

GODSTRANSPORT MED SKIP

Morten Simonsen

Vestlandsforskning

Februar 2010

Innhold

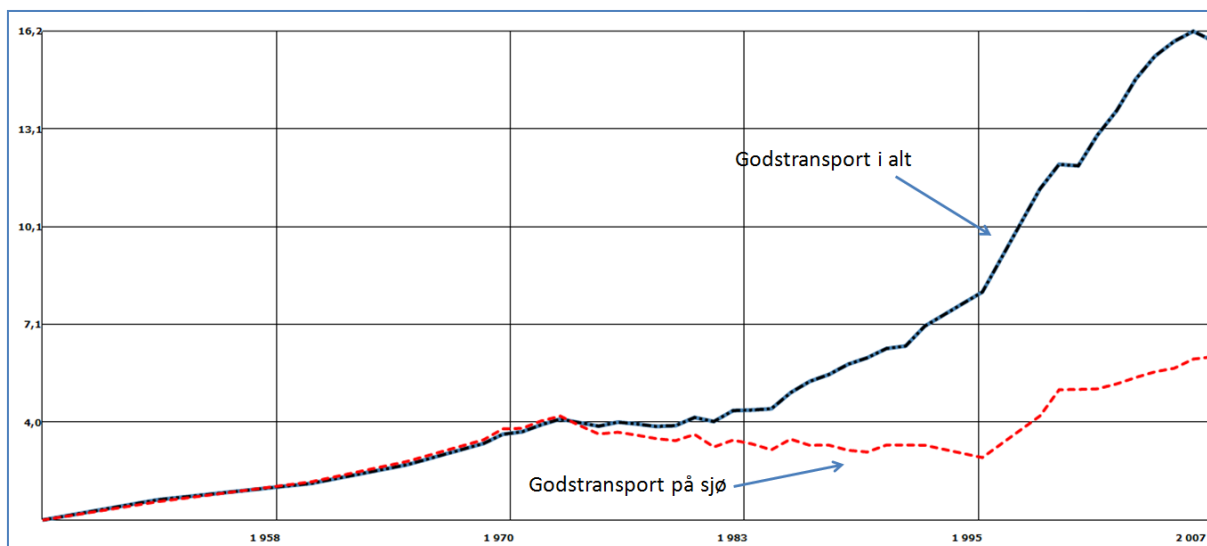
Innledning	4
Framdrift Tank-to-Wheel	5
Energibruk	5
Utslipp CO2-ekvivalenter	11
Indirekte energibruk	12
Infrastruktur	12
Transportmiddel	14
Brutto direkte tillegg Well-to-Tank	16
Oppsummering	19
Energibruk	19
Utslipp av CO2-ekvivalenter	20
Utslipp av SO2-ekvivalenter	21
Utslipp av TOPP-ekvivalenter	22
Valgte estimat	23
Tabell 1 Regresjonsanalyse andel brutto tobbvekt mot dødvekt	6
Tabell 2 Energibruk pr tonn-km for ulike typer skip i innenlandsk godstransport 1993	6
Tabell 3 Energibruk pr tonn-km for ulike typer skip i innenlandsk godstransport 1970-97	6
Tabell 4 Energibruk pr tonn-km for ferjer og Hurtigruta 2004.	7
Tabell 5 Energibruk MJ pr tonn-km for ulike typer skip på verdensbasis 2007.	8
Tabell 6 Utslipp av CO2 og CO2-ekvivalenter pr tonn-km fra Hurtigruta og bilferjer 2004	11
Tabell 7 Input for konstruksjon av Rotterdam havn	12
Tabell 8 Energibruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for konstruksjon av Rotterdam havn	13
Tabell 9 Beregning av energibruk og utslipp knyttet til produksjon av ulike typer skip	15
Tabell 10 Well-to-Tank energibruk i MJ pr tonn-km og utslipp av CO2 i gram pr tonn-km	18
Tabell 11 Energibruk i MJ pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser	19
Tabell 12 Utslipp av gram CO2 pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser	20
Tabell 13 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser	22
Tabell 14 Utslipp av gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser	22
Tabell 15 Energibruk i MJ pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser	23
Tabell 16 Utslipp av gram CO2 pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser	24
Tabell 17 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser	24
Tabell 18 Utslipp av gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser	24

Figur 1 Utvikling i innenlands godstransport Norge. Indeks 1946=100	4
Figur 2 Utvikling i innenlands sjøtransport Norge. Indeks 1946=100	4
Figur 3 Sammenheng bruttovekt og andel bruttovekt av dødvekt.	6
Figur 4 Sammenheng mellom dødvekt og energibruk MJ pr tonn-km	10
Figur 5 Sammenheng egenvekt ("lightweight")-dødvekt("dwt")	11
Figur 6 Sammenheng mellom egenvekt og dødvekt.....	14
Figur 7 Prosess-skjema for produksjon av 1 TJ med energi fra tungolje med råoljemiks fra OPEC	17
Likning 1 Omregning fra gram CO2 pr tonn-km til energibruk pr tonn-km.....	8
Likning 2 Beregning av energibruk pr gram CO2	8
Likning 3 Beregning av gram CO2 pr kg drivstoff.....	8
Likning 4 Regresjonsmodell for beregning av egenvekt for skip.....	15
Likning 5 Beregning av energibruk Well-to-Tank pr tonn-km.....	17
Likning 6 Beregning av utslipp Well-to-Tank gram CO2 pr tonn-km.....	17

Innledning

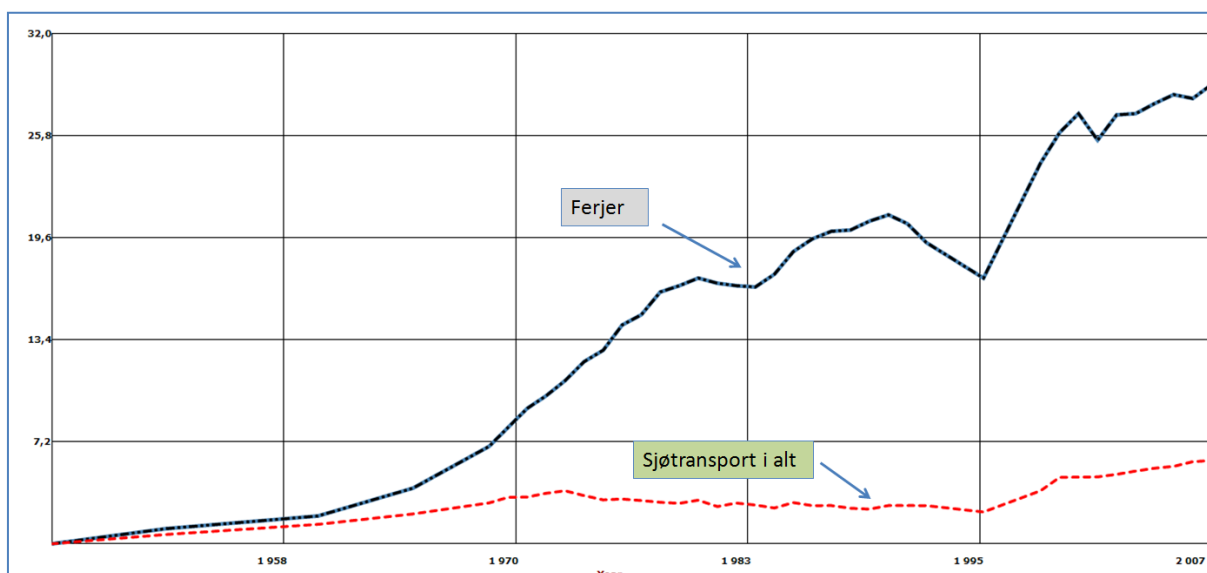
Figur 1 viser utviklingen av innenlandsk godstransport i Norge som en indeks hvor transportarbeidet i millioner tonn-km i 1946 er satt til 1. Figuren viser også endringen i innenlandsk godstransport på sjø i samme periode. Figuren omfatter bare gods som er på- og avlesset i Norge. Andelen av samlet godstransport som ble utført på sjø ble redusert med 40 prosentpoeng fra 1946 til 2007.

Figur 1 Utvikling i innenlands godstransport Norge. Indeks 1946=100



Figur 2 viser oversikt over innenlandsk godstransport på sjø. Figuren viser same indeks hvor transportarbeidet i millioner tonn-km i 1946 er satt til 1. Figuren viser også endring i transportarbeidet med ferjer i samme periode.

Figur 2 Utvikling i innenlands sjøtransport Norge. Indeks 1946=100



I 1946 ble det produsert 2 679 millioner tonn-km med innenlandsk sjøtransport i Norge. Samme år ble det produsert 13 millioner tonn-km med ferjer. I 2007 ble det produsert 16 51 millioner tonn-km på sjø i alt mens tilsvarende tall for ferjer var 376 millioner tonn-km i alt. Figur 1 viser *endring* i

transportarbeidet. I volum utgjør godstransport med ferje omlag 2,3% av samlet transportarbeidet på sjø i 2007, den samme prosentandelen var under en halv prosent i 1946.

Figur 1 og Figur 2 viser at den samlede betydningen av sjøtransport har falt betydelig i perioden 1946-2007. Samtidig har fordelingen av transportarbeidet innenfor kategorien sjøtransport endret seg, stadig mer godstransport på sjø blir overført til ferjetransporten.

Vi skal se på godstransport på sjø både i nasjonal og internasjonal sammenheng. Norge utfører en betydelig del av det globale transportarbeidet på sjø. I følge det amerikanske byrået for transportstatistikk, RITA¹, hadde Norge i 2006 den åttende største skipsflåten målt i dødvekt. Kunnskap om internasjonal sjøtransport er derfor viktig for å få et bilde av samlet energibruk og utslipp knyttet til transport i Norge.

