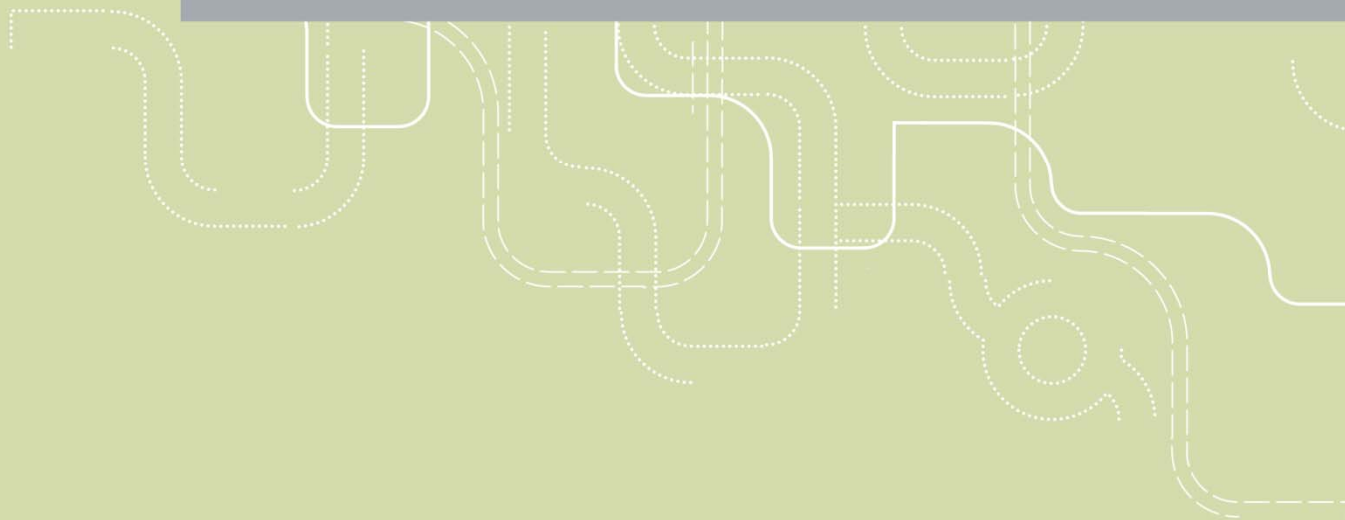


Harald Thune-Larsen
Rolf Hagman
Inger Beate Hovi
Knut Sandberg Eriksen
TØI rapport 1047/2009

tøi Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

Energieffektivisering og CO₂-utslipp for innenlands transport 1994-2050



Energieffektivisering og CO₂-utslipp for innenlands transport 1994-2050

Harald Thune-Larsen
Rolf Hagman
Inger Beate Hovi
Knut Sandberg Eriksen

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

Tittel: Energieffektivisering og CO₂-utslipp for innenlands transport 1994-2050

Forfattere: Harald Thune-Larsen
Rolf Hagman
Inger Beate Hovi
Knut Sandberg Eriksen

Dato: 12.2009

TØI rapport: 1047/2009

Sider 64

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1025-8

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Samferdselsdepartementet

Prosjekt: 3508 - Teknologitviking i transportsektoren

Prosjektleder: Harald Thune-Larsen

Kvalitetsansvarlig: Kjell Werner Johansen

Emneord: Energi
Energieffektivitet
Transport
Utslipp

Title: Energy efficiency and CO₂ Emissions in the Norwegian transport sector 1994-2050

Author(s): Harald Thune-Larsen
Rolf Hagman
Inger Beate Hovi
Knut Sandberg Eriksen

Date: 12.2009

TØI report: 1047/2009

Pages 64

ISBN Electronic: 978-82-480-1025-8

ISSN 0808-1190

Financed by: Ministry of Transport and Communications

Project: 3508 – Technology development in the transport industry

Project manager: Harald Thune-Larsen

Quality manager: Kjell Werner Johansen

Key words: Emissions
Energy efficiency
Transport

Sammendrag:

TØI har anslått potensialet for redusert energibruk og direkte CO₂-utslipp per person- og tonnkm for perioden 2004-2050. Mulighetene for energieffektivisering og reduksjon av direkte CO₂-utslipp er størst for lette kjøretøy. Her kan massiv overgang til elektrisk fremdrift redusere de direkte CO₂-utslippene med inntil 97 prosent og energibruken med inntil 76 prosent fra 2004 til 2050 ved uendret transportvolum og belegg. Potensialet for energieffektivisering og reduserte direkte CO₂-utslipp innen luftfart anslås til maksimalt 67 prosent fra 2004 til 2050 ved uendret transportvolum og belegg.

Videre anslås potensialet for reduserte direkte CO₂-utslipp per person- og tonnkm i perioden til maksimalt 42 prosent for tunge kjøretøy og 34 prosent for skip, mens jernbanen kan fjerne dem helt ved full elektrifisering. Rapporten presenterer historisk utvikling fra 1994 til 2004 og 3 scenarier for utvikling i energibruk og CO₂-utslipp per transportert enhet med ulike transportmidler for årene 2020, 2035 og 2050.

Summary:

This report presents estimated potential for reduced energy use and CO₂ emissions per passenger and tonne kilometre from 2004 to 2050. The potential for energy efficiency improvements and reductions in CO₂ emissions are highest for light vehicles. For these vehicles a massive transition to electric engines can result in an up to a 97 per cent reduction in CO₂ emissions and up to 76 per cent reduction in energy use per transport unit. The potential for energy efficiency improvements and reductions in CO₂ emissions per transport unit in aviation is estimated at maximally 67 per cent between 2004 and 2050. The potential for reduced CO₂ emissions per passenger and tonne km in the same period is estimated at maximally 42 per cent for heavy vehicles and 34 per cent for ships, while for rail the CO₂ emissions can be eliminated with a completely developed electrification. This report presents energy use and CO₂ emissions per tonne km and passenger km in Norway from 1994 to 2004 and 3 different scenarios for 2020, 2035 and 2050.

Language of report: Norwegian

Rapporten utgis kun i elektronisk utgave.

This report is available only in electronic version.

Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Transportsektoren står for en vesentlig andel av utslippene av klimagasser både i Norge og globalt. Med økende transportvolum blir kunnskap om hva en kan forvente seg av utslipp per transportert enhet stadig viktigere.

Samferdselsdepartementet utlyste i juni et oppdrag som hadde som formål å bedre kvaliteten på fremskrivinger av energibruk og utslipp fra transport. TØI vant anbudskonkurransen og har utarbeidet 3 scenarier for teknologisk utvikling i transport målt ved energibruk og CO₂-utslipp per transportert enhet.

Rapporten er skrevet av forsker Rolf Hagman, forsker Harald Thune-Larsen, forskningsleder Inger Beate Hovi og forsker Knut Sandberg Eriksen. Inger Beate Hovi har hatt ansvaret for kapittel 4, Knut Sandberg Eriksen for avsnitt 3.1 og Rolf Hagmann for kapittel 2 mens Harald Thune-Larsen har vært prosjektleder og hatt ansvaret for øvrige kapitler og redigering av rapporten.

Oslo, desember 2009
Transportøkonomisk institutt

Lasse Fridstrøm *Kjell Werner Johansen*
instituttssjef avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

1	Innledning.....	1
2	Scenarier for teknologi og drivstoff	2
2.1	Bakgrunn - global oppvarming og transportsektoren	2
2.2	Teknologiske utsikter for kjøretøy.....	4
2.2.1	Hybrid fremdrift - det beste fra to teknologier	5
2.2.2	Elbiler og ”Plug-in hybridbiler”	6
2.2.3	Tunge kjøretøy	8
2.2.4	Motorsykler og mopeder.....	9
2.2.5	Biodrivstoff.....	9
2.3	Teknologiske utsikter for innenriks sjøtransport og fiske	10
2.4	Teknologiske utsikter for innenriks flytransport	11
2.4.1	Energieffektivisering til 2020	11
2.4.2	Energieffektivisering etter 2020	12
2.5	Scenarier	13
2.5.1	Referansescenario	14
2.5.2	Lavutslippsscenariet.....	17
2.5.3	Kompromiss.....	20
3	Persontransport	24
3.1	Vegtransport.....	24
3.1.1	Oversikt over den historiske utviklingen	24
3.1.2	Historisk utvikling personbiler	25
3.1.3	Historisk utvikling rutebuss	26
3.1.4	Oversikt over kapasitetsutnyttelsen	27
3.1.5	Kapasitetsutnyttelse personbiler	27
3.1.6	Kapasitetsutnyttelse rutebusser.....	29
3.1.7	Fremskriving	29
3.2	Rutebåter	31
3.2.1	Ferger	31
3.2.2	Hurtigruten.....	32
3.2.3	Hurtigbåter	33
3.3	Luftfart	34
3.3.1	Historikk	34
3.3.2	Transportytelser	35
3.3.3	Utslipp og energibruk per transportytelse.....	35
3.3.4	Fremskriving	36
3.4	Jernbane, trikk og forstadsbaner	37
3.4.1	Historikk jernbane.....	37
3.4.2	Fremskriving jernbane	39
3.4.3	Utvikling i kapasitetsutnyttelse.....	40
3.4.4	Trikk og forstadsbaner	41

Godstransport	43
4.1 Vegtransport.....	43
4.1.1 Historisk utvikling utslippskoeffisienter.....	43
4.1.2 Kapasitetsutnyttelse	44
4.1.3 Energibruk	48
4.1.4 Oppsummering.....	48
4.1.5 Framskrevne utslippskoeffisienter	49
4.2 Sjøtransport.....	51
4.2.1 Historisk utvikling utslippskoeffisienter.....	51
4.2.2 Framskrevne utslippskoeffisienter	54
4.3 Luftfart.....	56
4.3.1 Historikk	56
4.3.2 Fremskrivning	57
4.4 Jernbane	58
4.4.1 Historisk utvikling utslippskoeffisienter.....	58
4.4.2 Framskrevne utslippskoeffisienter.....	60
Referanser.....	62

Sammendrag:

Energieffektivisering og CO₂-utslipp for innenlands transport 1994-2050

TØI har anslått potensialet for redusert energibruk og direkte CO₂-utslipp per person- og tonnkm for perioden 2004-2050.

