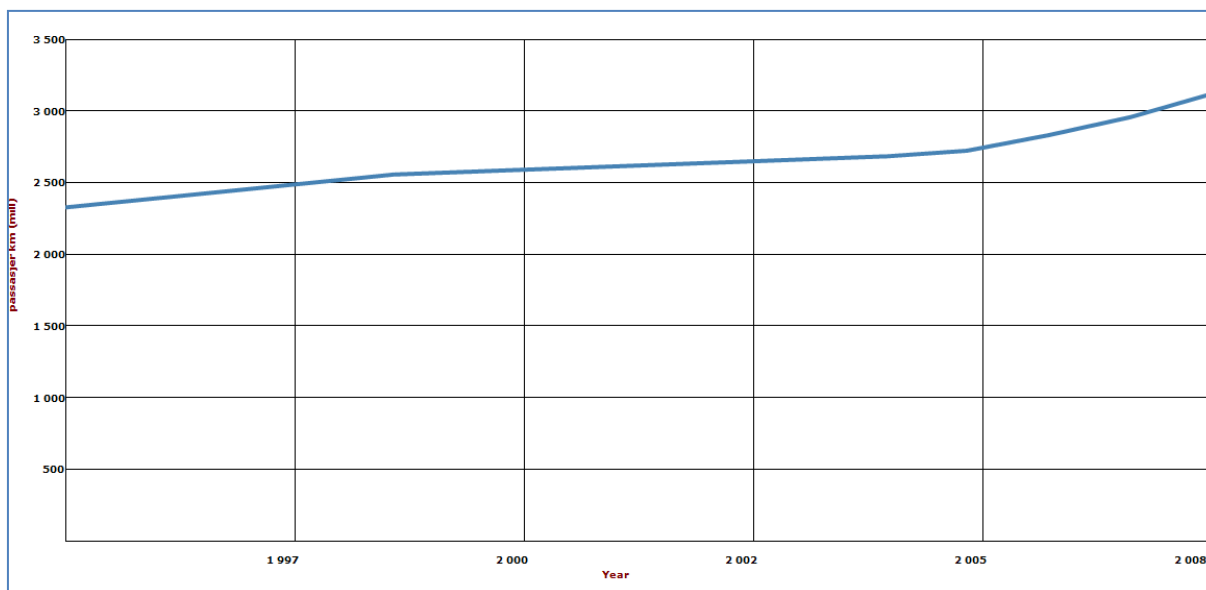


Figur 2² viser endring i antall passasjer-km fra 1994 til 2008. I denne perioden økte antall passasjer-km med 34,1% mens antall reisende i samme periode økte med 55,7%. Siden tallet på passasjerer øker raskere enn tallet på passasjer-km kan vi konkludere med at lengden på jernbanereisene i gjennomsnitt blir kortere i perioden.

¹ Fra 1950-1999 er kilden Statistisk Årbok 2000, tabell 414, <http://www.ssb.no/histstat/aarbok/ht-101210-414.html>, fra 2004-2008 er kilden Statistikkbanken <http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?MainTable=JernbanePerson2&SubjectCode=10&planguage=0&nvl=True&mt=1&nyTmpVar=true>

² Statistikkbanken, samme URL som i fotnoten ovenfor.

Figur 2 Antall passasjer-km med norsk jernbane 1950-2008



Tank-to-wheel energikjede

Energibruk

Vi starter med å se på energibruk og utslipp knyttet til framdrift av passasjertog. SSB (2008) ³ oppgir energibruk og utslipp pr passasjer-km for passasjertog drevet med elektrisitet og diesel. Til sammen utgjorde persontransportarbeidet med elektriske tog 99,9% av det samlede persontransportarbeidet med jernbane i 2004. Estimater for elektriske tog er derfor praktisk talt ensbetydende med estimat for passasjertransport med jernbane i Norge 2004.

Tabell 1 Energiforbruk i MJ pr passasjer-km for tog med ulikt drivstoff Norge 1998-2004

	Elektrisk	Diesel
År	MJ	MJ
1998	0,565	1,011
2004	0,630	1,073

Tallene i Tabell 1 inkluderer tap ved omforming av spenningen på elektrisk strøm til jernbanens nett og tap ved overføring av strøm til toget via kontaktledningen ⁴. SSB anslår dette til om lag 15%. Tallene for 1998 er derfor oppjusterte med denne prosentsetningen for å gjøre de to årene sammenliknbare.

Jernbaneverkets miljørapport 2008 ⁵ gir opplysninger om energiforbruk og transportarbeid for passasjertog i Norge 2008. Energibruken er oppgitt uten tap ved omforming og tap i kjøreledning.

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

⁴ ibid., side 25.

⁵ Miljørapport 2008, Jernbaneverket, <http://www.jernbaneverket.no/PageFiles/7815/Miljørapport%202008.pdf>

Jernbaneverket oppgir det første tapet til 15% og det andre tapet til 5%⁶. Vi bruker tapsmultiplikator på $1,15 \cdot 1,05 = 1,2075$ for å ta hensyn til disse tapene. Ved å multiplisere tapene med hverandre får vi fram at de er gjensidig avhengige, tapet fra kjøreledning beregnes for en mengde energi som på forhånd er omformet med tap.

Tabell 2 Energibruk til togframføring Norge 2008

Energibruk til togframføring		Totalt Energiforbruk med tap	Passasjer-km	Pr passasjer-km
		MWh	mill	MJ
NSB AS	Elektrisk	337 460	2 467	0,492
	Diesel	85 192	305	1,006
NSB Gjøvikbanen AS	Elektrisk	17 265	57	1,090
Flytoget AS	Elektrisk	46 037	282	0,588
Ototbanen AS	Elektrisk	760	1	3,179
SJ AB	Elektrisk	662	3	0,866
Sum	Elektrisk	402 183	2 810	0,515
	Diesel	85 192	305	1,006

Tabell 2 viser energibruk totalt og pr passasjer-km for ulike passasjertog Norge 2008.

SSB's Statistikkbank⁷ inneholder opplysninger om tog-km, passasjer-km og sete-km for ulike typer tog. Togene er fordelt på lokaltog og regiontog. Regiontogene er igjen fordelt på regiontog mellom byer, regiontog på Østlandet og øvrige regiontog.

Tabell 3 Tog-km, passasjer-km og sete-km for ulike typer tog Norge 2008.

2008	Passasjerer (1 000 passasjerer) (A)	Passasjer-km (1 000) (B)	Setekm (1 000 km) (C)	Tog-km (1 000 km) (D)	Seter pr tog (E=C/D)	Passasjerer pr km (F=B/D)	Belegg pst (G=F/E)
Lokaltog	40 351	993 074	3 809 454	12 593	303	78,9	26,1 %
Regiontog Østlandet	6 824	599 416	1 725 579	5 922	291	101,2	34,7 %
Regiontog by-by	3 423	1 032 191	2 115 047	7 293	290	141,5	48,8 %
Regiontog øvrige	2353	151322	655489	3541	185	42,7	23,1 %
Regiontog utenom Østlandet	5 776	1 183 513	2 770 536	10 834	256	109,2	42,7 %
Alle	52 951	2 776 003	8 305 569	29 349	283	94,6	33,4 %

⁶ ibid., side 12.

⁷

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

Vi kan fordele energibruken fra Tabell 2 på togtypene i Tabell 3 ved å bruke opplysninger om tog-km i Tabell 3. Vi forutsetter da at energibruk pr tog-km er den samme for alle typer tog.

For å fordele energibruken mellom togtyper må vi skille mellom passasjertransport med elektriske tog og dieseltog. Tabell 4 viser hvilke jernbanestrekninger i Norge som ikke er elektrifisert ⁸.

Tabell 4 Ikke-elektrifiserte jernbanestrekninger Norge

Nordlandsbanen	734
Rørosbanen	382
Raumabanen	115
Solørbanen	88
Meråkerbanen	70
Stavne-Leangen	6
Sum	1395

Vi har ikke funnet opplysninger om hvor mange passasjer-km og tog-km som blir utført på hver av disse strekningene. I forhold til grupperingen av tog i Tabell 3 vil Nordlandsbanen og Rørosbanen falle inn under kategorien "Regiontog by-by" siden Nordlandsbanen forbinder Trondheim og Bodø mens Rørosbanen forbinder Hamar og Røros. Raumabanen, Solørbanen og Meråkerbanen antar vi faller inn under kategorien "Regiontog øvrige".

I tillegg utføres det en del lokaltrafikk, særlig på Nordlandsbanen i områdene rundt Trondheim og Bodø. Nordlandsbanen forbinder også Trondheim og Steinkjer med Værnes flyplass.

Vi gjør følgende forutsetninger i beregningene: All passasjertransport med dieseltog fordeles på kategorien "Regiontog by-by". Vi antar at det ikke er passasjertransport med dieseltog i kategoriene "Lokaltog" og "Regiontog øvrige".

For å beregne energibruk for passasjertransport med ulike kategorier tog fra Tabell 3 skal vi først beregne tog-km for dieseltog. Vi bruker antall passasjer-km for diesel-tog fra Tabell 2 som er 305 millioner. Vi forutsetter samme antall passasjerer pr km som for kategorien "Regiontog by-by" fra Tabell 3 som er 141,5 passasjer pr km. Ved å dividere antall passasjer-km med gjennomsnittlig passasjerer pr km får vi et estimat for tog-km med dieseltog som vi beregner til 2,15 millioner tog-km. Vi bruker 942 millioner sete-km for dieseltog som er hentet fra NSBs Miljørapport for 2008 ⁹. Vi antar som en forenkling at all produksjon av sete-km med diesel-tog foregår i kategorien "Regiontog by-by".

Vi beregner nye summer for tog-km, sete-km og passasjer-km eksklusive dieseltog for kategorien "Regiontog by-by". Deretter bruker vi Tabell 3 og beregner hver kategoris andel av totale tog-km uten dieseltog og fordeler energibruken fra Tabell 2 til elektriske tog etter disse andelene. Dette gir oss et estimat for energibruken for elektriske tog fordelt etter trafikkarbeidet eller utkjørt distanse.

⁸Jernbanestatistikk 2007, Side 6,

http://www.jernbaneverket.no/Documents/Jernbanen/Jernbanestatistikk_1821829a.pdf

⁹

http://www.nsb.no/getfile.php/www.nsb.no/nsb.no/Bilder/kampanjer/Milj%C3%B8regnskap%202008_v3.pdf

Vi bruker energibruk fra Tabell 2 eksklusive Flytoget siden dette ikke er del av statistikkgrunlaget for SSB's Statistikkbank som Tabell 3 er hentet fra.

Tabell 5 viser resultatet av disse beregningene. Flytoget er ikke tatt med i beregningene. Som tabellen viser er MJ pr vogn-km lik i alle kategorier. Kategorien "Regiontog by-by" har den laveste energibruken pr passasjer-km fulgt av kategorien "Regiontog Østlandet". Den høyeste energibruken pr passasjer-km finner vi for kategorien "Regiontog øvrige" som har en energibruk som er omlag 3 ganger så høyt som kategorien med den laveste energibruken.

Tabell 5 Energibruk pr passasjer-km og pr sete-km for elektriske lokaltog og regionale tog Norge 2008.

Alle km i 1000	Tog-km ekskl. diesel	Sete-km ekskl. diesel	Passasjer-km ekskl. diesel	Tog-km andel	Energi MWh	MJ pr pass-km	MJ pr sete-km	MJ pr tog-km
Lokaltog	12 593	3 809 454	993 074	0,463	164 924	0,598	0,156	47,1
Regiontog Østlandet	5 922	1 725 579	599 416	0,218	77 557	0,466	0,162	47,1
Regiontog by-by	5 138	1 490 076	727 191	0,189	67 290	0,333	0,207	47,1
Regiontog øvrige	3 541	655 489	151 322	0,130	46 375	1,103	0,255	47,1
Alle	27 194	7 680 598	2 471 003	1,000	356 146	0,519	0,167	47,1

Sum passasjer-km i Tabell 5 er lavere enn i Tabell 2 siden Flytoget og Gjøvikbanen AS ikke er med i den siste tabellen. Kategorien "Regiontog øvrige" får en høy energibruk pr passasjer-km fordi passasjerbelegget er lavest for denne kategorien. Dette passasjer-belegget er ikke påvirket av omregningen for dieseltog som er gjort ovenfor. Kategorien "Regiontog by-by" har det høyeste passasjer-belegget fulgt av regiontog på Østlandet mens lokaltog har en langt lavere belegg-prosent.

Ser vi på energibruken pr sete-km får vi en mye jammere fordeling. Her kommer lokaltogene best ut. Med andre ord: Om lokaltogene hadde blitt benyttet sin fulle kapasitet hele tiden ville disse togene vært mest energieffektive. Lokaltog er dimensjonert for å ta unna trafikkbelastning når den er på det høyeste i rush-trafikken. Det vil derfor være umulig å benytte denne kapasiteten fullt ut hele tiden.

For sammenlikningens skyld viser Tabell 6 energibruken for noen utvalgte jernbanestrekninger. Opplysningene er hentet fra SSB (2008) ¹⁰.

¹⁰ 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 3.12, side 49, http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

Tabell 6 Energibruk pr passasjer-km for utvalgte jernbanestrekninger

	MWh	Passasjer-km (1000)	MJ/passasjer-km
Oslo-Bergen	24 473	329 200	0,27
Oslo-Trondheim	20 656	258 800	0,29
Oslo-Halden	14 798	130 600	0,41
Oslo-Larvik	31 185	255 600	0,44
Asker-Lillestrøm (lokaltog)	24 255	67 315	1,30
Asker-Lillestrøm (regiontog)	2 404	19 487	0,44

Tabell 6 viser at kategorien "Regiontog by-by" i Tabell 5 har en energibruk pr passasjer-km som ligger noe over Oslo-Bergen og Oslo-Trondheim men under Oslo-Halden og Oslo-Larvik. Lokaltoget Asker-Lillestrøm har den høyeste energibruken. Energibruken ligger nesten tre ganger så høyt som for samme togstrekning trafikkert med regiontog. Lokaltogene i Tabell 5 har et lavere energibruk enn lokaltog-strekningen Asker-Lillestrøm i Tabell 6.

