

Vestlandsforskning-rapport nr. 11/2012

Energibruk til produksjon og vedlikehold av buss

Av Morten Simonsen



Vestlandsforskning rapport

Tittel Energibruk til produksjon og vedlikehold av buss	Rapportnummer 11/2012 Dato 30.03.2012 Gradering Open
Prosjekttittel Energibruk til produksjon og vedlikehold av buss	Tal sider 30 Prosjektnr 6266
Forskar(ar) Morten Simonsen	Prosjektansvarleg Morten Simonsen
Oppdragsgivar Sogn og Fjordane Fylkeskommune	Emneord Buss Transport
Samandrag	
Andre publikasjonar frå prosjektet	
ISBN: 978-82-428-0325-2	Pris: Gratis tilgjengeleg på www.vestforsk.no

Innhald

Innleiing og problemstilling	4
Energibruk til produksjon og vedlikehald	6
Empiriske resultat	6
Kva inneheld vedlikehald?	7
Kva skuldast skilnader i ulike estimat?	9
Kva er riktig balanse mellom produksjon av ny buss og vedlikehald av brukte?	12
Samansetting av bussflåten	13
Utslepp	17
Flåteeffekt på utslepp av CO ₂ -ekvivalentar	20
Verknader av ulike elektrisitetstypar	22
Alternative drivstoff	23
Konklusjon	27
Litteratur	30

Tabellar

Tabell 1 Energibruk til produksjon og vedlikehald av bussar	6
Tabell 2 Olje til vedlikehald av buss pr km	8
Tabell 3 Energiforbruk for ulike ruter for energikjeda direkte energibruk og indirekte energibruk eksklusive infrastruktur. Alle energibrukstal i MJ per vogn-km	14
Tabell 4 Energiforbruk for ulike ruter for energikjeda direkte energibruk og indirekte energibruk eksklusive infrastruktur. Alle energibrukstal i liter diesel pr mil	16
Tabell 5 Utslepp av CO ₂ -ekvivalentar for framdrift, produksjon og vedlikehald av bussar	17
Tabell 6 Utslepp av CO ₂ -ekvivalentar for ulike ruter for energikjeda direkte energibruk og indirekte energibruk eksklusive infrastruktur. Alle utsleppstal tal i gram CO ₂ -ekvivalentar pr vogn-km. Norsk elektrisitetstypar	18
Tabell 7 Utslepp frå ein flåte på 50 nye bussar fordelt på ulike ruter i ein anbudsperiode.	20
Tabell 8 Utslepp frå ein flåte på 50 brukte bussar fordelt på ulike ruter i ein anbudsperiode	21
Tabell 9 Utslepp frå ein flåte på 50 nye og 40% brukte bussar fordelt på ulike ruter i ein anbudsperiode.	21
Tabell 10 Effekt av ulike typar elektrisitetstypar på utslepp av CO ₂ -ekvivalentar frå produksjon og vedlikehald . Gram pr vogn-km	22
Tabell 11 Estimat for produksjon av ulike motorteknologiar for personbilar av typen Golf A4	24
Tabell 12 Energibruk i MJ pr vogn-km for bussar i ulike energikjeder	26
Tabell 13 Utslepp av gram CO ₂ -ekvivalentar pr vogn-km for bussar med ulik motorteknologi i ulike energikjeder.	26

Likningar

Likning 1 Estimering av kryssingspunkt mellom energibruk til vedlikehald og produksjon av ny buss 13

Innleiing og problemstilling

Ein anbudsperiode for kollektiv busstransport i Sogn og Fjordane varer typisk i sju år med opsjon for forlenging i eitt eller to år. Det har vore vanleg praksis å kjøpe nye bussar for kvar anbudsperiode. Dei bussane som har vore brukt i ein anbudsperiode har til ofte vore selte til utlandet, særleg gamle Aust-Europa.

Dette dokumentet tek opp følgjande overordna problemstilling: Er det meir energieffektivt å bruke busser meir enn ein anbudsperiode snarare enn å kjøpe nye bussar? Med energieffektivitet meiner vi her at den same køyrelegda kan utførast med mindre bruk av samla energi. Med samla energi meiner vi energi ikkje berre til framdrift av bussen men og energi til bygging av ny buss og energi til vedlikehald av nye og brukte bussar. Det er berre tilhøva kring energibruk og utslepp som vert drøfta i dette dokumentet. Kostnadar til vedlikehald i høve til kostnadar til innkjøp av nye bussar vert ikkje drøfta.

Det er fleire grunnar til at ei slik problemstilling er aktuell. For det fyrste vil ei energieffektiv løysing innebere lågare utslepp av klimagassar. For det andre er marknaden i gamle Aust-Europa minkande slik at det kan vere vanskeleg å få selt bussar som berre har vore brukte i ein anbudsperiode.

Vi skal i dette dokumentet sjå på kor mykje energi som går med til å lage ein buss samt kor mykje energi som går med til vedlikehaldet av han. Energibruken vil vere utgangspunkt for å analysere utslepp knytt til produksjon og vedlikehald av bussen.

Den overordna problemstillinga i dette dokumentet er:

- Kor mykje energi (og utslepp av klimagassar) går med til vedlikehald av ein buss relativt til produksjon av han?
- Er brukte bussar meir energieffektive enn nye bussar for ein gjeve tidsperiode når heile bussen sitt livsløp vert sett under eitt? Vil det difor vere meir energieffektivt å vedlikehalde bussar lenger framfor å kjøpe nye?
- Kor mange km må ein buss gå for energibruken til vedlikehald pr km er like høg som energibruken til produksjon av ein ny buss pr km?
- Kva verknader har alternative drivstoff på drift og produksjon av bussane?

Med livsløp meiner vi ulike fasar i bussen si levetid. Fyrst må bussen produserast. Deretter kan han brukast. Under bruk nå han vedlikehaldast. Bussen bruker og infrastruktur i form av vegar, bruer og tunnelar. Infrastrukturen omfattar i tillegg til vegane signalanlegg, brøyting, vedlikehald av vegar osv. I tillegg må drivstoffet som bussen bruker produserast. Det betyr at energikjelda må utvinnast og transporterast til produksjonsanlegg, drivstoffet må produserast og transporterast vidare til distribusjonsanlegg for sluttbrukarane. Når det gjeld infrastruktur og drivstoff ser vi bort frå desse livsfasane i den vidare analysa. Grunnen er at vi tek som utgangspunkt at ein ny buss og ein brukt

buss bruker same drivstoff og same infrastruktur og at energi og utslepp som går med til å produsere desse difor er den samme for dei to typar bussar.

Det inneber at vi skal konsentrere oss om dei to livsfasane bruk og produksjon av transportmiddel inklusive vedlikehald.

Når det gjeld utslepp vil vi avgrense oss til å analysere utslepp av CO₂-ekvivalentar. Dette er eit sett med klimagassar som i tillegg til CO₂ omfattar metan (CH₄), lystgass (N₂O), hydrofluorkarbonar, perfluorkarbonar samt svovel-hexafluorid (SF₆)¹. Analysane vi skal presentere inkluderer utslepp i Noreg og utslepp i land kor bussen vert produsert eller kor delar til vedlikehald vert produsert. All energibruk og alle utsleppa som vert analyserte vil difor ikkje skje i Noreg. Vi vil rekne med at energibruk og utslepp knytt til produksjon av transportmiddel og materialar til vedlikehald vert produserte i utlandet medan utslepp frå prosessenergi til opplysning og oppvarming av lokale samt drifting av verktøy til vedlikehald skjer i Noreg. Alle utslepp knytt til drift av bussen i anbudsperioden reknar vi med skjer i Noreg.

CO₂-ekvivalentar måler kvar av gassane sitt potensiale for global oppvarming relativt til CO₂. Metan har til dømes ein verknad pr eining som er 21 gongar høgare enn CO₂. Det inneber at ein kg med metan har potensialet til 21 gongar meir global oppvarming enn ein kg CO₂. Ein kg SF₆ har 23 900 større potensiale for global oppvarming enn ein kg CO₂. Når det gjeld framdrift av bussar kan vi rekne med at mesteparten av utslepp av klimagassar kjem frå CO₂.

Klimagassane står for utslepp med *globale* verknadar. Vi har ikkje analysert andre typar utslepp som til dømes partiklar (svevestøv) eller NO_x. Dette er utslepp som har meir lokale eller regionale verknadar. Desse gassane er og firekte helsefarlege i motsetnad til CO₂.

Energibruken er viktigaste faktor for å forstå omfang av utslepp. Skilnader i utslepp kan førast attende til skilnader i energibruk. Difor er det viktig at vi analyserer kor mykje energi som går med til dei prosessane vi analyserer. Slike analyser vert gjerne kalla energikjede-analyser. Ei treng ikkje berre energi for å produsere ein buss. Ein treng og energi til å lage materialane som bussen er laga av. Ein treng vidare energi til å lage energien som trengs for å lage desse materialane. Vidare treng ein energi til å produsere bygningar som energi og materialar vert produserte i osb. Vi får såleis lange kjeder av energibruk for eit sluttprodukt.

I tillegg må vi ta omsyn til kor energien kjem frå. Ein elektrisitetmiks i Tyskland er til dømes ulik den vi har i Noreg. Ein kWh til produksjon av ein buss i Tyskland er difor ikkje det same som ein kWh til vedlikehald av den same bussen i Noreg. Mesteparten av prosessenergien (drift av reiskap, opplysning av lokale, komfortvarme) som vert brukt til vedlikehald i Noreg kjem frå vasskraft eller anna fornybar energi. Denne energien vert produsert praktisk talt utan utslepp.

¹ Dette svarer til definisjonane i Kyoto-protokollen, sjå SSB (2004): *Utslipp til luft 1973-2003*. http://www.ssb.no/nos_utslipp/nos_d312/nos_d312.pdf, side 8.

Energibruk til produksjon og vedlikehald

Empiriske resultat

Tabell 1 syner energibruk til produksjon og vedlikehald av bussar frå ulike kjelder. Estimatet frå Mitropoulis med fleire er henta ei studie frå Universitetet i Hawaii i samband med universitetet i Thessaloniki i 2011 ². Estimatet frå Chester og Horvath er henta frå ein amerikansk studie i 2008 ³.

Tabell 1 Energibruk til produksjon og vedlikehald av bussar

		Volvo 2006	Mitropoulis med fleire 2011	Chester & Horvath 2008	Barba- Gutierrez med fleire 2005	ProBas 2005 ³
År		2006	2011	2008	2005	2005
Eigenskapar, buss	Vekt, tonn	10,9	11,8	11,3		14
	Hestekrefter	290				
Energi levetid	Produksjon, GJ ⁴	468	1 571,5	2 000		817,6
	Vedlikehald, GJ	219,6	1 013,9	270		
Levetid	Kjørelengde km ⁵	1 000 000	804 672	811 104		287 500
	År	18	12	12		5
Årlig	Kjørelengde ¹	55 000	67 056	67 592		57 500
	Timer vedlikehald		260			
	Passasjerbelegg ²	12	10,5	10,5	21	26,6
Anna	Gjennomsnittsfart, km/t ⁵		20	19		
	Olje, vedlikehald				0,04	
	Produksjon av dekk,			18		
MJ pr vogn-km	Framdrift ⁴	19,5	23,5	13,7		10,7
	Framdrift liter pr mil	5,4	6,5	3,8		3
	Produksjon	0,47	1,95	2,47		2,8
	Vedlikehald	0,22	1,26	0,33		
MJ pr person-km	Inklusive dekk			0,36		
	Framdrift	1,63	2,24	1,3		0,57
	Produksjon	0,04	0,19	0,23		0,11
	Vedlikehald	0,02	0,12	0,03		
Vedlikehald	Inklusive dekk			0,03		
	Andel av energi til produksjon	0,47	0,65	0,14		

² Mitropoulis, L.K., Prevedouros, P.D, Nathanail, E.G.(2011): *Life Cycle Assessment Through A Comprehensive Sustainability Framework: A Case Study of Urban Transport Vehicles*, www.eng.hawaii.edu/~panos/PIARC_2011.doc

³ Chester, M., Horvath, A. (2008): *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*, UC Berkely Center for Future Urban Transport, http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=its/future_urban_transport

⁴ GJ er gigajoule som er 1000 MJ eller megajoule som igjen er 1 million joule. 1 joule er eit watt-sekund. Ei 60-watt lyspære som brenn i ein time er difor 60*3600=216 000 joules. For å rekne om frå MJ til MWh delar ein på 3600 sidan det er 3600 sekund i ein time. Same faktor brukar ein ved omrekning frå kJ til kWh osb.