I 2006 hadde 638 norske skip over 33 millioner dødvekttonn i følge statistikken fra RITA. I denne statistikken inngår verdens handelsflåte, det er ikke skilt mellom innenlandsk og internasjonal skipstrafikk. Statistikken skiller mellom skipstypene tankere, bulkskip med tørrlast, containeskip, roll-on/roll-off skip og generelle frakteskip (general cargo). Siden det dreier seg om handelsflåten antas det at fiskebåter ikke er med i statistikken. Sammenliknet med andre land har Norge en relativt større del av den samlede tonnasje i form av tankskip. Norges andel av tankskip er på 62,1% mot et gjennomsnitt på 49,4 for de 25 største skipsfartsnasjoner i verden. Tilsvarende er andelen bulkskip med tørrlast 31,2% i Norge mot et gjennomsnitt på 30,7%. Derimot har Norge nesten ikke containerskip (0,9%) mens gjennomsnittet for 25 største land er omlag 15%.

Framdrift Tank-to-Wheel

Energibruk

Estimat for framdriftsenergi gir for skip målt på ulike måter. En rapport fra Vestlandsforskning (Andersen et al., 2001)² gir et estimat for Tank-to-Wheel energibruk for skip målt med brutto-tonn ("gross tonne"). Dette er ikke et mål på skipets vekt, snarere på skipenes volum³. IMO har utgitt en rapport om utslipp av klimagasser fra skipstransport hvor utslipp er fordelt på skip målt etter dødvekt. Vi skal senere vise hvordan vi kan regne om fra utslipp pr tonn-km til energibruk pr tonn-km. Først skal vi se på hvordan vi kan regne om fra brutto-tonn til dødvekt for å kunne sammenlikne ulike estimat. Vi velger i fortsettelsen å sammenlikne skip og skipstyper etter deres dødvekt som er et mål på skipets lasteevne.

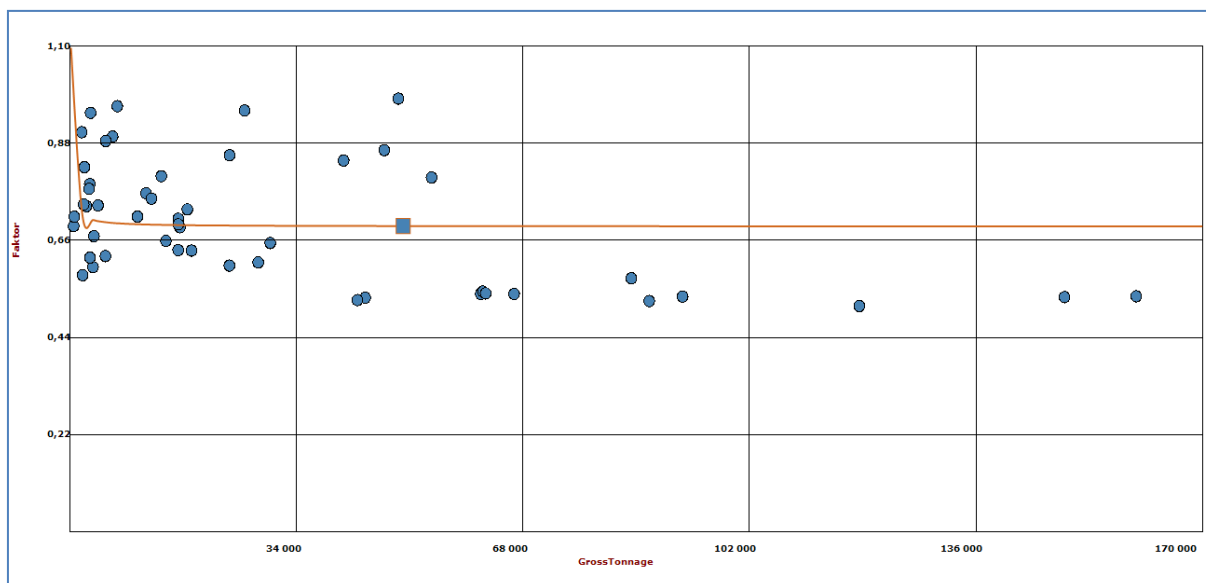
Figur 3 viser sammenhengen mellom brutto-tonn og en faktor som måler brutto-tonn som andel av dødvekten. Problemet med å beregne dødvekten direkte fra bruttovekten er at lave verdier for brutto-tonn kan gi høye verdier for dødvekt. Ved å beregne andelen av dødvekt unngår vi dette problemet med ekstrapolering av regresjonslinjen. Med en invers regresjonslinje i Figur 3 viser Tabell 1 regresjonskoeffisientene. Med disse koeffisientene kan vi estimere dødvekten når vi kjenner brutto tonnvekten. Dermed får vi et reelt sammenlikningsgrunnlag for estimat som bruker ulike vekter.

¹ http://www.bts.gov/publications/maritime_trade_and_transportation/2007/html/table_07_04.html

² Andersen, O., Groven, K., Brendehaug, E., Uusitalo, O., Suutari, U., Lehtinen, J., Ahlvik, P., Hjortsberg, H.: Energy saving in transport of goods-a pilot project in rural natural resource based industries, VF-Rapport 4/2001, side 15-17. <http://www.vestforsk.no/www/show.do?page=10&articleid=886>

³ Se <http://en.wikipedia.org/wiki/Tonnage>

Figur 3 Sammenheng bruttovekt og andel bruttovekt av dødvekt.



Tabell 1 Regresjonsanalyse andel brutto tobbvekt mot dødvekt

Koeffisient	Verdi
Konstantledd	0,6912
Stigningskoeffisient	52,0262

Tabell 2 viser estimatene fra Vestlandsforskning med brutto tonnvekt omregnet til dødvekt. Estimaten gjelder for 1993. Vi har brukt middel-verdiene for brutto-tonn i omregning til dødvekt. For gruppa med høyest vekt har vi brukt 3000 brutto tonnvekt til omregning. Disse skipene er fordelt på tankere/kombinerte skip og bulkskip med tørr-last antar vi at fiskebåter og militære fartøy ikke er med.

Tabell 2 Energibruk pr tonn-km for ulike typer skip i innenlandsk godstransport 1993

	Brutto-tonn	Middel verdi	Beregnet Dødvekt	kWh pr tonne-km	MJ pr tonn-km	Load-factor %
Tankere og kombinerte skip	101-500	301	348	0,49	1,764	78
	501-3000	1 750	2 427	0,28	1,008	70
	>3000	3 000	4 234	0,05	0,18	75
Bulkskip med tørr-last	101-500	301	348	0,34	1,224	75
	501-3000	1 750	2 427	0,28	1,008	72
	>3000	3 000	4 234	0,08	0,288	69

Vestlandsforskning gir også estimat for perioden 1970-97. Det antas at dette er gjennomsnittstall pr skipstype i perioden. Videre antas det at fiskebåter og militære fartøy ikke er inkludert samt at tallene for Hurtigruta bare gjelder for godstransport.

Tabell 3 Energibruk pr tonn-km for ulike typer skip i innenlandsk godstransport 1970-97

	Brutto-tonn	Middel verdi	Dødvækt	kWh pr tonne-km	MJ pr tonn-km
Ferjer				7,103	25,571
Hurtigruta				1,870	6,732
Lokale ruter				3,034	10,922
Frakteskip	101-500	300	347	0,420	1,512
Frakteskip	501-3000	1 750	2 427	0,338	1,217
Frakteskip	>3000	3 000	4 234	0,052	0,187
Alle skip				0,194	0,698

SSB (2008) ⁴ gir estimat for energibruk pr tonn-km for godstransport med ferjer og Hurtigruta. Godstransporten er skilt fra persontransporten ved å anta at hver passasjer i gjennomsnitt veier 86,5 kg inklusive bagasje ⁵. Denne omregningen tar ikke hensyn til at gods tar mer plass enn passasjerer på Hurtigruta samt at kjøretøy for godstransport tar mer plass enn personbiler på ferjer. SSB opplyser at bilferjene frakter 14 ganger mer gods enn passasjerer mens samme tallet for Hurtigruta er 3 ganger så mye ⁶.

Tabell 4 Energibruk pr tonn-km for ferjer og Hurtigruta 2004.

Transport-type	MJ pr tonn-km
Bilferjer	14,391
Hurtigruta	18,483
Hurtigbåt ⁷	79,665

SSB oppgir også energibrukstall for godstransport med hurtigbåter. Her har det ikke vært mulig å skille ut godstransporten i 2004 slik at estimatet for hurtigbåter gjelder for 1998. Hurtigbåtenes energiforbruk pr tonn-km er 5,5 ganger så høy som for bilferjer. Fergene på sin side bruker over 50 ganger mer energi pr tonn-km enn de største kombinertskip og bulkskip i innenlands godstransport i oversikten fra Vestlandsforskning for 1993.

IMO utga i 2008 en rapport om utslipp av klimagasser fra skipstransport ⁸. Vi skal se på estimat for energibruk pr tonn-km for godstransport. Utgangspunktet er estimat for utslipp av CO₂ i gram pr tonn-km. Data gjelder for 2007 ⁹. Forutsatt at vi kjenner utslipp av kg CO₂ pr kg drivstoff og

⁴ Toutain, J.E.W., Taarneby, G., Selvig, E.: Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport, SSB Rapport 2008/49, side 29 og 39, http://www.ssb.no/emner/01/03/10/rapp_200849/rapp_200849.pdf

⁵ ibid., side 17

⁶ ibid., side 29.