Chester & Horvath (2008)¹¹ gir estimat for tank-to-wheel energibruk for et framtidig høyhastighetstog i California samt for et dieseldrevet pendertog Caltrain, som trafikkerer strekningen Gilroy-San Francisco i USA. California High Speed Rail (CAHSR) er tenkt å forbinde Los Angeles med San Francisco. Prosjektet ble godkjent ved en folkeavstemning i november 2008. For hvert Caltrain-tog er det antatt 155 passasjerer og for hvert CAHSR-tog 263 passasjerer. Samlet kapasitet er anslått til 345 passasjer for Caltrain¹², dette gir en kapasitetsutnyttelse på 45%.

I gjennomsnitt har hvert tog på Caltrain-linjen tre vogner¹³. Caltrain har i alt 34 lokomotiv og 110 passasjer-vogner. Levetiden for vognene anslås til 30 år. Setekapasiteten er mellom 84 og 148 seter. CAHSR vil ha 42 elektrisk drevne tog med en gjennomsnittsfart på om lag 350 km i timen.

I estimatet fra Chester og Horvath er det antatt at Caltrain-tog blir varmet opp 1 time før de blir satt i drift, 30 minutter etter stopp ved siste stasjon pr dag og 1 time mellom ruter. Stillstandstid ("idling time") er den tiden toget bruker på stasjonene samt den energien toget bruker etter avslutning av ruten. Et Caltrain antas å bruke 147 MJ/tog-km i drift, 9 MJ/tog-km til stillstandsenergi og 19 MJ/tog-km på oppvarming¹⁴.

Estimatet for CAHSR er basert på data for X2000 fra Sverige. Dette toget bruker 0,075 kWh pr passasjer-km i alt hvorav 0,002 kWh/passasjer-km er antatt å være stillstandsenergi. Energi for hjelpesystem er anslått til 0,004 kWh/passasjer-km.

Chester & Horvath deler estimatet for tank-to-wheel energibruk inn i tre komponenter. Den første komponenten er energi til framdrift av toget. Den andre komponenten er stillstandsenergien. Den

¹¹ 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 46-83

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

¹² Det er oppgitt at hver vogn har mellom 82 og 148 passasjer-seter med 3 vogner i hvert togsett. Middelerdien gir 155 passasjerer i hver vogn og 345 seter totalt.

¹³ *ibid.*, side 46.

¹⁴ *ibid.*, side 49.

tredje komponenten kaller de HVAC ("heating, ventilation and air conditioning"), den omfatter oppvarming og ventilasjon av togene. Det oppgis ikke om tap ved overføring av elektrisitet i det amerikanske nettet samt tap ved omforming til det amerikanske jernbanenettet er inkludert. Det antas at dette ikke er tilfelle men at tap ved overføring fra kontaktledning er inkludert og at strømforbruket måles ved inntaket til jernbanens elektrisitetsnett.

Tabell 7 Energibruk tank-to-wheel pr passasjer-km for amerikansk jernbane

	Pr passenger-mile		Pr passasjer-km	
	California High Speed Rail	Caltrain	California High Speed Rail	Caltrain
MJ Pr pass-km				
Drift	0,390	0,900	0,242	0,559
Stillstand	0,020	0,120	0,012	0,075
Belysning, ventilasjon	0,021	0,048	0,013	0,030
Sum	0,431	1,068	0,268	0,664

Tabell 7 viser estimatet fra Chester & Horvath for tank-to-wheel energibruk. Energibruken pr passasjer-km er regnet om fra energibruk pr passenger-mile. Likning 1 viser hvordan omregning fra passenger-mile til passasjer-km er foretatt. Det siste leddet, passenger-mile/passasjer-km er antatt identisk med mile/km. Det er 1,609344 km på 1 mile, altså er mile/km den inverse av dette tallet.

Likning 1 Omregning frå passenger-mile til passasjer-km

$$\frac{\text{Energi}}{\text{Passasjer} - \text{km}} = \frac{\text{Energi}}{\text{Passenger} - \text{mile}} * \frac{\text{Passenger} - \text{mile}}{\text{Passasjer} - \text{km}}$$

Den tyske databasen LCA-databasen ProBas¹⁵ inneholder estimat for elektriske og dieseldrevne passasjertog. I tillegg er estimatene i Probas fordelt på nærtrafikk og fjerntrafikk. Estimaten gjelder for 2005.

ProBas henter estimatene fra regnemodellen TREMOD utviklet av IFEU, Institut für Energie und Umweltforschung. TREMOD gir energi-estimat for hele kjeden Well-to-Wheel¹⁶.

ProBas oppgir hvor mye strøm levert fra det tyske elektrisitetsnettet som er nødvendig for å produsere en passasjerkm med nærtog og fjerntog.¹⁷ Energimengden måles ved inntaket til jernbanens nett. Denne mengden inkluderer energitap ved overføring i det tyske elektrisitetsnettet samt tap ved spenningsomforming og tap ved omdanning fra vekselstrøm til likestrøm for bruk i det tyske jernbanenettet Dette er mengde energi som står til disposisjon for framdrift, altså Tank-to-

¹⁵ Et samarbeidsprosjekt mellom det tyske miljøverndepartementet og Öko-Institut Heidelberg, Tyskland, <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

¹⁶ Netzwerk Lebenszyklusdaten: Datenprojekt Transport. Projektbericht. http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/cms/webdav/site/lca/groups/allPersonsActive/public/Projektberichte/NetLZD-Transport_S01_v04_2007.pdf, side 6

¹⁷ Det tyske jernbanenettet bruker likestrøm, se http://www.dbenergie.de/site/dbenergie/de/leistungen/bahngleichstrom/bahnstrom_gleichstrom_einleitun_g.html mens det tyske elektrisitetsnettet bruker vekselstrøm, se <http://de.wikipedia.org/wiki/Stromnetz>

Wheel energi. Den er gjengitt i Tabell 8, kolonne B. Differensen mellom Well-to-Wheel og Tank-to-Wheel gir estimat for energikjeden Well-to-Tank pr passasjer-km.

Vi gjør oppmerksom på at energitap ved overføring i nasjonale nett er inkludert i Tank-to-Wheel, den direkte energibruken, i estimatene fra ProBas. Dette gjelder ikke for tallene fra SSB. Vi har ikke greid å skille ut energibruken for overføringen i det nasjonale nett fra interne tap i jernbanens nett i estimatene fra ProBas. Dette vil gi høyere Tank-To-Wheel estimat fra ProBas enn for SSB siden systemgrensene er noe ulike. Tallene fra Chester & Horvath er også eksklusive tap ved overføring og distribusjon av elektrisk strøm til jernbanens nett.

Tabell 8 Energibruk i MJ pr passasjerkm for persontransport elektriske tog Tyskland 2005

MJ/ passasjer-km	ProBas Well-to-Wheel (A)	Tank-to-Wheel (B)	Well-to-Tank (C=A-B)	Intemavn ProBas (E) ¹⁸
Nærtrafikk	1,535	0,5310	1,0045	Zug-Personen-Nah-Elektro-DE-2005
Fjemtrafikk	0,803	0,2830	0,5198	Zug-Personen-Fern-Elektro-DE-2005

Tabell 8 viser estimatene fra ProBas. Energibruken for Well-to-Tank kjeden er større enn Tank-to-Wheel kjeden i MJ pr passasjer-km. Dette skyldes at produksjon av elektrisk strøm i Tyskland har en virkningsgrad på litt over 35%. Steinkull alene bidrar med over 37% av energinnholdet i elektrisk strøm i Tyskland 2005, dette gir lav virkningsgrad. I Norge med vannkraft som naturvare for elektrisk strøm ville forholdet mellom Well-to-Tank og Tank-to-Wheel energikjeder se annerledes ut siden

Det antas at energibruken i ProBas omfatter all energibruk for toget, inklusive stillstandsenergi og energi til oppvarming, ventilasjon og belysning. Det antas også at tap ved overføring av strøm fra kontaktledning er inkludert i oppgitt strømforbruk siden strømforbruket måles ved inntaket til jernbanenettet. Tap ved overføring av strøm i det tyske elektrisitetsnettet samt tap ved omforming av strøm til jernbanenettet er inkludert i Tank-to-Wheel estimatet, altså i framdriftsenergien.

Tallene fra ProBas er hentet fra datamodellen TREMOD. I en prosjektrapport fra TREMOD blir det opplyst at energibruk til forflytning av togmateriell ved sporskifte eller til sidespor for avvikling av trafikk ikke er inkludert i energibruken. Det blir hevdet at denne energien er marginal for persontransporten men at den derimot kan være mer betydelig for godstransporten ¹⁹.

ProBas gir også to estimat for dieseltog, ett for nærtrafikk og ett for fjertrafikk. I estimatene er det oppgitt hvor mye diesel som benyttes til produksjon av 1 passasjer-km med dieseltog. Videre gir ProBas et estimat for framstilling av diesel som benyttes. Vi beregner derfor energibruken for dieseltog på samme måte som for elektriske tog ovenfor.

¹⁸ Internavnene kan brukes i Volltextsuche i hovedmeny til å finne estimatene som er gjengitt her.

¹⁹ Netzwerk Lebenszyklusdaten: *Datenprojekt Transport. Projektbericht*. http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/cms/webdav/site/lca/groups/allPersonsActive/public/Projektberichte/NetLZD-Transport_S01_v04_2007.pdf, side 11

Tabell 9 Energibruk i MJ pr passasjerkm for persontransport dieseldrevne tog Tyskland 2005

MJ/ passasjer-km	ProBas Well-to- Wheel (A)	Tank-to- Wheel (B)	Well-to- Tank (C=A-B)	Intemavn ProBas (E)
Nærtrafikk	1,292	1,100	0,192	Zug-Personen-Nah-Diesel-DE-2005
Fjertrafikk	1,139	0,979	0,160	Zug-Personen-Fern-Diesel-DE-2005

Tabell 9 viser estimat for Well-to-Wheel, Tank-to-Wheel samt Well-to-Tank energibruk i MJ per passasjer-km for persontransport med dieseltog Tyskland 2005. Estimaten er fordelt på tog i nærtrafikk og fjertrafikk.

Høyser (2009)²⁰ gir ulike estimat for framdriftsenergi for høyhastighetstog og konvensjonelle tog. Tabell 10 viser estimatene.

Tabell 10 Energiforbruk for høyhastighetstog og konvensjonell bane

Type	Navn	Dimensjo- nerende hastighet	kWh pr setekm	Kapasitets- utnyttning	kWh pr passasjer- km	MJ pr passasjerkm
HSR	X2000	200	0,042	0,55	0,077	0,2772
HSR	Regina	200	0,034	0,2	0,168	0,6048
HSR	OTU-Øresund	180	0,028	0,41	0,069	0,2484
HSR	Flytoget	210	0,049	0,27	0,182	0,6552
HSR	Talgo-Bombardier	330	0,049			
HSR	Shinkansen	270	0,032			
HSR	Madrid-Sevilla	300	0,051			
HSR	ICE-Linje 3	250	0,037			
HSR	ICE-Linje 4	250	0,0347			
HSR	ICE-Linje 6	250	0,035			
HSR	TGV-Sud Est	270	0,046			
HSR	TGV-Atlantique	220-300	0,037			
HSR	TGV-Reseau	300	0,05			
HSR	TGV-Duplex	270-300	0,033			
KB	Norge		0,07	0,55	0,127	0,4572
KB	Spania	200	0,062			
HSR	Median		0,037	0,34	0,109	0,392
KB	Median		0,066	0,55	0,127	0,4572

KB=Konvensjonell bane HSR=Høyhastighetstog

²⁰ Høyser, K.G.: *Høyhastighetstog. Analyser av direkte og brutto direkte energiforbruk*. Høgskolen i Oslo, TDM-Rapport 1/09, side 5.

Høyer definerer direkte energibruk som summen av framdriftsenergi, tilbakeført bremseenergi, intern tapsenergi og standard stillstandsenergi²¹. Tilbakeført bremseenergi kommer til fratrekk, det vil si at uttaket fra kjøreledning (pantograf) reduseres ved tilbakeført bremseenergi. For konvensjonell bane uten tilbakeført bremseenergi regner Høyer med en tapsmultiplikator på 1,2. For høyhastighetstog med bremseenergi inkludert anslås tapsmultiplikator til 1,15.

De konvensjonelle banene har et median forbruk på 0,066 kWh pr setekm som tilsvarer 0,238 MJ pr sete-km. Om vi antar en kapasitetsutnyttelse på linje med norsk konvensjonell bane (0,55) får vi 0,432 MJ pr passasjer-km. Høyhastighetstog har et median forbruk på 0,037 kWh pr setekm. Her varierer kapasitetsutnyttelsen mer, men med en median utnyttelse på 0,34 får vi et estimat på 0,392 MJ pr passasjer-km. Estimater for høyhastighetstog skulle være rimelig sammenliknbart med fjerntog fra den tyske databasen ProBas.

Høyer oppgir at kapasitetsutnyttelsen for franske og tyske høyhastighetstog på midten av 90-tallet var på 0,4-0,7. Dette er høyere enn vårt anslag på 0,34 som inkluderer flytoget og Regina med lav kapasitetsutnyttelse. Med en høyere kapasitetsutnyttelse ville energibruken pr passasjer-km gå ned. En kapasitetsutnyttelse på linje med konvensjonell bane ville gitt 0,242 MJ pr passasjer-km.

Coradia Lirex er et seks-vogner passasjertog som brukes i nærtrafikk i Stockholm-området. I produktdeklarasjonen for toget oppgis energibruken til 1 726 200 kWh pr år (6 214 320 MJ)²². I følge produktdeklarasjonen er passasjer-belegget 17%²³ med en total passasjer-kapasitet på 918 passasjerer inklusive ståplasser. Med en årlig kjørelengde på 180 000 km pr tog²⁴ gir dette 0,221 MJ pr passasjer-km.