Mulighetene for energieffektivisering og reduksjon av direkte CO₂-utslipp er størst for lette kjøretøy. Her kan massiv overgang til elektrisk fremdrift redusere de direkte CO₂-utslippene med inntil 97 prosent og energibruken med inntil 76 prosent fra 2004 til 2050 ved uendret transportvolum og belegg.

Potensialet for energieffektivisering og reduserte direkte CO₂-utslipp innen luftfart anslås til maksimalt 67 prosent fra 2004 til 2050 ved uendret transportvolum og belegg.

Videre anslås potensialet for reduserte direkte CO₂-utslipp per person- og tonnkm i perioden til maksimalt 42 prosent for tunge kjøretøy og 34 prosent for skip, mens jernbanen kan fjerne dem helt ved full elektrifisering.

Innledning

Transportøkonomisk institutt har utarbeidet scenarier for utviklingen i gjennomsnittlig energibruk og CO₂-utslipp per transportenhet (kjøretøykilometer, personkilometer og tonnkilometer) innenlands for hvert transportmiddel.

Scenariene for teknologisk utvikling er utarbeidet i tre scenarier, går frem til 2050 og bygger i høy grad på NOU 2006:18 "Et klimavennlig Norge", Future Climate- Engineering Solutions 2009 og OECD-rapporten "Can Cars Come Clean".

I scenariene presenteres det gjennomsnittstall for all transport med vedkommende transportmiddel. Det skilles altså ikke mellom for eksempel korte og lange reiser eller mellom by og land.

Forutsetninger

Utslippsfaktorene i rapporten angir *direkte* energibruk og CO₂-utslipp (Tank to Wheel/Propell) knyttet til bruken av transportmiddelet.

For transport som omfatter både personer og gods må energiforbruk og utslipp fordeles på person- og godstransport. For jernbane er det benyttet NSB's egen fordeling. For fly er det lagt til grunn at 1 personkm tilsvarer 0,0865 tonnkm og for sjøtransport er det lagt til grunn at 1 personkm tilsvarer 1 tonnkm.

Utslippfaktorene for CO₂ for elektriske biler og hydrogenbiler blir dermed null til tross for at selve produksjonen av elektrisitet og hydrogen i varierende grad vil medføre CO₂-utslipp. Samtidig får transportmidler som benytter drivstoff laget av biomasse omtrent samme utslippsfaktorer for CO₂ som fossilt drivstoff selv om mengden av CO₂-utslipp/absorpsjon knyttet til selve produksjonen av drivstoffet vil være forskjellig.

Teknologiske utsikter

Lette kjøretøy

For lette kjøretøy finnes det potensial for å redusere utslipp av CO₂ ved at bilene blir mindre og lettere samt at de får mer effektive fremdriftssystemer.

Reduserte utslipp av klimagasser kan oppnås med tekniske løsninger og drivstoff innen følgende områder:

- Mer energieffektive kjøretøy, spesielt hybriddrift
- Lettere kjøretøy med svakere motorytelse
- Overgang fra fossile drivstoff til biodrivstoff (slår ut på indirekte utslipp):
- Overgang til hydrogen eller elektrisk drift (kan slå ut på indirekte utslipp)

Tunge kjøretøy

For tunge kjøretøy er vekten av den last som skal transporteres av avgjørende betydning for energiforbruk og utslipp av CO₂. Store dieselmotorer er allerede med 45 prosent virkningsgrad forholdsvis effektive. Over lange avstander og ved kjøring i jevn hastighet er potensialet for ytterligere reduksjon av drivstofforbruket til tunge kjøretøy derfor begrenset, men det forskes på bruk av alternative drivstoff og ny teknologi. Bybusser og distribusjonsbiler kan med avansert hybridteknologi oppnå store reduksjoner i energiforbruk ved bykjøring.

Innenriks sjøtransport og fiske

Flåten av skip, nasjonalt og internasjonalt, er kompleks i oppbygging, og ulike funksjoner dekkes av omkring 100 ulike skipstyper. Sammensetningen av flåte både med hensyn til ulike funksjonskrav og spredning i alder, vanskeliggjør enkle og generelle betraktninger knyttet til reduksjon av totale utslipp.

Naturgass som alternativt drivstoff innenfor sjøtransport er likevel en ny og framtidrettet mulighet som har et potensial til å bidra til reduksjon av CO₂- (og NO_x-) utslippet. Ved overgang fra marin dieselolje (MDO) til naturgass som drivstoff oppnås en reduksjon av CO₂ på ca. 25 prosent.

Innenriks flytransport

Foreliggende flåteutskiftingsplaner gir omfattende utslippsreduksjoner og sammen med omlegging av taksing og rutiner i luftrommet kan energibruk og utslipp per transportenhet bli redusert med 30-40 prosent innen 2020. Siden vil mer effektive

motorer og flydesign kunne bidra til ytterligere 20-40 prosent reduksjoner per transportenhet.

Jernbane

NSB planlegger 15 prosents reduksjon i elektrisitetsforbruket i samarbeide med Enova mens dieseltog har mange av de samme mulighetene som tunge kjøretøy. For tog er det dessuten mulig å elektrifisere gjenværende banestrekninger som ennå ikke har elektrisitetstilførsel.

Referansescenarioet

Referansescenarioet tilsvarer i hovedsak Lavutslippsutvalgets Referansebane. I 2050 har man 15 prosent lavutslipps-**kjøretøy**, og 17 prosent av drivstoffet er ikke-fossilt. Bedringen i energieffektiviteten antas å bli 40 prosentpoeng for lette kjøretøy mens busser i bytrafikk antas å få en forbedring på 30 prosentpoeng og tunge kjøretøy ved landeveiskjøring får en forbedring på 5-10 prosentpoeng. De resterende reduksjonene blir tatt ved hjelp av biodrivstoff, som i henhold til Lavutslippsutvalget forutsetninger er klimanøytralt

For **sjøfart og fiske** legges det til grunn en gradvis energieffektivisering som vil bli på 10 prosent i 2050 i forhold til 2005. Reduksjon i utslipp av klimagasser vil, på grunn av økt bruk av metan (naturgass) som drivstoff, bli noe høyere enn tilsvarende reduksjoner av energiforbruket.

For **luftfart** legges det til grunn 30 prosents reduksjon i energiforbruk og utslipp til 2020 og 20 prosent til i 2050.

For **dieseltog** legges det til grunn samme utvikling som for tunge kjøretøy. For **elektriske tog** legges det til grunn 15 prosents forbedring til 2020.

Lavutslippsscenarioet

Lavutslippscenariet er identisk med Lavutslippsutvalgets Lavutslippsbane. Her kombineres innfasing av lav- og nullutslipps**kjøretøy** med innfasing av CO₂-nøytralt drivstoff til erstatning for fossile drivstoff. Nullutslippskjøretøyene forutsettes å ha elektrisk drift og vil derved ikke bare få null utslipp, men vil også i 2050 kunne redusere energiforbruket med 50-60 prosent i forhold til referansescenarioet. Reduksjonene i utslippene av CO₂ fra **tunge kjøretøy** anslås til 15 prosent i forhold til Referansebanen.

For **sjøfart og fiske** reduseres utslippene og energiforbruk per transportenhet med 20 prosent i 2050 i forhold til referansescenarioet. Reduksjon i utslipp av klimagasser vil, på grunn av økt bruk av metan (naturgass) som drivstoff, bli noe høyere enn tilsvarende reduksjoner av energiforbruket.

I **Luftfart** legges det i 2020 til grunn 40 prosents effektivisering i forhold til 2007. Fra 2020 til 2050 faller drivstofforbruket med ytterligere 40 prosent hvorav halvparten er tatt ut i 2035.

For jernbane legges det til grunn full overgang til elektrisitet i 2050 og halvparten av dette er gjennomført i 2035. I tillegg forventes det 10 prosents energieffektivisering fra 2020 til 2035 for elektrisk jernbane.