⁵ For dei amerikanske granskningane har vi rekna om frå miles til km. Difor vert det kjørelengder som til dømes 811 004 km. Ein veit sjølvsagt ikkje på førehand om ein buss går 811 104 eller 811 105 km.

	kWh pr buss pr år	3 355	23 470	6 250		
--	-------------------	-------	--------	-------	--	--

¹ For Volvo, årlig kjørelengde henta fra årsmelding Fjord1 2010 ⁶

² For Volvo passasjerbelegget fra 2005 ifølge SSB (2008)

³ Energibruk for fabrikasjon inkluderer ikke prosessenergi

⁴ Forbruk for ekspressbuss Ruter 2010

⁵ For Chester & Horvath er farten basert på Orange County Drive Cycle.

Estimatet frå Probas er frå ein tysk LCA-database og gjelder for ekspressbuss 2005 ⁷. Databasen er eit samarbeidsprosjekt mellom det tyske miljøverndepartementet og forskingsinstituttet Öko-Institut. Databasen gjev informasjon om ulike fasar i livsløpet til ulike prosessar som til dømes busstransport. Estimatet frå Volvo er ei produktdeklarering utarbeidd av Volvo sjølve (Environment Product Declaration) ⁸. Estimatet frå Gutierrez et al er henta frå Wessex Institute ⁹.

I Tabell 1 er det teke med estimata sine egne føresetnader om bussen si levetid, samla kjørelengd pr år eller pr levetid. Desse verdiane vert brukte til å normalisere energibruk til produksjon og vedlikehald pr vogn-km eller pr passasjer-km. Ein passasjer-km er ein passasjer frakta ein km. Ti passasjerar frakta ein km er ti passasjer-km. Ein passasjer frakta ti km er og ti passasjer-km. Talet på passasjer-km er såleis avhengig av føresetnader om kor mange passasjerar bussen fraktar pr km i gjennomsnitt. Vi har gjeve att dei føresetnadene som estimata byggjer på i Tabell 1.

Tabell 1 syner ganske store skilnader mellom estimata. Det fyrste vi legg merkje til er at dei amerikanske estimata ligg over dei europeiske. Estimatet frå den tyske databasen ProBas ligg riktig nok høgare enn dei amerikanske pr vogn-km, men det skuldast at ProBas byggjer på ei mykje kortare samla kjørelengd og levetid for bussen. Pr levetid ligg dei amerikanske studiane høgare.

Dei europeiske studiane er frå rundt 2005. Vi reknar med at dei er gjeldande for utsleppsstandarden EURO IV som blei introdusert i oktober 2005 for tunge køyretøy ¹⁰. Utsleppsstandarden EURO V vart innført i oktober 2008 for tunge køyretøy medan ein ny standard EURO VI vil bli innført i januar 2013. EURO III vart innført i oktober år 2000 medan EURO II vart innført oktober 1998.

Kva inneheld vedlikehald?

I følgje ein e-post frå Vidre AS inneheld ein serviceplan for ein Volvo i trafikk for Fjord1 følgjande:

- Bremsar/klossar vert skifte kvart 5 år.
- Retarder- og motorolje, til saman 45 liter, vert skifta på bussen 2 gongar kvart år.
- Olje til girkasse/baksaksel, om lag 25 liter, vert skifta kvart 2,5 år.
- Dieselfilter vert skifta 2 gongar kvart år.
- Luftfilter vert skifta 1 gong pr år.

⁶ Fjord1: *Årsrapport 2010*, Side 36. Total køyrde km dividert på tal bussar gjev gjennomsnitt kjørelengd pr buss. http://www.fjord1.no/filesystem/2011/05/fjord1_arsrapport_2010_3425.pdf

⁷ Estimatet er for 2005 og har intern-namnet Bus-Reise-Diesel-DE-2005, sjå <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

⁸ Volvo (2006): *Environmental Product Declaration Volvo 8500 Low Entry*.

⁹ Barba-Gutiérrez, Y., González-Torre, P.L., González, B. (2005): *A life cycle assessment in the service sector: the case of bus and private transportation*, <http://library.witpress.com/pages/PaperInfo.asp?PaperID=14593>

¹⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards#Emission_standards_for_lorries_and_buses

I følgje ein e-post frå Trucknor i Stryn, ein merkeverkstad for Volvo, brukar dei om lag 24,6 kWh pr selte time på delelager og verkstad. Det vert brukt til saman 6 300 timar på bussar. Om vi tek som utgangspunkt at alle timar har den same energibruken svarar det til om lag 155 000 kWh for vedlikehald og reparasjon av bussar. Trucknor opplyser at dei leiger bygget dei bruker. Samla energibruk kan difor vere noko høgare av di ein del av energibruken, mellom anna til ventilasjon, vert betalt av huseigar og difor ikkje kjem fram i deira tal.

I følgje Trucknor er det ei tommelfingerregel at ein buss treng 150 timar vedlikehald pr år. Ifølgje estimatet til Mitropoulis et al. gjeve att i Tabell 1 vert det brukt 260 timar til vedlikehald pr buss. Om vi held på 150 timar får vi at 6 300 timar svarar til 42 bussar. Fordelar vi samla energibruk, 155 000 kWh, på desse 42 bussane får vi 3 690 kWh pr buss pr år. Dette omfattar energi til opplysning og oppvarming av bygningar og til drift av verktøy for vedlikehald av bussen.

I Tabell 1 har vi rekna ut energibruk pr buss pr år for dei ulike estimata. Denne energibruken omfattar materialar til delar og olje. Derimot er det usikkert om energi til oppvarming og opplysning av bygningar og drift av verktøy er inkludert. Estimatet frå Volvo tilsvarar 3 355 kWh pr buss pr år medan estimatet frå Chester & Horvath svarar til 6 250 kWh pr år. Estimatet frå Mitropoulis et al. ligg mykje høgare. Vi reknar det som mindre truverdig og ser bort frå det i den vidare analysa.

Gutierrez et al. har spesifisert kor mykje olje som går med til vedlikehald for ein 28 km tur med ein passasjer eller 28 passasjer-km. Tabell 2 syner forbruk av olje pr vogn-km i høve til deira estimat. Energibruken i MJ pr km er rekna ut frå eit energiinnhald på 40,6 MJ pr kg tungolje¹¹.

Tabell 2 Olje til vedlikehald av buss pr km

Vedlikehald	gram pr km	MJ pr km
Motor olje	0,68	0,027
Oljeskift	0,08	0,003
Retarder olje	0,10	0,004
Anna olje	0,06	0,002
Total		0,037

Tabellen ovanfor tilseier at energibruken til olje er 0,01 kWh pr km. Om vi reknar med at ein buss køyrer 55 000 km pr år, som er gjennomsnittleg tilbakelagd distanse pr buss i årsmeldinga til Fjord1 i 2010, får vi at ein buss bruker 550 kWh til olje for ulike typar vedlikehald pr år. Legg vi dette til estimatet for energibruk frå Trucknor på 3 690 kWh pr år får vi 4 240 kWh pr år pr buss. I tillegg kjem energi til materialar utanom olje.

Ifølgje Vidre AS vert det skift 45 liter motorolje og retarderolje på ein buss to gongar i året. I tillegg kjem olje til gearboks og bakaksel som svarar til 25 liter for kvart 2,5 år eller 10 liter pr år om vi fordeler dette pr år. Dette vert 100 liter tungolje til vedlikehald pr år. Ein liter tungolje har eit

¹¹ Toutain, J.E.W, Taarneby, G., Selvig, E., *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*, Statistisk Sentralbyrå, Rapport 2998/49, side 15, http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

energiinnhald på 39,8 MJ¹². Vi får 3 980 MJ eller 1 106 kWh pr år¹³. Tek vi som utgangspunkt 55 000 km køyrelengde pr år får vi 0,07 MJ pr km eller 0,02 kWh pr km. Legg vi 1 106 kWh til energibruken i verkstad og delerlager hjå Trucknor får vi 4 796 kWh pr buss pr år til vedlikehald. Igjen kjem energi til andre materialar enn olje i tillegg.

Alt i alt er estimatet frå Chester & Horvath på 6 250 kWh pr buss pr år det mest truverdige estimatet ut frå denne gjennomrekninga. Deira estimat er rekna ut frå ein årleg køyrelengde på 67 500 km pr år. Estimatet omfattar og all energibruk til materialar og til drift av bygningar. Estimatet frå produktdeklareringa til Volvo 8500 på 3 355 kWh pr buss pr år synest derimot å vere for lågt.

I denne gjennomgangen er det viktig å vere klar over at energibruken hjå Trucknor er fjernvarme og elektrisitet som i hovudsak kjem frå vasskraft. Prosessenergien på 3 690 kWh til vedlikehald pr buss pr år er difor energi som vert produsert tilnærma utan utslepp av klimagassar. Om vi bruker tala frå Trucknor saman med tala frå Chester & Horvath kan vi estimere prosessenergien til om lag 60% av all energibruk til vedlikehald. Dette talet er truleg heller for lågt enn for høgt.

Kva skuldast skilnader i ulike estimat?

Amerikanske standardar for utslepp er administrert av det amerikanske miljøverndepartementet EPA (Environment Protection Agency). Frå og med 2007 må amerikanske tyngre køyretøy tilfredsstille strengare utsleppskrav og bruke diesel med lågt svovelinnhald¹⁴.

Både europeiske og amerikanske utsleppsstandardar regulerer utslepp av NOx. Den europeiske standarden regulerer i tillegg utslepp av karbonmonoksid (CO), hydrokarbonar (HC) og partiklar (PM). Den amerikanske standarden regulerer utslepp av NMHC som er hydrokarbonar eksklusive metan. Den europeiske standarden er definert i gram per kWh for tyngre køyretøy medan den amerikanske standarden er definert i gram per hestekraft-time. Sidan ei hestekraft kan målast i kW og bruken vert målt over ein time vil definisjonen av utsleppsnivå vere omlag dei same. Ein hestekraft tilsvarer 0,746 kW. Ei hestekraft brukt i ein time tilsvarar såleis 0,746 kWh. Det amerikanske utsleppskravet er 3,125 gram per 0,746 kWh¹⁵. Utsleppskravet i EURO IV er 3,5 gram per kWh. Dei to standardane er såleis nokså like. Ulike utsleppskrav er difor neppe grunn til avvik i energi til produksjon av bussar i USA og i Europa.

Dei amerikanske bussane er tyngre enn Volvo men ikkje tyngre enn den tyske bussen. Vekt er såleis heller ikkje noko avgjerande skilje for å å forklare ulik energimengde for produksjon av bussen.

Volvo sitt estimat er for Volvo 8500 Low Entry som er ein bybuss med lågt trinn for å stige inn i bussen. Estimatet frå Chester og Horvath er for ein gjennomsnitt-buss. Vi reknar med at dette gjeld for ein bybuss. Det same gjeld estimatet frå Mitropoulis med fleire, forfattarane sjølve definerer ikkje køyresyklus for bussen. Estimatet frå ProBas gjeld for ein "reisebus" som på tysk er ein buss som vert brukt på lengre avstandar mellom byar.

Dei ulike estimata er basert på ulike metodar. Vi kan skilje mellom to typar analysar. Den eine typen er kva vi kallar prosess-analyser. Ei slik analyse freistar å identifisere alle fasar i ein prosess eller alle

¹² ibid. Energiinnhaldet er på 40,6 MJ pr kg med ein tettleik på 0,98 kg pr liter. Dette vert 39,8 MJ pr liter.

¹³ Det er 3,6 MJ i ein kWh.