⁷ Estimater gjelder for 1998.

⁸ Buhaug, Ø.; Corbett, J. J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D. S.; Lee, D.; Lindstad, H.; Mjelde, A.; Pålsson, C.; Wanqing, W.; Winebrake, J. J.; Yoshida, K: *Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships: Phase I Report*; International Maritime Organization (IMO) London, http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D26402/INF-6.pdf, tabell 51, side 91, se også http://www.imo.org/Environment/mainframe.asp?topic_id=1823, Phase 1 report of the updated GHG Study - 2/9/2008

⁹ ibid., Table 51, side 91, se side 89 for spesifisering av årstall.

energiinnholdet i drivstoffet kan vi regne oss om til energibruk pr tonn-km. Likning 1 viser hvordan denne utregningen kan utføres.

Likning 1 Omregning fra gram CO₂ pr tonn-km til energibruk pr tonn-km

$$\frac{MJ}{tkm} = \frac{gCO_2}{tkm} * \frac{MJ}{gCO_2}$$

Likning 2 Beregning av energibruk pr gram CO₂

$$\frac{MJ}{gCO_2} = \frac{MJ}{kg_{Drivstoff}} * \frac{kg_{Drivstoff}}{gCO_2}$$

Likning 3 Beregning av gram CO₂ pr kg drivstoff

$$\frac{kg_{Drivstoff}}{gCO_2} = \frac{kg_{Drivstoff}}{kgCo_2} * \frac{kgCO_2}{gCO_2}$$

Vi antari denne utregningen at skipene bruker tungolje ti drivstoff. IMO-studien¹⁰ oppgir utslipp av 3,02 kg CO₂ pr kg drivstoff for tungolje. SSB (2008)¹¹ oppgir energiinnholdet i tungolje til 40,6 MJ/kg. Det første leddet i Likning 3 viser hvor mange kg drivstoff vi trenger for slippe ut 1 kg CO₂ som blir 1/3,02. Siste ledd i Likning 2 er hvor mange kg drivstoff vi trenger for å slippe ut 1 gram CO₂ som blir 1/1000 (siste ledd Likning 3) av første ledd i Likning 3 samme likning.

La oss ta et eksempel. De største oljetankerne har i følge IMO er utslipp på 2,9 gram pr tonn-km. Vi finner kg drivstoff vi trenger for å slippe ut 1 gram CO₂ ved å beregne (1/3,02)*(1/1000). Dette er siste ledd Likning 2. Beregningen gir 0,0003311 kg for utslipp av 1 gram CO₂. Dette multipliseres med energiinnholdet i MJ pr kg, 40,6. Vi får 0,013443 som er MJ pr gram CO₂ som slippes ut. Multipliserer vi dette med utslippet av CO₂ pr tonne-km får vi energibruken i MJ pr tonn-km som for de største oljetankerne gir 2,9*0,013443=0,039 MJ pr tonne-km.

Tabell 5 viser energibruk for ulike typer skip i ulik størrelse beregnet på grunnlag av data fra IMO 2008. For å beregne middelerdien i dødvekt-tonn for de minste grupper av skip i hver kategori er minste tillatte dødvekt satt til 1000 tonn. De største olje-tankere er opp mot 550 000 dødvekt-tonn (Ultra-large crude carrier). Vi har derfor satt middelerdien for den største gruppa av oljetankere til 300 000 tonn. For de andre gruppene har vi ikke gjort noen korreksjoner for gruppa med den høyeste dødvekta.

Tabell 5 Energibruk MJ pr tonn-km for ulike typer skip på verdensbasis 2007.

Type	Størrelse	Middel verdi dødvekt	Gjennomsnittlig laste kapasitet	Gjennomsnittlig kapasitet -utn.	Transportarbeid pr skip mill tonn-km	CO ₂ /tonne-km	MJ/tonn-km
Crude oil tanker	200,000+ dwt	300 000	295 237	48 %	14 197	2,9	0,0390

¹⁰ ibid., side 21.

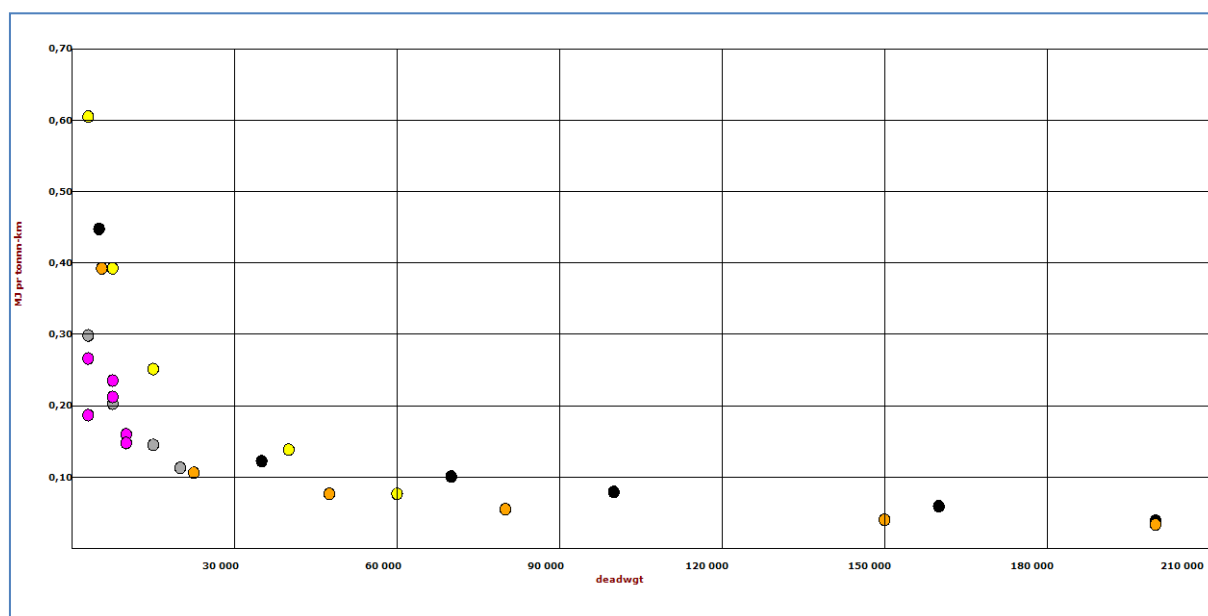
¹¹ side 15

Crude oil tanker	120-199,999 dwt	160 000	151 734	48 %	7 024	4,4	0,0592
Crude oil tanker	80-119,999 dwt	100 000	103 403	48 %	4 418	5,9	0,0793
Crude oil tanker	60-79,999 dwt	70 000	66 261	48 %	2 630	7,5	0,1008
Crude oil tanker	10-59,999 dwt	35 000	38 631	48 %	1 519	9,1	0,1223
Crude oil tanker	-9,999 dwt	5 000	3 668	48 %	91	33,3	0,4477
Products tanker	60,000+ dwt	60 000	101 000	55 %	3 491	5,7	0,0766
Products tanker	20-59,999 dwt	40 000	40 000	55 %	1 334	10,3	0,1385
Products tanker	10-19,999 dwt	15 000	15 000	50 %	464	18,7	0,2514
Products tanker	5-9,999 dwt	7 500	7 000	45 %	171	29,2	0,3926
Products tanker	-4,999 dwt	3 000	1 800	45 %	38	45	0,6050
Chemical tanker	20,000+ dwt	20 000	32 200	64 %	1 832	8,4	0,1129
Chemical tanker	10-19,999 dwt	15 000	15 000	64 %	820	10,8	0,1452
Chemical tanker	5-9,999 dwt	7 500	7 000	64 %	383	15,1	0,2030
Chemical tanker	-4,999 dwt	3 000	1 800	64 %	72	22,2	0,2985
LPG tanker	50,000+ cbm	50 000	46 656	48 %	2 411	9	0,1210
LPG tanker	-49,999 cbm	25 000	3 120	48 %	90	43,5	0,5848
LNG tanker	200,000+ cbm	200 000	97 520	48 %	5 672	9,3	0,1250
LNG tanker	-199,999 cbm	100 000	62 100	48 %	3 797	14,5	0,1949
Bulk carrier	200,000+ dwt	200 000	227 000	50 %	10 901	2,5	0,0336
Bulk carrier	100-199,999 dwt	150 000	163 000	50 %	7 763	3	0,0403
Bulk carrier	60-99,999 dwt	80 000	74 000	55 %	3 821	4,1	0,0551
Bulk carrier	35-59,999 dwt	47 500	45 000	55 %	2 243	5,7	0,0766
Bulk carrier	10-34,999 dwt	22 500	26 000	55 %	1 269	7,9	0,1062
Bulk carrier	-9,999 dwt	5 500	2 400	60 %	68	29,2	0,3926
General cargo	10,000+ dwt	10 000	15 000	60 %	867	11,9	0,1600
General cargo	5,000-9,999 dwt	7 500	6 957	60 %	365	15,8	0,2124
General cargo	-4,999 dwt	3 000	2 545	60 %	77	13,9	0,1869
General cargo	10,000+ dwt,100+ teu	10 000	18 000	60 %	961	11	0,1479
General cargo	5-9,999 dwt,100+ teu	7 500	7 000	60 %	244	17,5	0,2353
General cargo	-4,999 dwt,	3 000	4 000	60 %	121	19,8	0,2662

	100+ teu						
Refridgerated cargo	All		6 400	50 %	393	12,9	0,1734
Container	8,000+ teu		68 600	70 %	6 968	12,5	0,1680
Container	5-7,999 teu		40 355	70 %	4 233	16,6	0,2232
Container	3-4,999 teu		28 784	70 %	2 820	16,6	0,2232
Container	2-2,999 teu		16 800	70 %	1 480	20	0,2689
Container	1-1,999 teu		7 000	70 %	578	32,1	0,4315
Container	-999 teu		3 500	70 %	180	36,3	0,4880
Vehicle	4,000+ ceu		7 908	70 %	733	32	0,4302
Vehicle	-3,999 ceu		2 808	70 %	227	57,6	0,7744
Roro	2,000+ lm		5 154	70 %	368	49,5	0,6655
Roro	-1,999 lm		1 432	70 %	57	60,3	0,8107

dwt=dødvectonn, teu=twenty-foot equivalent,

Figur 4 Sammenheng mellom dødvect og energibruk MJ pr tonn-km



Figur 4 viser sammenhengen mellom dødvect og energibruk i MJ pr tonn-km.