Kompromissscenarioet

Kompromiss er et scenario som er en kompromiss mellom *Referansescenarioet* og de klimamål som oppfylles i *Lavutslippsscenarioet*. I Kompromissscenarioet har vi forsøkt å ta med den utvikling av teknologi som har skjedd fra Lavutslippsutvalgets rapport ble publisert i 2006.

En stor andel av de **lette bilene** vil i *Kompromiss* få elektrisk fremdrift frem mot 2035. Utslippene av CO₂ vil reduseres med 60 og 80 prosent i forhold til Referansebanen. Energieffektiviteten vil for lette biler, som konsekvens av overgangen til hel eller delvis elektrisk drift øke med 50 og 60 prosent i forhold til Referansebanen. Såkalte *plug-in hybridbiler* forventes å kunne kjøre 40-60 km på batteridrift samtidig som de på langkjøring kan bruke en kombinasjon av elektrisk drift og forbrenningsmotor.

Reduksjonene i utslippene av CO₂ fra **tunge kjøretøy** anslås til 5 prosent i forhold til Referansebanen.

For **sjøfart og fiske** legges det til grunn en gradvis energieffektivisering som vil bli på ytterligere 10 prosents i 2050 i forhold til Referansescenarioet. Reduksjon i utslipp av klimagasser vil, på grunn av økt bruk av metan (naturgass) som drivstoff, bli noe høyere enn tilsvarende reduksjoner av energiforbruket.

For **luftfart** legges det i 2020 til grunn 35 prosents effektivisering i forhold til 2007. Fra 2020 til 2050 reduseres energiforbruk og CO₂-utslipp med ytterligere 30 prosent hvorav halvparten er tatt ut i 2035.

For **jernbane** legges det til grunn 10 prosents energieffektivisering fra 2020 til 2035 og halv elektrifisering i 2050.

Resultatene er for persontransport gjengitt i tabell S1-S2, mens tabell S3-S4 gjengir resultatene for godstransport.

Tabell S1. Energiforbruk per personkilometer 1994-2050 i tre scenarioer.

MJ/pkm År	Historisk			Referansescenariet			Kompromisscenarioet			Lavutslippscenarioet		
	1994	1998	2004	2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Persontog	0,70	0,63	0,62	0,50	0,49	0,49	0,50	0,45	0,42	0,49	0,42	0,34
Mopeder	0,82	0,82	0,82	0,61	0,57	0,49	0,46	0,37	0,29	0,43	0,29	0,20
Motorsykler	1,29	1,29	1,29	0,97	0,90	0,77	0,73	0,59	0,46	0,68	0,45	0,31
Rutebusser	0,98	0,85	1,06	0,87	0,82	0,77	0,87	0,78	0,74	0,83	0,78	0,70
Personbil	1,49	1,46	1,37	1,05	0,98	0,84	0,79	0,64	0,50	0,73	0,49	0,34
Drosjer	2,98	2,65	2,32	1,74	1,62	1,39	1,30	1,05	0,83	1,22	0,81	0,56
Fly	2,69	2,78	2,61	1,52	1,36	1,21	1,35	1,14	0,94	1,24	0,95	0,70
Hurtigruta	6,53	5,72	5,02	5,02	4,76	4,51	4,76	4,29	3,61	4,76	4,05	3,61
Ferger	9,13	8,02	8,48	8,48	8,06	7,63	8,06	7,25	6,11	8,06	6,85	5,73
Hurtigbåt	10,66	10,46	12,35	12,35	11,73	11,11	11,73	10,56	8,89	11,73	9,97	8,89

Tabell S2. CO₂-utslipp per personkilometer 1994-2050 i tre scenarioer.

g CO ₂ /pkm År	Historisk			Referansescenariet			Kompromisscenarioet			Lavutslippscenarioet		
	1994	1998	2004	2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Persontog	14	10	8	7	7	6	7	6	3	7	3	0
Mopeder	59	59	59	44	41	35	31	17	7	31	12	2
Motorsykler	68	66	63	47	44	38	33	18	8	33	13	2
Rutebusser	72	63	78	64	61	57	64	58	54	58	51	46
Personbil	108	105	100	77	72	61	54	29	12	54	21	3
Drosjer	210	195	172	129	120	103	90	48	21	90	36	5
Fly	196	203	191	111	100	89	98	84	69	91	70	51
Hurtigruta	479	419	367	367	345	323	349	276	226	331	276	242
Ferger	669	588	621	621	584	547	590	467	383	559	467	410
Hurtigbåt	781	767	904	904	850	796	859	680	557	814	680	597

Tabell S3. Energiforbruk per tonnkilometer 1994-2050 i tre scenarioer.

MJ/tkm År	Historisk			Referansescenariet			Kompromisscenarioet			Lavutslippscenarioet		
	1994	1998	2004	2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Lastebil	2,04	1,60	1,84	1,41	1,17	0,95	1,30	1,00	0,80	1,23	0,94	0,72
Skip	1,04	0,80	NA	0,80	0,76	0,72	0,76	0,68	0,57	0,76	0,64	0,57
Fly	31,10	32,10	30,20	17,50	15,80	14,00	15,50	13,20	10,90	14,30	11,00	8,00
Jernbane	0,34	0,32	0,26	0,18	0,12	0,09	0,26	0,20	0,15	0,18	0,12	0,09
Ferger	9,13	8,02	8,48	8,48	8,06	7,63	8,06	7,25	6,11	8,06	6,85	6,11
Hurtigruta	6,53	5,72	5,02	5,02	4,77	4,52	4,77	4,29	3,61	4,77	4,05	3,61

Tabell S4. CO₂-utslipp per tonnkilometer 1994-2050 i tre scenarioer.

g CO ₂ /tkm År	Historisk			Referansescenariet			Kompromisscenarioet			Lavutslippscenarioet		
	1994	1998	2004	2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Lastebil	150	117	135	97	74	54	85	54	35	78	47	27
Skip	87	74	57	57	53	50	54	43	35	51	43	37
Fly	2270	2350	2210	1280	1150	1020	1130	960	790	1050	800	580
Jernbane	NA	13	12	8	7	6	7	4	3	5	1	0
Ferger	669	588	621	621	584	546	590	467	383	559	467	410
Hurtigruta	479	419	367	367	345	323	349	276	226	330	276	242

Summary:

Energy efficiency and CO₂ emissions in the Norwegian transport sector 1994-2050

This report presents estimated potential for reduced energy use and CO₂ emissions per passenger and tonne kilometre in Norway from 2004 to 2050.

The potential for energy efficiency improvements and reductions in CO₂ emissions are highest for light vehicles. For these vehicles a massive transition to electric engines can result in an up to a 97 per cent reduction in CO₂ emissions and up to 76 per cent reduction in energy use per transport unit.

The potential for energy efficiency improvements and reductions in CO₂ emissions per transport unit in aviation is estimated at maximally 67 per cent between 2004 and 2050.

The potential for reduced CO₂ emissions per passenger and tonne km in the same period is estimated at maximally 42 per cent for heavy vehicles and 34 per cent for ships, while for rail the CO₂ emissions can be eliminated with a completely developed electrification.

This report presents energy use and CO₂ emissions per tonne km and passenger km in Norway from 1994 to 2004 and 3 different scenarios for 2020, 2035 and 2050.

Introduction

The Institute of Transport Economics (TØI) has calculated three scenarios for the development in average energy use and CO₂ emissions per transport unit (vehicle km, tonne km and passenger km) in Norway for each mode of transport until 2050.

The calculations are based on the three resource papers; NOU 2006:18 “Et klimavennlig Norge (A Climate Friendly Norway)”, Future Climate –Engineering Solutions 2009 and “Can Cars Come Clean”.

Definitions

The calculations only cover direct energy use and emissions (Tank to Wheel) and do not differentiate between different transport situations (for instance urban/rural and short/long haul).

In many cases carriers are used to transport both people and freight. In these cases energy use and emissions must be split between passengers and tonnes of freight. For railways we have used calculations made by the Norwegian State Railways (NSB). For aviation we have used the standard measure where 1 passenger km equals 86,5 kg of freight. For sea transport we have assumed that 1 passenger km equals 1 tonne km.

Technological assumptions

Light vehicles

Emissions and energy use for light vehicles can be reduced by making the vehicles lighter and by using more efficient and different propulsion technology, especially in the following areas:

- More energy conserving vehicles including hybrid
- Lighter vehicles with less engine power
- Transition from fossil fuels to biofuels
- Transition from fossil fuels to hydrogen and electric engines

Heavy vehicles

Heavy vehicles use mainly diesel engines. At 45 % efficiency these engines are already relatively efficient. The potential for increased energy efficiency in long haul transport is limited, but use of alternative fuel may reduce the CO₂ emissions. In short haul urban transport hybrid technology could reduce energy use significantly.

Domestic shipping and fishing

The merchant navy and fisheries in Norway use approximately 100 different kinds of ships and it is difficult to generalize the potential for reductions in energy use and emissions. At the time being use of compressed natural gas (CNG) seems to be the most promising technology at sea. Converting from marine diesel oil (MDO) to CNG will reduce CO₂ emissions by 25 %.