¹⁴ [http://en.wikipedia.org/wiki/Not-To-Exceed_\(NTE\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Not-To-Exceed_(NTE))

¹⁵ ibid.

steg som må til for å lage eit produkt. Volvo si eiga produkt-deklarering for Volvo 8500 er ei slik analyse. Ein tek utgangspunkt i kva materialar som trengst i kva omfang for å lage ein buss. Vidare identifiserer ein kor mykje energi som trengs på sjølve fabrikken kor bussen vert laga. Deretter skal bussen transporterast til forhandlarar før han kan seljast. For kvart steg i prosessen vert input og output identifisert og kvantifisert.

Den andre typen er økonomiske input-output analyser. Desse analysane stammar opphavleg frå den russisk-amerikanske økonomien Leontieff. Analysa er ein kryssløp-analyse kor ein total økonomi vert delt opp i ulike sektorar. Transaksjonane mellom sektorane vert kvantifisert og eit kryssløp er såleis eit sett av økonomiske transaksjonar som er naudsynt for å produsere ein økonomisk output i ein sektor. Føremona med ei slik analyse er at alle transaksjonar automatisk vert inkluderte i analysa. I prosess-analyse er ein derimot avhengig av at alle input og output er korrekt identifisert. Ulempa med input-output analyse er det kan vere vanskeleg å identifisere eksakt kva input som fører til kva type output medan dette er føremonen til ein prosess-analyse.

Ei prosess-analyse er avhengig av at systemet ein skal analysere er komplett, konsistent og kontinuerleg avgrensa. Med komplett meiner vi at alle relevante input er tekne med. Med konsistent meiner vi at to prosessar som vert rekna som variantar av same prosess har same systemgrense. Med kontinuerleg meiner vi at same prosessen på to ulike tidspunkt har same avgrensinga. Kva skal ein til dømes inkludere i analyse av produksjon av bussar? Ein treng materiale for å lage ein buss. For å utvinne materialar treng ein energi. For å utvinne materialar treng ein bygningar. For å lage bygningar treng ein energi og transport. Transporten ein treng for å lage bygningar bruker transportmiddel som og må produserast, som og treng energi, og bygningar til produksjon og så bortetter. Det er vanskelig å vite eksakt kor ein skal setje grensa for kva som skal inkluderast i ei slik analyse.

I ei økonomisk input-output analyse er heile økonomien det relevante systemet. Definisjonane av sektorane bestemmer kva prosessar og produkt ein kan analysere. Når alle andre sektorar i økonomien er inkluderte i kryssløpet eller transaksjonane vil systemet sine grenser automatisk vere definerte og all relevant input og output vil vere inkludert.

Ei hybrid LCA analyse analyse er ein kombinasjon av prosess-analyse og økonomisk input-output analyse. I tabellen ovanfor bruker til dømes Chester og Horvath økonomisk input-output analyse for produksjon og vedlikehald av bussen medan dei bruker prosess-analyse til å estimere energibruken til framdrift. Energibruk til vedlikehald er estimert ut frå totale driftskostnadar til ein buss kor kostnadane til vedlikehald i 2005 utgjorde 20% av desse kostnadane. Informasjon om driftskostnadar er henta frå det amerikanske transportdepartementet ¹⁶. Totale driftskostnadar omfattar vedlikehald av bygningar og administrasjon av tenesta.

Mitropoulis med fleire bruker prosess-analyse både til produksjon av bussen og til framdrift medan økonomisk input-output analyse vart brukt til å analysere energibruk og utslepp for vedlikehald av bussen. Estimatet frå Volvo er basert på prosess-analyse, det same gjeld estimatet frå den tyske databasen ProBas.

¹⁶ Referansen er til Federal Transit Authority 2005: *National Transit Summaries and Trends 2005*, http://www.ntdprogram.gov/ntdprogram/pubs/NTST/2005/2005_NTST.pdf

Økonomisk input-output analyse føreset at all input og output kan definerast som prisar som representerer den økonomiske transaksjonen. Ein må til dømes setje ein pris på utslepp eller ein må ha ein representativ pris for drivstoff. Deretter kan mengde utslepp eller drivstoff avledast frå den mengde økonomisk transaksjon som vert generert av den gjevne prisen.

Konklusjonen på denne gjennomgangen er at estimatet for produksjon av bussen frå Chester og Horvath vil være det mest omfattande sidan alle transaksjonar er inkluderte. Energien som trengst for å produsere energien som vert brukt til framstilling av materialar er til dømes automatisk inkludert, det same gjeld bygningar og infrastruktur som trengst for utvinning og transport av materialar. Når det gjeld prosess-analyser kan dei ha ulike system-grenser og vi har ikkje den same garantien for at systemet som vert analysert er avgrensa på same måten.

Om vi legg det einaste økonomiske input-output estimatet til grunn (Chester & Horvath) går det med 2000 GJ (555 556 kWh) til å lage ein buss. I følge Volvo sin produktdeklarasjon går det med 468 GJ (130 000 kWh). Estimatet frå Mitropoulis med fleire ligg høgare enn Volvo og nærare Chester og Horvath med 1572 GJ (437 500 kWh). Estimatet frå ProBas ligg og høgare enn Volvo men er likevel lågare enn dei amerikanske med 818 GJ (227 222 kWh). Estimatet frå ProBas inneheld ikkje prosessenergi ved fabrikk som produserer bussen. Alle estimata skal innehalde energibruk til utvinning og framstilling av materialar. Skilnaden på dei kan som nemnd vere om definisjonen av denne energibruken er lik og om all prosessenergi ved fabrikk som lager bussen er inkludert. Er til dømes all energi til opplysning og oppvarming av bygningar teken med i estimatet? Når det gjeld estimatet basert på økonomisk input-output analyse er all denne energien automatisk inkludert sidan estimatet byggjer på samla økonomiske transaksjonar for ein sektor.

I tillegg er det ein del skilnader i total køyrelengde over hele bussen si levetid. Volvo opererer med 1 million km medan Chester og Horvath ligg nesten 200 000 km under dette. Mitropoulis med fleire opererer med ei køyrelengde som er nesten identisk med den Chester & Horvath bruker. ProBas derimot peikar seg ut med monaleg lågare total køyrelengde. Bussen si levetid varierer og mykje. Volvo opererer med 18 års levetid som er 6 år mer enn dei amerikanske studia. ProBas opererer med berre 5 års total levetid.

Det er og store skilnader i den andelen som energibruk til vedlikehald utgjer av energi til bygging av ny buss. I den amerikanske studien frå Chester & Horvath utgjer denne andelen 14%. I følge produktdeklareringa for Volvo 8500 utgjer andelen 47%. I den amerikanske studien frå Mitropoulis med fleire er andelen endå høgare med 65%. Estimatet frå Chester & Horvath er det einaste estimatet kor energibruk til både bygging og vedlikehald av bussen er basert på økonomisk input-output analyse. Dette estimatet inkluderer alle sider ved vedlikehald og produksjon.

Estimatet frå Chester og Horvath for vedlikehald byggjer altså på ein empirisk observasjon medan estimatet for vedlikehald frå Volvo og Mitropoulis med fleire er estimat basert på ulike føresetnader. Desse estimata er resultat av modellutrekningar og er ikkje basert på faktisk observasjon av bussar i dagleg drift.

Vi reknar estimatet til Chester og Horvath som det mest truverdige i høve diskusjonen ovanfor. Dette gjev 2,47 MJ pr vogn-km for produksjon av bussen med ei køyrelengd på 811 000 km. Energibruk til vedlikehald er estimert til 0,36 MJ pr vogn-km inklusive energi til produksjon av dekk for bussen over

heile levetida. Dette svarer til 0,7 liter diesel for produksjon av bussen pr mil og 0,1 liter diesel pr mil til vedlikehald.

Ein buss som skal brukast i meir enn ein anbodsperiode må ofte renoverast før han kan brukast i ein periode til. Denne renoveringa kan innebere lakking, skifte av setebelte, opprustning av klimaanlegg og installering av heis om det vert kravd. Renovering er ikkje naudsynt for alle bussar som skal brukast opp att. Det er ikkje teke særleg omsyn til energibruk og utslepp knytt til renovering av bussen i dei estimata for vedlikehald som vert presenterte i denne rapporten.

I den amerikanske rapporten fra Chester & Horvath som bruker økonomisk IO-analyse er det brukt ein økonomisk sektor i den amerikanske kryssløpsmatrisa som heiter "Automotive Repair and Maintenance"¹⁷. Sidan denne sektoren inkluderer utgifter og inntekter knytt til reparasjon i tillegg til vedlikehald reknar vi med at energibruk og utslepp knytt til reparasjon og renovering er inkludert i deira analyser.

Kva er riktig balanse mellom produksjon av ny buss og vedlikehald av brukte?

Energibruken til produksjon pr km er avhengig av estimert køyrelengde over bussen si levetid. Jo lenger den venta levetida er, jo mindre vert energibruken pr km. Sidan Volvo opererer med den lengste levetida og den lengste totalt tilbakelagte distanse vert energibruken til produksjon pr km minst. Men dette føreset og at bussen faktisk går 1 million km over 18 år. Dersom bussen går mindre aukar energibruken pr km. Energien til produksjon av bussen er allereie brukt og berre køyrelengde eller levetid kan påverke korleis denne energibruken slår ut pr km. Vi kan seie at energien er innebygd i bussen.

Energi til vedlikehald er derimot meir uavhengig av køyrelengde eller levetid opp til eit visst punkt. Ein buss treng eit visst vedlikehald om han har køyrt 50 000 eller 250 000 km. Ein eldre buss med lang køyrelengde kan trenge meir vedlikehald og kanskje meir reparasjonar, men energi som vert brukt til vedlikehald er ikkje så direkte avhengig av føresetnader om køyrelengde som energibruk til produksjon er.

Kor mange km må ein buss gå før energibruken til vedlikehald pr km er like låg som energibruken til produksjon av ein ny buss? Jo lenger ein buss må gå før vi når dette punktet jo meir energieffektivt vil det vere å bruke energi på vedlikehald framfor å kjøpe ein ny buss.

Likning 1 reknar ut eit kryssingspunkt for energibruk til produksjon av ein ny buss relativt til energibruk til vedlikehald. Vi finn det punktet kor energibruk pr km til produksjon er akkurat lik energibruken pr km for vedlikehald av same type buss. Likninga byggjer på at jo lenger ein buss vert køyrt jo lågare vert energibruken til produksjon pr km. Når det gjeld energibruk til vedlikehald vert denne rekna som konstant pr km for heile bussen si levetid. Det siste er ei forenkling sidan det er grunn til å rekne med at energibruken til vedlikehald og reparasjonar vil auke noko etterkvart som køyrelengda aukar. Ein skal likevel ikkje overdrive denne effekten. I følgje opplysningar frå selskapet Vidre er serviceintervallet for ein buss som har gått 700 000 km det same som for ein buss som har gått 70 000 km¹⁸.

¹⁷ Chester & Horvath, side 22.

¹⁸ E-post frå Vidre AS 14 februar 2012.

Jo lenger ein buss må køyrast før energibruken til produksjon og vedlikehald er lik pr km, jo meir vil det løne seg å bruke brukte busser sett frå ein energieffektiv ståstad.

Likning 1 Estimering av kryssingspunkt mellom energibruk til vedlikehald og produksjon av ny buss

$$\text{Energi} - \text{produksjon} - GJ_{km} = \frac{\text{Energi} - \text{produksjon} - GJ_{\text{levetid}}}{\text{Energi} - \text{vedlikehald} - GJ_{km}}$$

I følgje Likning 1 vil ein Volvo buss i følgje Volvo si eiga produktdeklarering køyre 2,1 millionar km før energibruk til produksjon er like låg som energibruk til vedlikehald. I følgje Chester og Horvath må bussen køyre 6 millionar km før energibruken til produksjon pr km er like låg som energibruk til vedlikehald pr km. I følgje estimatet frå Mitropoulis med fleire må bussen køyre 1,3 millionar km før energibruken til produksjon er like låg som energibruk til vedlikehald pr km.

I reknestykket ovanfor vil energibruk vere knytt til buss og ikkje til operatøren av bussen. Det er same kva operatør som bruker bussen så lenge bussen går langt for å utjamne energibruk til produksjon relativt til energibruk for vedlikehald. For den einskilde operatør vil det likevel vere ei føremon å køyre bussen lengst mogleg for å ta ut den energieffektivisering som ligg i lågare energibruk til vedlikehald enn til produksjon av ny buss.