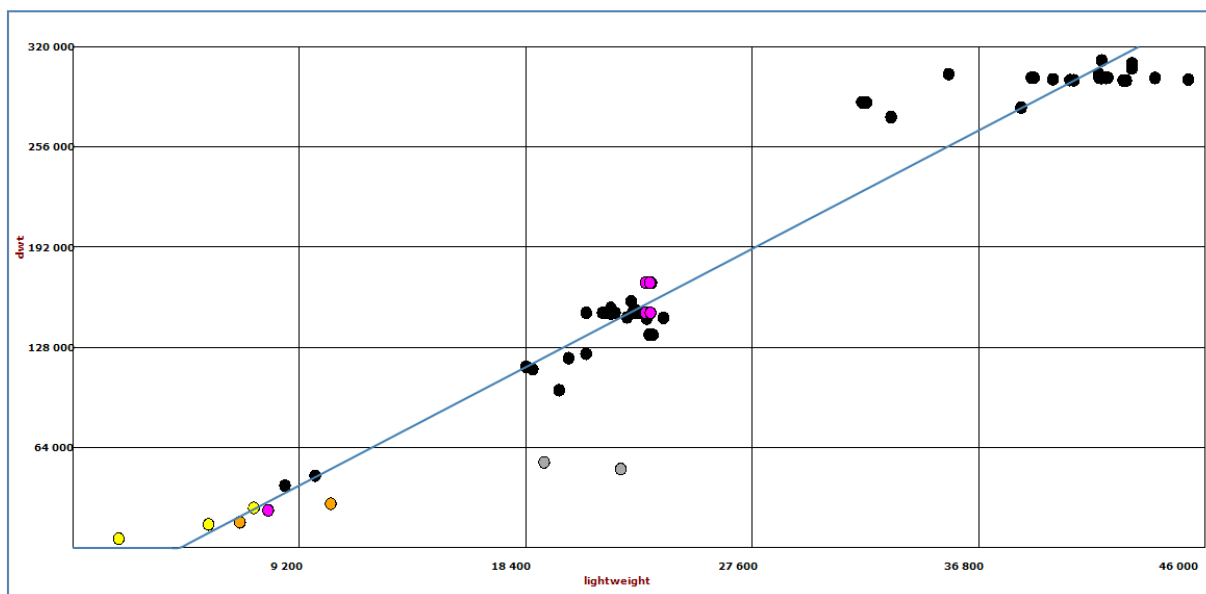
ProBas har tre estimat for godstransport på sjø. To av estimatene gjelder for innenlandsk godstransport på vannveier i Tyskland. Disse er lite relevante for norske forhold. ProBas har også et estimat for internasjonal godstransport på sjø. Dette er et estimat for et skip som på tysk kalles "Massengutfrachter", altså massetransport av gods. Det oppgir i estimatet at skipet har en stålvekt på 50 000 tonn.

Figur 5 viser sammenhengen mellom egenvekt ("lightweight") og dødvect for et sett med skip av ulike kategori. Vi referer til Simonsen (2009a)¹² for en dokumentasjon av data og modell. Figuren gjør det mulig å estimere dødvekten når vi kjenner egenvekten. Vi bruker en modell siden det ikke finnes

¹² Simonsen, M.: *Energibruk og CO2-utslipp ved bygging av av skip for godstransport*, Upublisert notat Vestlandsforskning juni 2009.

noen omregningsformel fra egenvekt til dødvekt. En input-verdi for egenvekten på 50 000 gir omlag 375 000 dødvekt. I Tabell 5 er det to kategorier som har en klasse med dødvekt 200 000 og større, dette er oljetankerne og bulk-frakteskipene ("bulk carrier"). Vi antar derfor at estimatet i ProBas gjelder for et stort skip i kategorien bulkskip i Tabell 5.

Figur 5 Sammenheng egenvekt ("lightweight")-dødvekt("dwt")



Estimatet i ProBas viser en energibruk på 0,1142 MJ pr tonn-km. Dette omfatter energibruk til framstilling av drivstoff som antas å være tungolje. ProBas oppgir en input på 0,1 MJ med tungolje for produksjon 1 tonn-km. Estimatet for Tank-to-Wheel blir dermed 0,1 MJ pr tonn-km. Dette er nesten tre ganger så høyt som energibruken for de største bulk-skipene i Tabell 5 som er på 0,0036 MJ pr tonn-km.

Utslipp CO2-ekvivalenter

Tabell 6 viser utslipp av CO2 og CO2-ekvivalenter pr tonn-km for Hurtigruta og bilferjer i 2004. Tabellen viser for det første at utslippene for Hurtigruta og bilferjer ligger høyt over tilsvarende utslipp fra godstransport med skip på verdensbasis. Det skyldes mindre båter og mindre produksjon av tonn-km. For det andre viser tabellen at CO2-utslippene alene utgjør nesten alle utslipp av CO2-ekvivalenter. Feilkilden ved å bruke CO2 og ikke CO2-ekvivalenter er derfor marginal.

Tabell 6 Utslipp av CO2 og CO2-ekvivalenter pr tonn-km fra Hurtigruta og bilferjer 2004

2004	CO2	CO2-ekv
Hurtigruta	1359	1372
Ferjer	1058	1068

ProBas gir også et estimat for utslipp av CO2 for produksjon av 1 tonn-km med bulk-frakteskipet som er drøftet ovenfor. Estimatet viser 8,03 gram pr tonn-km for direkte framdrift (Tank-to-Wheel) og 9,11 gram inklusive utslipp tidligere i energikjeden for produksjon av drivstoff. Estimatet for de største bulk-skip i Tabell 5 er 2,5 gram CO2 pr tonn-km. ProBas gir også et estimat for CO2-ekvivalenter, altså ikke bare CO2. Dette estimatet er på 8,28 gram for framdrift av skipet.

Estimatet for utslipp av gram CO₂ pr tonn-km i ProBas er over tre ganger så høyt som utslippet i gram pr tonn-km for de største bulk-skipene i Tabell 5. Tidligere fant vi at energibruken i ProBas-estimatet er nesten tre ganger så høyt. Forskjellen i energibruk og utslipp mellom estimatene fra ProBas og IMO i Tabell 5 stemmer derfor godt overens.

Indirekte energibruk

Infrastruktur

Estimatet for skipsfartens infrastruktur bygger på opplysninger fra Ecoinvent om konstruksjon av havna i Rotterdam. Opplysningene er gjengitt i Tabell 7¹³.

Tabell 7 Input for konstruksjon av Rotterdam havn

Materialer	Verdi	Enhet
Bitumen	25 500 000	kg
Betong	27 900	m ³
Pukk, grus	777 000 000	kg
Elektrisitet	45 300 000	kWh
Diesel	3 800 000	MJ
Masseforflytning, gravemaskin	3 700 000	m ³
Transport lastebil 32 tonn	33 100 000	tonn-km
Bygninger, stål	41 500	m ²
Stål lav-legering	1 650 000	kg
Forsterket stål	16 700	kg

Alle estimat som benyttes i utregningen omfatter all energibruk og utslipp knyttet til utvinning, transport og framstilling av materialer.

For å omregne til energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter har vi gjort følgende forutsetninger: Transport med lastebil er med semitrailer som oppfyller Euro 3-krav og med kjørestil tilpasset motorvei. Estimat for energibruk og utslipp av CO₂-ekvivalenter for lastebilen er hentet fra ProBas¹⁴. ProBas anslår energibruken til 1,3034 MJ pr tonn-km og utslipp av CO₂-ekvivalenter til 0,09922 kg pr tonn-km.

For en dokumentasjon av energibruksfaktorer for stål og bitumen referer vi til Simonsen (2009b)¹⁵. For lav-legert stål er det brukt primærstål og for forsterket stål er det brukt varmevalset stål. Primærstål har en energibruksfaktor på 19,9 MJ pr kg mens vi bruker 22,8 MJ/kg for varmevalset stål. Utslippsfaktorer for CO₂-ekvivalenter er 1,5 kg/kg for primærstål og 1,7 kg/kg for varmevalset stål. For bitumen brukes et estimat på 5,3 MJ pr kg med utslipp av CO₂-ekvivalenter på 1,2 kg/kg.

¹³ Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., Tuchschmid, M. Transport Services, Data v2.0 (2007), Ecoinvent Report No. 14., Table 8.27 side 192.

¹⁴ Internnavn *Lkw-Sattelzug-AB-EURO 3*

¹⁵ Simonsen, M.: *Energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for ulike metall*, Upublisert notat Vestlandsforskning, juni 2009.