Domestic aviation

The two major air carriers in Norway, SAS and Norwegian, are either renewing their entire fleet now or plan to do it before 2020. With these and other measures fuel consumption and CO₂ emissions per available seat km (ASK) is expected to fall by between 30 % and 40 % by 2020. Between 2020 and 2050 further developments in engine and aircraft design are expected to reduce energy use and emissions by another 20 % to 40 %.

Railways

NSB is planning a 15 % reduction in electricity consumption for electric trains. For diesel trains it is assumed that diesel consumption will follow the same pattern as for heavy vehicles. In addition it is possible to electrify remaining rail tracks without power supply.

The Reference Scenario

Our reference scenario is closely related to the reference scenario in NOU 2006:18.

By 2050, 15 % of Norwegian vehicles will be low-emission and 17 % will be based on renewable sources of energy. By 2050 improvements in energy efficiency are estimated at 40 % for light vehicles and 30 % for urban bus transport while improvements for heavy vehicles and diesel trains are estimated at only 5-10 %. Further reductions are expected from the use of biofuel.

The merchant navy and the fisheries will by 2050 have increased energy efficiency by 10 % compared to 2005. Increased use of CNG will reduce CO₂ emissions somewhat more than 10 %.

In domestic aviation, energy efficiency is expected to increase by 30 % in 2020 and by another 20 % in 2050.

Energy efficiency for electricity trains will increase by 15 % before 2020.

The Low Emission Scenario

Our low emission scenario is closely linked to the low emission scenario in NOU 2006:18.

In this scenario the use of low and zero emission vehicles is combined with use of biofuel for remaining vehicles. Usage of electric vehicles will by 2050 reduce energy consumption by 50-60 % compared to the reference scenario. Greenhouse gas emissions from heavy vehicles will be 15 % less than the Reference Scenario.

For the merchant navy and fisheries energy consumption will be reduced by another 20 % in 2050 compared to the reference scenario. Usage of CNG will decrease CO₂ emissions even further.

In domestic aviation, energy consumption and emissions will be reduced by another 14 % by 2020 and by 36 % in 2050 compared to the reference scenario. Railways will in this scenario be completely electrified by 2050, and electric trains will have gained another 10 % increase in energy efficiency.

The Compromise Scenario

The compromise scenario represents a mixture between the reference and low emission scenarios. In addition it takes into consideration technological developments since 2006.

In this scenario a large fraction of the light vehicles will be based on electric propulsion by 2035, and CO₂ emissions will be reduced by 60 % to 80 % compared to the reference scenario. Electric propulsion will also increase energy efficiency by 50-60 % compared to the reference scenario. Plug-in hybrid cars will combine electric propulsion on journeys up to 40-60 km with regular hybrid drive on longer distances.

CO₂ emissions from heavy vehicles will be reduced by another 5 % compared to the reference scenario.

For the merchant navy and fisheries energy efficiency will increase 10 % by 2050 compared to the reference scenario. Converting to CNG will decrease CO₂ emissions even more.

In aviation energy efficiency will increase by 35 % to 2020 and by another 30 % by 2050.

Railways will improve energy efficiency for electric trains by another 10 % by 2035 compared to the reference scenario and 50 % of diesel based traffic converted to electricity by 2035.

Results are given for personal transport in tables E1-E2 and for freight in tables E3-E4.

Table E1. Energy consumption per passenger km 1994-2050 in three scenarios.

MJ/pkm	Historic			Reference scenario			Compromise scenario			Low emission scenario		
	1994	1998	2004	2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Train	0,70	0,63	0,62	0,50	0,49	0,49	0,50	0,45	0,42	0,49	0,42	0,34
Moped	0,82	0,82	0,82	0,61	0,57	0,49	0,46	0,37	0,29	0,43	0,29	0,20
MC	1,29	1,29	1,29	0,97	0,90	0,77	0,73	0,59	0,46	0,68	0,45	0,31
Bus	0,98	0,85	1,06	0,87	0,82	0,77	0,87	0,78	0,74	0,83	0,78	0,70
Car	1,49	1,46	1,37	1,05	0,98	0,84	0,79	0,64	0,50	0,73	0,49	0,34
Taxi	2,98	2,65	2,32	1,74	1,62	1,39	1,30	1,05	0,83	1,22	0,81	0,56
Air	2,69	2,78	2,61	1,52	1,36	1,21	1,35	1,14	0,94	1,24	0,95	0,70
Hurtigruta*	6,53	5,72	5,02	5,02	4,76	4,51	4,76	4,29	3,61	4,76	4,05	3,61
Ferry	9,13	8,02	8,48	8,48	8,06	7,63	8,06	7,25	6,11	8,06	6,85	5,73
Speed boat	10,66	10,46	12,35	12,35	11,73	11,11	11,73	10,56	8,89	11,73	9,97	8,89

*The Norwegian Coastal Voyage

Table S2. CO₂ emissions per passenger km 1994-2050 in three scenarios.

g CO ₂ /pkm Year	Historic			Reference scenario			Compromise scenario			Low emission scenario		
	1994	1998	2004	2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Train	14	10	8	7	7	6	7	6	3	7	3	0
Moped	59	59	59	44	41	35	31	17	7	31	12	2
MC	68	66	63	47	44	38	33	18	8	33	13	2
Bus	72	63	78	64	61	57	64	58	54	58	51	46
Car	108	105	100	77	72	61	54	29	12	54	21	3
Taxi	210	195	172	129	120	103	90	48	21	90	36	5
Air	196	203	191	111	100	89	98	84	69	91	70	51
Hurtigruta	479	419	367	367	345	323	349	276	226	331	276	242
Ferry	669	588	621	621	584	547	590	467	383	559	467	410
Speed boat	781	767	904	904	850	796	859	680	557	814	680	597

Table S3. Energy consumption per tonne km 1994-2050 in three scenarios.

MJ/tkm Year	Historic			Reference scenario			Compromise scenario			Low emission scenario		
	1994	1998	2004	2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Lorry	2,04	1,60	1,84	1,41	1,17	0,95	1,30	1,00	0,80	1,23	0,94	0,72
Ship	1,04	0,80	NA	0,80	0,76	0,72	0,76	0,68	0,57	0,76	0,64	0,57
Air	31,10	32,10	30,20	17,50	15,80	14,00	15,50	13,20	10,90	14,30	11,00	8,00
Train	0,34	0,32	0,26	0,18	0,12	0,09	0,26	0,20	0,15	0,18	0,12	0,09
Ferry	9,13	8,02	8,48	8,48	8,06	7,63	8,06	7,25	6,11	8,06	6,85	6,11
Hurtigruta	6,53	5,72	5,02	5,02	4,77	4,52	4,77	4,29	3,61	4,77	4,05	3,61

Table S4. CO₂ emissions per tonne km 1994-2050 in three scenarios.

g CO ₂ /tkm Year	Historic			Reference scenario			Compromise scenario			Low emission scenario		
	1994	1998	2004	2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Lorry	150	117	135	97	74	54	85	54	35	78	47	27
Ship	87	74	57	57	53	50	54	43	35	51	43	37
Air	2270	2350	2210	1280	1150	1020	1130	960	790	1050	800	580
Train	NA	13	12	8	7	6	7	4	3	5	1	0
Ferry	669	588	621	621	584	546	590	467	383	559	467	410
Hurtigruta	479	419	367	367	345	323	349	276	226	330	276	242

1 Innledning

Utviklingen i utslipp og energibruk innenfor transportsektoren beregnes ved hjelp av transportmodeller. Siden transportmodellene beskriver utviklingen i antall transportenheter (kjøretøykm, personkm, tonnkm, mv) må modellberegningene kompletteres med beregninger av energiforbruk og utslipp per transportenhet.

Samferdselsdepartementet har etter anbuds konkurranse gitt TØI i oppdrag å kartlegge historisk og sannsynlig fremtidig teknologisk utvikling knyttet til energibruk og CO₂-utslipp per transportenhet. Kapasitetsutnyttelse er tatt med som en del av bildet selv om dette bare delvis er et spørsmål om teknologi.

Siden prosjektrammen ikke gir rom for omfattende revurderinger av dagens utslipp per transportenhet (personkm, tonnkm, mv) benyttes eksisterende kilder, i hovedsak beregningene i Toutain et al (2008), som basis for arbeidet. Dette er komplettert med informasjon fra andre kilder der det har vært mulig.

Scenarioene for teknologisk utvikling er utarbeidet i tre scenarioer, går frem til 2050 og bygger i høy grad på NOU 2006:18 "Et klimavennlig Norge", Future Climate- Engineering Solutions 2009 og OECD-rapporten "Can Cars Come Clean". For luftfart bygger resultatene på prosjektet "Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart" kombinert med vurderinger fra flymotorprodusenten Rolls Royce.

Utslippsfaktorene i rapporten angir *direkte* energibruk og CO₂-utslipp (Tank to Wheel/Propell) knyttet til bruken av transportmiddelet.

Utslippsfaktorene for CO₂ for elektriske biler og hydrogenbiler blir dermed null til tross for at selve produksjonen av elektrisitet og hydrogen i varierende grad vil medføre CO₂-utslipp.