Vi har tidlegare sett at prosessenergienergi til vedlikehald av bussar er på om lag 3 700 kWh pr buss pr år eller om lag 0,24 MJ pr buss pr km med ein årleg køyrelengde på 55 000 km. Dette utgjør mesteparten av estimatet frå Chester & Horvath på 0,33 MJ pr km pr år, eksklusive dekkskift. Denne prosessenergien er for det aller meste fornybar energi i Sogn og Fjordane. Når vi taler om kryssingspunkt ovanfor er det difor viktig å ha med i reknestykket at energien til produksjon av bussen kjem med ein heilt anna elektrisitetssmiks enn energi til vedlikehald i Sogn og Fjordane. Dette tilseier mindre utslepp av klimagassar ved å bruke energi til vedlikehald framfor å bruke meir energi på kjøp av nye bussar for kvar ny anbudsperiode.

Samansetting av bussflåten

Korleis kan samansetting av nye og gamle bussar påverke samla energibruk? Finst det ein optimal samansetting av ein busspark? Resonnementet ovanfor gjeld for alle typar bussar. Eit anbod er typisk ei samansetting av korte og lange ruter målt i km. Dei korte rutene vil og venteleg ha meir start og stopp pr rute. Korleis kan ei slik samansetting av rutetilbodet påverke ei optimal samansetting av ein busspark med dei resultatane vi har drøfta ovanfor?

Vi skal forsøke å analysere dette ved å bruke data frå den tyske databasen ProBas. I databasen er busstransport delt inn i utsleppsklasser, i kapasitetsutnytting og i tre ulike distansekategori. Dei tre distansekategoriene er innan ein by¹⁹, mellom byar²⁰, og langkøyring på motorveg eller på tysk "autobahn". Den siste kategorien er neppe representativ for mange ruter i Sogn og Fjordane, poenget er likevel å syne korleis energibruken endrar seg ved ulike føresetnader om distanse og frekvens av på og avstiging.

Vi har teke utgangspunkt i 100% kapasitetsutnytting for ein buss med 30 seter for alle typar ruter. I følgje ProBas vil ein slik buss veie mellom 3,5 og 15 tonn. Ifølgje Tabell 1 veier ein Volvo 8500 10,9 tonn medan ein gjennomsnittsbuss i USA i følgje Chester & Horvath veier 11,3 tonn. I følgje estimat i

¹⁹ På tysk "innerorts".

²⁰ På tysk "ausserorts".

ProBas vil ein buss med 10% kapasitetsutnytting bruke mindre drivstoff pr km enn ein buss med 100% kapasitetsutnytting sidan vekta av ekstra passasjerar aukar drivstofforbruket. Ved å bruke tall for ulike kapasitetsutnyttingar for den same distanse kategorien og utsleppsklasse kan vi rekne med at ein ekstra passasjer for ein EURO III buss på autobahn vil vere omlag 0,074 MJ medan bussen bruker om lag 6,7 MJ (eller 1,9 liter diesel pr mil ²¹) om bussen ikkje hadde passasjerar i det heile teke ²². Uttrykt i liter diesel inneberer dette at ein ekstra passasjerar aukar forbruket med 0,02 liter diesel pr mil. Ein fullasta 30 seters buss på autobahn bruker dermed 2,5 liter diesel pr mil.

Tabell 3 Energiforbruk for ulike ruter for energikjeda direkte energibruk og indirekte energibruk eksklusive infrastruktur. Alle energibrukstal i MJ per vogn-km.

		Rute			
		1	2	3	
		Rutelengde km	30	100	250
		Daglig frekvens	5	2	1
		Antall dagar i bruk	330	300	250
		Km pr år	49 500	60 000	62 500
		Km etter anbodsperiode 7 år	346 500	420 000	437 500
EURO V	Framdrift (A)	Ny buss	12,12	9,12	9
	Køyrelengd	Tilbakelagt	0	0	0
		Etter anbodsperiode	346 500	420 000	437 500
	Produksjon (B)		5,77	4,76	4,57
	Vedlikehald (C)		0,36	0,36	0,36
	Sum	A+B+C, MJ pr vogn-km	18,25	14,24	13,93
EURO IV	Framdrift	Brukt buss 420 000 km	12,12	9,12	9
	Køyrelengd	Tilbakelagt	420 000	420 000	420 000
		Etter anbodsperiode	766 500	840 000	857 500
	Produksjon		2,61	2,38	2,33
	Vedlikehald		0,36	0,36	0,36
	Sum	MJ pr vogn-km	15,08	11,86	11,69
EURO III	Framdrift	Brukt buss 540 000 km	12,12	9,12	9
	Køyrelengd	Tilbakelagt	540 000	540 000	540 000
		Etter anbodsperiode	886 500	960 000	977 500
	Produksjon		2,26	2,08	2,05
	Vedlikehald		0,36	0,36	0,36
	Sum	MJ pr vogn-km	14,73	11,56	11,40
EURO II	Framdrift	Brukt buss 750 000 km	11,73	8,76	8,67
	Køyrelengd	Tilbakelagt	750 000	750 000	750 000
		Etter anbodsperiode	1 096 500	1 170 000	1 187 500

²¹ I følgje Toutain et al. , SSB 49/2008 , Tabell 2.1 side 15, er det 43,1 MJ i ein kg diesel medan ein liter diesel har ein tettheit på 0,84, det er med andre ord 0,84 kg i ein liter diesel. Dette gjev 36,2 MJ pr liter diesel.

²² Vi har her rekna ut regresjonskoeffisienten b ved å ta $\frac{Y_{100}-Y_{10}}{X_{100}-X_{10}}$ hvor Y100 er energibruk ved 100% utnytting og X100 er talet på passasjerar ved same utnyttingsgrad medan Y10 og X10 er same forbruk og passasjerar ved 10% kapasitetsutnytting. Konstantleddet a i regresjonsformelen finn vi ved å ta Y10-(b*3) sidan 10% utnytting svarar til 3 passasjerar for ein buss med 30 seter. Dette gjev b=0,0744 og a=6,99-(0,0744*3)=6,77 sidan energibruken ved 10% utnytting er 6,99 MJ pr km og energibruken ved 100% utnytting er 9 MJ pr km.

	Produksjon		1,82	1,71	1,68
	Vedlikehald		0,36	0,36	0,36
	Sum	MJ pr vogn-km	13,91	10,82	10,71

Poenget her er å samanlikna likt mot likt. Difor er 100% utnyttingsgrad valt for alle distansekategoriene og alle utsleppsklassene. Vi reknar med ei årleg køyrelengde på 60 000 km for alle typar bussar. Ein by buss som vert sett inn på ei anbudsrunde i dag vil ha utsleppsklasse EURO V som vart innført i oktober 2008²³. Ein buss som har vore brukt i ein anbudsperiode vil være minst 7 år gamal. EURO IV vart innført i oktober 2005 så vi kan grovt rekne med at ein buss som har vore brukt i ein anbudsperiode er av utsleppsklasse EURO IV. Dersom anbudsperioden hadde ei forlenging vil bussen vere av utsleppsklasse EURO III som vart innført i oktober 2000. Ein buss som har vore brukt i ein anbudsperiode vil ha tilbakelagt ein distanse på 420 000 km over sju år med årleg køyrelengde på 60 000 km. Dersom anbudsperioden vart forlenga med 2 år vil bussen ha tilbakelagt ein distanse på 540 000 km. For samanlikninga sin skuld tek vi med ein buss om har gått meir enn 540 000 km. Vi har sett distansen til 750 000 km. Ein slik buss vil vere 12,5 år gamal med ein årleg køyrelengde på 60 000 km og vi reknar difor med at ein slik buss er av utsleppsklasse EURO II som vart innført i oktober 1998.

Vi reknar energi til produksjon av bussen i høve til dei køyrte kilometer. Dette er ein viktig føresetnad. Ei viktig innvending er at bussen vil bli køyrt vidare av andre etter at anbudsperioden er over og at energi til produksjon må fordelast på heile livsløpet. For å illustrere korleis produksjonsenergi endrar seg med total utkøyrte distanse reknar vi her med at ein buss av utsleppsklasse EURO IV berre blir brukt i sju år.

Vi har teke utgangspunkt i tre ulike ruter. Den eine ruta er 30 km lang og svarar grovt til den tyske ruta som går innan by eller tettstad. Den andre ruta er 100 km lang og svarar til ei rute mellom byar medan den tredje ruta er 250 km lang og vil vere eit døme på ei lengre ekspressrute som går på betre vegar. Vi har justert frekvensen pr dag og tal dagar i bruk i året slik at bussane får ei køyrelengde på 50-60 000 km pr år.

Vi gjer merksam på at utrekningar av energibruk og utslepp for ulike ruter er basert på ein buss med 30 seter som veier mellom 3,5 og 15 tonn. Vi tek ikkje omsyn til at bussar med ulik vekt kan brukast på ulike ruter. Når det gjeld energibruk og utslepp frå produksjon og vedlikehald av bussen er dei og baserte på ein gjennomsnittsbuss som veier om lag 11 tonn.

Tabellen omfattar to energikjeder. Den eine energikjeda er den direkte energien eller framdriftsenergien. Det er dette vi til vanleg kallar drivstofforbruk. Den andre energikjeda er energi til produksjon av bussen inklusive vedlikehaldet. Saman med energi til bygging, drifting og vedlikehald av infrastruktur utgjer dette den indirekte energien. Vi har ikkje teke omsyn til infrastruktur i dette dokumentet.

Vi har rekna energi til dekkskift med i vedlikehaldet. Energien til produksjon av bussen minkar med aukande køyrelengde og vert såleis mindre pr km jo lenger bussen vert køyrt. Energien til vedlikehald er rekna konstant pr km uavhengig av køyrelengde. Tala for produksjon og vedlikehald er henta frå

²³ http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards

studien til Chester og Horvath i Tabell 1 medan energi til framdrift er henta frå den tyske databasen ProBas med dei føresetnader som tidligare er omtalte.

Vi har og rekna energibruken om til liter diesel pr mil. Poenget er å vise resultatet i ein måleining som er meir ålment kjend. Tabell 4 syner resultatet.

Tabell 4 Energiforbruk for ulike ruter for energikjeda direkte energibruk og indirekte energibruk eksklusive infrastruktur. Alle energibrukstal i liter diesel pr mil.

		Rute			
		1	2	3	
		Rutelengde km	30	100	250
		Daglig frekvens	5	2	1
		Antall dagar i bruk	330	300	250
		Km pr år	49 500	60 000	62 500
		Km etter anbodsperiode 7 år	346 500	420 000	437 500
EURO V	Framdrift (A)	Ny buss	3,35	2,52	2,49
	Køyrelengd	Tilbakelagt	0,00	0,00	0,00
		Etter anbodsperiode	346 500	420 000	437 500
	Produksjon (B)		1,59	1,32	1,26
	Vedlikehald (C)		0,10	0,10	0,10
	Sum	A+B+C	5,04	3,93	3,85
EURO IV	Framdrift	Brukt buss 420 000 km	3,35	2,52	2,49
	Køyrelengd	Tilbakelagt	420 000	420 000	420 000
		Etter anbodsperiode	766 500	840 000	857 500
	Produksjon		0,72	0,66	0,64
	Vedlikehald		0,10	0,10	0,10
	Sum		4,17	3,27	3,23
EURO III	Framdrift	Brukt buss 540 000 km	3,35	2,52	2,49
	Køyrelengd	Tilbakelagt	540 000	540 000	540 000
		Etter anbodsperiode	886 500	960 000	977 500
	Produksjon		0,62	0,58	0,57
	Vedlikehald		0,10	0,10	0,10
	Sum		4,07	3,19	3,15
EURO II	Framdrift	Brukt buss 750 000 km	3,24	2,42	2,39
	Køyrelengd	Tilbakelagt	750 000	750 000	750 000
		Etter anbodsperiode	1 096 500	1 170 000	1 187 500
	Produksjon		0,50	0,47	0,47
	Vedlikehald		0,10	0,10	0,10
	Sum		3,84	2,99	2,96

Om vi samanliknar den totale energibruken for ulike bussar med dei føresetnader som er omtalte vil ein buss i utsléppsklasse EURO III på den kortaste ruta ha eit forbruk som er ein liter lågare pr mil enn ein by buss i utsléppsklasse EURO V. Dette skuldast i hovudsak at den nyaste bussen har færre

kilometer å fordele energibruken til produksjon av bussen på. Vi minner om at dette er ein kritisk føresetnad som kan diskuteras, men reknestykket får likevel fram skilnaden om ein ny buss berre vert brukt i ein anbodsperiode. Skilnaden er noko mindre for den lengste ruta, her er skilnaden på 2,5 MJ pr km eller om lag 0,7 liter pr mil. For den midterste distanseklassen er skilnaden meir på line med den lengste distanseklassen. Ein eldre brukt buss vil difor representere ein større energisparing på ei kort rute enn på ei lengre rute. Denne effekten skuldast at dei nye bussane vert køyrt lenger på dei lengste rutene og difor vil energi til produksjon og vedlikehald bli fordelt på fleire km fortare.