For stein og grus er det benyttet et estimat fra ProBas¹⁶. He anslås energibruken til 0,1661 MJ pr kg med et utslipp av CO2-ekvivalenter på 0,011 kg/kg. Estimaten for forflytning av masse er hentet fra Strippel som refereres i Schlaupitz (2008)¹⁷. Vi bruker 5,5 kWh eller 19,8 MJ pr m³. For utslipp regner vi all energibruk som forbruk av diesel og bruker 0,01 kg CO2-ekvivalenter pr MJ. Dette estimaten er hentet fra ProBas¹⁸.

For betong bruker vi et estimat fra ProBas¹⁹ på 0,9911 MJ pr kg og med utslipp av CO2-ekvivalenter på 0,174 kg/kg. Når det gjelder bygninger i stål er disse oppgitt i areal. Her bruker vi opplysninger om en lagerhall fra Wilhelmsen Ships Service²⁰. Vi bruker stålvekten pr kvadratmeter stål for lagerhallen som et utgangspunkt for å beregne total mengde stål i kg som kreves for å konstruere arealet for stålbygninger som er oppgitt av Ecoinvent.

For utslipp av CO2-ekvivalenter knyttet til bruk av elektrisitet har vi brukt et estimat fra ProBas for nederlandsk elektrisitetsmix i 2010²¹. Estimaten gir et utslipp av 119 tonn for produksjon av 1 TJ med elektrisitet levert fra det nederlandske strømmettet.

Tabell 8 Energibruk og utslipp av CO2-ekvivalenter for konstruksjon av Rotterdam havn

Material	TJ	Tonn Co2-ekv
Bitumen	135,15	30 600
Betong	65,63	11 510
Pukk, grus	129,08	8 547
Elektrisitet	163,08	19 407
Diesel	3,80	38
Masseforflytning, gravemaskin	73,26	739
Transport lastebil 32 tonn	48,44	3 284
Bygninger, stål	47,19	3 557
Stål lav-legering	32,84	2 475
Forsterket stål	0,38	28
		0
Sum	698,85	80 186

Tabell 8 gir estimatene for total energibruk og utslipp knyttet til konstruksjon av Rotterdam havn. Dette er energibruk og utslipp for hele levetiden for havna. Vi bruker et estimat på 30 år for havnas levetid.

Ecoinvent oppgir den årlige mengde med gods som transporteres gjennom Rotterdam havn. For årene 1997-2003 oppgir et årlig gjennomsnitt på 168 millioner tonn bulk ("dry bulk goods") og 16

¹⁶ Internnavn i ProBas er *Xtra-Abbau\Kies-DE*

¹⁷ Schlaupitz, H.: Energi og klimakonsekvenser av moderne transportsystem, Norges Naturvernforbund, Rapport 3/2008, side 37, http://www.naturvern.no/data/f/1/24/31/4_2401_0/Rapport_250908.pdf

¹⁸ Internnavn i ProBas er *Tankstelle\Diesel-DE-2010*

¹⁹ Internnavn *Steine-Erden\Beton*

²⁰ Wilhelmsen Ships Service, Warehouse Fact Sheet,

http://www.wilhelmsen.com/services/maritime/companies/buss/BUSS_About/BUSS_Pressroom/BUSS_Pressreleases/Documents/WSS%20RDC%20Factsheet.pdf

²¹ Internnavn i ProBas er *El-KW-Park-NL-2010*

millioner tonn olje og mineralprodukt ("liquid bulk goods"). Samtidig opplyses det at en gjennomsnittlig bulk-frakt er 5000 km mens en gjennomsnittlig fraktelengde for tankere er 8800 km. Vi lar all godstransport foregå med havgående skip og ser bort fra innenlandsk skipstransport på nederlandske vannveier. Vi får da et samlet transportarbeid på 840 milliarder tonn-km for bulk-transport og 1 280 milliarder tonn-km for transport med tankere.

Fordeler vi energibruk for konstruksjon av havna over 30 års levetid og fordeler på transportarbeidet i ett år får vi et anslag på 0,000011MJ pr tonn-km og et utslipp på 0,001 gram CO₂-ekvivalenter pr tonn-km.

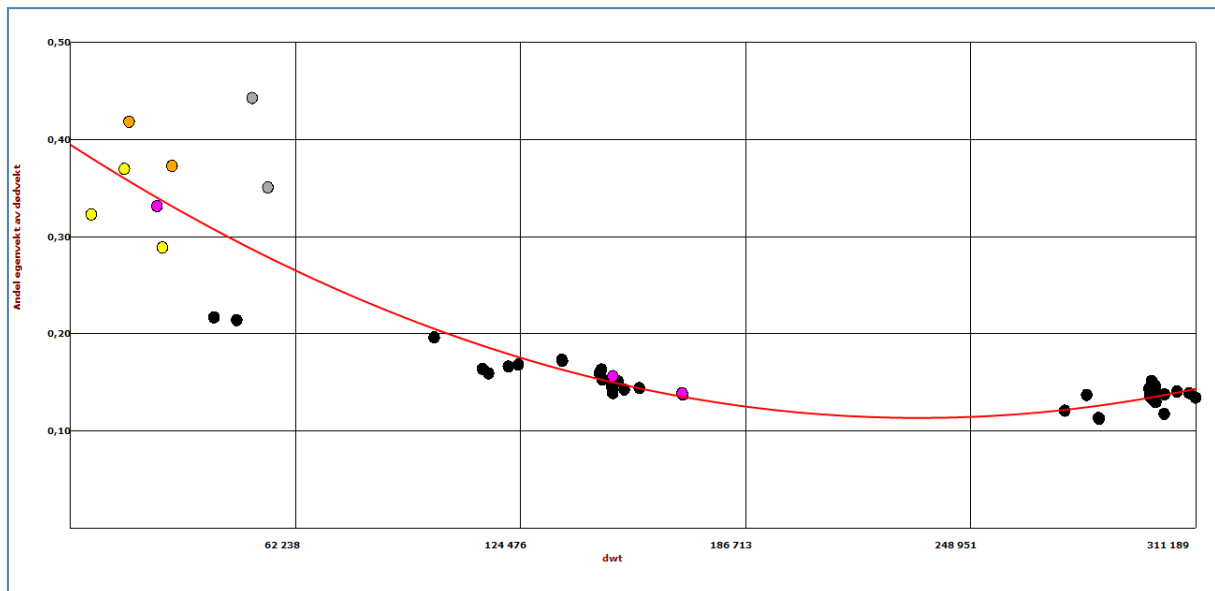
Transportmiddel

For å beregne energibruk og utslipp av CO₂ til produksjon av skip skal vi gjøre følgende forutsetninger:

- Vi tar bare hensyn til stål og regner all egenvekt som stålvekt.
- Vi tar bare hensyn til energi og utslipp knyttet til utvinning og framstilling av materialer. Vi har ikke noe datagrunnlag for å beregne den energi og de utslipp som er knyttet til fabrikasjon og sammenstilling av materialer til skip på verftene.

Vi skal estimere energibruk og utslipp for produksjon av skip gruppert etter IMO's inndeling i Tabell 5. Først må vi finne egenvekten for skipene. I Tabell 5 er skipene oppgitt med sin dødvekt. Denne vekten måler skipenes lastekapasitet, ikke deres egenvekt ("lightweight").

Figur 6 Sammenheng mellom egenvekt og dødvekt



Figur 6 viser egenvektens andel av dødvekt mot dødvekt. Ved å bruke egenvektens andel i stedet for egenvekten direkte kan vi få fram trender i sammenhengen mellom dødvekt og egenvekt som er vanskeligere å oppdage om vi estimerer egenvekten direkte mot dødvekt. I tillegg unngår vi problem med ekstrapolering, forlengelse av regresjonslinjen utover det empiriske datagrunnlaget. Simonsen (2009b) gir en fullstendig oversikt over skipene som er brukt i Figur 6.

Figur 6 viser at andel egenvekt av dødvekten synker med økende dødvekt. Men figuren viser et optimumsforløp, andelen synes å øke igjen for de aller største skipene. Figuren kan tyde på at det lønner seg å bygge store skip siden en lavere andel egenvekt for skip med mer dødvekt betyr at skipene kan frakte mer gods pr tonn egenvekt.

I Figur 6 er det beregnet en regresjonslinje som bygger på en polynom regresjonsmodell. Det vil si at kvadratet av dødvekten inngår som et annengradsledd i likningen. Vi får dermed regresjonsmodellen i Likning 4.

Likning 4 Regresjonsmodell for beregning av egenvekt for skip

$$Y = \alpha + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + e$$

I Likning 4 er α , β_1 og β_2 ukjente regresjonskoeffisienter som blir estimert med minste kvadraters metode, X er skipenes dødvekt og Y er skipenes egenvekt. Leddet e er et feilledd som vi antar er normalfordelt, har konstant varians for alle verdier av X og ikke samvarierer med hverandre.

En estimering av modellen gir oss forventningsverdier for regresjonskoeffisientene. Ved å bruke ulike verdier for dødvekt sammen med de estimerte regresjonskoeffisientene kan vi anslå verdien på egenvektens andel av dødvekten. Denne forventede andelen kan vi bruke til å beregne selve egenvekten. Deretter kan vi beregne energibruk og utslipp for produksjon av skip ved å anvende energibruksfaktorer og utslippsfaktorer på forventet egenvekt. Dette er gjort i Tabell 9 som viser energibruk og utslipp for produksjon av skip ordnet etter IMO's gruppering i Tabell 5.