Samtidig får transportmidler som benytter drivstoff laget av biomasse omtrent samme utslippsfaktorer for CO₂ som fossilt drivstoff selv om mengden av CO₂-utslipp/absorpsjon knyttet til selve produksjonen av drivstoffet vil være forskjellig.

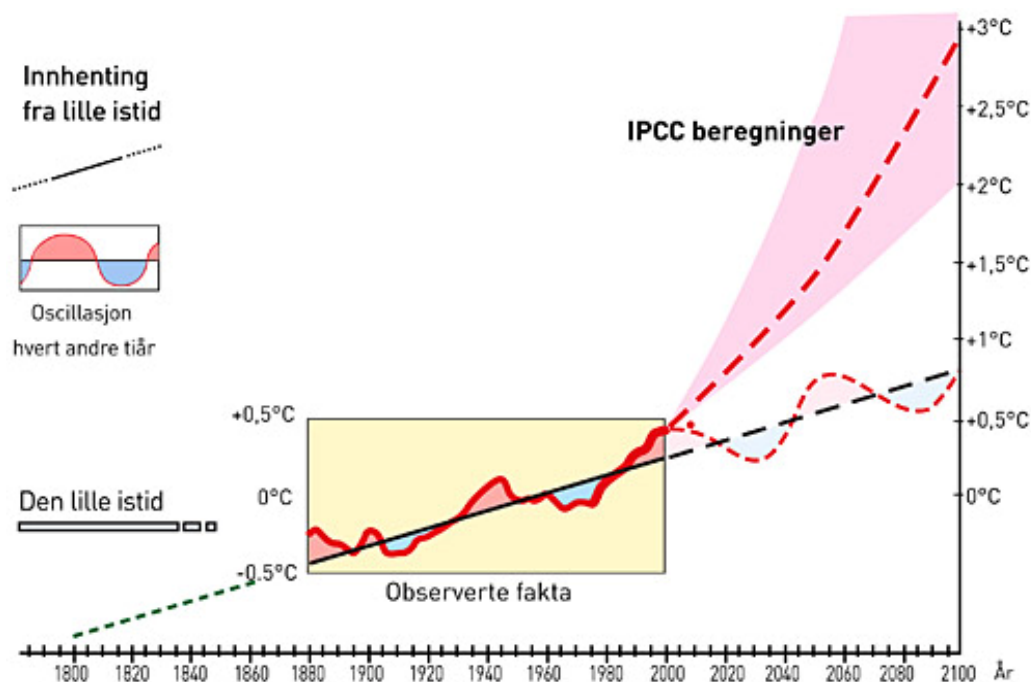
De *totale* CO₂-utslippene (Well to Wheel/Propell) knyttet til transport avhenger av en rekke forhold som det ikke har vært mulig å tallfeste innenfor rammen av dette prosjektet.

2 Scenarier for teknologi og drivstoff

2.1 Bakgrunn - global oppvarming og transportsektoren

Temperaturen på jorden øker. IPCCs beregninger fra 2007 (IPCC, 2007) indikerer at hvis mengden CO₂ i atmosfæren kommer opp i 450 ppm vil temperaturøkningen på jorden bli 2 °C. IPCCs beregninger viser videre at det er utslipp skapt av mennesker som er årsaken til temperaturøkningen. Følgelig vil en reduksjon av menneskeskapt utslipp av klimagasser redusere risikoen for en katastrofal økning av temperaturen på jorden.

En utfordring når det gjelder å redusere utslipp av klimagasser er manglende tilbakemeldinger. Mennesker ser ikke at utslipp av klimagasser gjør skade og nytten av lave utslipp er vanskelig å registrere. Den globale temperaturøkningen er langsom og i tillegg finnes det skeptikere som mener at andre faktorer enn menneskeskapt utslipp av CO₂ er hovedårsaken til temperaturøkningen. I 2020 vil det bli mer klart om temperaturøkningen følger IPCCs beregninger eller om den er oscillerende og kan ha andre årsaker.



Figur 2.1.1 Global oppvarming i henhold til IPCC eller oscillerende temperaturstigning i henhold til "Klimarealistene", Teknisk Ukeblad nr 36 2009.

Forståelse og tilbakemeldinger med negative erfaringer av en bekreftet økt temperatur på jorden vil få betydning for hvilken utvikling vi får når det gjelder motivasjon for å gjennomføre reduksjoner i utslipp av klimagasser. Sparsomhet med energi, redusert vekst, redusert omfang av transport og til og med redusert

materiell standard kan bli konsekvensene av tiltak som må til for å gi en kraftig reduksjon i utslipp av klimagasser i Norge.

Transportsektoren står i 2008 for om lag 28 prosent av de norske klimagassutslippene (16 av 54 millioner tonn). Utslippene har vokst med 27 prosent i perioden 1990-2004. Vegtransport utgjør ca 18 prosent av de norske utslippene (10 millioner tonn). I all hovedsak er vegtransport basert på forbrenning av fossile drivstoff (Opplysningsrådet for veitrafikken, 2008).

Til transportsektoren regner vi:

- *Veitransport*
- *Jernbane*
- *Innenriks flytransport*
- *Innenriks sjøtransport inklusive fiske*

”Future Climate - engineering solutions” (Future Climate, 2009) er et prosjekt hvor 13 ingeniørorganisasjoner over hele verden gikk sammen for å fremme tekniske løsninger for å redusere utslipp av klimagasser i verden og lokalt. Prosjektet har resultert i konkrete forslag som ble presentert i København 3.-4. september 2009 og blir koordinert med den viktige internasjonale klimakonferansen IPCC i København 2009. Praktiske tekniske løsninger og konklusjoner fra ”Future Climate - engineering solutions” er med på å underbygge våre vurderinger om hva som er mulig å forvente når det gjelder reduksjon av klimagasser fra transportsektoren.

For kjøretøy, som utgjør den største kilden for utslipp av klimagasser, finnes teknologi og alternative drivstoffer som kan redusere utslippene av klimagasser fra veitransport i Norge. Hindringene er at flere av de aktuelle klimavennlige teknologiene og mulige alternative drivstoffer er 2-4 ganger så kostbare, og vil sannsynlig også de nærmeste 20 årene bli dobbelt så kostbare som dagens kjøretøy og mer kostbare enn med dagens drivstoffer. Til tross for at det i Norge ikke produseres biler er det norske markedet såpass stort at det til Norge vil være mulig å få spesielt klimavennlige men også mer kostbare kjøretøy.

Skip og skipsmotorer produseres i Norge og Norge kan bli en foregangsnaasjon med lavutslippskip. Fly er et internasjonalt produkt og Norge kan ikke regne med andre fly enn de som produseres i verdensmarkedet.

Det er ikke teknologi i seg selv som vil bli en hindring for et klimanøytralt Norge. Med nok økonomiske ressurser kan Norge fase inn kostbar teknologi ved hjelp av subsidier og insitamenter. Norge har nok vannkraft og stort potensiale for fornybar energi, men for å løse et truende globalt problem er det ikke nok at Norge blir klimanøytralt.

Hvordan og i hvilken grad Norge frem til 2050 vil bruke sin økonomiske styrke for å redusere den truende globale oppvarmingen er først og fremst et politisk og økonomisk spørsmål. Utvikling av energieffektive teknologier for transport vil kunne finansieres av norsk kapital. utfordringene er vanskelige valg og å satse på teknologier og drivstoffer som har er langsiktig bærekraftige både med tanke på klima, biologisk tilvekst og økonomi.

Teknisk energieffektivisering kan oppnås gjennom internasjonale krav og utvikling hos produsenter av tog, kjøretøy, fly og skip. For at den nye teknologien

raskt skal tas i bruk kan nasjonal politikk, for eksempel ved avgiftsdifferensiering og god forbrukerinformasjon, ha stor effekt.

Utslipp av klimagassen CO₂ fra kjøretøy, fly og skip får, på grunn global oppvarming, stadig større oppmerksomhet. EU har nylig vedtatt at gjennomsnittlig utslipp fra personbiler skal ned til 130 gram CO₂ pr km fra 2012. Teknologi for bedre utnyttelse av drivstoffenes kjemiske energi ved omforming til bevegelse i motorer er under kontinuerlig utvikling og forventes i fremtiden å gi lavere drivstofforbruk og utslipp av CO₂.

Fremtidig mangel på rimelig energi og frykt for fortsatt global oppvarming er sterke drivkrefter for reduserte utslipp av CO₂. Ved kjøring med jevn hastighet i 60-80 km/t utnyttes forbrenningsmotorens beste egenskaper. Høyere hastigheter enn 70 km/t gir på grunn av økende luftmotstand økt forbruk av drivstoff og økt utslipp av CO₂. For alle fremkomstmidler er elektrisk fremdrift mer effektiv enn fremdrift med forbrenningsmotor. Spesielt har elektrisk fremdrift eller kombinert elektrisk og forbrenningsfremdrift i hybridbiler og plug-in hybridbiler (betegnelsen plug-in henspiller på at batteriet kan lades fra det ordinære el-nettet) et stort potensial for energibesparelser og reduksjon i utslipp av CO₂ i bytrafikk. Hybrid fremdrift med forbrenningsmotor og elektrisk motor har dog liten effekt (10 prosent reduksjon) på utslipp av CO₂ og energi bruk ved langkjøring med jevn hastighet på flat veg.