Energibruk pr tog-km og vogn-km

For å beregne energibruk pr setekm må vi gjøre forutsetninger om passasjer-belegg for ulike typer tog. Likning 2 viser formelen for utregningen.

Likning 2 Beregning av energibruk pr setekm fra energibruk pr passasjer-km og passasjer-belegg

$$\frac{MJ}{Sete - km} = \frac{MJ}{Passasjer - km} * \frac{Passasjer - km}{Sete - km}$$

Det siste leddet i Likning 2 er passasjer-belegget. I Tabell 3 er passasjer-belegget for ulike kategorier tog gjengitt. Opplysningene er hentet fra SSB's Statistikkbank²⁵. For å beregne energibruk pr setekm for andre typer tog gjør vi følgende forutsetninger:

- For energiestimat fra SSB for elektriske tog bruker vi passasjer-belegget for alle elektriske tog. Dette belegget beregner vi ved å bruke summene for sete-km eksklusive dieseltog (7,68

²¹ ibid., side 21

²² Alstom: *Coradia Lirex. Environmental Product Declaration*, http://www.se.alstom.com/home/about_us/ecopolicy/files/file_32236_59941.pdf, side 6.

²³ Produktdeklarasjonen bruker dette tallet for en sammenlikning med T-bane systemet (ibid., side 11). Det gis ingen empiriske tall for passasjerbelegget. Vi bruker her 17% i forhold til total kapasitet inklusive ståplasser.

²⁴ ibid., Side 5

²⁵

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

milliarder sete-km) , tog-km eksklusive dieseltog (27,2 millioner) og passasjer-km eksklusive dieseltog (2,47 milliarder). Dette gir 282 seter pr tog og 90,9 passasjerer pr km som igjen gir et belegg på 32,2% for elektriske tog.

- For estimatet for fjerntog fra ProBas bruker vi belegget for kategorien "Regiontog by-by" i Tabell 3 på 48,8%. Dette gjelder både for elektriske og dieseltog fra ProBas.
- For estimatet for nærtog fra ProBas bruker vi belegget for kategorien "Lokaltog" fra Tabell 3 som er på 26,1%. Dette gjelder både for elektriske og dieseltog fra ProBas.
- For estimatet for konvensjonell bane bruker vi passasjer-belegget for alle tog fra Tabell 3 som er på 33,4%. Dette er et veid gjennomsnitt for lokaltog og regiontog. Med veid gjennomsnitt mener vi at tog med mange seter teller mer enn tog med færre seter.
- For høyhastighetstog bruker vi passasjer-belegget for kategorien "Regiontog by-by" i Tabell 3.
- Vi bruker samme belegg for estimatet fra Chester & Horvath for California High Speed Rail og for Caltrain som er et diesel tog som forbinder byene Gilroy og San Francisco.
- For Coradia Lirex bruker vi passasjer-belegget for lokaltog fra Tabell 3 siden dette er et tog som brukes i lokaltrafikk i Stockholm-området.

Vi kan også beregne energibruken pr tog-km fra energibruken pr passasjer-km. Vi bruker de samme forutsetninger som ovenfor, men i stedet for å bruke passasjer-belegget fra Tabell 3 bruker vi passasjer pr km for ulike kategorier tog.

Likning 3 Beregning av energibruk pr tog-km fra energibruk pr passasjer-km

$$\frac{MJ}{tog - km} = \frac{MJ}{Pass - km} * \frac{Pass - km}{tog - km}$$

Likning 3 viser formelen for omregning fra energibruk pr passasjer-km til energibruk pr tog-km. Det siste leddet i likningen er identisk med passasjerer pr tog-km.

Tabell 11 Energifbruk pr tog-km og pr sete-km for ulike typer tog

	MJ pr vogn-km		MJ pr sete-km	
	Elektrisk	Diesel	Elektrisk	Diesel
Norge 2004 (SSB)	57,2	151,9	0,203	0,524
ProBas fjerntog	40,1	138,6	0,138	0,478
ProBas nærtog	41,9	86,7	0,138	0,287
Konvensjonell bane Norge	43,2		0,153	
Høyhastighetstog (median)	55,4		0,191	
Chester & Horvath #	37,9	93,9	0,131	0,324
Coradia Lirex	17,4		0,058	
Lokaltog Norge 2008	47,1		0,156	
Regiontog Østlandet	47,1		0,162	
Regiontog by-by	47,1		0,207	
Regiontog øvrige	47,1		0,255	

California High Speed Rail for elektriske tog og Caltrain for dieseltog.

Tabell 11 viser energibruken pr tog-km og pr sete-km for togene som er brukt i denne analysen. For konvensjonell bane opererer vi med lavere passasjer-belegg enn Høyer. Han bruker 55% for

konvensjonell bane mens vi anslår 33,4% basert på sete-km og passasjer-km fra SSB's Statistikkbank. Med et lavere passasjer-belegg får vi et lavere energibruk pr sete-km enn Høyere.

For høyhastighetstog har vi brukt passasjer-belegg fra Statistikkbanken for kategorien "Regiontog by-by" som er på 48,8%. For alle praktiske formål er dette identisk med 50% som Høyere bruker for et framtidig høyhastighetstog i Norge.

Utslipp CO₂-ekvivalenter

Det antas null utslipp av CO₂-ekvivalenter for framdrift av elektriske tog siden elektriske motorer ikke forbrenner fossilt drivstoff.

For dieseltog har vi derimot utslipp av CO₂-ekvivalenter ved forbrenning av fossilt drivstoff. I ProBas er utslippet av CO₂-ekvivalenter delt opp i direkte utslipp og utslipp for hele kjeden inklusive produksjon av drivstoff og transportmiddel.

SSB oppgir et utslipp på 88 gram CO₂-ekvivalenter pr passasjerkm for dieseldrevne tog i Norge 2004. Av dette er 79 gram utslipp av CO₂ alene. Metan (CH₄) står for 0,005 gram pr passasjer-km mens lystgass (N₂O) står for utslipp av 0,03 gram pr passasjerkm. Alle disse tallene er for direkte utslipp av CO₂-ekvivalenter eksklusive utslipp knyttet til framstilling av drivstoffet ²⁶.

ProBas gir estimat for utslipp av CO₂-ekvivalenter for 1 passasjer-km med ulike tog i Tyskland. Estimateret er splittet i totale utslipp inklusive framstilling av drivstoff (Well-to-Wheel) og direkte utslipp som kommer fra framdriften av toget (Tank-to-Wheel). Utslipp fra kjeden Well-to-Tank kan estimeres som differensen mellom de andre to. For de elektriske tog er de siste utslipp null, her er alle utslipp relatert til framstilling av drivstoff og produksjon av transportmiddel. For dieseltog er det estimert direkte utslipp fra framdriften av toget.

Tabell 12 Utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr passasjer-km Tank-to-Wheel for dieseldrevne tog Tyskland 2005

	gram/passasjer-km
Nærtrafikk	81,5
Fjerntrafikk	72,9

Tabell 12 viser direkte utslipp (Tank-to-Wheel) av CO₂-ekvivalenter for produksjon av 1 passasjerkm med dieseltog i Tyskland 2005. Det er et estimat for dieseldrevne tog i nærtrafikk og et estimat for dieseldrevne tog i fjerntrafikk. Dieseldrevne tog i nærtrafikk har om lag 8,6 gram større utslipp pr passasjer-km.

Chester & Horvath (2008) ²⁷ gir et estimat for utslipp av GHG-gasser ²⁸ for California High Speed Rail (CAHSR) og Caltrain. Det siste er et dieseldrevet tog som vil ha direkte utslipp ved framdrift. Utslippene for CAHSR vil vi betrakte som estimat av brutto direkte tillegg, altså Well-to-Tank og ikke Tank-to-Wheel estimat. Chester & Horvath grunnir estimateret med elektrisitetmiksen i California. Denne miksen er relevant for det brutto direkte tillegg men ikke for direkte utslipp fra framdriften av

²⁶ SSB (2008), side 3. SSB kaller dette direkte netto utslipp og energibruk.

²⁷ Chester & Horvath, side 54 og 56.

²⁸ GHG = Greenhouse Gas omfatter CO₂, metan (CH₄) og lystgass (N₂O), se side 14

toget. Siden CAHSR er et elektrisk drevet høyhastighetstog vil det ikke være forbrenning av fossile drivstoff ved framdriften av toget.

Tabell 13 Utslipp av CO2-ekvivalenter i gram pr passasjer-km for framdrift av Caltrain

gram pr passasjer-km	Caltrain
Framdrift	38,5
Stillstand	5,2
HVAC*	2,1
Sum	45,8

Tabell 13 viser utslippene for Caltrain. Det antas her at dette bare er utslipp knyttet til framdriften av toget og at det ikke inkluderer Well-to-Tank utslipp for framstilling av drivstoffet. Omregning fra gram pr passasjer-km til gram pr passasjer-mile er gjort på samme måte som for energibruken.

Tabell 14 viser estimatene for utslipp av CO2-ekvivalenter i gram pr passasjer-km for dieseldrevne tog. Estimater fra SSB er det høyeste, en grunn kan være egenskaper ved rutene som driftes av dieseldrevne tog i Norge. Både California og Tyskland antas å ha ruter med lavere kurvatur.

Tabell 14 Utslipp CO2-ekvivalenter i gram pr passasjer-km for framdrift av dieseltog. Tank-to-Wheel estimat.

SSB	88,0
ProBas-nærtrafikk	81,5
ProBas-fjerntrafikk	72,9
Caltrain	45,8

Oppsummering

Energibruk

Tabell 15 viser energibruk for Tank-to-Wheel kjeden for ulike typer tog i ulike land. Høyhastighetstog i tabellen refererer til median energibruk pr passasjer-km for høyhastighetstog mens konvensjonell bane refererer til norsk jernbane som ikke er høyhastighetstog.

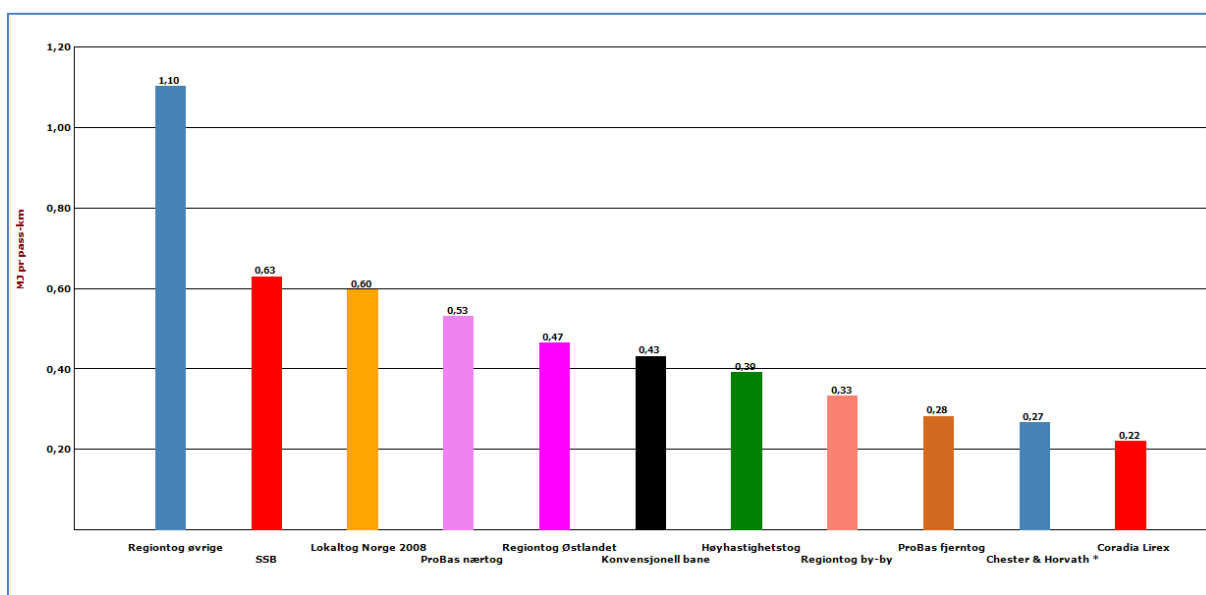
Tabell 15 Tank-to-Wheel energibruk i MJ pr passasjer-km for ulike typer tog

	MJ pr passasjer-km	
	Elektrisk	Diesel
Norge 2004 (SSB)	0,63	1,073
ProBas fjerntog	0,283	0,979
ProBas nærtog	0,531	1,1
Konvensjonell bane Norge	0,457	
Høyhastighetstog (median)	0,392	
Chester & Horvath #	0,268	0,664
Coradia Lirex	0,221	
Lokaltog Norge 2008	0,598	
Regiontog Østlandet	0,466	
Regiontog by-by	0,333	
Regiontog øvrige	1,103	

California High Speed Rail for elektriske tog, Caltrain for diesel.

Figur 3 viser ulike estimat for energibruk pr passasjer-km for elektriske tog. Både høyhastighetstog og konvensjonell bane er inkludert i figuren. Estimatet fra Chester & Horvath gjelder for et framtidig høyhastighetstog i California, USA. Estimatet for elektriske fra SSB er hentet fra tabellen ovenfor.

Figur 3 Estimat MJ pr passasjer-km for ulike elektriske tog



Utslipp CO2-ekvivalenter

Tabell 16 viser utslipp av CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for framdrift av ulike typer dieseltog i ulike land.

Tabell 16 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for Tank-to-Wheel kjeden for ulike typer dieseltog i ulike land

Tank-to-wheel	
Gram pr passasjer-km	Diesel
Norge 2004	88
ProBas fjerntog	73
ProBas nærtog	82
Caltrain	46

Indirekte energibruk

Infrastruktur

Energibruk

I denne delen skal vi se på energibruk og utslipp knyttet til jernbanes infrastruktur. Vi henviser til Simonsen (2010a)²⁹ for en dokumentasjon av energibruk og utslipp knyttet til konstruksjon, vedlikehold og drift av jernbanenettet i Norge.