Det er og verdt å merke seg at om bussane kan køyrast bortimot 1,2 millionar km vert innsparinga ved å bruke ein brukt buss enda større. Ein EURO II buss som har gått 750 000 km før anbodsperioden startar vil bruke 1,2 liter mindre pr mil enn ein ny buss i utsleppsklasse EURO V. Dette føreset at bussen kan køyrast i nesten 1,1 millionar km som med ein årleg køyrelengde på 60 000 km tilseier ein buss på nesten 19 år.

Utslepp

Utslepp av klimagassar følgjer stort sett energibruken. For energi til framdrift av bussen vil utsleppet av CO₂ vere ein faktor på 2,6628 kg pr liter diesel²⁴. Pr MJ diesel vert det slept ut 73,55 gram CO₂.

Vi har tidlegare omtalt skiljet mellom CO₂ og CO₂-ekvivalentar. Når det gjeld framdrift vil mesteparten av utsleppet vere CO₂. I følgje SSB-rapporten om energibruk og utslepp frå innenlandsk transport utgjer utsleppet av CO₂ frå framdrift av norske bussar i 2005 99,3% av alle utslepp av CO₂-ekvivalentar²⁵. Vi bruker derfor ein utsleppsfaktor for CO₂ for å rekne ut utsleppet frå framdrift frå Volvo 8500 og for estimatet for ein ekspressbuss frå ProBas. Når det gjeld studien frå Chester & Horvath har vi brukt deira eigne utsleppstal for framdrifta. Utslepp av CO₂-ekvivalentar frå produksjon og vedlikehald er rekna ut pr vogn-km ved å bruke totale utslepp over heile levetida dividert med venta køyrelengd over same levetid. Tabell 5 syner ulike estimat for utslepp.

Tabell 5 Utslepp av CO₂-ekvivalentar for framdrift, produksjon og vedlikehald av bussar.

		Volvo	Chester & Horvath	ProBas
År		2006	2008	
Eigenskapar, buss	Vekt, tonn	10,9	11,3	14,0
	Hestekrefter	290		
Utslepp levetid	Produksjon kg CO ₂ -ekv.	25 268	160 000	66 553
	Vedlikehald, kg CO ₂ -ekv.	4 790	22 000	
Levetid	Køyrelengde km	1 000 000	811 104	287 500
	Levetid	18	12	5
Årleg	Køyrelengde	55 000	67 592	57500,0
	Timar vedlikehald			
	Passasjerbelegg	12,0	10,5	
Anna	Produksjon av dekk, kg CO ₂ -ekv pr levetid		1 300	

²⁴ Toutain et al., SSB 49/2008, Tabell 2.6 side 19 og tabell 2.1 side 15. Utslepp pr liter er utslepp pr kg multiplisert med kg pr liter som er lik tettleiken til diesel, 0,84 kg pr liter.

²⁵ ibid., Tabell 2.18 side 24.

gram CO2-ekv pr vogn-km	Framdrift	1 437,4	1 491,0	787,0
	Produksjon	25,3	197,3	231,5
	Vedlikehald	4,8	27,1	
	Inklusive dekk		28,7	

Utslepp av CO₂-ekvivalentar frå produksjon og vedlikehald av buss for Volvo 8500 er henta frå Volvo si produktdeklarering. For estimatet i ProBas er det rekna ut CO₂-ekvivalentar for produksjon av ein kg av dei aktuelle materialane som er gjeve opp i estimatet. Deretter er utsleppet summert over alle kg for alle materialar. Mitropoulis med fleire gjev ikkje opp tal for CO₂-utslepp frå produksjon av buss, det gjer heller ikkje Gutierrez med fleire.

Tabell 6 Utslepp av CO₂-ekvivalentar for ulike ruter for energikjeda direkte energibruk og indirekte energibruk eksklusive infrastruktur. Alle utsleppstal tal i gram CO₂-ekvivalentar pr vogn-km. Norsk elektrisitetsmiks.

			Utslepp gram CO ₂ -ekvivalenter pr km		
			Rute		
			1	2	3
		Rutelengde km	30	100	250
		Daglig frekvens	5	2	1
		Antall dagar i bruk	330	300	250
		Km pr år	49 500	60 000	62 500
		Km etter anbodsperiode 7 år	346 500	420 000	437 500
EURO V	Framdrift (A)	Ny buss	891,4	670,8	661,9
	Køyrelengd	Tilbakelagt	0,0	0,0	0,0
		Etter anbodsperiode	346 500	420 000	437 500
	Produksjon (B)		461,76	380,95	365,71
	Vedlikehald (C)		11,26	11,26	11,26
	Sum	A+B+C	1364,45	1062,99	1038,93
EURO IV	Framdrift	Brukt buss 420 000 km	891,4	670,8	661,9
	Køyrelengd	Tilbakelagt	420 000	420 000	420 000
		Etter anbodsperiode	766 500	840 000	857 500
	Produksjon		208,7	190,5	186,6
	Vedlikehald		11,3	11,3	11,3
	Sum		1111,43	872,51	859,80
EURO III	Framdrift	Brukt buss 540 000 km	891,4	670,8	661,9
	Køyrelengd	Tilbakelagt	540 000	540 000	540 000
		Etter anbodsperiode	886 500	960 000	977 500
	Produksjon		180,5	166,7	163,7
	Vedlikehald		11,26	11,26	11,26
	Sum		1083,17	848,71	836,90
EURO II	Framdrift	Brukt buss 750 000 km	862,7	644,3	637,7
	Køyrelengd	Tilbakelagt	750 000	750 000	750 000
		Etter anbodsperiode	1 096 500	1 170 000	1 187 500
	Produksjon		145,9	136,8	134,7
	Vedlikehald		11,26	11,26	11,26

	Sum		1019,92	792,31	783,68
--	-----	--	---------	--------	--------

Estimatet for Volvo kjem lågt ut på grunn av lengre køyrelengde enn estimatet frå Chester og Horvath. Vi har tidligare brukt estimatet frå Chester & Horvath for energibruken av di dette estimatet byggjer på økonomisk input-output analyse. Dette gjev oss eit estimat på 197,3 gram pr vogn-km til produksjon av bussen og 28,7 gram pr vogn-km til vedlikehald inklusive utslepp kytt til produksjon av dekk.

Chester & Horvath sitt estimat for utslepp av CO₂-ekvivalentar til vedlikehald byggjer på amerikansk elektrisitetmiks. Vi har tidlegare grovt rekna med at 60% av all energi til vedlikehald er prosessenergi. I følge Klimagassbudsjettet som er utarbeidd til Nasjonal Transportplan 2014-2023²⁶ kan ein rekne med utslepp av 7 gram kWh for ein norsk elektrisitetmiks. Talet er henta frå SSB²⁷ og baserer seg på norsk vasskraft pluss ein nettoimport på 7% til norsk elektrisitetsmarknad i perioden 1998-2004. I tabellen ovanfor er det rekna med 7 gram CO₂-ekvivalentar pr kWh eller 1,9 gram pr megajoule (MJ).

Med dette utgangspunktet kan vi difor rekne med at utsleppa til vedlikehald til bussen pr km er på om lag 11,3 gram per vogn-km om vedlikehaldet vert utført i Noreg. I dette estimatet har vi trekt ut utslepp knytt til produksjon av dekk.

Basert på desse føresetnadane kan vi gjere same analyser av rutesamansetting for utslepp av CO₂-ekvivalentar som vi gjorde for energibruken. Vi minner igjen om føresetnaden om at bussen ikkje vert brukt lenger enn dei ulike anbodsperiodane. Denne føresetnaden påverkar resultatet i tabellen. Vi meiner likevel dette får fram viktige skilnader mellom å bruke bussar lenger framfor å kjøpe nye etter at anbodsperioden er slutt. I tabellen har vi rekna med at utsleppa frå vedlikehald i den amerikanske studien utgjer 40% sidan prosessenergien i Noreg utgjer 60% av vedlikehaldsenergien. For desse 60% har vi som nemnd brukt ein utsleppsfaktor på 7 gram pr kWh for ein norsk elektrisitetsmarknad.

Ut frå Tabell 6 kan vi rekne ut gevinsten ved å bruke ein eldre EURO III bus framfor ein ny EURO V buss. Gevinsten er på 281,3 gram per vogn-km for kortaste ruta, 214,3 gram per vogn-km for midterste ruta og 202 gram per vogn-km for den lengste ruta. Om vi reknar med ei årleg køyrelengd på 60 000 km vert den totale gevinsten pr år 16,9 tonn CO₂-ekvivalenter for kortaste rute, 12,9 tonn for midterste rute og 12,1 tonn for den lengste ruta. Dette er vel og merkje innsparing berre for ein buss på ei rute. Reduksjonen i utslepp ved å bruke ein brukt buss framfor ein ny er er med andre ord over 4 tonn på den kortaste ruta samanlikna med den lengste. Denne effekten skuldast igjen at utsleppa frå produksjon vert fordelt på færre km på dei kortaste rutene, dermed får den brukte bussen en større fordel for dei km som allereie er tilbakelagte.

Vi har nytta same utsleppsfaktoren for vedlikehald til alle typar bussar. Dette skuldast at vi har rekna same energibruk og utslepp pr vogn-km for alle typane. Difor vil ikkje val av elektrisitetmiks påverke det relative tilhøvet mellom typane. Val av elektrisitetmiks vil derimot påverke *nivået* på utsleppa.

²⁶ Nasjonal Transportplan 2014-2023: *Klimagassbudsjett*, side 17, http://www.ntp.dep.no/2014-2023/pdf/rapport_klimagass.pdf

²⁷ Toutain et al., side 26.

Flåteeffekt på utslepp av CO₂-ekvivalentar

Med utgangspunkt i Tabell 6 kan vi rekne ut effekten av å bruke nye bussar, brukte bussar eller ein miks av gamle og nye. Vi reknar med ein flåte på 50 bussar. Alle effektar vert rekna ut i høve til om heile flåten inneheld nye bussar. Vi skal presentere tre alternativ for bussar som er brukte i ein anbodsperiode. Eit alternativ der alle bussane er nye, eit kor alle bussar er brukte ein anbodsperiode og eit alternativ med ein miks med 40% brukte. Vi reknar ein anbodsperiode som sju år.

Dei bussane som har gått ein anbodsperiode reknar vi med har utsleppsstandard EURO IV medan nye bussar har utsleppsstandard EURO V.

Tabell 7 Utslepp frå ein flåte på 50 nye bussar fordelt på ulike ruter i ein anbodsperiode.

	Rute		
	1	2	3
Alle nye	1	2	3
Tal bussar	23	22	5
Antall tilbakelagte km før anbodsperiode	0	0	0
Køyrelengde pr år	49 500	60 000	62 500
Køyrelengde heile anbodsperiode	346 500	420 000	437 500
Utslepp gram pr vogn-km	1 364,4	1 063,0	1 038,9
Total utslepp pr buss, tonn CO ₂ -ekv. i anbodsperioden	473	446	455
Totale utslepp heile flåten, tonn CO ₂ -ekv i anbodsperioden	10 874	9 822	2 273

Vi tek som føresetnad at 23 av bussane i flåten vert brukte på den kortaste ruta på 30 km, 22 bussar vert brukte på ruta som er 100 km og 5 bussar vert brukte på den lengste ruta på 250 km. Vi gjer merksam på at utrekninga av utslepp frå framdrift av bussen er basert på ein buss med 30 seter som veier mellom 3,5 og 15 tonn og bruker køyremønster frå Tyskland med anna terreng og vegar enn norske tilhøve. Vi tek ikke omsyn til at bussar med ulik vekt kan brukast på ulike ruter. Når det gjeld utslepp frå produksjon og vedlikehald av bussen er dei og basert på ein gjennomsnittsbuss som veier om lag 11 tonn. Utsleppa som vert presenterte er difor truleg for høge i høve til ein samansetnad av bussar med ulik vekt.