Endringer i aktivitetsnivå (kjøretøykilometer), by- og transportstrukturer og adferd er på overordnet nivå avhengig av økonomisk utvikling og husholdningenes realinntekt. Samtidig er det gjennom regional og lokal planleggingspolitikk det kan legges føringer på utviklingen av geografiske/fysiske strukturer som påvirker behovet for motorisert individuell transport.

2.2 Teknologiske utsikter for kjøretøy

For lette kjøretøy finnes det potensial for å redusere utslipp av CO₂ ved at bilene blir mindre og lettere samt at de får mer effektive fremdriftssystemer. Reduserte utslipp av klimagasser kan oppnås med tekniske løsningene og drivstoff innen følgende områder:

Mer energieffektive kjøretøy

- Mer effektive forbrenningsmotorer
- Overgang fra bensinmotor til dieselmotor
- Elektrisk drift og hybridteknologi

Lettere kjøretøy med svakere motorytelse

- Mindre og lettere personbiler
- Mindre motorer (downsizing)

Redusert bruk av fossile drivstoff

- Bensin
- Diesel
- Naturgass (metan)
- Syntetiske drivstoffer GTL fra naturgass

Økt bruk av biodrivstoff (slår ut på indirekte utslipp):

- Etanol (alkoholer)
- Biodiesel (RME)
- BTL, syntetisk diesel (via syntesegass)
- Biogass (metan)

Overgang til drivstoff som kan komme fra fornybar eller fossil energi:

- Hydrogen
- Direkte elektrisk energi fra batterier eller kjøreledning

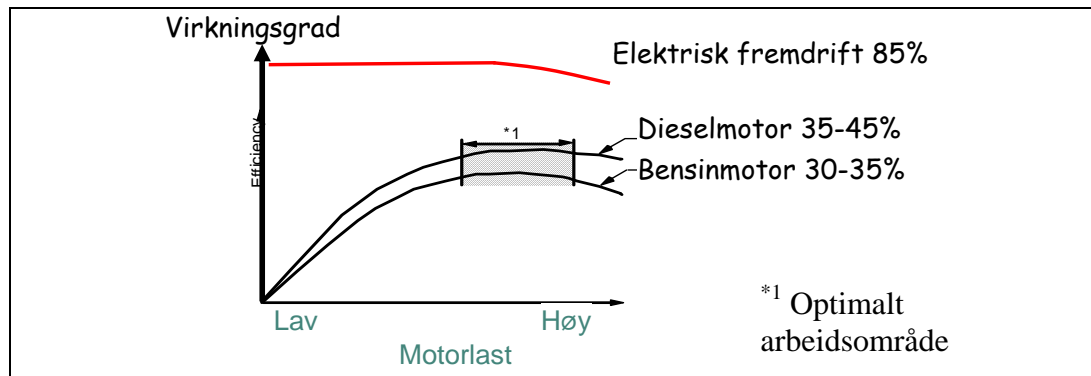
2.2.1 Hybrid fremdrift - det beste fra to teknologier

Energieffektiviteten i tradisjonelle forbrenningsmotorer, det vil si hvor mye av energibærerens energiinnhold som omformes til nyttig bevegelse, er lav og ligger på 30-45 prosent ved optimale hastigheter og belastning. Resten av energiinnholdet forsvinner som varme. I figur 2.2.1 er energieffektiviteten illustrert for bensin- og dieselmotorer ved de to kurvene som stiger fra null og opp til et maksimum på ca 35 prosent for bensinmotor og ca 45 prosent for en dieselmotor. Ved lav motorbelastning og lave motorturtall er energieffektiviteten under 20 prosent for begge motortypene.

Forbedring av energieffektiviteten bedrer energiutnyttelsen og reduserer utslippene, gir lavere drivstoffkostnader og reduserer som regel også negative miljø- og helsekonsekvenser.

Ren elektrisk drift basert på fornybar el-produksjon vil løse hele utslippsproblemet, men har bruksmessige og økonomiske begrensninger som rekkevidde og batterienes kostnad. Imidlertid er elektrisk fremdrift mye mer energieffektiv enn fremdrift med forbrenningsmotorer.

Hybride løsninger kan kombinere det beste fra forbrenningsmotor og elektrisk drift. Forbrenningsmotorenes optimale arbeidsområde vises av skraveringen i figur b. Med hybrid teknologi er det, på grunn av den ekstra elektriske motoren, i større grad mulig å kjøre en forbrenningsmotor i eller i nærheten av sitt optimale arbeidsområde. Hybrid elektrisk fremdrift gir ganske enkelt styringssystemet mulighet til å stenge av eller belaste forbrenningsmotoren slik at den alltid arbeider i et tilnærmet optimalt arbeidsområde. Den elektriske fremdriften kan helt overta for, eller komplettere forbrenningsmotoren. Hybridteknologien gir store gevinster i by- og køkjøring, men mindre gevinster ved kjøring med høy jevn hastighet.



Figur 2.2.1: Virkningsgrad for forbrenningsmotorer og elektrisk drift.
Kilde OECD, 2004.

Virkningsgrad er en måte å angi hvor effektivt en motor utnytter drivstoffet og omformer det til nyttig bevegelsesenergi. Virkningsgraden for en moderne dieselmotor er i utgangspunktet høyere enn virkningsgraden for en moderne bensinmotor. Virkningsgraden varierer sterkt med kjøremåte og motorbelastning (se figur 2.2.1). For både bensinmotorer og dieselmotorer er virkningsgraden høyest når motorene belastes med 80-90 prosent av sin maksimale kapasitet. Når en personbil med konvensjonell drivlinje kjøres i virkelig trafikk varierer virkningsgraden mellom null og maksimalt 45 prosent.

2.2.2 Elbiler og "Plug-in hybridbiler"

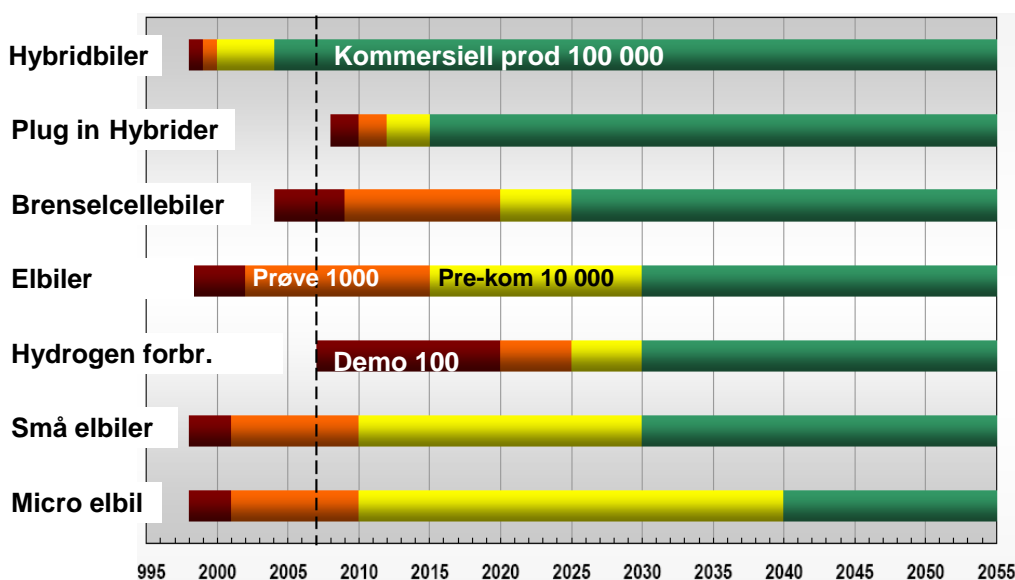
I 2009 synes det klart at ny batteriteknologi vil gjøre elektrisk drift kommersielt tilgjengelig raskere enn tidligere antatt. Små biler vurderes som mest egnede konseptet for elektrisk drift. Think industrier, Elbil Norge, Miljøbil Grenland og andre norske interessenter tilbyr små elbiler til det norske markedet. Avgjørende for elbilens framtid og konkurransedyktighet er ytelse innen sitt markedssegment, vekt, levetid, driftsikkerhet og pris på batterier. Fremtidige "plug-in hybridbiler", med større eller mindre batteripakke, som kan lades direkte fra nettet, kan kombinere det beste med dagens hybridbiler og elbiler med energien lagret i batterier.