Vi bruker de samme vekter for å fordele energibruken til konstruksjon, drift og vedlikehold mellom passasjertransport og godstransport. Vektene er beregnet ut fra samlet energiforbruk for passasjertransport og godstransport på jernbane. Tabell 17 viser denne energibruken fordelt på passasjer- og godstransport³⁰. Energibruken for elektriske tog (både passasjer- og gods) er beregnet inklusive tap ved omforming til jernbanenettets spenning og interne tap i ledningsnettet for jernbanen.

Tabell 17 Fordeling av energibruk i MWh på passasjer- og godstransport jernbane Norge 2004

Energibruk MWh	Passasjer	Gods
Elektrisk	370 850	116 750
Diesel	80 654	86 200
Sum	451504	202950
Vekter	0,69	0,31

For levetid og lengde på jernbanenettet som skal konstrueres, vedlikeholdes og driftes i løpet av ett år viser vi til Simonsen (2010b)³¹.

²⁹ Simonsen, M.: *Indirect energy use*, Upublisert notat Vestlandsforskning januar 2010.

³⁰ SSB (2008), http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf, tabell 2.20 og tabell 2.21 side 25 for passasjertransport, tabell 2.42 side 37 og tabell 2.43 side 38 for godstransport. NB! Energibruk for diesel passasjertog tabell 2.21 har feil bruk av desimaltegn. Det skal være 80 654 MWh med 6740000 mg diesel og 43,1 MJ pr kg diesel (se side 15).

³¹ Simonsen, M.: *Levetid og lengde for vei og jernbane*, Upublisert notat Vestlandsforskning januar 2010.

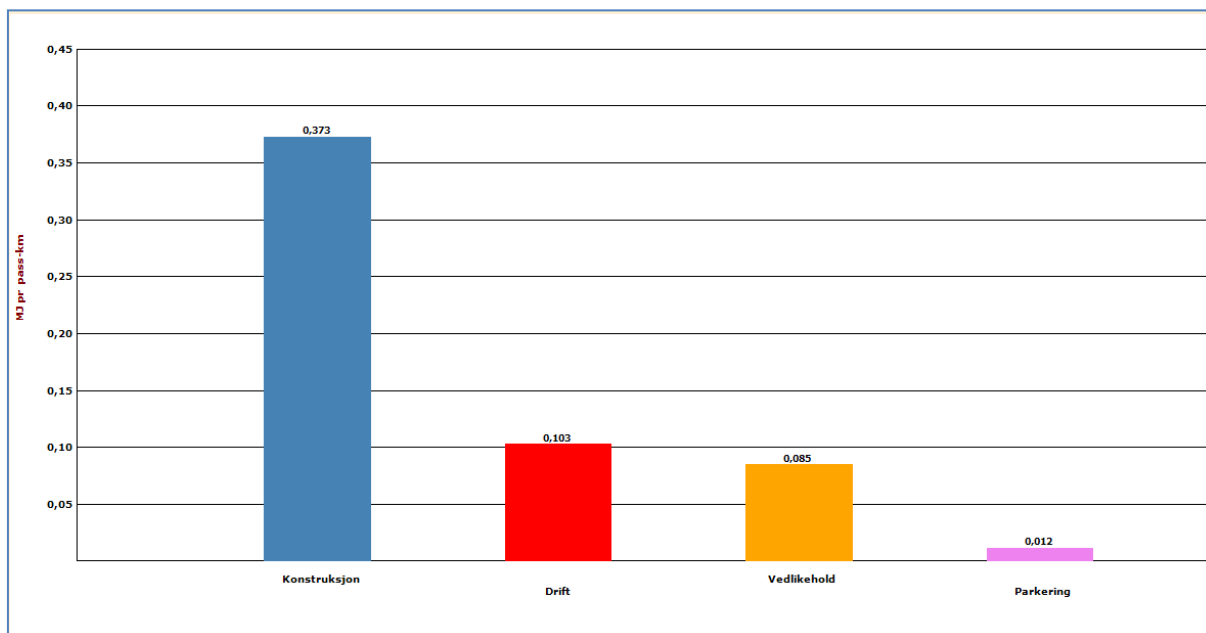
Med disse forutsetninger viser Tabell 18 energibruken for passasjertransport med jernbane for ett år. Kolonne A viser samlet energibruk for ulike aktiviteter for infrastruktur over hele jernbanenettets levetid. Kolonne B viser denne energibruken for ett år under forutsetning om ulik levetid for ulike komponenter slik som underbygning, overbygning, signalanlegg osv. Energifbruken omfatter ikke stasjoner for jernbanens infrastruktur ³².

Kolonne C gir energibruken for passasjertransport med den vekten som er gitt passasjertransport med jernbane ovenfor. All energibruk til parkering ved jernbanestasjoner er fordelt på passasjertransporten. Kolonne D gir energibruk pr passasjer-km for ett år. For å beregne effekten pr passasjer-km er det brukt 2 910 millioner passasjer-km med jernbane i 2007 ³³. Dette omfatter ikke transportarbeid utført av t-bane.

Tabell 18 Energifbruk infrastruktur for passasjertransport jernbane

Aktivitet	TJ levetid (A)	TJ pr år (B)	TJ pr år passasjer-transport (C)	MJ pr passasjer-km pr år (D)
Konstruksjon	63 000	1 575	1 087	0,373
Parkering	1 382	35	35	0,012
Drift	17 455	436	301	0,103
Vedlikehold	9 000	360	248	0,085
Total	90 836	2 406	1 671	0,574

Figur 4 Energifbruk MJ pr passasjer-km for infrastruktur jernbane fordelt på jernbanens passasjertransport



³² Estimaten er delvis hentet fra Schlaupitz, H.: *Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystem*, Norges Naturvernforbund, Rapport 3/2008. Hans estimat omfatter bare den delen av stasjoner som er relevant for avvikling av togtrafikken. http://naturvern.imaker.no/data/f/1/24/31/4_2401_0/Rapport_250908.pdf

³³ <http://www.ssb.no/aarbok/tab/tab-414.html>

Figur 4 viser energibruken i MJ pr passasjer-km for ulike aktiviteter for infrastruktur jernbane fordelt på jernbanens passasjertransport.

SSB's Statistikkbank ³⁴ opplyser at norske passasjer-tog i 2008 tilbakela 29 349 000 tog-km. Tabell 19 viser energibruk for konstruksjon, drift og vedlikehold av infrastruktur pr tog-km for passasjertog i Norge.

Tabell 19 Energibruk pr tog-km for jernbanens infrastruktur. Passasjertransport.

MJ pr tog-km	
Konstruksjon	37,0
Parkering	1,2
Drift	10,3
Vedlikehold	8,5
Total	56,9

Utslipp CO2-ekvivalenter

Tabell 20 viser utslipp av CO2-ekvivalenter for jernbanens infrastruktur fordelt på jernbanens passasjertransport. Vi viser til Simonsen (2010a) for en dokumentasjon av utslippene.

Tabell 20 Utslipp av CO2-ekvivalenter for jernbanens infrastruktur fordelt på jernbanens passasjertransport

Aktivitet	Tonn CO2-ekv levetid (A)	Tonn CO2-ekv pr år (B)	Tonn CO2-ekv pr år passasjertransport ©	g CO2-ekv pr passasjer-km pr år (D)
Konstruksjon	4 723 600	118 090	81 470	28,0
Drift	821 589	20 540	14 170	4,9
Vedlikehold	850 000	34 000	23 456	8,1
Total	6 395 189	172 630	119 096	40,9

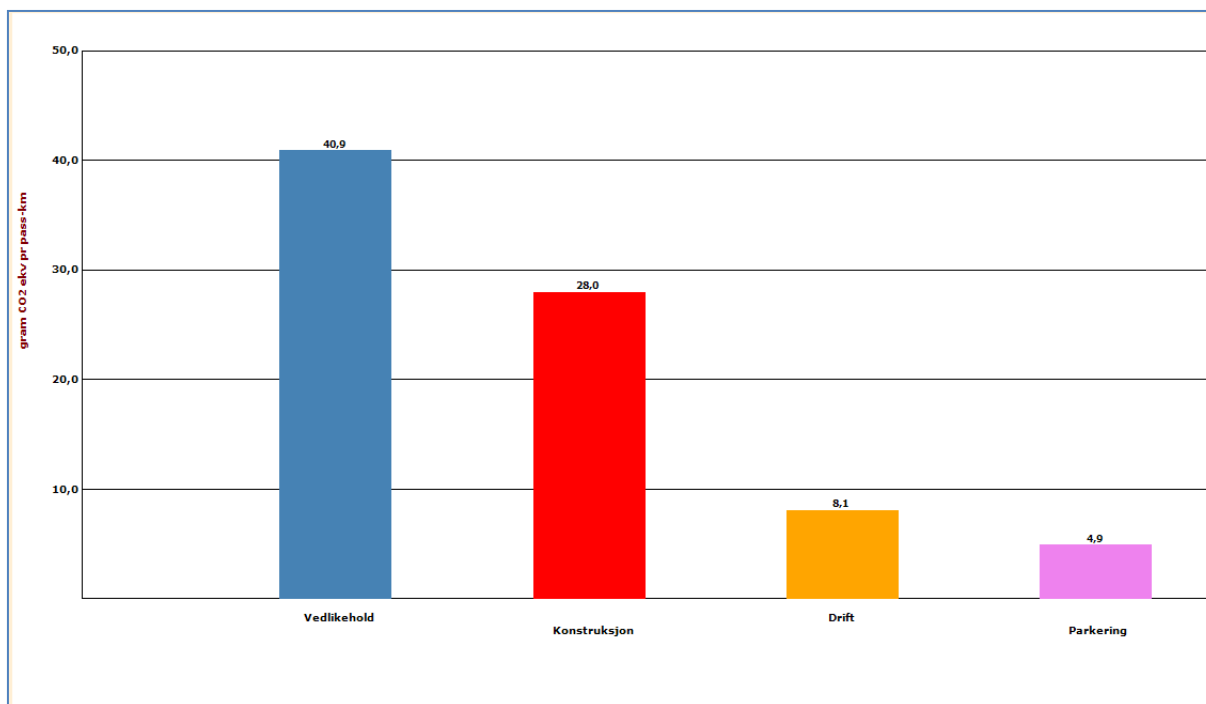
Kolonne A viser utslippet over hele infrastrukturens levetid. Kolonne B viser utslippene fordelt pr år med forutsetninger om ulik levetid for ulike komponenter i jernbanens infrastruktur. Vi viser til Simonsen (2010b) for en dokumentasjon av levetid for ulike komponenter samt lengde av nettet som skal konstrueres, vedlikeholdes og driftes hvert år. Levetid og lengder brukes til å beregne utslippsmengde pr år og pr levetid.

Kolonne C viser utslippene fordelt over ett år bare på jernbanens passasjertransport. Vi viser til vektene ovenfor. Kolonne D viser utslipp pr passasjer-km. Det er 2 910 millioner passasjer-km med jernbane i 2007 som ovenfor.

Figur 5 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for jernbanens infrastruktur

34

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



Figur 5 viser utslipp av CO2-ekvivalenter for jernbanens infrastruktur pr passasjer-km.

Tabell 21 viser utslipp av CO2-ekvivalenter for konstruksjon, drift og vedlikehold av jernbanens infrastruktur pr tog-km for passasjer-tog i Norge. Vi har brukt 29 349 000 tog-km for alle passasjer-tog som er hentet fra SSB's Statistikkbank for 2008

Tabell 21 Utslipp CO2-ekvivalenter til jernbanens infrastruktur pr tog-km

Konstruksjon	2775,9
Drift	482,8
Vedlikehold	799,2
Sum	4057,9

Transportmiddel

Energibruk

I denne delen skal vi se på energibruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for produksjon av transportmiddel for jernbanens passasjertransport.

Coradia Lirex er et passasjertog som brukes til nærtrafikk i Stockholm. Toget har 6 vogner og veier 206 tonn. Maksimalhastigheten er på 160 km/timen. Toget er produsert av Alstom og har en samlet kapasitet på 375 seter. Alstom har utgitt en miljødeklarasjon for toget som vi skal benytte her til å beregne energibruk og utslipp knyttet til produksjon av transportmiddel for passasjertransport med jernbane.

Tabell 22 Materialsammensetning og energibruk for Coradia Lirex

Materialer	Tonn	Energibruks- faktorer MJ/kg	Total energi GJ
Stål	82,4	22,8	1 882
Rustfritt stål	42,3	53,0	2 242
Støpejern	23,7	19,9	472
Aluminium	18,0	175,9	3 166
Kopper	10,5	48,9	513
Gummi	2,6	36,6	95
Glass	3,8	12,0	45
Total	183,3		8 415

Tabell 22 viser materialsammensetning og energibruk for Coradia Lirex. Energibruksfaktorene for de ulike materialer er dokumentert i Simonsen (2009a) ³⁵. Analysen av Coradia Lirex er dokumentert i Simonsen (2009b) ³⁶. Materialene i

³⁵ Simonsen, M.: *Energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for ulike metaller*. Upublisert notat Vestlandsforskning juni 2009.

³⁶ Simonsen, M.: *Energy requirements and CO2-emissions from manufacturing and maintenance of locomotives and trains*. Upublisert notat Vestlandsforskning mars 2009.

Tabell 22 utgjør til sammen 183,3 tonn av en samlet vekt på 206 tonn. De resterende materialer er gruppert i grovere kategorier som gjør det vanskelig å anvende energibruksfaktorer på hele gruppen.

Materialene i

Tabell 22 gir en samlet energibruk på 8 415 GJ. Produktdeklarasjonen inneholder ikke noe estimat for energibruk for produksjon av toget. Energibruken i tabellen omfatter bare energi nedfelt i materialer og ikke prosessenergi ved selve fabrikken hvor toget blir produsert. Ut fra analyser av produksjon av lokomotiv anslås prosessenergien til 10% av samlet energi i materialer. Dette gir til sammen 9 256 GJ for produksjon av toget. Energi til vedlikehold av Coradia Lirex er også gjort med bakgrunn i analyser av lokomotiv. For lokomotiv ble det anslått at energien til materialer for vedlikehold utgjør 15% av samlet energi til utvinning og framstilling av materialer for produksjon. Ved å bruke samme forholdstall for Coradia Lirex anslås energibruken til vedlikehold til 1 304 GJ for hele togets levetid.