I Tabell 9 er det regnet med en energibruksfaktor på 24,45 GJ pr tonn stål og en utslippsfaktor på 2,036 tonn CO₂ for produksjon av ett tonn stål. For en dokumentasjon av disse verdiene viser vi til Simonsen (2009b)²². Containerskip, fryseskip, ro-ro skip og skip for frakt av biler er ikke inkludert siden deres lastekapasitet ikke måles i dødvekt.

Transportarbeidet for skipene er hentet fra Tabell 5. Det antas at transportarbeidet i tabellen er målt for ett år. Videre har vi antatt en levetid på 30 år for skip. Med disse forutsetninger kan energibruk og utslipp for produksjon av skip fordeles over hele transportarbeidet over hele skipets antatte levetid.

Tabell 9 Beregning av energibruk og utslipp knyttet til produksjon av ulike typer skip

Skipstype	dwt	Egenvekt	Energi (TJ)	Utslipp tonn CO ₂	Energibruk pr MJ/tonn-km	Utslipp g CO ₂ pr tonn-km
Crude oil tankers	300 000	40 606	993	82 674	0,0023	0,19
Crude oil tankers	160 000	22 718	555	46 254	0,0026	0,22
Crude oil tankers	100 000	20 616	504	41 974	0,0038	0,32
Crude oil tankers	70 000	17 643	431	35 921	0,0055	0,46
Crude oil tankers	35 000	11 102	271	22 604	0,0060	0,50
Crude oil tankers	5 000	1 915	47	3 899	0,0172	1,43

²² Simonsen, M.: *Energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for ulike metall*, Upublisert notat Vestlandsforskning, juni 2009.

Products tanker	60 000	16 163	395	32 907	0,0038	0,31
Products tanker	40 000	12 285	300	25 012	0,0075	0,62
Products tanker	15 000	5 401	132	10 996	0,0095	0,79
Products tanker	7 500	2 829	69	5 760	0,0135	1,12
Products tanker	2 500	972	24	1 980	0,0209	1,74
Chemical tanker	20 000	6 979	171	14 210	0,0031	0,26
Chemical tanker	15 000	5 401	132	10 996	0,0054	0,45
Chemical tanker	7 500	2 829	69	5 760	0,0060	0,50
Chemical tanker	2 500	972	24	1 980	0,0110	0,92
LPG Tanker	50 000	14 387	352	29 292	0,0049	0,40
LPG Tanker	25 000	8 453	207	17 210	0,0765	6,37
LNG Tanker	200 000	23 930	585	48 721	0,0034	0,29
LNG Tanker	100 000	20 616	504	41 974	0,0044	0,37
Bulk	200 000	23 930	585	48 721	0,0018	0,15
Bulk	150 000	22 519	551	45 849	0,0024	0,20
Bulk	80 000	18 858	461	38 395	0,0040	0,33
Bulk	47 500	13 893	340	28 287	0,0050	0,42
Bulk	22 500	7 729	189	15 736	0,0050	0,41
Bulk	5 000	1 915	47	3 899	0,0230	1,91
Bulk	10 000	3 714	91	7 562	0,0035	0,29
Bulk	7 500	2 829	69	5 760	0,0063	0,53
Bulk	2 500	972	24	1 980	0,0103	0,86
General cargo	10 000	3 714	91	7 562	0,0031	0,26
General cargo	7 500	2 829	69	5 760	0,0094	0,79
General cargo	2 500	972	24	1 980	0,0065	0,55
Sum	1 760 000	339 691	8 305	691 610		

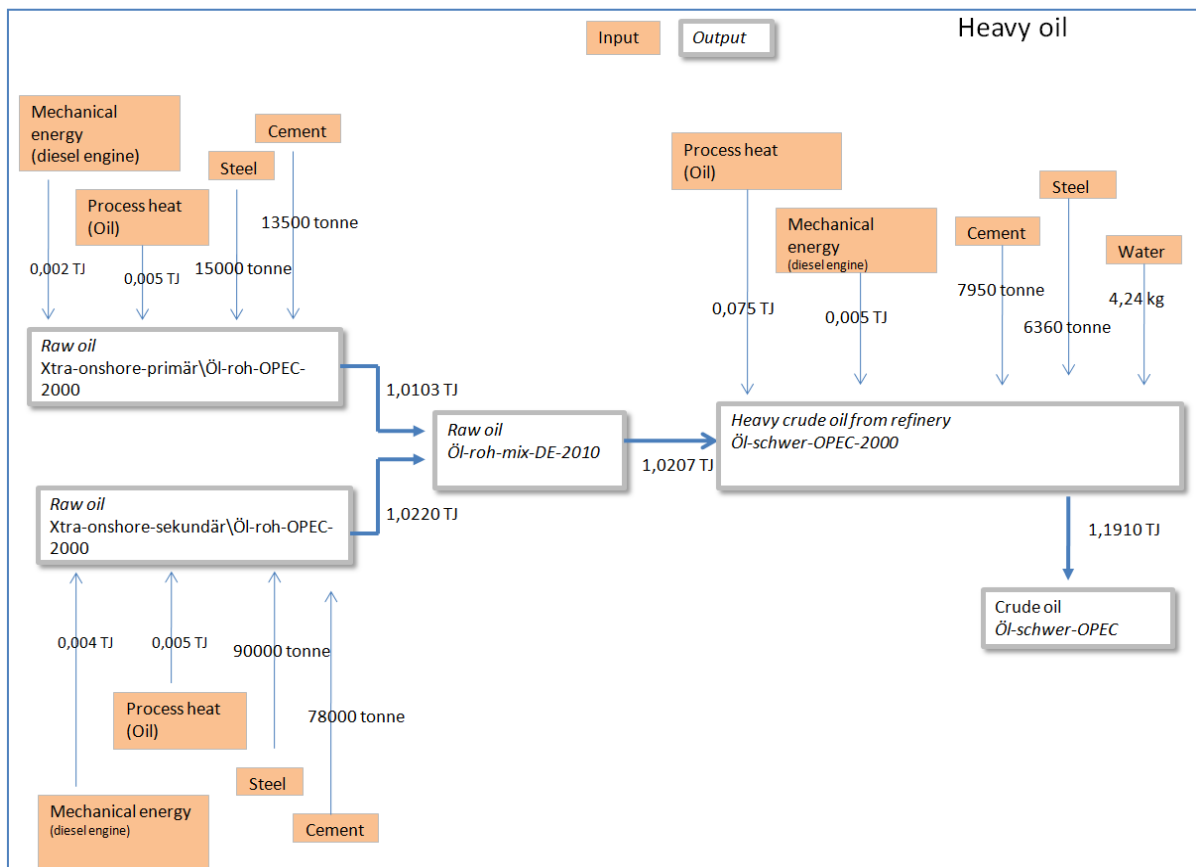
Brutto direkte tillegg Well-to-Tank

Produksjon av drivstoff medfører også energibruk og utslipp. Vi skal bruke et estimat fra ProBas for produksjon av tungolje. Vi viser til Simonsen (2009c)²³ for en dokumentasjon av faktorer for energibruk og utslipp som presenteres i denne delen.

Figur 7 viser prosess-skjema for produksjon av 1 TJ med energi fra tungolje basert på råoljemiks fra OPEC. Til sammen estimeres en energibruk på 1,910 TJ for produksjon av 1 TJ tungolje basert på råoljemiks fra OPEC levert fra raffineri. Dette gir en tapsmultiplikator på 1,910 som er den ekstra mengde energi som må brukes for å få drivstoffet til skipene.

²³ Simonsen, M.: *Freight ship fuel: Heavy oil*. Upublisert notat Vestlandsforskning oktober 2009

Figur 7 Prosess-skjema for produksjon av 1 TJ med energi fra tungolje med råoljemiks fra OPEC



Likning 5 Beregning av energibruk Well-to-Tank pr tonn-km

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

Likning 5 viser hvordan vi kan beregne energibruk Well-to-Tank ved hjelp av estimat for framdriftsenergi, Tank-to-Wheel, pr tonn-km og tapsmultiplikatoren (T). Utslipp av CO₂-utslipp beregner vi ved å bruke utslipp av gram CO₂ pr MJ for tungolje. Estimater fra ProBas oppgir utslipp av 11,9 tonn CO₂-ekvivalenter for produksjon av 1 TJ med energi fra tungolje som tilsvarer 11,9 gram pr MJ. Utslipper av CO₂ alene oppgis til 11,5 tonn pr TJ som gir 11,5 gram pr MJ. Ved å multiplisere energibruk pr tonn-km i den direkte energikjeden med denne utslippsfaktoren i gram/MJ fra Well-to-Tank kjeden kan vi beregne utslipp av CO₂ pr tonn-km i den siste kjeden. Vi multipliserer med energibruken i den direkte energikjede (Tank-to-Wheel) siden utslippet i Well-to-Tank kjeden utløses for å produsere den mengde energi skipet trenger til framdrift.

Likning 6 viser formelen for beregningen.

Likning 6 Beregning av utslipp Well-to-Tank gram CO₂ pr tonn-km

$$\frac{gCO_2}{tonn - km} = \frac{MJ}{tonn - km} * \frac{gCO_2}{MJ}$$

Tabell 10 viser Well-to-Tank energibruk i MJ pr tonn-km og utslipp av CO₂ i gram pr tonn-km. Siden IMO oppgir utslipp av CO₂ for Tank-to-Wheel fasen holder vi oss til CO₂ også for for Well-to-Tank fasen i stedet for CO₂-ekvivalenter.