Vi reknar ut utsleppseffekten av ulike samansetnad av bussar for dei tre rutene vi har definert ovanfor. Tabell 7 syner utsleppa frå ein flåte på 50 bussar som vert sett inn i den hypotetiske ruteproduksjon. Prinsippa for utrekninga av effekt pr vogn-km er dei same som ovanfor. Med berre nye bussar vert samla utslepp på nesten 23 000 tonn CO₂-ekvivalentar. Til samanlikning har SSB rekna ut at dei totale utslepp frå tyngre køyretøy over 3,5 tonn i Sogn og Fjordane i 2009 er på 76 100 tonn²⁸. Desse tala er basert på sal av petroleumsprodukter pr fylke. Deretter er utsleppstala fordelte pr kommune innanfor fylke og summer på nytt pr fylke. Utrekningane byggjer på tal køyretøy i ulike grupper, tal køyrelengde og køyremønster i kvar kommune. Dette talet omfattar lastebilar i tillegg til bussar. Nokre bussar vil truleg og ha ei vekt på under 3,5 tonn.

Tala våre er ikkje direkte samanliknbare med SSB sine. For det fyrste er våre tall hypotetiske og basert på at alle bussar har ei køyrelengd på rundt 50-60 000 km pr år. Ikkje alle bussar vil ha ei slik

²⁸ SSB Statistikkbanken, <http://statbank.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?MainTable=UtslippKlimaAktR&SubjectCode=01&planguage=0&nvl=True&mt=1&nyTmpVar=true>

køyrelengd. SSB sine tall er basert på empirisk observasjon og ikkje modellutrekningar slik våre tal er. For det andre omfattar våre tal fleire utslepp sidan utslepp frå produksjon og vedlikehald av bussane er inkluderte. Tala frå SSB omfattar berre utslepp frå framdrift av køyretøya. Heile vårt resonnement er basert på at bussar som vert køyrt lite får store utslepp pr km frå produksjon. Ein ny buss brukt på det vi har definert som rute 1 vil berre ha gått om lag 350 000 km etter at anbodsperioden er slutt. Dette vert rekna som samla kilometerproduksjon for denne bussen over heie levetida. Dette vil såleis gje høge utslepp frå produksjon for denne bussen pr kilometer.

Vi kan og samanlikne med utslepp frå personbiltransporten i Sogn og Fjordane i 2009. I følgje SSB er desse utsleppa på om lag 131 000 tonn CO₂-ekvivalentar.

Tabell 8 Utslepp frå ein flåte på 50 brukte bussar fordelt på ulike ruter i ein anbodsperiode.

Alle bussar er brukte 1 anbodsperiode	1	2	3
Antall tilbakelagte km før anbodsperiode	346 500	420 000	437 500
Tal bussar	23	22	5
Køyrelengde pr år	49 500	60 000	62 500
Køyrelengde heile anbodsperiode	346 500	420 000	437 500
Utslepp gram pr vogn-km	1 111,4	872,5	859,8
Total utslepp pr buss, tonn CO ₂ -ekv. i anbodsperioden	385,1	366,5	376,2
Totale utslepp heile flåten, tonn CO ₂ -ekv i anbodsperioden	8 858	8 062	1 881

Tabell 8 syner dei same utsleppa for dei same rutene om vi reknar med bussar som har vorte brukt i ein anbodsperiode tidlegare. Dei samla utsleppa er no rekna til 18 800 tonn. Vi får med andre ein reduksjon i samla utslepp på nesten 4 200 tonn ved å bruke brukte bussar framfor nye med dei føresetnadene som er brukte her. Reduksjon i utslepp er størst for den kortaste ruta sidan det er få kilometer å fordele desse utsleppa på om bussen er ny. For den kortaste ruta er reduksjon i utslepp på litt over 2 tonn.

Tabell 9 Utslepp frå ein flåte på 50 nye og 40% brukte bussar fordelt på ulike ruter i ein anbodsperiode.

40% brukte 1 periode	1	2	3
Antall tilbakelagte km før anbodsperiode	138 600	168 000	175 000
Tal bussar	23	22	5
Køyrelengde pr år	49 500	60 000	62 500
Køyrelengde heile anbodsperiode	346 500	420 000	437 500
Utslepp gram pr vogn-km	1 263,2	986,8	967,3
Total utslepp pr buss, tonn CO ₂ -ekv. i anbodsperioden	438	414	423
Totale utslepp heile flåten, tonn CO ₂ -ekv i anbodsperioden	10 067	9 118	2 116

Tabell 9 syner utslepp frå ein tenkt flåte på 60% nye bussar og 40% brukte fordelt på dei same rutene som ovanfor. Vi får samla utslepp på om lag 21 300 tonn og ein reduksjon i utslepp på litt over 1 600 tonn CO₂-ekvivalentar samanlikna med alternativet med 100% nye bussar.

Kva inneber ein reduksjon på nesten 4 200 tonn? I følgje Opplysningsrådet for Veitrafikken var gjennomsnittleg CO₂-utslepp frå fyrstegangsregistrerte nye personbilar i februar 2012 på 130 gram

pr kilometer ²⁹. Talet gjeld både for bensinbilar og dieslbilar. Om vi reknar med ei årleg køyrelengd på 20 000 km vil 1 615 av desse nye bilane i løpet av eit år sleppe ut om lag 4 200 tonn CO₂. Dette tilsvarer altså til gevinsten i utslepp ved å bruke alle bussar ein anbudsperiode til framfor å kjøpe nye under den føresetnad at dei nye vert skrota etter ein anbudsperiode. Reknar vi med 40% brukte bussar vil 615 av dei nye personbilane kunne køyre 20 000 km pr år før dei slepp ut like mye som reduksjonen i utsleppa ved å bruke bussar om att i ein anbudsperiode til.

Verknader av ulike elektrisitetstypar

I tabellen ovanfor er utslepp frå prosessenergien basert på norsk på ein *norsk* elektrisitetstypar. Dette gjev ein utsleppsfaktor på 7 gram CO₂-ekvivalentar pr kWh. I Klimagassbudsjettet utarbeidd til Nasjonal Transportplan ³⁰ er utsleppet frå ei *nordisk* elektrisitetstypar estimert til 200 gram pr kWh eller 55,6 gram pr MJ. Det er ikkje dokumentert kor talet er henta frå. I følgje ENØK-etaten i Oslo kommune fra mars 2011 inneber ein nordisk elektrisitetstypar 108 gram CO₂ pr kWh eller 30 gram pr MJ ³¹. Oslo kommune opplyser at talet er basert på gjennomsnitt av nordisk elektrisitetstypar over ein treårsperiode.

I Klimagassbudsjettet til Nasjonal Transportplan 2014-2023 er det gjort ei drøfting av ulike grunnar for å velje mellom ulike elektrisitetstypar. Det vert peika på at om ein ynskjer ei analyse av *faktisk forbruk* er det eit gjennomsnittsperspektiv som bør liggje til grunn. Dette tilseier ein historisk norsk elektrisitetstypar korrigert for nettoimport. Om ein derimot ynskjer å vite effekten av ein *auke* i forbruket bør ein leggje eit marginalperspektiv til grunn. Effekten av ein auke i elektrisitetsforbruket er avhengig av om norsk vasskraft vert nytta fullt ut. Om dette er tilfelle vil ein auke føre til auka import frå ein nordisk elektrisitetstypar og i så tilfelle er det rett å leggje utsleppsfaktoren for denne marknaden til grunn for utrekningane.

Tabell 10 Effekt av ulike typar elektrisitetstypar på utslepp av CO₂-ekvivalentar frå produksjon og vedlikehald . Gram pr vogn-km.

Gram pr vogn-km		Rute		
		1	2	3
EURO V	Norsk	473,0	392,2	377,0
	Nordisk 108 g	483,3	402,5	387,2
	Nordisk 200 g	484,4	403,6	388,4
EURO IV	Norsk	220,0	201,7	197,9
	Nordisk	230,2	212,0	208,1
	Nordisk 200 g	231,4	213,2	209,3
EURO III	Norsk	191,7	177,9	174,9
	Nordisk	202,0	188,2	185,2
	Nordisk 200 g	203,2	189,4	186,4
EURO II	Norsk	157,2	148,0	146,0
	Nordisk	167,4	158,3	156,2

²⁹ http://ofvas.no/bilsalget/co2_utsleppet/co2_utsleppet/

³⁰ Side 17, -//http://www.ntp.dep.no/2014-2023/pdf/rapport_klimagass.pdf

³¹ ENØK-etaten Oslo kommune, 17 mars 2011, http://www.enoketaten.oslo.kommune.no/oslo_kommunes_klimaregnskap/article189730-40154.html?articleID=189730&categoryID=40154&printMe=1

	Nordisk 200 g	168,6	159,4	157,4
--	---------------	-------	-------	-------

I følge det IEA (det Internasjonale Energibyrådet) utgjorde vasskraft 95,7% av all elektrisitetsproduksjon i Noreg i 2009³². Same år var importen på 5,6 TWh medan eksporten var på 14,6 TWh. I følge IEA sin elektrisitetsstatistikk for november 2011³³ var den innanlandske elektrisitetsproduksjon denne månaden på 13 TWh som er ein auke på 7,5%. Samanlikna med året før var innanlandsk elektrisitetsproduksjon i november 2011 på 114,7 TWh som er ein auke på 4,6%. Det er difor ikkje noko som tyder på at kapasiteten for produksjonen av norsk vasskraft er nådd. Vi finn det difor rett å leggje ein norsk elektrisitetsmik til grunn for utrekningane.

Vi vil likevel vise effekten av å bruke nordisk elektrisitetsmik for utslepp av CO₂-ekvivalentar frå prosessenergien som vert brukt til vedlikehald. Tabell 10 syner effekten i gram CO₂-ekvivalentar pr vogn-km til produksjon og vedlikehald for ulike typar bussar brukt på ulike typar ruter. Om vi legg ein nordisk elektrisitetsmik til grunn med 180 gram CO₂-ekvivalentar pr kWh får vi eit utslepp på 21,5 gram CO₂-ekvivalentar til vedlikehald pr vogn-km. Dette er altså nesten dobbelt så mykje som om vi legg ein norsk elektrisitetsmik til grunn. Om vi legg 200 gram CO₂-ekvivalentar til grunn får vi 22,7 gram CO₂-ekvivalentar pr vogn-km.

Det er bare prosessenergien til vedlikehaldet som vert påverka av denne utrekninga. Gitt ei køyrelengde på 60 000 km pr år tilsvarer dette ein auke på 612 kilo CO₂-ekvivalentar. Dei samla utsleppa berre frå produksjon og vedlikehald av bussen ligg mellom 10 tonn og 29 tonn pr år med same køyrelengde pr år for den kortaste ruta. På den lengste ruta ligg same utslepp mellom 9,5 og 22,6 tonn pr år. Effekten av å bruke ulike typar elektrisitetsmik er difor liten på utslepp frå produksjon og vedlikehald av bussen.

Alternative drivstoff

Vi skal sjå på desse alternative drivstoff og motorteknologiar:

- Hydrogen basert på reformering av naturgass.
- Hybrid-bussar med elektrisk motor i tillegg til forbrenningsmotor.
- Konvensjonell diesel.
- Ei blanding med 20% biodiesel og 80% konvensjonell diesel.

Ein elektrisk motor vil mest truleg bli brukt saman med ein forbrenningsmotor i ei hybrid-løysing. Det finst batteridrivne elektriske bussar³⁴, mellom anna vart det brukt ei flåte på 50 elektriske bussar under olympiske leikar i Beijing 2008.