For å beregne energibruken pr passasjer-km trenger vi et anslag på kjørelengde og kapasitetsutnyttelse for ett år. Kjenner vi togets levetid kan vi multiplisere det årlige transportarbeidet med levetiden. Dette vil gi oss et samlet transportarbeid som energibruken til produksjon av transportmiddelet kan beregnes i forhold til.

Produktdeklarasjonen til Alstom oppgir den årlige kjørelengde for toget til 180,000 km³⁷. Samtidig oppgis levetiden til toget til 30 år. Alstom presenterer et regnestykke hvor den direkte energibruken til Coradia Lirex sammenliknes med energibruken til et T-bane system. Her oppgis kapasitetsutnyttelsen til 17% for den samlede passasjerkapasiteten. Vi antar her at dette inkluderer ståplasser i tillegg til setekapasiteten. Produktdeklarasjonen oppgir den samlede passasjerkapasiteten til 918 passasjerer inklusive 544 ståplasser og 374 seter³⁸.

Med disse forutsetningene finner vi et samlet transportarbeid på 28 090 800 passasjerkm for ett år og 842 724 000 passasjer-km for hele levetiden. I dette regnestykket er ståplasser inkludert.

Vi har beregnet den samlede energimengde til konstruksjon og vedlikehold av transportmiddelet til 10 560 GJ hvorav 1 304 GJ er energibruk til vedlikehold. Dette gir 0,0125 MJ pr passasjer-km og 1,96 MJ pr vogn-km. Om vi regner 17% i forhold til *setekapasiteten* får vi 0,031 MJ pr passasjer-km.

En kapasitetsutnyttelse på 17% er lavt. Høyer oppgir en kapasitetsutnyttelse på 55% for norsk konvensjonell jernbane³⁹. Med gjennomsnittet for konvensjonell bane får vi 0,0095 MJ/passasjer-km.

ProBas har estimat for tog i fjern- og nærtrafikk. Estimaten er også fordelt på elektriske og dieseldrevne tog. Tabell 23 viser materialsammensetningen for disse passasjertog Tyskland 2005. Sammensetningen er lik for tog i nærtrafikk enten de er elektriske eller dieseldrevne. For fjertogene derimot er det en vesentlig forskjell, det dieseldrevne passasjertog for fjerntrafikk er nesten 200 tonn tyngre enn det elektriske. Fjertogene er fra dobbelt så tunge til tre ganger så tunge som tog i nærtrafikk.

Tabell 23 Materialsammensetning i kg for passasjertog Tyskland 2005

	Nærtog elektrisk (A)	Fjertog elektrisk (B)	Nærtog diesel (C)	Fjertog diesel (D)	MJ/kg (E)	Kg CO2-ekvivalenter pr kg

³⁷ http://www.se.alstom.com/home/about_us/ecopolicy/_files/file_32236_59941.pdf , side 5

³⁸ Side 2.

³⁹ Høyer (2009), side 25.

						(F)
Aluminium	12900	54 200	12 900	81 200	175,9	16,9
Bly	1868	0	1 868	0	14,7	1,1
Glass	9315	30 100	9 315	45 100	12,0	1,1
Kobber	9018	20 700	9 018	31 000	27,2	2,1
Plastikk	18400	101 000	18 400	151 000	55,6	5,0
Tre	1649	0	1 649	0	2,5	0,1
Stål	147000	194 000	147 000	291 000	34,7	2,6
Sum	200 150	400 000	200 150	599 300		

Tabell 24 viser at materialsammensetningen er dominert av stål, plastikk og aluminium. Stålet er varmforsinkete valsede stålplater. Aluminium består av en miks av stål fra Tyskland (33%), Russland (30%), Australia (12%), Tropene (17%) og Norge (8%). Plastikk er kunststoff-skum laget av polyuretan. Plastikk utgjør under 10% av materialsammensetningen for nærtog men over en fjerdedel av sammensetningen for fjerntogene. Derimot utgjør stål nesten tre fjerdedeler av togene i nærtrafikk men under halvparten av togene i fjerntrafikk.

Kolonne E i Tabell 24 viser energibruksfaktoren for de ulike materialene hentet fra ProBas. Kolonnen viser hvor mye energi som kreves for å produsere 1 kg av de ulike materialene. Kolonne F viser utslipp av kg CO₂-ekvivalenter for produksjon av 1 kg materiale. Alle utslipp og energibruk i hele produksjonskjeden for alle materialer er inkludert i beregningene.

Tabell 24 Total energibruk i GJ for produksjon av ulike passasjertog Tyskland 2005

GJ	Tog nærtrafikk elektrisk (A)	Tog fjerntrafikk elektrisk (B)	Tog nærtrafikk diesel (C)	Tog fjerntrafikk diesel (D)
Aluminium	2 269	9 532	2 269	14 281
Bly	27	0	27	0
Glass	111	360	111	539
Kopper	245	562	245	842
Plastikk	1 023	5 616	1 023	8 396
Tre	4	0	4	0
Stål	5 104	6 736	5 104	10 104
Sum	8 784	22 807	8 784	34 163

Multipliserer vi materialbruken med energibruksfaktorene i kolonne E i Tabell 24 kan vi konstruere Tabell 25 som viser total energibruk for produksjon av materialer til ulike passasjertog Tyskland 2005. Energifbruken for elektriske og dieseldrevne nærtog er identiske. Til sammenlikning var energifbruken for produksjon av materialer til Coradia Lirex beregnet til 8 415 GJ.

Tabell 25 Total energibruk i GJ for produksjon av ulike passasjertog Tyskland 2005

GJ	Tog nærtrafikk elektrisk (A)	Tog fjerntrafikk elektrisk (B)	Tog nærtrafikk diesel (C)	Tog fjerntrafikk diesel (D)
Aluminium	2 269	9 532	2 269	14 281
Bly	27	0	27	0
Glass	111	360	111	539
Kopper	245	562	245	842
Plastikk	1 023	5 616	1 023	8 396
Tre	4	0	4	0
Stål	5 104	6 736	5 104	10 104
Sum	8 784	22 807	8 784	34 163

Prosessenergien for produksjon av togene kommer i tillegg til energien bundet i materialsammensetningen. ProBas gir ikke noe estimat for denne prosessenergien pr tog. På bakgrunn av opplysninger om Coradia Lirex anslår vi 10% mer for prosessenergi. Energibruken for materialene inneholder ikke energi for vedlikehold av toget. Til sammen utgjorde energi for produksjon av toget inklusive prosessenergi 87,7% av samlet energibruk. Dette gir 14,1% mer for vedlikehold. Med multiplikatorene 1,0999 og 1,1409 får vi til sammen 28 620 GJ for produksjon og vedlikehold av elektriske tog i fjerntrafikk.

ProBas gir ingen estimat for transportarbeidet for de ulike tog. I følge Wikipedia produserte 260 ICE-tog i Tyskland 2000 til sammen 13,92 milliarder passasjer-km⁴⁰. Dette gir 53,54 millioner passasjer-km pr tog. Vi antar at ICE-togene er sammenliknbare med elektriske tog i fjerntrafikk i tabellen ovenfor. Da får vi 28 620 GJ fordelt på 1 606,2 millioner passasjer-km som er transportarbeidet for ett tog med 30 års levetid. Dette gir 0,0178 MJ pr passasjer-km. Det er forutsatt 46% utnyttelsesgrad for ICE-togene i Tyskland 2000. I dette regnestykket har vi antatt at alle ICE-tog er elektriske⁴¹. Estimater samsvarer rimelig god med estimatet for Coradia Lirex i nærtrafikk i Stockholm. I estimatene for ICE-tog Tyskland er alle energi til produksjon (inklusive prosessenergi) og vedlikehold inkludert ved å bruke multiplikatorene som er beskrevet ovenfor.

Chester og Horvath gir et estimat for produksjon av transportmiddel til framtidig høyhastighetsbane i California og et dieseldrevet pendlertog på strekningen Gilroy-San Francisco (Caltrain)⁴². Deres

⁴⁰ http://de.wikipedia.org/wiki/Intercity-Express#Erste_Generation, for antall tog se http://de.wikipedia.org/wiki/Intercity-Express#Eingesetztes_Zugmaterial

⁴¹ Dette er ikke helt korrekt. Det finnes diesel ICE-tog som trafikkerer strekninger med mange kurver hvor togene ikke kan utnytte topp hastighet. Det har vært problem med dieseltogene og de blir mest brukt som forsterknings- og avlastningstog for de elektriske togene. Vi antar dermed at forutsetningen om bare elektriske tog er forsvarlig. Se http://de.wikipedia.org/wiki/Intercity-Express#Neigetchnik-Z.C3.BCge_f.C3.BCr_Ausbaustrecken_ICE-T.2C_ICE-TD.

⁴² 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 54-56
http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=its/future_urban_transport

estimat er fordelt på produksjon og vedlikehold av transportmiddelet. Vedlikeholdet er igjen delt inn i tre deler, en for vanlig vedlikehold, en for rengjøring av vogner og en del for erstatning av gulvet i vognene. Det vanlige vedlikeholdet omfatter erstatning av materialer, sliping av hjul, smøremiddel, vedlikehold av bremses og inspeksjon.

Caltrain tog antas å veie 360 tonn, mens vekten for California High Speed Rail (CAHSR) ikke er oppgitt, det opplyses at vekten er satt lik et høyhastighetstog fra LCA-databasen SimaPro som bygger sine estimat på tog fra Sveit og Tyskland. SimaPro gir te ulike estimat, et for landdistansetog, et for trikk ("light rail") og et for høyhastighetstog. Langdistansetog er brukt som modell for estimering av Caltrain. Estimatet er bygd opp ved å multiplisere forventet vekt med energibruksfaktorer og utslippsfaktorer

Vi gjentar at kapasitetsutnyttelsen på Caltrain-togene anslås til 45% (se ovenfor). Samlet energibruk til produksjon av transportmiddelet er anslått til 30 TJ for Caltrain og 44 for CAHSR. Samlet energi til vedlikehold er anslått til 25 TJ for hele levetiden for Caltrain og 28 TJ for CAHSR. Vedlikeholdet er også estimert ved hjelp av SimaPro på samme måte som for produksjon av transportmiddelet. Gulvet i togene er anslått å være teppe med levetid 4 år eller fast belegget med levetid 10 år. Rengjøring foregår hver dag med støvsuging.

Tabell 26 Energibruk i MJ pr passasjer-km for produksjon og vedlikehold av passasjertog USA 2008.

	MJ pr passenger-miles travelled		MJ pr passasjer-km	
	California High Speed Rail	Caltrain	California High Speed Rail	Caltrain
Produksjon	0,000017	0,16	0,00001	0,0994
Vedlikehold	0,000011	0,13	0,00001	0,0808
Vedlikehold-rengjøring	4,5E-08	0,00032	0,00000	0,0002
Vedlikehold-erstatning gulv	0,0000071	0,005	0,00000	0,0031
Sum	0,00004	0,29532	0,00002	0,1835

Tabell 26 viser resultatet. Deres estimat er gitt i MJ pr passenger-miles travelled. Tabell 26 viser de originale tall samt omregningen til MJ pr passasjer-km. Likning 4 viser omregningsformelen. Det er antatt 0,62137 (1/1,609344) passenger-miles pr passasjer-km.

Likning 4 Omregning av energibruk pr passenger-mile til passasjer-km

$$\frac{\text{Energi}}{\text{Pass} - \text{km}} = \frac{\text{Energi}}{\text{Pass} - \text{miles}} * \frac{\text{Pass} - \text{miles}}{\text{Pass} - \text{km}}$$

Estimatene fra Chester & Horvath ligger betydelig høyere for dieseltog i nærtrafikk og betydelig lavere for elektriske tog i fjerntrafikk. Kapasitetsutnyttelsen i Caltrain er noe lavere enn konvensjonell bane i Norge i følge Høyer (2009) og dette kan være noe av forklaringen.

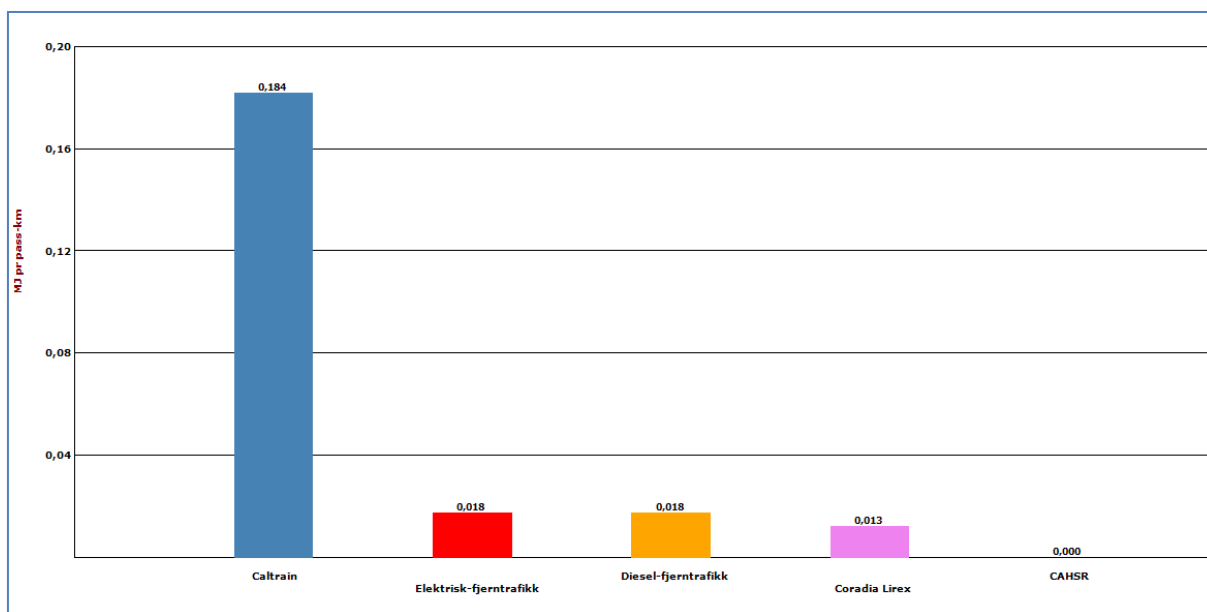
Denne gjennomgangen gir oss oversikten i Tabell 27. For elektriske tog i fjerntrafikk har vi bruke ICE-tog Tyskland 2000. Vi har brukt samme estimat for dieseltog i fjerntrafikk.