Tabell 10 Well-to-Tank energibruk i MJ pr tonn-km og utslipp av CO₂ i gram pr tonn-km

Type	Størrelse	Middel- verdi dødvekt	Tank-to-Wheel MJ/tonn-km	Tank-to-Wheel g CO ₂ /tonne-km	Well-to-Tank MJ tonn-km	Well-to-Tank g CO ₂ pr tonn-km
Crude oil tanker	200,000+ dwt	300 000	0,0390	2,9	0,0074	0,45
Crude oil tanker	120-199,999 dwt	160 000	0,0592	4,4	0,0113	0,68
Crude oil tanker	80-119,999 dwt	100 000	0,0793	5,9	0,0152	0,91
Crude oil tanker	60-79,999 dwt	70 000	0,1008	7,5	0,0193	1,16
Crude oil tanker	10-59,999 dwt	35 000	0,1223	9,1	0,0234	1,41
Crude oil tanker	-9,999 dwt	5 000	0,4477	33,3	0,0855	5,15
Products tanker	60,000+ dwt	60 000	0,0766	5,7	0,0146	0,88
Products tanker	20-59,999 dwt	40 000	0,1385	10,3	0,0265	1,59
Products tanker	10-19,999 dwt	15 000	0,2514	18,7	0,0480	2,89
Products tanker	5-9,999 dwt	7 500	0,3926	29,2	0,0750	4,51
Products tanker	-4,999 dwt	3 000	0,6050	45,0	0,1156	6,96
Chemical tanker	20,000+ dwt	20 000	0,1129	8,4	0,0216	1,30
Chemical tanker	10-19,999 dwt	15 000	0,1452	10,8	0,0277	1,67
Chemical tanker	5-9,999 dwt	7 500	0,2030	15,1	0,0388	2,33
Chemical tanker	-4,999 dwt	3 000	0,2985	22,2	0,0570	3,43
LPG tanker	50,000+ cbm		0,1210	9,0	0,0231	1,39
LPG tanker	-49,999 cbm		0,5848	43,5	0,1117	6,73
LNG tanker	200,000+ cbm		0,1250	9,3	0,0239	1,44
LNG tanker	-199,999 cbm		0,1949	14,5	0,0372	2,24
Bulk carrier	200,000+ dwt	200 000	0,0336	2,5	0,0064	0,39
Bulk carrier	100-199,999 dwt	150 000	0,0403	3,0	0,0077	0,46
Bulk carrier	60-99,999 dwt	80 000	0,0551	4,1	0,0105	0,63
Bulk carrier	35-59,999 dwt	47 500	0,0766	5,7	0,0146	0,88
Bulk carrier	10-34,999 dwt	22 500	0,1062	7,9	0,0203	1,22
Bulk carrier	-9,999 dwt	5 500	0,3926	29,2	0,0750	4,51
General cargo	10,000+ dwt	10 000	0,1600	11,9	0,0306	1,84
General cargo	5,000-9,999 dwt	7 500	0,2124	15,8	0,0406	2,44
General cargo	-4,999 dwt	3 000	0,1869	13,9	0,0357	2,15
General cargo	10,000+ dwt,100+ teu	10 000	0,1479	11,0	0,0282	1,70
General cargo	5-9,999 dwt,100+ teu	7 500	0,2353	17,5	0,0449	2,71
General cargo	-4,999 dwt,100+ teu	3 000	0,2662	19,8	0,0508	3,06
Refridgerated cargo	All		0,1734	12,9	0,0331	1,99
Container	8,000+ teu		0,1680	12,5	0,0321	1,93

Container	5-7,999 teu		0,2232	16,6	0,0426	2,57
Container	3-4,999 teu		0,2232	16,6	0,0426	2,57
Container	2-2,999 teu		0,2689	20,0	0,0514	3,09
Container	1-1,999 teu		0,4315	32,1	0,0824	4,96
Container	-999 teu		0,4880	36,3	0,0932	5,61
Vehide	4,000+ ceu		0,4302	32,0	0,0822	4,95
Vehide	-3,999ceu		0,7744	57,6	0,1479	8,91
Roro	2,000+ lm		0,6655	49,5	0,1271	7,65
Roro	-1,999 lm		0,8107	60,3	0,1548	9,32

Oppsummering

Energibruk

Tabell 11 gir en oppsummering av energibruk pr tonn-km for skiptransport i ulike livsløpsfaser. For infrastruktur har vi ikke skilt mellom tankere og bulk-skip da forskjellen i energibruk er marginal. Vi har derfor beregnet energibruk for konstruksjon av havneanlegg fordelt på samlet transportarbeid for alle typer skip.

Tabell 11 Energibruk i MJ pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser

Energibruk pr MJ/tkm	Middle value dead-weight	Antall	Tank-to-Wheel	Well-to-tank	Transport-middel	Infrastruktur	Sum
Crude oil tanker	300 000	494	0,0390	0,0074	0,0023	0,000011	0,0488
Crude oil tanker	160 000	353	0,0592	0,0113	0,0026	0,000011	0,0731
Crude oil tanker	100 000	651	0,0793	0,0152	0,0038	0,000011	0,0983
Crude oil tanker	70 000	180	0,1008	0,0193	0,0055	0,000011	0,1256
Crude oil tanker	35 000	245	0,1223	0,0234	0,0060	0,000011	0,1517
Crude oil tanker	5 000	114	0,4477	0,0855	0,0172	0,000011	0,5504
Products tanker	60 000	198	0,0766	0,0146	0,0038	0,000011	0,0951
Products tanker	40 000	456	0,1385	0,0265	0,0075	0,000011	0,1724
Products tanker	15 000	193	0,2514	0,0480	0,0095	0,000011	0,3089
Products tanker	7 500	466	0,3926	0,0750	0,0135	0,000011	0,4810
Products tanker	3 000	3 959	0,6050	0,1156	0,0209	0,000011	0,7414
Chemical tanker	20 000	1 010	0,1129	0,0216	0,0031	0,000011	0,1376
Chemical tanker	15 000	584	0,1452	0,0277	0,0054	0,000011	0,1783
Chemical tanker	7 500	642	0,2030	0,0388	0,0060	0,000011	0,2478
Chemical tanker	3 000	1 659	0,2985	0,0570	0,0110	0,000011	0,3665
LPG tanker	3 000	138	0,1210	0,0231	0,0049	0,000011	0,1490
LPG tanker	50 000	943	0,5848	0,1117	0,0765	0,000011	0,7731
LNG tanker	200 000	4	0,1250	0,0239	0,0034	0,000011	0,1524
LNG tanker	100 000	239	0,1949	0,0372	0,0044	0,000011	0,2366
Bulk carrier	200 000	119	0,0336	0,0064	0,0018	0,000011	0,0418

Bulk carrier	150 000	686	0,0403	0,0077	0,0024	0,000011	0,0504
Bulk carrier	80 000	1 513	0,0551	0,0105	0,0040	0,000011	0,0697
Bulk carrier	47 500	1 864	0,0766	0,0146	0,0050	0,000011	0,0963
Bulk carrier	22 500	2 090	0,1062	0,0203	0,0050	0,000011	0,1315
Bulk carrier	5 500	1 120	0,3926	0,0750	0,0230	0,000011	0,4905
General cargo	10 000	674	0,1600	0,0306	0,0035	0,000011	0,1940
General cargo	7 500	1 528	0,2124	0,0406	0,0063	0,000011	0,2593
General cargo	3 000	11 006	0,1869	0,0357	0,0103	0,000011	0,2329
General cargo	10 000	1 225	0,1479	0,0282	0,0031	0,000011	0,1793
General cargo	7 500	1 089	0,2353	0,0449	0,0094	0,000011	0,2897
General cargo	3 000	1 486	0,2662	0,0508	0,0065	0,000011	0,3236

Utslipp av CO2-ekvivalenter

Tabell 12 viser utslipp av gram CO2 for de samme skipstypene. Det gjelder de samme forutsetninger som i Tabell 11.

Tabell 12 Utslipp av gram CO2 pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser

Utslipp g CO2 pr tkm	Middle value dead-weight	Tank-to-Wheel	Well-to-tank	Transport-middel	Infrastruktur	Utslipp g CO2 pr tkm
Crude oil tanker	300 000	2,9	0,45	0,19	0,0013	3,54
Crude oil tanker	160 000	4,4	0,68	0,22	0,0013	5,30
Crude oil tanker	100 000	5,9	0,91	0,32	0,0013	7,13
Crude oil tanker	70 000	7,5	1,16	0,46	0,0013	9,12
Crude oil tanker	35 000	9,1	1,41	0,5	0,0013	11,01
Crude oil tanker	5 000	33,3	5,15	1,43	0,0013	39,88
Products tanker	60 000	5,7	0,88	0,31	0,0013	6,89
Products tanker	40 000	10,3	1,59	0,62	0,0013	12,51
Products tanker	15 000	18,7	2,89	0,79	0,0013	22,38
Products tanker	7 500	29,2	4,51	1,12	0,0013	34,84
Products tanker	3 000	45	6,96	1,74	0,0013	53,70
Chemical tanker	20 000	8,4	1,30	0,26	0,0013	9,96
Chemical tanker	15 000	10,8	1,67	0,45	0,0013	12,92
Chemical tanker	7 500	15,1	2,33	0,5	0,0013	17,94
Chemical tanker	3 000	22,2	3,43	0,92	0,0013	26,55
LPG tanker	3 000	9	1,39	0,4	0,0013	10,79
LPG tanker	50 000	43,5	6,73	6,37	0,0013	56,60
LNG tanker	200 000	9,3	1,44	0,29	0,0013	11,03
LNG tanker	100 000	14,5	2,24	0,37	0,0013	17,11
Bulk carrier	200 000	2,5	0,39	0,15	0,0013	3,04
Bulk carrier	150 000	3	0,46	0,2	0,0013	3,67
Bulk carrier	80 000	4,1	0,63	0,33	0,0013	5,07

Bulk carrier	47 500	5,7	0,88	0,42	0,0013	7,00
Bulk carrier	22 500	7,9	1,22	0,41	0,0013	9,53
Bulk carrier	5 500	29,2	4,51	1,91	0,0013	35,63
General cargo	10 000	11,9	1,84	0,29	0,0013	14,03
General cargo	7 500	15,8	2,44	0,53	0,0013	18,77
General cargo	3 000	13,9	2,15	0,86	0,0013	16,91
General cargo	10 000	11	1,70	0,26	0,0013	12,96
General cargo	7 500	17,5	2,71	0,79	0,0013	21,00
General cargo	3 000	19,8	3,06	0,55	0,0013	23,41

Utslipp av SO₂-ekvivalenter

SO₂-ekvivalent er et mål på forsureningspotensiale til et sett med komponenter²⁴. 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 skal bruke verdier for utslipp av SO₂-ekvivalenter pr energienhet fra ProBas. Beregningene gjelder for to av energikjedene, den direkte (Tank-to-Wheel) og tillegget i den brutto direkte (Well-to-Tank). For de andre energikjedene (infrastruktur, produksjon av skip) finnes det ikke utslippsfaktorer i ProBas.