Det finst og andre alternative drivstoff som til dømes komprimert naturgass eller CNG. Studien syner at denne motoren har eit monaleg høgare forbruk til framdrift³⁵. Ein CNG-buss i bytrafikk brukte 47,3 MJ pr vogn-km medan ein samanliknbar diesel-buss brukte 10,1 MJ pr vogn-km. Skilnaden skuldast at

³² IEA, Electricity/heat Norway 2009, http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=NO

³³ IEA, Monthly Electricity Statistics, November 2011, Side 28, <http://www.iea.org/stats/surveys/mes.pdf>

³⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_electric_bus#Electric_bus

³⁵ Alle estimat for bussar er dokumentert i Simonsen, M. Buss, Vestlandsforskning 2010, <http://vfp1.vestforsk.no/sip/pdf/Buss/Buss.pdf>

ein CNG-buss treng større tank til drivstoffet. Det er om lag 4 gongar meir energikrevjande å produsere drivstoff for ein vogn-km med CNG enn diesel. Utsleppa av CO₂-ekvivalentar og er om lag 4 gongar høgare pr vogn-km. Ein CNG-buss bruker ein forbrenningsmotor slik at energi og utslepp knytt til produksjon av bussen vil vere omlag den samme for ein CNG-buss og ein diesel-buss. På grunn av meir bruk av drivstoff og meir energi og utslepp knytt til produksjon av drivstoffet har vi rekna CNG som eit urealistisk alternativt drivstoff.

Vi har ikkje funne estimat for produksjon av elektrisk motor og brenselcelle-motor for bussar. Vi skal difor bruke estimat for personbilar for å seie noko om venta skilnad i energibruk og utslepp for å produsere dei ulike motorteknologiane. Estimata gjeld for ein personbil av typen Golf A4. Vi har ikkje estimat for vedlikehald. For hybrid-bussane er venteleg ikkje vedlikehaldet veldig ulikt vedlikehaldet til ein konvensjonell diesel motor. For brenselcelle-motorar har vi ingen estimat for vedlikehald.

Estimata i denne bolken må bli meir spekulasjonar enn dei estimata vi har presentert ovanfor. Grunnen er at vi bruker estimat frå personbil til å analysere venta skilnader i energi og utslepp knytt til ulike motorteknologi for bussar. Vi reknar difor med at kg for kg vil det vere same skilnaden mellom bussar med ulik motorteknologi som det er mellom personbilar med same teknologi. Dette er ein usikker føresetnad og vi gjer difor merksam på at han er avgjerande for dei resultat som vert presentert.

Estimata for personbil er dokumentert i Simonsen og Walnum (2010)³⁶. Estimat på samla køyretid over heile levetida er henta frå Schweimer og Levin (2000)³⁷. Sjølv om 150 000 er lite for norske tilhøve har vi valt å halde på deira estimat for utrekning av effektar pr vogn-km.

Tabell 11 syner estimat for produksjon av dei ulike motorteknologiane for personbilar. Den elektriske motoren i ein hybrid reknar vi med vert forsynt med strøm frå ei lithium-ion batteripakke.

Tabell 11 Estimat for produksjon av ulike motorteknologiar for personbilar av typen Golf A4.

	ICEV ³⁸	EV	Hybrid	FCEV
	Standard diesel	Lithium-batteri	Lithium ion batteri	Brenselcelle
Produksjon, GJ	85,6	31,2	2,2	80,0
Km levetid	150 000	150 000	150 000	150 000
Produksjon karosseri, GJ		66,5		66,5
Produksjon drivverk GJ		21,9		
Produksjon karosseri + drivverk, GJ		88,4	85,6	
Total GJ	85,6	119,6	87,8	146,5
MJ pr vogn-km	0,57	0,80	0,59	0,98
CO ₂ -ekv. pr vogn-km	30,5	49,5	31,6	34,3
Faktor meirforbruk energi	1,00	1,40	1,03	1,71

³⁶ Simonsen, M., Walnum, H.J.: *Energy Chain Analysis of Passenger Car Transport*, *Energies* 2011, 4, 324-351, <http://www.mdpi.com/1996-1073/4/2/324/>

³⁷ Schweimer, G.W., Levin, M. : *Sachbilanz des Golf A4*. Wolfsburg: Volkswagen AG, 2000.

³⁸ ICEV=Internal Combustion Engine Vehicle, EV=Electric Vehicle, FCEV=Fuel Cell Electric Vehicle.

Faktor meirutslepp CO2-ekv.	1,00	1,62	1,04	1,12
Energi framdrift by-buss MJ/vogn-km	15,7		10,6	28,7
Energi framdrift diesel-ekv pr mil ³⁹	4,2		2,9	7,9

Trucknor opplyser ei ein e-post at ein Volvo hybrid buss bruker parallell-teknologi som inneber at både den elektriske motoren og dieselmotoren er koplå til drivverket. Med drivverk meiner vi differensial, clutch, akslingar og gearboks som overfører kraft frå motorane til drivhjulå⁴⁰. Ein Volvo diesel hybrid-buss kan difor anten køyre med dieselmotoren, den elektriske motoren eller begge. Den elektriske motoren får strøå frå ei batteripakke som vert lada når bussen bremsar eller brukar ein retarder. Ein retarder reduserer bussen sin hastigheit utan å bruke friksjon slik hjulbremsene gjer. Det er ikkje mogleg å få bussen til å stoppe heilt med ein retarder, han bidreg til å redusere farta eller helde han konstant i nedoverbakke. Når retarderen vert aktivisert fungerer han som ein generator som lader batteriet. Hybrid-bussen sine styreinnetningar for motor og bremsar reknar ut om den ønska hastigheita kan nåast ved å bruke retarder eller om hjulbremsar må aktiviserast i tillegg. Hjulbremsar bidreg ikkje til å lade batteriet. Dette inneber at ein hybrid-buss er velegna til å kjøre korte ruter med mykje nedbremsing sidan dette bidreg til å lade batteriet.

Ein hybrid-buss brukar den elektriske motoren til å starte bussen. Dette skulle tilseie at ein hybrid-buss ikkje vert utsett for same slitasje som ein konvensjonell diesel-buss på ruter med mykje start og stopp sidan forbrenningsmotoren ikkje er i drift før bussen er i fart. Ein hybrid-buss er såleis velegna til å redusere både slitasje og forbruk av diesel. Dette kan sjøåvsagt og føre til at trongen for vedlikehald vert noko mindre for ein hybrid-buss. På den andre sida kan den elektriske motoren, batteripakka og retarder-systemet i ein hybrid-buss trenge ekstra vedlikehald.

Volvo sin hybrid-buss⁴¹ har fire sylindrar i motsetnad til ein konvensjonell dieselmotor som har seks sylindrar. Hybrid-bussen har difor eit lågare slagvolum med 5 liter i staden for 7,2 liter for ein konvensjonell dieselmotor. Med ein mindre dieselmotor vert vekta på bussen mindre. I tillegg kjem vekta på lithium-ion batteripakka. Denne vert rekna til 193 kg av Volvo. Desse to effektane på bussen si vekt utliknar kvarandre, difor veier ein hybrid-buss omlag det samme som ein konvensjonell diesel-buss. Dette bidreg til mindre forbruk av diesel sidan den elektriske motoren gjev framdrift i tillegg til dieselmotoren. Såleis kan bussen køyre lenger med ei gjeve mengde diesel. Volvo sjøåv reknar med 30% mindre drivstoff for ein buss i drift i London og 20% for ein buss i drift i Göteborg.

Dei to nedste linene i Tabell 11 syner energi til framdrift for ein by-buss med ulik motorteknologi. Vi har ikkje data for ein rein elektrisk buss. Tabellen syner at ein hybrid-buss har om lag to tredelar av energien til framdrift for ein konvensjonell dieselbuss. Begge bussane er by-bussar. Dette svarar til ein reduksjon på litt over 32%. Tala svarar difor rimeleg bra med dei tala Volvo gjev.

Tabell 11 syner at ein brenselcelle-motor er over 1,7 gongar meir energiintensiv å produsere enn ein konvensjonell forbrenningsmotor medan same faktoren for ein elektrisk motor er 1,4. Ser vi på utslepp av CO2-ekvivalentar krev den elektriske motoren meir enn 1,6 gongar meir utslepp å

³⁹ Talet uttrykkjer kor mykje diesel ein treng for å få same mengde energi pr mil som energibruken rekna ut i MJ pr vogn-km for det aktuelle drivstoff.

⁴⁰ Wikipedia, Drivverk: [http://no.wikipedia.org/wiki/Drivverk_\(bil\)](http://no.wikipedia.org/wiki/Drivverk_(bil))

⁴¹ Kjelde: Oversyn over Volvo sin hybrid-buss oversendt frå Trucknor, 12/3/2012.

produsere enn ein konvensjonell forbrenningsmotor medan same faktoren for ein brenselcelle-motor er 1,12. Det er særleg produksjon av materialet lithium til lithium-ion batteriet som krev store utslepp.

Om vi bruker dei same faktorar for bussar kan vi konstruere Tabell 12 som syner energibruk i MJ pr vogn-km for bussar i ulike energikjeder. I tillegg til energi til framdrift (Tank-to-Wheel) har vi teke med energi til produksjon og vedlikehald av bussen samt energi til produksjon av drivstoffet som vert nytta til framdrift (Well-to-Tank). Når det gjeld vedlikehaldet er det rekna med at det har same relative tilhøvet til produksjon av transportmiddelet som ein konvensjonell dieselmotor. Vi har teke med Well-to-Tank energikjeda sidan det trengst særst ulik energi for å produsere drivstoffet som vert nytta til framdrift. Særleg hydrogen krev mykje energi for å produserast. Om hydrogen skal kome frå elektrolyse av vatn vert energibruken enda større sidan dette er ein særst energiintensiv prosess. Hydrogenet i Tabell 12 vert rekna å kome frå reformering av naturgass.

Tala i Tabell 12 og Tabell 13 er henta frå prosjektet "Transport, energi og miljø" som vart gjennomført av Vestlandsforskning fram til sommaren 2010⁴². Vi gjer merksam på at tala for fabrikasjon og vedlikehald i denne og neste tabell er henta frå Volvo si produktdeklarering for Volvo 8500.

Tabell 12 Energibruk i MJ pr vogn-km for bussar i ulike energikjeder.

	Tank-to-Wheel	Fabrikasjon og vedlikehald	Well-to-Tank	Sum
Hybrid ekspressbuss	7,6	2,89	1,1	11,6
Hybrid bybuss	10,6	2,89	1,6	15,1
Ekspressbuss Diesel	11,3	2,82	1,7	15,8
Biodiesel ekspressbuss (20% biodiesel)	11,3	2,82	2,5	16,6
Bybuss -Diesel	15,7	2,82	2,3	20,8
Hydrogen bybuss	28,7	4,83	22,5	56,0

Tabell 13 syner utslepp av gram CO₂-ekvivalantar pr vogn-km for dei same energikjedene. Om vi ser på sum energibruk og utslepp kjem hybrid-bussen best ut både som bybuss og som ekspressbuss. I estimatet for hybrid-bussane er det ikkje teke omsyn til at forbrenningsmotoren i ein hybrid kan vere mindre enn i ein konvensjonell dieselbuss med same motorstorleik sidan den elektriske motoren kjem i tillegg.

Tabell 13 Utslepp av gram CO₂-ekvivalantar pr vogn-km for bussar med ulik motorteknologi i ulike energikjeder.

	Tank-to-Wheel	Fabrikasjon og vedlikehald	Well-to-Tank	Sum
Hybrid ekspressbuss	561,7	31,1	88,6	681,4
Hybrid bybuss	755,1	31,1	123,5	909,7
Ekspressbuss Diesel	830,1	30,0	130,9	991,0

⁴² Sjå Simonsen, M: Transport, energi og miljø, VF-Rapport 2/2010, <http://vfp1.vestforsk.no/sip/pdf/Felles/Sluttrapport.pdf> .Dokumentasjon frå prosjektet finst på <http://vfp1.vestforsk.no/sip/index.html> og <http://transport.vestforsk.no/>

Biodiesel ekspressbuss (20% biodiesel)	830,3	30,0	134	994,3
Bybuss -Diesel	1116,0	30,0	182,5	1328,5
Hydrogen bybuss	0,0	33,7	1522,7	1556,4

Tabellen syner at den konvensjonelle dieselbussen kjem godt ut samanlikna med andre motorteknologi. Særleg hydrogenbussen tapar på at drivstoffet er sær energiintensivt å produsere med store utslepp. Biodiesel krev noko meir energi å produsere enn vanleg diesel av di drivstoffet skal dyrkast med gjødsel og transporterast over store distansar. Rapsolje er råvara for biodieselen. Vi merker oss og at skilnadane i energi og utslepp knytt til produksjon av bussane er av mindre storleik enn skilnadane som kjem frå produksjon av drivstoffet.