Tabell 27 Energibruk MJ pr passasjer-km for produksjon og vedlikehold av transportmiddel

Togtype	MJ pr passasjer-km
Elektrisk-fjerntrafikk	0,0178
Diesel-fjerntrafikk	0,0178
Caltrain	0,1835
CAHSR	0,00002
Coradia Lirex	0,0125

Det er en del usikkerhet knyttet til beregningene. For det første anslaget på kapasitetsutnyttelse som har vært brukt i beregningene. For det andre hvordan vedlikehold er håndtert i de ulike estimat. Vi har ikke klart å etterprøve om vedlikehold er inkludert i tallene fra ProBas. Når det gjelder Caltrain er vedlikeholdsdelen stor sammenliknet med de andre togtypene vi har vedlikeholdsestimater for. Når det gjelder Coradia Lirex er vedlikeholdet estimert på bakgrunn av andel energimengde som ble brukt til vedlikehold av lokomotiv. Dette er en klar feilkilde. Denne andelen var på 15,5%⁴³. Estimateret for Caltrain viser en vedlikeholdsandel på 46% inklusive rengjøring og skifte av gulv i vognene.

Figur 6 Energibruk i MJ pr passasjer-km for produksjon og vedlikehold av tog



⁴³ Simonsen (2009)

Figur 6 viser energibruken i MJ pr passasjer-km for produksjon og vedlikehold av ulike tog.

Utslipp CO2-ekvivalenter

Produktdeklarasjonen for Coradia Lirex inneholder informasjon om utslipp av CO2-ekvivalenter for produksjon og vedlikehold av toget. Informasjonen er splittet på utslipp knyttet til utvinning og fabrikasjon av materialer, utslipp knyttet til framstilling av toget ved fabrikken i Salzgitter, Tyskland og utslipp knyttet til vedlikehold av toget. Tabell 28 viser opplysningene.

Tabell 28 Utslipp av CO2-ekvivalenter for produksjon og vedlikehold av Coradia Lirex

	tonn CO2-ekvivalenter
Produksjon av materialer	720
Produksjon av en enhet (6 vogner) i fabrikk i Salzgitter	880,5
Vedlikehold	56,2
Sum	1656,7

Med antatt 343 332 000 passasjer-km for hele levetiden gir dette 1,97 gram pr passasjer-km. Med antatt 180 000 km pr år og en levetid på 30 år får vi til sammen 5,4 millioner tog-km og et utslipp på 307 gram pr tog-km.

Vi kan beregne utslipp av CO2-ekvivalenter for tog i Tyskland ut fra opplysninger om materialbruk og utslippsfaktorer pr kg materiale som er gjengitt ovenfor. Tabell 29 viser totale utslipp av tonn CO2-ekvivalenter for ulike tog Tyskland 2005.

Tabell 29 Totale utslipp av tonn CO2-ekvivalenter for produksjon av ulike typer tog Tyskland 2005

	Tog nærtrafikk elektrisk	Tog fjerntrafikk elektrisk	Tog nærtrafikk diesel	Tog fjerntrafikk diesel
	(A)	(B)	(C)	(D)
Aluminium	218	916	218	1 372
Bly	2,1	0,0	2,1	0,0
Glass	11	34	11	51
Kopper	19	43	19	64
Plastikk	92	504	92	753
Tre	0,2	0,0	0,2	0,0
Stål	381	502	381	754
Sum	722	1 999	722	2 994

Vi kan beregne utslipp av CO2-ekvivalenter pr passasjer-km med de samme forutsetninger om transportarbeid for ICE-tog som er gjengitt ovenfor. Vi bruker de samme multiplikatorer for prosessenergi og vedlikehold som vi gjorde for beregninger av energibruken. Vi får da 2 509 tonn CO2-ekvivalenter for produksjon og vedlikehold av elektriske tog i fjerntrafikk, inklusive prosessenergi og vedlikehold. Med 1 606,2 millioner passasjer-km over hele levetiden gir dette 1,56 gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km.

Chester & Horvath gir også estimat⁴⁴ for utslipp av GHG-gasser som følger av produksjon og vedlikehold av ulike tog, Vi skal presentere et estimat for California High Speed Rail som er et framtidig høyhastighetstog og et for Caltrain som er et dieseldrevet pendlertog. Tabell 30 viser estimatene.

Tabell 30 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter som følge av produksjon og vedlikehold av amerikanske tog.

gram pr passasjer-km	California High Speed Rail	Caltrain
Produksjon	0,001	6,0
Vedlikehold	0,000	3,7
Vedlikehold-rengjøring	0,000	0,0
Vedlikehold-gulv	0,000	0,2
Sum	0,001	9,9

Disse estimatene er svært ulike de tilsvarende estimat fra Coradia Lirex og ProBas. Caltrain ligger høyt, om lag 7,3 gram mer pr passasjerkm enn dieseltog i nærtrafikk i Tyskland. California High Speed Rail ligger meget lavt sammenliknet med andre estimat. Estimaten for tilsvarende elektriske tog i Tyskland har utslipp i størrelsesorden 100 ganger større for produksjon og vedlikehold av transportmiddelet.

Tabell 31 gir en oppsummering av estimat for utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km som er knyttet til produksjon og vedlikehold av transportmiddelet tog. Vi bruker samme utslippsfaktor for dieseltog i fjerntrafikk som for elektriske tog i fjerntrafikk for estimatene fra ProBas.

Tabell 31 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for produksjon og vedlikehold av ulike togtyper

	Elektrisk	Diesel
Coradia Lirex	1,97	
ProBas tog fjerntrafikk	1,56	1,56
CAHSR-Caltrain	0,001	9,9

CAHSR= California High Speed Rail, elektrisk høyhastighetstog, Caltrain=Diesel pendel tog

Brutto direkte tillegg - Well-to-Tank

Energibruk

Elektrisk strøm

For å beregne et Well-to-Tank estimat for drift av elektrisk jernbane i Norge skal vi benytte anslag på tap ved produksjon av elektrisitet fra norske vannkraft. For estimatene fra ProBas bruker vi Well-to-Tank estimat slik de er beregnet i ProBas. For amerikansk jernbane bruker vi Well-to-Tank estimat slik disse er beregnet av Chester og Horvath med amerikansk elektrisitetsmiks. Poenget med å bruke forskjellige Well-to-Tank estimat fra forskjellige kilder er å triangulere for gi et bedre grunnlag for kvalitetsvurdering av ulike estimat.

⁴⁴ Chester & Horvath (2008), side 54 og 56.

Høyer (2009)⁴⁵ beregner en tapsmultiplikator for norsk vannkraft. Tap i tunneler og rørgater, tap i turbiner og generatorer i tillegg til kraftverkens eget energibruk gis en multiplikator på 1,15. I tillegg kommer tap ved overføring av elektrisitet i det nasjonale nettet. Dette tap gis en multiplikator på 1,05. Til sammen gir dette en tapsmultiplikator på 1,21.

ProBas har et estimat for norsk vannkraft⁴⁶. Estimaten omfatter energibruk og utslipp knyttet til materialer som brukes i produksjon av magasin og kraftverk. Probas anslår en energibruk på 1,0156 TJ for produksjon av 1 TJ med elektrisitet fra stort norsk vannkraft. Vi lar dette være multiplikator for materialer som er input for produksjon av norsk vannkraft og multipliserer den med tapsmultiplikatoren fra Høyer. Vi får da en endelig tapsmultiplikator på 1,2289 som omfatter lekkasje i rørgater, tunneler og turbiner, tap ved produksjon av elektrisitet i generator, tap ved overføring i det nasjonale nettet og tap ved bruk av energi til materialer for bygging av magasin og kraftverk. Samtidig anslår ProBas et utslipp på 2863 kg CO₂-ekvivalenter for produksjon av 1 TJ med elektrisitet fra norsk vannkraft. Dette gir 2,86 gram pr MJ elektrisitet levert fra kraftverket. Utslippene kommer fra utvinning og framstilling av materialene sement og stål til konstruksjon av magasin og kraftverk. Stål brukes også i anleggsmaskiner som benyttes i denne konstruksjonen.

Estimat fra ProBas for Tyskland 2005 viser at det kreves 2,8342 TJ for produksjon av 1 TJ med elektrisk strøm levert jernbanens nett. Energibruken for omforming til jernbanens spenningsnett i Tyskland og omforming fra vekselstrøm til likestrøm er inkludert i den direkte energibruken, Tank-to-Wheel. Energibruk for overføring i det nasjonale nettet er også inkludert i den direkte energibruken, Tank-to-Wheel. Dette vil gi høyere estimat for Tank-to-Wheel og mindre for Well-to-Tank energibruk sammenliknet med tallene fra SSB og Chester og Horvath. Vi har ikke greid å skille ut overføringstap i det nasjonale nett fra tap i det interne jernbanenettet i estimatene fra ProBas.

Tabell 32 Tysk elektrisitetssmiks 2005

Energikilde	TJ	Prosent
Varmetap	-1,59E-10	0,0 %
Atomkraft	1,11	39,2 %
Biomasse-Reststoff	0,015	0,5 %
Brunkull	0,121	4,3 %
Naturgass	0,154	5,4 %
Olje	0,164	5,8 %
Geotermisk	3,20E-06	0,0 %
Avfall	0,0232	0,8 %
Sekundærråstoff	0,00124	0,0 %
Solenergi	0,0003	0,0 %
Steinkull	1,07	37,8 %
Vannkraft	0,169	6,0 %
Vindkraft	0,0065	0,2 %
Sum	2,8342	100,0 %

⁴⁵ Høyer, 2009, side 30.

⁴⁶ Internnavn i ProBas er Wasser-KW-gross-NO. Internnavnet kan limes i inn i søkefeltet for Volltextsuche i hovedmenyen i ProBas, <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

Tabell 32 viser energibruk for produksjon av 1 TJ med energi for tysk jernbane 2005. Den prosentvise fordeling viser at atomkraft utgjør nesten en fjerdedel og steinkull litt over en tredjedel av energikildene. Vannkraft utgjør 6% av de samlede energikildene. Til sammenlikning oppgir Chester & Horvath at 33% av elektrisk energi i California produseres med atomkraft og vannkraft. En studie⁴⁷ av elektrisitetsproduksjon i California viser at i 2003 utgjorde vannkraft 23% av energikildene i California, atomkraft utgjorde 9% mens de fossile energikilder olje, gass og kull til sammen utgjorde 48%.

Alle estimat for energibruk i brutto direkte energikjede (Well-to-Tank) er beregnet ved å bruke Likning 5 hvor T er tapsmultiplikatoren for produsert energi.

Likning 5 Utregning av energibruk pr passasjer-km for Well-to-Tank kjeden ved tapsmultiplikator

$$\frac{MJ_{Well-to-Tank}}{passasjer - km} = \left(\frac{MJ_{Tank-to-Wheel}}{passasjer - km} * T \right) - \frac{MJ_{Tank-to-Wheel}}{passasjer - km}$$

Tabell 33 Tabell 34 viser energibruk pr passasjer-km for produksjon av elektrisk strøm for framdrift av elektriske tog. I tallene fra Chester og Horvath er det beregnet tap på 8,4 ved overføring og distribusjon av elektrisk strøm i California⁴⁸. Det antas at tap i rørgater og tunneler, turbiner og generatorer ikke er inkludert. Dette vil isolert sett gi lavere Well-to-Tank estimat enn tilsvarende estimat for vannkraft i Norge hvor disse tapene er inkludert.

Tallet for energibruk i Norge 2004 bygger på opplysninger om direkte energibruk fra SSB (2008). Energiforkonsum for direkte energibruk fra SSB omfatter interne tap i jernbanens interne ledningsnett samt ved omforming av elektrisk strøm til jernbanens spenningsnivå. Disse energiforkonsum for elektrisk jernbane i 2004, Tank-to-Wheel, er multiplisert med tapsmultiplikatoren fra Høyer (med tillegg fra ProBas) for å gi Well-to-Wheel energiforkonsum. Deretter trekkes den direkte energiforkonsum, Tank-to-Wheel fra estimatet for Well-to-Wheel for å gi et estimat pr passasjer-km for Well-to-Tank kjeden.

Tabell 33 Energiforkonsum Well-to-Tank for elektriske tog

	MJ pr pass- km Tank-to- Wheel (A)	Taps- multiplikator (B)	MJ pr pass- km Well-to- Tank (C=(A*B)-A)
ProBas Elektrisk Nærtrafikk	0,531	2,834	0,974
ProBas Elektrisk Fjerntrafikk	0,283	2,834	0,519
California High Speed Rail	0,268	1,239	0,064
SSB Elektrisk	0,630	1,229	0,144

⁴⁷ California Energy Commission: *California's Electricity Generation and Transmission Interconnection Needs Under Alternative Scenarios*, <http://www.electricpowergroup.com/Downloads/pFinalCAElecGenTransNeeds11-17T3.pdf>, Figure 3.

⁴⁸ Chester & Horvath, side 72.