I forskningsrapporter og ny litteratur fremstår litium-ion batterier som en lovende løsning på utfordringen å lagre elektrisk energi i biler. Litiumbatterier representerer relativt moden batteriteknologi i elektronisk utstyr som mobiltelefoner og bærbare datamaskiner. I biler trengs tilpasninger til utladningsmønster og stor lagringskapasitet for store batteripakker. Litiumbatterier finnes foreløpig i demonstrasjonskjøretøy og vurderes å ha potensial til å bli konkurransedyktige i pris for kommersiell produksjon av hybridbiler som også kan lades fra strømmettet. Dette mulige fremtidige bilkonseptet som på engelsk kalles for "plug-in hybrids" vil relativt raskt kunne gi biler som kan brukes til kortere kjøreturer (20-80 km) med kun elektrisk kraft fra batterier. For lengre kjøreturer vil "plug-in hybridbiler" kunne bruke andre energibærere for å lade batteriene eller for å kjøre bilen med forbrenningsmotor.

En uavhengig ekspertgruppe nedsatt av California Air Resources Board vurderer etter undersøkelser og analyser at "Plug-in hybridbiler" er en teknologisk løsning som allerede i 2015 kan være moden for kommersiell produksjon med over 100 tusen biler pr år.

Figur 2.2.2 viser med forskjellige farger hvordan ekspertgruppens ser for seg utviklingen med gradvis økende produksjon av aktuelle biltyper med ny teknologi. Produksjonen begynner hos bilprodusentene med små demonstrasjonsserier på opp til 100 biler per år og ender ved vellykket markedsintroduksjon opp med kommersiell bilproduksjon og over 100 000 produserte biler per år.

Elektriske biler i størrelse med mindre familieklassen og all energi lagret i batterier kalles i figuren elbiler. For små elbiler av type Think/Buddy og for Mikro elbiler har ekspertgruppen angitt egne fremtidsutsikter for produksjon .



Figur 2.2.2: Framtidsutsikter for produksjon av biler med alternativ teknologi.

Kilde: CARB Expert group.

Vi ser av figur 2.2.2 at fasene for demonstrasjon, prøvedrift og en ”pre kommersiell” fase er meget korte for ”plug-in hybridbiler”. De korte fasene tyder på stor tiltro til litium-ion batterier. Som det fremgår av figuren er de samme fasene betydelig lengre for rene elbiler og også noe lengre for brenselcellebiler og biler med hydrogen som drivstoff.

Utsikter for utvikling, introduksjon og kommersiell produksjon er hentet fra Status and Prospects for Zero Emission Vehicle Technology 2007 (CARB Expert group).

Produksjonen av elbiler er i følge ekspertgruppen i 2007 inne i en fase med prøveproduksjon som i praksis innebærer produksjon av mellom tusen og 10 tusen enheter pr år. Neste fase er i henhold til ekspertgruppens terminologi ”pre-kommersiell” for produksjon av små elbiler i volumer mellom 10 tusen og 100 tusen pr år. For elbiler vurderes fasen med ”pre-kommersiell” produksjon av mellom 10 tusen og 100 tusen å starte 2010. Ekspertgruppen er ikke spesielt optimistisk med hensyn til mulighetene for raskt å komme over i kommersiell produksjon av elbiler i antall 100 tusen enheter pr år. De store bilprodusentene synes å ha større tro på markedsmulighetene med ”plug-in hybridbiler” enn med rene elbiler. Grunnen synes fremst å være at rene elbiler trenger mye større batterikapasitet.

2.2.3 Tunge kjøretøy

For tunge kjøretøy er vekten av den last som skal transporteres av avgjørende betydning for energiforbruk og utslippene av CO₂. Store dieselmotorer er allerede med 45 prosent virkningsgrad forholdsvis effektive. Over lange avstander og ved kjøring i jevn hastighet er potensialet for ytterligere reduksjon av drivstofforbruket til tunge kjøretøy derfor begrenset.

Med utgangspunkt i at dieselmotorer til tunge kjøretøy har en høy virkningsgrad (40-45 %), vil man kun forvente mindre reduksjoner av drivstofforbruk frem mot 2030. Virkningsgrader på godt over 50 % vurderes som urealistisk for forbrenningsmotorer av denne størrelse. Reduksjon av drivstofforbruk fra langtransport av gods vil fremst komme som resultat av bedre utnyttelse av lastebiler, mindre returkjøring uten varer og større lastebiler.

Dieselmotoren er den effektiveste omformerer av fossil kjemisk bundet energi (dieselolje og bensin) til bevegelse i kjøretøy. I varetransport med lastebiler og vogntog brukes utelukkende dieselmotorer for fremdrift. Dieselmotoren blir foretrukket da den har høy virkningsgrad (35-45 %). Den har høyt dreiemoment, som er viktig for tungtransport, og gir den lavere termiske påkjenninger enn bensinmotoren (Ottomotor).

Drivstofforbruket for lastebiler og vogntog bestemmes i høy grad av kjøretøyets vekt og kjøremønster. Det er på grunn av forskjellig størrelse på kjøretøy og varierende kjørebetingelser komplisert å finne entydige og sammenlignbare tall for forbruk av dieselolje.

Fra 1990 frem til 1999 har det vært en reduksjon på ca. 10 % i drivstofforbruk for Volvos motorer til lastebiler (Volvo Truck Corp.1999). Høyere trykk og forbedret regulering av dieselinnspøyting i motoren har medført at det har vært mulig å redusere drivstofforbruket. Fra og med 2000 og fremover medfører dog de stadig strengere kravene til utslipp av helseskadelige avgasser som NO_x og partikler (Euro III, Euro IV og EuroV) at drivstofforbruket sannsynlig inntil videre vil bli tilnærmet uforandret (Nylund 2003).

Det forskes på alternative drivstoff og ny teknologi for motorer til tunge kjøretøy. Målet er lavt energiforbruk og lave utslipp av helseskadelige avgasser (Scania 2003). Vesentlige reduksjoner av energiforbruk for forbrenningsmotorer til tunge kjøretøy kan, hvis forskningen lykkes, eventuelt bli mulig etter 2015 med HCCI-motoren (Scania 2003). Alternative drivstoffer vil for lastebiler sannsynlig ikke bli konkurransedyktige de nærmeste 15 årene.

Hybridteknologi med en kombinasjon av forbrenningsmotor og elektrisk drift er tilgjengelig fra enkelte produsenter av kjøretøy. Avansert hybridteknologi vil for tunge kjøretøy i bytrafikk kunne gi en drivstoffbesparelse på ca. 40 %. Hybrid drift vil bli et aktuelt alternativ for distribusjonsbiler som transporterer gods i store byer. Hybrid drift gir kun marginale gevinster for tunge lastebiler og vogntog som transporterer varer med jevn hastighet over lange avstander. Ulempen med avansert hybridteknologi er kostnaden for kjøretøyets fremdriftssystem vil bli mer enn fordoblet i forhold til tradisjonelle fremdriftssystemer (Chapuis, PSA 2003).

2.2.4 Motorsykler og mopeder

Motorsykler og mopeder utgjør en meget liten andel av veitrafikken i Norge. Motorer til motorsykler og mopeder har det samme utviklingspotensialet som motorer til biler. Sterkt forurensende men lette totaktsmotorer kan forventes å forsvinne som fremdriftskilde for tøjulinger. Motorsykler og mopeder er kjøretøy med lav vekt og egner seg derfor med en relativt liten batteripakke til elektrisk fremdrift.

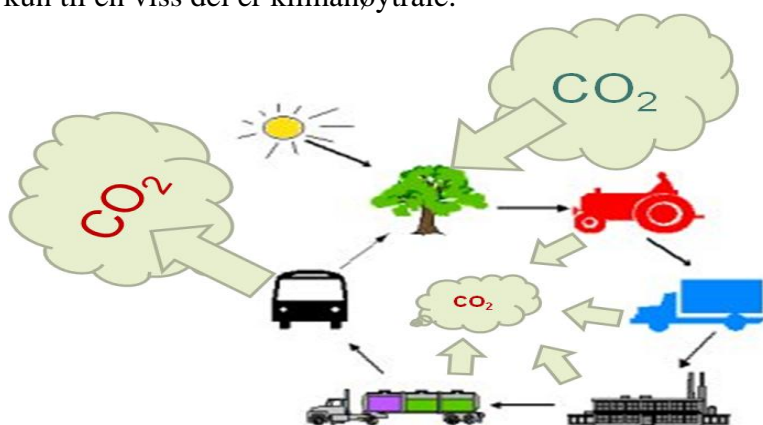
Motorsykler og mopeder egner seg ikke for hybrid fremdrift med flere motorer da dette i altfor stor grad vil bidra til uønsket høy vekt. Det finnes lite litteratur om forventet utvikling for motorsykler og mopeder. Vi antar i våre scenarier at motorsykler og mopeder vil få den samme utviklingen og reduksjonen i energiforbruk og utslipp av klimagasser som personbiler.

2.2.5 Biodrivstoff

Biodrivstoffer er mer eller mindre klimanøytrale. I et livsløpsperspektiv "Well to Wheel" kan opptaket av CO₂ ved den naturlige fotosyntesen og dannelsen av biomasse fullt ut kompensere for den mengde CO₂ som slippes ut ved prosessering og forbrenning av biodrivstoffet. I et livsløpsperspektiv kan, hvis opptaket er like stort som utslippet, CO₂-påvirkningen sies å være klimanøytral. I Lavutslippsutvalgets beregninger og i våre scenarier gjøres den forenklingen at alle biodrivstoffer er klimanøytrale og bidrar derved til store reduksjoner i utslipp av klimagasser "Well to Wheel".