Utslippsfaktoren for den direkte energikjede omfatter bare direkte utslipp knyttet til framdrift av skipet. Utslippsfaktoren for tillegget i den brutto direkte energikjede omfatter alle utslipp i hele kjeden fram til drivstoff levert til tankanlegg. På denne måten unngår vi dobbelt-telling av utslipp.

Beregningene for den direkte energikjede er hentet fra et ProBas-estimat for oversjøisk skipsfart²⁵. Estimatet er generisk og gjelder for år 2000. Med generisk mener vi at estimatet ikke er knyttet til et spesielt land eller til en spesiell region. Vi beregner utslipp av SO₂-ekvivalenter pr MJ for dette estimatet. Denne utslippsfaktoren multipliserer vi så med den direkte energibruken for skipstypene som er presentert ovenfor. I stedet for å bruke estimatet for utslipp pr tonn-km fra ProBas direkte regner vi utslippsfaktor pr energienhet og multipliserer med den direkte energibruk for ulike skipstyper pr tonn-km slik de er presentert ovenfor. Dette gir oss muligheten til å la utlippene variere med den direkte energibruken for disse skipstypene.

Utslippsfaktoren for tillegget i den brutto direkte energikjede (Well-to-Tank) henter vi fra estimatet for tungolje i ProBas²⁶. Dette er drivstoffet som er oppgitt i estimatet for oversjøisk skipsfart. Tungoljen er basert på en råoljemiks fra OPEC-land. Vi beregner utslippsfaktoren i gram pr MJ og multipliserer denne med den direkte energibruken i MJ pr tonn-km siden utlippene utløses for å produsere den mengde energi skipet trenger til framdrift. Dette gir oss utslippet i gram pr tonn-km for skipstypene som er omtalt ovenfor.

²⁴

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

²⁵ ProBas-estimat [Überseeschiff](#). Dette internnavnet kan brukes som søkekriterium i søkemenyen Volltextsuche i hovedmenyen i ProBas, <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

²⁶ [ProBas - Details: Raffinerie\Öl-schwer-OPEC-2000](#)

Tabell 13 viser resultatet av denne utregningen av SO₂-ekvivalenter pr tonn-km.

Tabell 13 Utslipp av gram SO₂-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser

Utslipp gram SO ₂ -ekvivalent pr tonn-km	Middle value deadweight	Direkte energikjede	Tillegg brutto direkte energikjede	Utslipp g CO ₂ pr tkm
Crude oil tanker	300 000	0,06	0,01	0,06
Crude oil tanker	5 000	0,64	0,07	0,71
Products tanker	60 000	0,11	0,01	0,12
Products tanker	3 000	0,86	0,09	0,96
Chemical tanker	20 000	0,16	0,02	0,18
Chemical tanker	3 000	0,43	0,05	0,47
LPG tanker	3 000	0,17	0,02	0,19
LPG tanker	50 000	0,83	0,09	0,92
LNG tanker	200 000	0,18	0,02	0,20
LNG tanker	100 000	0,28	0,03	0,31
Bulk carrier	200 000	0,05	0,01	0,05
Bulk carrier	5 500	0,56	0,06	0,62
General cargo	10 000	0,23	0,02	0,25
General cargo	3 000	0,27	0,03	0,30
Cargo/ container	10 000	0,21	0,02	0,23
Cargo/ container	3 000	0,38	0,04	0,42

Utslipp av TOPP-ekvivalenter

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 ozondannelse²⁷.

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

Vi skal bruke verdier for utslipp av TOPP-ekvivalenter fra ProBas. Prinsippet for beregningene er de samme som for SO₂-ekvivalenter. Tabell 14 viser resultatet av beregningene.

Tabell 14 Utslipp av gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpsfaser

Utslipp gram SO ₂ -ekvivalent pr tonn-km	Middle value deadweight	Direkte energikjede	Tillegg brutto direkte energikjede	Utslipp g CO ₂ pr tkm
Crude oil tanker	300 000	0,04	0,00	0,05
Crude oil tanker	5 000	0,50	0,03	0,53
Products tanker	60 000	0,09	0,01	0,09
Products tanker	3 000	0,67	0,04	0,71
Chemical tanker	20 000	0,13	0,01	0,13
Chemical tanker	3 000	0,33	0,02	0,35

²⁷

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

LPG tanker	3 000	0,13	0,01	0,14
LPG tanker	50 000	0,65	0,04	0,69
LNG tanker	200 000	0,14	0,01	0,15
LNG tanker	100 000	0,22	0,01	0,23
Bulk carrier	200 000	0,04	0,00	0,04
Bulk carrier	5 500	0,44	0,03	0,46
General cargo	10 000	0,18	0,01	0,19
General cargo	3 000	0,21	0,01	0,22
Cargo/ container	10 000	0,16	0,01	0,17
Cargo/ container	3 000	0,30	0,02	0,31

Valgte estimat

For å presentere resultat på en oversiktlig måte velger vi et skip innenfor hver av gruppene i tabellene ovenfor som representative for gruppen. Vi velger da å bruke antall i skip som utvalgs-kriterium. Formålet med de valgte estimat er å vise betydningen av internasjonal skipstransport og gi en bakgrunn for å vurdere Norges bidrag til energibruk og utslipp som en stor skipsfartsnasjon. Noen skipsgrupper vil da være mindre relevante siden norsk skipsfart i liten grad benytter slike skip. Vi velger å ta med en oljetanker, en kjemikalietanker, et tankskip, et bulkskip, et frakteskip og et LNG-skip. Vi tar ikke med LPG-skip siden de har mindre relevans for norsk skipsfart.

Innenfor hver gruppe er det flere under-grupper av skip i tabellene ovenfor. Vi velger ut den under-gruppen som har flest skip. Tabell 15 til Tabell 18 viser de valgte estimat for energibruk og utslipp.

Tabell 15 Energibruk i MJ pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpfaser

	Middle value deadweight	Antall	Direkte energi-kjede	Infra-struktur	Transport-middel	Tillegg brutto direkte energi-kjede	Sum
Crude oil tanker	100 000	651	0,079	0,00001	0,004	0,015	0,098
Products tanker	3 000	3 959	0,605	0,00001	0,021	0,116	0,741
Chemical tanker	20 000	1 010	0,113	0,00001	0,003	0,022	0,138
LNG tanker	100 000	239	0,195	0,00001	0,004	0,037	0,237
Bulk carrier	22 500	2 090	0,106	0,00001	0,005	0,020	0,131
General cargo	3 000	11 006	0,187	0,00001	0,010	0,036	0,233

Tabell 16 Utslipp av gram CO2 pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpfaser

	Middle value deadweight	Direkte energikjede	Infrastruktur	Transportmiddel	Tillegg brutto direkte energikjede	Sum
Crude oil tanker	100 000	5,90	0,0013	0,32	0,91	7,13
Products tanker	3 000	45,00	0,0013	1,74	6,96	53,69
Chemical tanker	20 000	8,40	0,0013	0,26	1,30	9,96
LNG tanker	100 000	14,50	0,0013	0,37	2,24	17,11
Bulk carrier	22 500	7,90	0,0013	0,41	1,22	9,54
General cargo	3 000	13,90	0,0013	0,86	2,15	16,91

Tabell 17 Utslipp av gram SO2-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpfaser

	Middle value deadweight	Direkte energikjede	Tillegg brutto direkte energikjede	Sum
Crude oil tanker	100 000	0,11	0,01	0,13
Products tanker	3 000	0,86	0,09	0,96
Chemical tanker	20 000	0,16	0,02	0,18
LNG tanker	100 000	0,28	0,03	0,31
Bulk carrier	22 500	0,15	0,02	0,17
General cargo	3 000	0,27	0,03	0,30

Tabell 18 Utslipp av gram TOPP-ekvivalenter pr tonn-km for godstransport med skip i ulike livsløpfaser

	Middle value deadweight	Direkte energikjede	Tillegg brutto direkte energikjede	Sum
Crude oil tanker	100 000	0,09	0,01	0,09
Products tanker	3 000	0,67	0,04	0,71
Chemical tanker	20 000	0,13	0,01	0,13
LNG tanker	100 000	0,22	0,01	0,23
Bulk carrier	22 500	0,12	0,01	0,13
General cargo	3 000	0,21	0,01	0,22