Konvensjonell bane	0,457	1,229	0,105
Høyhastighetstog	0,392	1,229	0,090
Coradia Lirex	0,221	1,229	0,051
Lokaltog Norge 2008	0,598	1,229	0,137
Regiontog Østlandet	0,466	1,229	0,107
Regiontog by-by	0,333	1,229	0,076
Regiontog øvrige	1,103	1,229	0,253

Estimatene fra ProBas gjelder for 2005. Tallene fra SSB gjelder for elektriske tog 2004. Tall for konvensjonell bane og høyhastighetstog er hentet fra Høyer (2009). Tall for lokaltog og regiontog i Norge er hentet fra SSB's statistikkbank. Når det gjelder CAHSR er dette et framtidig prosjekt og tallene må derfor sees på som en prognose og ikke som en empirisk observasjon.

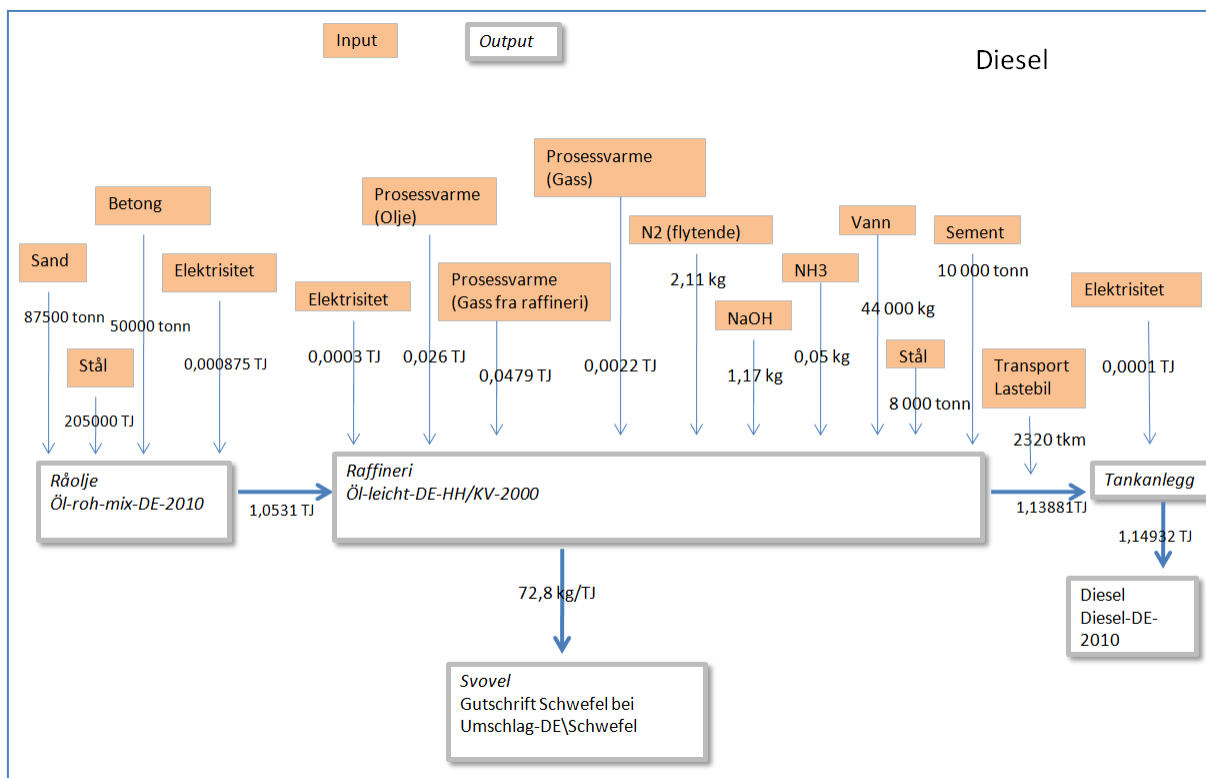
Diesel

ProBas estimerer energibruken for å framstille 1 TJ med energi fra diesel i Tyskland 2010. Figur 7 viser prosess-skjema for denne framstillingen.

Figur 7 viser at estimatet omfatter all energibruk fra utvinning av råstoff via prosessering i raffineri til tankanlegg. All transport er inkludert i estimatet, likeledes alle materialer som er nødvendige i prosessen. Vi vil bruke energibruken for framstilling av 1 TJ med energi fra diesel som tapsmultiplikator for drivstoffet. Figur 7 viser at denne tapsmultiplikatoren blir 1,1493. Dette er tapsmultiplikator for 2010. Vi skal bruke en multiplikator for et estimat for diesel levert tankanlegg Tyskland 2005 med en verdi på 1,1509⁴⁹.

Figur 7 Prosess-skjema for produksjon av 1 TJ med diesel Tyskland 2010

⁴⁹ Internnavn i ProBas er *Tankstelle\Diesel-DE-2005*.



Estimatene fra ProBas er regnet ut på samme måte som for elektriske tog. ProBas opplyser mengde diesel i TJ som er nødvendig for å produsere 1 passasjer-km med dieseltog. Dette er Well-to-Tank estimatet. Estimateret multipliseres med tapsmultiplikatoren for å gi Well-to-Wheel energibruken. Differensen mellom dem gir Well-to-Tank estimatet slik Tabell 34 Tabell 34 viser.

Tabell 34 viser Well-to-Tank energi-estimat for ulike dieseltog.

Tabell 34 Energibruk Well-to-Tank i MJ pr passasjer-km for ulike dieseltog.

	MJ pr pass-km Tank-to-Wheel (A)	Taps-multiplikator (B)	MJ pr pass-km Well-to-Tank (C=(A*B)-A)
ProBas Diesel Nærtrafikk	1,100	1,151	0,166
ProBas Diesel Fjernttrafikk	0,979	1,151	0,148
Caltrain	0,664	1,131	0,087
SSB Diesel	1,073	1,151	0,162

Estimatet for Caltrain er gjort av Chester & Horvath som oppgitt 0,14 MJ pr passenger-mile⁵⁰. Estimateret er et input-output estimat gjort med EIO-LCA⁵¹ som heves å inkludere all energi som er nødvendig for å produsere diesel så vel som all energibruk fra alle input-produkt som benyttes i denne produksjonen.

⁵⁰ Chester & Horvath, Table 60, side 74.

⁵¹ EIO-LCA er software for beregning av input-output analyse, se <http://www.eiolca.net/>

Likning 6 Utregning av tapsmultiplikator gitt Tank-to-Wheel og Well-to-Tank energiestimat

$$\text{Tapsmultiplikator} = \frac{\text{Energi}_{\text{Well-to-Tank}} + \text{Energi}_{\text{Tank-to-Wheel}}}{\text{Energi}_{\text{Tank-to-Wheel}}}$$

Vi kan bruke estimatene fra Chester & Horvath til å beregne den tapsmultiplikatoren som er benyttet i deres estimat. Vi legger sammen Well-to-Tank og Tank-to-Wheel estimat og dividerer summen på Tank-to-Wheel estimatet. Dette gir oss estimatet for tapsmultiplikatoren. Likning 6 viser hvordan dette er gjort. Beregningen 1,239 for elektriske tog og 1,131 for dieseltog. Dette er multiplikatorer som ligger nær norsk vannkraft for elektriske tog og multiplikatoren for diesel som er hentet fra ProBas.

Utslipp CO2-ekvivalenter

Elektriske tog

Det antas at all elektrisk strøm brukt av jernbane i Norge kommer fra norsk vannkraft. Jernbaneverket inngikk i 2007 en avtale om kjøp av opphavsgarantert elektrisitet. Avtalen har sin grunn i EU's Fornybarhetsdirektiv som åpner for utstedelse av opphavsgarantier⁵². Med disse avtalene er Jernbaneverket garantert at elektrisiteten som benyttes kommer fra fornybar energi, det vil si vannkraft i Norge. SSB (2008) opplyser at Jernbaneverket fra 1 juli 2007 har inngått avtale om kjøp av opprinnessertifikater utstedt av Statnett.

Vi skal bruke et estimat fra ProBas for produksjon av norsk vannkraft som anslår utslippene til 2,86 gram CO2-ekvivalenter pr MJ levert elektrisk strøm. Utslippene er bundet til materialer som er brukt i konstruksjonen av norske vannkraftverk. For å beregne utslippene pr passasjer-km skal vi multiplisere utslippsfaktor i gram pr MJ med energibruken i Tank-to-Wheel kjeden. Det er produksjon av framdriftsenergien som utløser utslippene i Well-to-Tank kjeden, derfor multipliseres utslippsfaktoren fra Well-to-Tank kjeden med energibruk i Tank-to-Wheel kjeden.

Tabell 35 viser utslipp i gram pr passasjer-km for produksjon av elektrisitet til tog i Norge, i Tyskland 2005 og USA 2008. Tallene for Tyskland og USA bygger på elektrisitetsmiksen i disse landene. Elektrisitetsmiksen i California har større innslag av vannkraft og atomkraft enn i Tyskland som bruker mer fossile energikilder, særlig steinkull.

Tabell 35 Utslipp av gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for produksjon av elektrisitet til tog

	MJ pr pass- km Tank-to- Wheel (A)	gram CO2- ekv Pr MJ Well-to- Tank (B)	Gram CO2-ekv pr passasjer- km Well-to-
--	--	---	---

⁵² Høyer, ibid., side 39.

			Tank (C=A*B)
ProBas Elektrisk Nærtrafikk	0,531	149,00	79,119
ProBas Elektrisk Fjerntrafikk	0,283	149,00	42,167
California High Speed Rail	0,268	3,18	0,851
SSB Elektrisk	0,630	2,86	1,804
Konvensjonell bane	0,457	2,86	1,309
Høyhastighetstog	0,392	2,86	1,122
Coradia Lirex	0,221	2,86	0,633
Lokaltog Norge 2008	0,598	2,86	1,712
Regiontog Østlandet	0,466	2,86	1,334
Regiontog by-by	0,333	2,86	0,954
Regiontog øvrige	1,103	2,86	3,159

Dieseltog

Tabell 36 viser estimat for gram CO₂-ekvivalenter pr MJ og utslipp av CO₂-ekvivalenter pr passasjer-km for produksjon av diesel til dieseltog brukt til passasjertransport. Utslippene pr passasjer-km er beregnet ved å multiplisere utslippsfaktoren med energibruk i Tank-to-Wheel kjeden slik det er beskrevet ovenfor.

Tabell 36 Utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr passasjer-km for produksjon av drivstoff til dieseltog

	MJ pr pass- km Tank- to-Wheel (A)	gram CO ₂ - ekv Pr MJ Well-to- Tank (B)	Gram CO ₂ - ekv pr passasjer- km Well-to- Tank (C=A*B)
ProBas Diesel Nærtrafikk	1,100	11,9	13,1
ProBas Diesel Fjerntrafikk	0,979	11,9	11,7
Caltrain	0,664	11,2	7,5
SSB Diesel	1,073	11,9	12,8

I følge ProBas slippes det ut 11 900 tonn med CO₂-ekvivalenter for produksjon av 1 TJ med diesel. I følge SSB (2008) ble det brukt 6740 tonn med diesel for dieseldrevne tog i Norge 2004. Dette tilsvarer 290,5 TJ diesel-energi med et energinnhold på 43,1 MJ pr kg⁵³. Med 11 900 tonn pr TJ blir det samlede utslippet på 3 457 tonn CO₂-ekvivalenter. Til sammen produserte disse dieseltog 270,5 millioner passasjer-km. Pr passasjer-km blir utslippene dermed 12,8 gram pr passasjer-km. Dette er utslipp som utløses for produksjon av diesel tilsvarende et energinnhold på 290,5 TJ.

⁵³ Se SSB (2008) side 15.

Estimatet fra Caltrain er hentet direkte fra Chester & Horvath. Utslippsfaktoren for deres estimat er beregnet som utslipp av CO₂-ekvivalenter pr passasjer-km dividert med energibruk til framdrift (Tank-to-Wheel) pr passasjer-km.

Oppsummering

Energibruk

Tabell 37 viser energibruk pr passasjer-km for ulike typer passasjertog for alle energikjedene vi har diskutert ovenfor. Vi har brukt estimater for Coradia Lirex som transportmiddel sammen med estimat for energibruk og utslipp fra SSB. Vi har også brukt Coradia Lirex som transportmiddel for tog i nærtrafikk i Tyskland 2005, både med elektrisitet og diesel. Derimot har vi brukt estimatet for produksjon av et ICE-tog for tog i fjerntrafikk i Tyskland 2005, både for elektriske tog og dieseltog.

I oppsummeringstabellene har vi brukt energiestimat for norsk vannkraft i brutto direkte energikjede (Well-to-Tank) for alle elektriske tog.

I tabellene kan estimat for direkte energikjede oversettes til Tank-to-Wheel estimat. Det er framdriftsenergien og utslippene knyttet til denne kjeden. Den brutto direkte energikjede er energiens energikjede. Vi estimerer tillegget i denne kjeden som er den energibruk og de tillegg som er nødvendig for å produsere drivstoffet som blir brukt i den direkte energikjede. Dette estimatet kan oversettes med Well-to-Tank energikjede. Ulempen ved å bruke begrep som Tank-to-Wheel og Well-to-Tank for tog er at det er uklart hvor punktet Tank begynner. Begreper om energikjeder er derfor mer presise begrep.

Tabell 37 Energibruk MJ pr passasjer-km for ulike typer persontog i ulike livsløpsfaser

MJ pr passasjer-km	Direkte energikjede	Brutto direkte energikjedetillegg	Infrastruktur	Transportmiddel	Sum
Elektrisk tog Norge 2004 (SSB)	0,630	0,144	0,574	0,013	1,361
ProBas Elektrisk Nærtrafikk	0,531	0,122	0,574	0,013	1,239
ProBas Elektrisk Fjerntrafikk	0,283	0,065	0,574	0,018	0,940
California High Speed Rail	0,268	0,061	0,574	0,000	0,903
Konvensjonell bane	0,457	0,105	0,574	0,013	1,148
Høyhastighetstog	0,392	0,090	0,574	0,013	1,068
Coradia Lirex	0,221	0,051	0,574	0,013	0,858
Lokaltog Norge 2008	0,598	0,137	0,574	0,013	1,321
Regiontog Østlandet	0,466	0,107	0,574	0,013	1,159
Regiontog by-by	0,333	0,076	0,574	0,013	0,996
Regiontog øvrige	1,103	0,253	0,574	0,013	1,942
SSB Diesel	1,073	0,162	0,574	0,013	1,821
ProBas Diesel Nærtrafikk	1,100	0,166	0,574	0,013	1,853
ProBas Diesel Fjerntrafikk	0,979	0,148	0,574	0,018	1,719
Caltrain	0,664	0,087	0,574	0,184	1,508

Elektriske tog i Norge kommer høyere i energibruk Tank-to-Wheel kjeden enn tyske tog. Dette har ventelig sammenheng med høyere produksjon av passasjer-km for de tyske togene.