Konklusjon

Ei kvar analyse må målast mot dei føresetnader som er gjort. Sentralt i analysane som vert presenterte her er at energibruk (og utslepp) frå produksjon av ein buss minkar med aukande tal kilometer som bussen køyrer. Energibruk til vedlikehald er derimot rekna konstant pr km uavhengig av køyrelengd. Jo lenger ein buss vert køyrt jo mindre vil energibruk og utslepp til produksjon av han bli. Dette gjev brukte bussar ei føremon sidan dei allereie har tilbakelagd ei større køyrelengd enn nye bussar.

Vi har brukt ein amerikansk studie som estimerer energibruken for produksjon av buss til 2000 GJ for heile livsløpet eller 2,47 MJ pr vogn-km med ei total køyrelengde på 811 000 km. Dette svarar til 0,7 liter diesel pr mil. I følgje den same studien er vedlikehaldet på 0,36 MJ pr km eller 0,1 liter diesel pr mil med same køyrelengd. Med auka køyrelengde reknar vi med at energibruken pr km for produksjon av bussen vil minke medan energibruken til vedlikehald vil vere meir uavhengig av køyrelengde.

I følgje analysane gjev det særleg energigevinst om brukte bussar vert sette inn på kortare ruter. Dette skuldast at om nye bussar vert sette inn på lengre ruter vil dei få eit større kilometertal å fordele produksjonsenergien på.

Vedlikehald av brukte bussar framfor innkjøp av nye vil vere særleg gunstig for samla energiverknad i Sogn og Fjordane. Dette skuldast at prosessenergien på verkstadene i Sogn og Fjordane i hovudsak kjem frå tilnærma klimanøytral fornybar energi. Energien til produksjon av nye bussar vil kome frå ein annan elektrisitetssmiks som vil gjere samla verknad på energibruk og utslepp av klimagassar større. Prosessenergien er den energien som vert nytta til oppvarming og opplysing av verkstader samt drifting av verktøy. Energi- og utsleppsverknader av materialar og delar som vert brukte til vedlikehald er avhengig av elektrisitetssmiks i landet kor materialane og delane er framstilte. Desse verknadene vert ikkje påverka av at vedlikehaldet går føre seg i Sogn og Fjordane.

I følgje produktdeklareringa for ein Volvo 8500 må bussen gå i over 2,1 millionar km før energibruk pr vogn-km er like lågt som energibruk til vedlikehald pr km. I følgje ein amerikansk studie må bussen gå i over 6 millionar km før energibruk til vedlikehald er like stort pr km som energibruk ved produksjon av ny buss fordelt på denne køyrelengda. Ein buss vil sjølvsagt ikkje gå så lenge, men dømet illustrerer energigevinsten av å bruke bussane så lenge som mogleg. I følgje Fjord1 si årsmelding for 2010 er ein gjennomsnittsdistanse for bussane i selskapet 55 000 km pr år. Om bussen kan gå ein

million km tilseier dette at bussen kan brukast i over 18 år. Dette vil gje ein energigevinst og utsleppsgevinst framfor å kjøpe nye bussar ved inngåing av ny anbodsperiode kvart sjuande, åttande eller niande år. Med forlenging av ein typisk anbodsperiode på sju år med ytterlegare to år tilseier analysane at bussane bør brukast i to anbodsperiodar for å oppnå mest mogleg energigevinst og utsleppsgevinst.

Vi har samanlikna innsats av bussar med ulik alder, utslippsklasse og køyrelengd på ulike ruter. Vi har valt ruter som er 30, 100 og 250 km lange. Ein buss i utsleppsklasse EURO III vil på den kortaste ruta ha eit forbruk som er ein liter lågare pr mil enn ein by buss i utsleppsklasse EURO V. Skilnaden er noko mindre for den lengste ruta, her er skilnaden på om lag 0,7 liter pr mil. For den midterste distanseklassen er skilnaden meir på line med den lengste distanseklassen. Ein eldre brukt buss vil difor ha ei større energisparing på ei kort rute enn på ei lengre rute. Denne effekten skuldast at dei nye bussane vert køyrt lenger på dei lengste rutene og difor vil energi til produksjon og vedlikehald bli fordelt på fleire km raskare.

Den same amerikanske studien estimerer utsleppa av CO₂-ekvivalentar for produksjon av bussen til 197,3 gram pr vogn-km og 28,7 gram pr vogn-km til vedlikehald inklusive utslepp knytt til produksjon av dekk. Noko av vedlikehaldet skuldast prosessenergi. Ut frå opplysningar frå Trucknor i Stryn samanheldt med den amerikanske studien har vi estimert prosessenergien til 60% av all energi til vedlikehald. Dette er energi til lys og varme i bygningar samt energi til drifting av verktøy. Vi kan rekne med at prosessenergi er tilnærma klimagassnøytral i Sogn og Fjordane sidan energien kjem frå fornybar energi som vasskraft eller fjernvarme. Dette gjev oss litt under 11 gram CO₂-ekvivalentar pr vogn-km til vedlikehald om vi trekkjer ut utslepp knytt til dekkproduksjon.

Vi har og rekna på effekten på utslepp av CO₂-ekvivalentar av å bruke ulike bussar av ulik alder, køyrelengd og utsleppsklasse på ulike ruter. Om vi bruker ein eldre EURO III bus framfor ein ny EURO V buss vil innsparinga i utslepp av CO₂-ekvivalentar vere på 281,3 gram per vogn-km for den kortaste ruta, 214,3 gram per vogn-km for midterste ruta og 202 gram per vogn-km for den lengste ruta. Om vi reknar med ei årleg køyrelengd på 60 000 km vert den totale utsleppsreduksjonen pr buss pr år 16,9 tonn CO₂-ekvivalenter for den kortaste ruta, 12,9 tonn for den midterste og 12,1 tonn for den lengste. Reduksjonen i utslepp ved å bruke ein brukt buss framfor ein ny er med andre ord over 4 tonn større på den kortaste ruta. Denne effekten skuldast at utsleppa frå produksjon vert fordelt på fleire km på dei lengste rutene.

Energibruk og utslepp av klimagassar knytt til produksjon og vedlikehald av køyretøy har lite å seie for val mellom ulike motorteknologiar eller alternative drivstoff. Energibruk og utslepp knytt til produksjon av drivstoffet har mykje meir å seie for dette valet. Denne konklusjonen må takast med atterhald sidan analysane er bygd på ei overføring av skilnader mellom personbilar til tilsvarende skilnader mellom bussar.

Hybrid-bussar peiker seg likevel ut som eit godt alternativ til konvensjonelle diesel-bussar sidan ein ikkje treng produksjon av alternativt drivstoff. Derimot treng ein ekstra energibruk og utslepp for produksjon av batteripakka. Den elektriske motoren vert lada ved at bussen bruker motoren til å bremse i staden for hjulbremser. Full nedbremsing er ikkje mogleg utan at hjulbremser vert brukt i tillegg. Når motoren vert brukt til bremsing fungerer han som ein generator for den elektriske motoren. Det er gunstig å bruke hybrid-bussar på ruter med mykje start og stopp sidan dette vil auke ladinga av batteripakka som gjev strøm til den elektriske motoren. I tillegg vert den elektriske

motoren brukt til å starte bussen. Sidan dieselmotoren ikkje er i bruk før bussen er i fart kan dette redusere slitasjen på ein hybrid-buss på ruter med mykje start og stopp. Dieselmotoren vert ikkje brukt til lading av batteria.

Det finst sjølvsagt andre grunner til å velje mellom nye og brukte busser enn energibruk og utslepp av klimagassar. Dei viktigaste er kanskje komfort for passasjerane og sjåførar. Kravet til komfort er truleg større jo lenger rutene er. Dette kan og vere eit argument for å setje brukte busser inn på korte ruter medan nye busser vert brukt på lengre ruter. Dette kan gjere det mogleg å kombinere auka komfort med mindre energibruk og lågare utslepp av klimagassar.

Vi har og rekna ut effekten på utslepp av CO₂-ekvivalentar for ein buss-flåte med ulik samansetnad av nye og brukte bussar. Utgangspunktet er ein flåte på 50 bussar som vert fordelt på dei tre typar ruter som er omtala ovanfor. Vi reknar med at 23 av bussane vert brukte på den kortaste ruta, 22 på den nest kortaste ruta og 5 bussar på den lengste ruta. Referanseutsleppet er ein flåte med 50 nye bussar som vert skrota etter at anbodsperioden på 7 år er omme. Samla utslepp frå ein slik flåte er på nesten 23 000 tonn CO₂-ekvivalentar. Dette utsleppet omfattar og utslepp frå produksjon og vedlikehald av bussane. Om vi bruker 50 bussar frå ein anbodsperiode i ein periode til kan utsleppa reduserast med nesten 4 200 tonn CO₂-ekvivalentar. Om vi reknar med at 40% av bussane vert brukte om att kan samla utslepp reduserast med litt over 1 600 tonn. Vi reknar då med at dei 40% prosent brukte bussane fordeler seg proporsjonalt på dei tre rutene. Ein reduksjon på 4 200 tonn svarar til at 1 615 personbilar med utslepp på 130 gram pr km kan køyre 20 000 km i året før dei slepp ut like mykje som reduksjon i utsleppa. Om vi reknar med 40% brukte bussar kan 615 slike personbilar køyre 20 000 km i året før utsleppsreduksjonen er brukt opp.

Ut i frå analysane er følgjande tilrådingar rimelege: Brukte bussar bør brukast om att så langt råd er dersom bussane tilfredsstillir krav til komfort og kvalitet. Dei brukte bussane har størst effekt om dei vert brukte på dei kortaste rutene. Reknestykket føreset at nye bussar vert skrota etter ein anbodsperiode på sju år. Av dei nye bussane gjev hybrid-bussar størst reduksjon i utslepp. Desse bussane er mest effektive å bruke på ruter med mykje start og stopp sidan nedbremsing av bussane ved hjelp av motoren bidreg til å lade batteria. På denne måten lagar bussane strøm til den elektriske motoren utan å bruke meir diesel. Hybrid-bussar kan oppnå 30% reduksjon i forbruk av diesel på samanliknbare ruter. Andre alternative drivstoff gjev ikkje tilsvarende utsleppsreduksjonar når ein tek energi og utslepp knytt til produksjon av drivstoffet med i reknestykket.

Litteratur

Barba-Gutiérrez, Y., González-Torre, P.L., González, B. (2005): *A life cycle assessment in the service sector: the case of bus and private transportation*,

<http://library.witpress.com/pages/PaperInfo.asp?PaperID=14593>

Mitropoulis, L.K., Prevedouros, P.D, Nathanail, E.G.(2011): *Life Cycle Assessment Through A Comprehensive Sustainability Framework: A Case Study of Urban Transport Vehicles*,

www.eng.hawaii.edu/~panos/PIARC_2011.doc

Chester, M., Horvath, A. (2008): *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*, UC Berkely Center for Future Urban Transport,

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

Nasjonal Transportplan 2014-2023: Klimagassbudsjett. http://www.ntp.dep.no/2014-2023/pdf/rapport_klimagass.pdf

Schweimer, G.W., Levin, M. : *Sachbilanz des Golf A4*. Wolfsburg: Volkswagen AG, 2000.

Simonsen, M., Walnum, H.J.: *Energy Chain Analysis of Passenger Car Transport*, *Energies* 2011, 4, 324-351, <http://www.mdpi.com/1996-1073/4/2/324/>

Volvo (2006): *Environmental Product Declaration Volvo 8500 Low Entry*.