California High Speed Rail (CAHSR) er et framtidig transportsystem som ikke er i drift i dag. Chester & Horvath gir veldig lave estimat for CAHSR, det er grunn til å stille spørsmål om estimatet av passasjer-km for systemet er for høyt. Dette er satt til 14 000 millioner passasjer-km⁵⁴, det er mer enn samlet transportarbeid for hele ICE-systemet i Tyskland i 2000⁵⁵ som var 13 920 millioner passasjer-km.

⁵⁴ Chester & Horvath, Table 41, side 53.

⁵⁵ http://de.wikipedia.org/wiki/Intercity-Express#Erste_Generation

Tabell 38 viser samme energibruk pr tog-km. Energifbruken er beregnet ut fra energibruk pr passasjer-km med forutsetninger om antall passasjerer pr km pr tog som er vist i kolonne F i tabellen.

Tabell 38 Energibruk MJ pr tog-km for ulike typer persontog i ulike livsløpsfaser

MJ pr tog-km	Direkte energikjede (A)	Brutto direkte energikjede - tillegg (B)	Infrastruktur (C)	Transport - middel (D)	Sum (E)	Passasjerer pr km (F)
SSB Elektrisk tog	57,2	13,1	56,9	2,0	129,2	90,9
ProBas Elektrisk Nærtrafikk	41,9	9,6	56,9	2,0	110,3	78,9
ProBas Elektrisk Fjerntrafikk	40,1	9,2	56,9	2,0	108,1	141,5
California High Speed Rail	37,9	8,7	56,9	2,0	105,5	141,5
Konvensjonell bane	43,2	9,9	56,9	2,0	112,0	94,6
Høyhastighetstog	55,4	12,7	56,9	2,0	127,0	141,5
Coradia Lirex	17,4	4,0	56,9	2,0	80,3	78,9
Lokaltog Norge 2008	47,1	10,8	56,9	2,0	116,8	78,9
Regiontog Østlandet	47,1	10,8	56,9	2,0	116,8	101,2
Regiontog by-by	47,1	10,8	56,9	2,0	116,8	141,5
Regiontog øvrige	47,1	10,8	56,9	2,0	116,8	42,7
SSB Diesel	151,9	22,9	56,9	2,0	233,7	141,5
ProBas Diesel Nærtrafikk	86,7	13,1	56,9	2,0	158,7	78,9
ProBas Diesel Fjerntrafikk	138,6	20,9	56,9	2,0	218,3	141,5
Caltrain	93,9	12,3	56,9	2,0	165,1	141,5

Tabell 39 viser energibruk i ulike livsløpsfaser i MJ pr sete-km. Energifbruken er omregnet ved å gjøre forutsetninger om sete-kapasiteten til ulike tog som er gjengitt i kolonne F i tabellen.

Tabell 39 Energibruk MJ pr sete-km for ulike typer persontog i ulike livsløpsfaser

MJ pr sete-km	Direkte energikjede (A)	Brutto direkte energikjedetillegg (B)	Infrastruktur (C)	Transportmiddel (D)	Sum (E)	Setekapasitet (F)
SSB Elektrisk tog	0,203	0,046	0,185	0,004	0,438	282
ProBas Elektrisk Nærtrafikk	0,138	0,032	0,150	0,003	0,323	303
ProBas Elektrisk Fjerntrafikk	0,138	0,032	0,280	0,009	0,459	290
California High Speed Rail	0,131	0,030	0,280	0,000	0,441	290
Konvensjonell bane	0,153	0,035	0,192	0,004	0,384	283
Høyhastighetstog	0,191	0,044	0,280	0,006	0,521	290
Coradia Lirex	0,058	0,013	0,150	0,003	0,224	303
Lokaltog Norge 2008	0,156	0,036	0,150	0,003	0,344	303
Regiontog Østlandet	0,162	0,037	0,199	0,004	0,403	291
Regiontog by-by	0,207	0,047	0,356	0,008	0,617	228
Regiontog øvrige	0,255	0,058	0,133	0,003	0,448	185
SSB Diesel	0,524	0,079	0,280	0,006	0,889	290
ProBas Diesel Nærtrafikk	0,287	0,043	0,150	0,003	0,483	303
ProBas Diesel Fjerntrafikk	0,478	0,072	0,280	0,009	0,839	290
Caltrain	0,324	0,042	0,280	0,090	0,736	290

En CV-verdi måler standardavviket over gjennomsnittet for en fordeling. Jo større CV-verdien er, jo større er forskjellene relativt til den representative verdien for fordelingen. CV-verdien for Tank-to-Wheel energibruk pr passasjer-km og pr sete-km er omlag like. Dette innebærer at forskjeller i passasjer-belegg mellom ulike typer tog ikke har den avgjørende innvirkning på energibruken.

Utslipp CO₂-ekvivalenter

Vi har satt utslipp av CO₂-ekvivalenter for direkte framdrift av elektriske tog til null. Vi antar dermed at det ikke kan være utslipp fra en elektrisk motor siden det ikke forbrennes fossilt drivstoff. Alle Well-to-Tank estimatene bygger på norsk vannkraft, både for energibruk og for utslipp av CO₂-ekvivalenter.

Tabell 40 viser estimat for utslipp av gram pr passasjer-km for de samme togtyper og energikjeder. Alle Tank-to-Wheel estimat for elektriske tog er satt til null som omtalt ovenfor.

Tabell 40 Utslipp av CO2-ekvivalenter gram pr passasjer-km for ulike typer persontog for ulike livsløpsfaser

Gram CO2-ekv. Pr passasjer-km	Direkte energikjede	Brutto direkte energikjedetillegg	Infrastruktur	Transportmiddel	Sum
SSB Elektrisk tog	0,0	1,8	40,9	2,0	44,7
ProBas Elektrisk Nærtrafikk	0,0	1,5	40,9	2,0	44,4
ProBas Elektrisk Fjerntrafikk	0,0	0,8	40,9	1,6	43,3
California High Speed Rail	0,0	0,8	40,9	0,0	41,7
Konvensjonell bane	0,0	1,3	40,9	2,0	44,2
Høyhastighetstog	0,0	1,1	40,9	2,0	44,0
Coradia Lirex	0,0	0,6	40,9	2,0	43,5
Lokaltog Norge 2008	0,0	1,7	40,9	2,0	44,6
Regiontog Østlandet	0,0	1,3	40,9	2,0	44,2
Regiontog by-by	0,0	1,0	40,9	2,0	43,8
Regiontog øvrige	0,0	3,2	40,9	2,0	46,0
SSB Diesel	88,0	12,8	40,9	2,0	143,6
ProBas Diesel Nærtrafikk	81,5	13,1	40,9	2,0	137,5
ProBas Diesel Fjerntrafikk	72,9	11,7	40,9	1,6	127,0
Caltrain	45,8	7,5	40,9	9,9	104,0

Tabell 41 viser utslipp av CO₂-ekvivalenter pr tog-km for ulike typer tog i ulike livsløpsfaser. Estimater framkommer ved å anta samme gram CO₂-ekvivalenter pr MJ som for estimatet pr passasjer-km og deretter multiplisere opp energibruk pr tog-km fra

Tabell 40.

Tabell 41 Utslipp av CO2-ekvivalenter gram pr tog-km for ulike typer persontog for ulike livsløpsfaser

Gram CO2-ekv pr tog-km	Direkte energikjede	Brutto direkte energikjede-t tillegg	Infrastruktur	Transportmiddel	Sum
SSB Elektrisk tog	0	164	4 058	307	4 529
ProBas Elektrisk Nærtrafikk	0	120	4 056	307	4 482
ProBas Elektrisk Fjerntrafikk	0	115	4 056	307	4 477
California High Speed Rail	0	109	4 056	307	4 471
Konvensjonell bane	0	124	4 056	307	4 486
Høyhastighetstog	0	159	4 056	307	4 521
Coradia Lirex	0	50	4 056	307	4 413
Lokaltog Norge 2008	0	135	4 056	307	4 498
Regiontog Østlandet	0	135	4 056	307	4 498
Regiontog by-by	0	135	4 056	307	4 498
Regiontog øvrige	0	135	4 056	307	4 498
SSB Diesel	12 455	1 807	4 056	307	18 625
ProBas Diesel Nærtrafikk	6 427	1 032	4 056	307	11 822
ProBas Diesel Fjerntrafikk	10 318	1 649	4 056	307	16 329
Caltrain	6 481	1 055	4 056	307	11 899

Tabell 42 viser utslipp av CO₂-ekvivalenter pr sete-km for ulike typer tog i ulike livsløpsfaser. Estimatet framkommer ved å anta samme gram CO₂-ekvivalenter pr MJ som estimatet pr passasjer-km og deretter multiplisere opp energibruk pr sete-km fra

Tabell 41.

Tabell 42 Utslipp av CO2-ekvivalenter gram pr sete-km for ulike typer persontog for ulike livsløpsfaser

Gram CO2-ekv pr sete-km	Direkte energikjede	Brutto direkte energikjede-t tillegg	Infrastruktur	Transportmiddel	Sum
SSB Elektrisk tog	0,0	0,580	13,158	0,632	14,371
ProBas Elektrisk Nærtrafikk	0,0	0,396	10,662	0,512	11,571
ProBas Elektrisk Fjerntrafikk	0,0	0,395	19,960	0,762	21,118
California High Speed Rail	0,0	0,374	19,960	0,000	20,335
Konvensjonell bane	0,0	0,438	13,670	0,657	14,765
Høyhastighetstog	0,0	0,547	19,960	0,959	21,467
Coradia Lirex	0,0	0,165	10,662	0,512	11,340
Lokaltog Norge 2008	0,0	0,446	10,662	0,512	11,621
Regiontog Østlandet	0,0	0,463	14,207	0,683	15,354
Regiontog by-by	0,0	0,591	25,355	1,219	27,164
Regiontog øvrige	0,0	0,729	9,442	0,454	10,625
SSB Diesel	42,946	6,231	19,960	0,959	70,097
ProBas Diesel Nærtrafikk	21,246	3,412	10,662	0,512	35,833
ProBas Diesel Fjerntrafikk	35,577	5,686	19,960	0,762	61,985
Caltrain	22,349	3,639	19,960	4,826	50,774

Valgte estimat

Vi skal i denne delen presentere de estimat vi velger som representative for passasjertransport med tog i Norge 2010. Vi presenterer bare estimat for elektriske tog i passasjer-transport.

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 slik de er presentert i tabellene ovenfor.

Vi bruker andelen av passasjer-km som ble produsert av de to kategoriene i 2008 som vekter i det veide estimatet. SSB's Statistikkbank opplyser at i 2008 ble det produsert 2,78 millioner 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 allokere all passasjer-transport med dieseltog til kategorien Regiontog by-by.

Begrunnelsen er at de tyngste togstrekninger med dieseldrevne tog er Nordlandsbanen og Rørosbanen som vi hører til kategorien Regiontog by-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-by. Dette gi en vekt på 0,45 for Regiontog Østlandet og en vekt på 0,55 for Regiontog by-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.

Tabell 43 viser energibruk pr tog-km for ulike typer elektriske passasjertog i Norge 2010, fordelt på alle livsløpsfaser. Tabell 44 viser samme energibruk pr passasjer-km mens Tabell 45 viser energibruken pr sete-km.

Tabell 43 Energibruk MJ pr tog-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.

MJ pr tog-km	Direkte energikjede	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-by	47,1	56,9	2,0	10,8	116,8
Regiontog	47,1	56,9	2,0	10,8	116,8

Tabell 44 Energibruk MJ pr passasjer-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.

MJ pr pass-km	Direkte energikjede	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-by	0,333	0,574	0,013	0,076	0,996
Regiontog veid	0,393	0,574	0,013	0,090	1,070

Tabell 45 Energibruk MJ pr sete-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.

MJ pr sete-km	Direkte energikjede	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 46 viser utslipp av gram CO₂-ekvivalenter pr tog-km for ulike elektriske passasjertog i Norge 2010 over alle livsløpsfaser. Tabell 47 viser utslippene pr passasjer-km mens Tabell 48 viser utslippene pr sete-km.

Tabell 46 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr tog-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.

g CO2-ekv pr tog-km	Direkte energikjede	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 47 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr passasjer-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.

g CO2-ekv pr pass-km	Direkte energikjede	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 48 Utslipp gram CO2-ekvivalenter pr sete-km for ulike elektriske passasjertog over alle livsløpsfaser. Norge 2010.

g CO2-ekv pr sete-km	Direkte energikjede	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

Til slutt skal vi se på utslipp av SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter for passasjertransport med elektrisk 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 ozondannelse ⁵⁶.

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

⁵⁶

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

SO₂-ekvivalent er et mål på forsureningspotensiale til et sett med komponenter⁵⁷. 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. ProBas gir verdier for to energikjeder, den direkte energikjede og tillegget i den brutto direkte energikjede. 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 ingen estimat for transportmiddel eller for transportmidlenes infrastruktur. 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).

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. Estimaten 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 49 viser utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tog-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010. Tabell 50 viser de samme utslipp i gram pr passasjer-km mens Tabell 51 viser utslippene pr sete-km.

Tabell 49 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr tog-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010.

	Well-to-Tank	
	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

57

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

Tabell 50 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr passasjer-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010.

	Well-to-Tank	
	SO2-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 51 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter og TOPP-ekvivalenter pr sete-km i brutto direkte energikjede for ulike elektriske tog Norge 2010

	Well-to-Tank	
	SO2-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