De direkte utslippene "Tank to Wheel" av CO₂ fra et kjøretøy og dermed utslippsfaktorene i CO₂ gram per km er dog som regel like store for biodrivstoffer som for fossile drivstoffer.

I virkelighetens verden bidrar høsting, transport, prosessering og andre konsekvenser av produksjonen til at biodrivstoffer også i et "Well to Wheel" perspektiv kun til en viss del er klimanøytrale.



Figur 2.2.3: Illustrasjon av kretsløp.

Forsøk, utprøving og i begrenset omfang ordinær bruk av CO₂-nøytrale energibærere stimuleres og forekommer i økende grad i Norge. Biogass fra avfall, biodiesel fra biologiske oljer og bioetanol produseres i begrenset omfang i Norge. For å oppnå en stor nok omsetning for rasjonell drift planlegges økt import. For å erstatte 5 prosent av det fossile drivstoffet må det med dagens forbruk skaffes cirka 240 tusen tonn biodrivstoff pr. år (Hagman og Figenbaum, 2005). De bio-

logisk baserte energibærerne kan brukes direkte som drivstoff i forbrenningsmotorer, eller de kan blandes med fossil bensin og diesel. Ved innblanding med 5 prosent etanol eller biodiesel (FAME – Fatty Acid Methyl Esters) bidrar dette på en ukomplisert måte til reduksjon av klimagasser, uten at det er nødvendig med justeringer eller forandringer av motorer.

Ulempene med biodrivstoffer er at produksjonskostnadene nå er omtrent dobbelt så høye som for fossil diesel og bensin (ved en oljepris på 60 USD pr. fat). Utfordringen blir dermed å produsere biodrivstoff billigst mulig med størst mulig virkningsgrad og utbytte. Dagens produksjonskostnad er på rundt 5 kr. pr. liter biodrivstoff og må altså reduseres vesentlig for å konkurrere med fossil bensin og diesel, som koster fra 1 til 3 kr. pr. liter ved oljepriser på fra 25 til 75 USD pr. fat.

Biodiesel og etanol produsert fra landbruksvekster er første generasjons biodrivstoff. Oljeselskaper og forskningsmiljøer i Norge er opptatt av å utvikle prosesser for produksjon av syntetiske biologiske energibærere som har samme bruks- og lagringsegenskaper som fossile drivstoff. Disse drivstoffene kalles Biomass to liquids (BTL), og vil i motsetning til første generasjons biodiesel (FAME) ikke ha begrenset lagringstid. Etanol fra cellulose og BTL vil kunne bli neste generasjons syntetiske biodrivstoffer. Prosesser for utvinning av etanol fra cellulose og BTL fra tremasse trenger imidlertid å utvikles videre og trenger tid for å bli kommersielt tilgjengelig.

Det teoretiske potensialet for reduksjon av klimagasser ved overgang til bioenergi og biodrivstoff er på lang sikt 100 prosent. EU har som mål om å erstatte 10 prosent av det fossile drivstofforbruket med alternative energibærere innen 2020. Det er mulig at halvparten av dette i 2012 kan være første generasjons biodrivstoffer. Andre generasjons biodrivstoffer vil være mer bærekraftige produkter. Internasjonal mangel og høy pris på fossil energi kan gjøre BTL konkurransedyktig fra 2020. En begrensende faktor for produksjon av biomasse for bruk til BTL fram mot 2050 kan bli behovet for dyrkbar mark til matproduksjon og cellulose til tømmer og papir, samt bevaring av biologisk mangfold. Det er mulig at videre utvikling av bioteknologi kan redusere betydningen av disse begrensningene.

Lavutslippsutvalget gjør i sin Referansebane og i sin Lavutslippsbane den forenklingen at alt biodrivstoff er klimanøytralt og derved vil innfasing av biodrivstoff gi en full klimaeffekt. Forbrenning av biodrivstoff vil i Lavutslippsutvalgets beregninger ikke bidra til global oppvarming og utslipp av CO₂ fra biodrivstoff vil komme med som en reduksjon i utslippene av klimagasser.

2.3 Teknologiske utsikter for innenriks sjøtransport og fiske

Utslipp fra innenriks sjøfart utgjorde ca. 25 prosent av de samlede klimagassutslipp fra transportsektoren i 2004, tilsvarende om lag 4 mill. tonn/år. Det ventes ingen sterk økning i dette utslippet framover.

Flåten av skip, nasjonalt og internasjonalt, er kompleks i oppbygging, og ulike funksjoner dekkes av omkring 100 ulike skipstyper. Sammensetningen av flåte både med hensyn til ulike funksjonskrav og spredning i alder, vanskeliggjør enkle og generelle betraktninger knyttet til reduksjon av totale utslipp. Med lang levetid (> 20 år) for de enkelte skip vil utskiftingstiden for hele den norske flåten også

være betydelig. Lang utviklingstid for nye innovative skip og lang levetid for eksisterende skip gjør at implementering av ny teknologi vil ta lang tid.

Naturgass som alternativt drivstoff innenfor sjøtransport er likevel en ny og framtidrettet mulighet som har et potensial til å bidra til reduksjon av CO₂- (og NO_x-) utslippet. Ved overgang fra marin dieselolje (MDO) til naturgass som drivstoff oppnås en reduksjon av CO₂ på ca. 25 prosent. Dersom naturgass erstattes med biogass blir reduksjonen 100 prosent.

Operasjonelle forhold knyttet til de forskjellige fartøytyper medfører dog at naturgass ikke vil være aktuelt for alle typer fartøy. I dag er naturgass i bruk på ferger og forsyningsfartøy, og prosjekter er i gang for å vurdere naturgassdrift for enkelte andre fartøysgrupper. Enkelte fiskefartøyer er også en aktuell fartøygruppe for konvertering til gassdrift. For den norske innenriksflåten kan en se for seg at opptil halvparten av flåten kan benytte naturgass som drivstoff i 2050.

Strengere utslippskrav i internasjonal skipsfart sannsynliggjør økt interesse for naturgass som drivstoff også på skip i internasjonal fart mellom Norge og Europa. Infrastruktur kan enkelt etableres og tilgjengeligheten av LNG er sterkt økende i hele verden. Prising av naturgass gjør at dette også kan være et interessant drivstoff fra et kommersielt synspunkt og at naturgass dermed vil være konkurransedyktig mot marin dieselolje.

Norge har lange og gode tradisjoner i utvikling av marin teknologi. Videre utvikling av gassdrevne fartøy og, i et lenger perspektiv, muligens skipsmaskineri basert på brenselceller, kan bidra til å redusere utslippene fra sjøfarten (både innenriks og utenriks). Selv om norske utslipp er begrenset, kan norsk teknologiutvikling her gi bidrag til globale utslippsreduksjoner.

2.4 Teknologiske utsikter for innenriks flytransport

Utsiktene for luftfart frem til 2020 tar stort sett utgangspunkt i Avinor (2008), som er utarbeidet med bistand fra TØI.

2.4.1 Energieffektivisering til 2020

På bakgrunn av de miljøutfordringene som luftfart står overfor har bransjen satt i gang tiltak og planer for en rekke tiltak som har som mål å redusere CO₂-utslipp. Disse er nærmere omtalt i Avinor (op cit).

En vesentlig del av tiltakene er knyttet til flåteutskifting.

- Norwegians flåte benytter i 2007 Boeing 737-300 og vil være 27-28 prosent mer energieffektiv i 2020 enn i 2007 pga overgang til Boeing 737-800 med miljømessige forbedringer og winglets. Norwegian regner med å ha en flåte på 84-95 fly av denne typen og legger til grunn en kabinfaktor på 80 prosent.
- SAS Norge anslår at flåten i 2020 vil være 25-30 prosent mer energieffektiv pga utskifting av fly og endringer i setekapasitet.
- Widerøe har 28 fly og venter at fornyelse av flåten vil føre til 5-10 prosents bedring av energieffektiviteten fra 2007 til 2020.

- Lufttransport AS opererer 13 fly og 6 helikoptere. Energieffektivisering vil primært skje ved ettermontering av winglets og forventes å gi en energieffektivisering på 7 prosent fra 2007 til 2020.

De aktuelle tiltakene er oppsummert i tabell 2.4.1.

Bruk av biodrivstoff har også vært diskutert av Avinor, men dette er ikke tatt med i våre scenarier. Allerede i dag er det i følge rapporten mulig å benytte opp til 50 prosent syntetisk drivstoff som kan fremstilles basert på biologisk materiale, men dette påvirker i liten grad **direkte** utslipp av CO₂. Bruken av biofuel for fly er nærmere vurdert i Boeing (2009).

Tabell 2.4.1. Tiltak og CO₂-utslippsreduksjon i norsk luftfart 2007-2020.

Tiltak	Utslippsreduksjon i prosent
Flåteutskifting	25-30
Tiltak på eksisterende flåte	5-10
Reduserte utslipp fra taksing	3-7
Oslo ASAP & grønne landinger og avganger	1-2
Single European Sky	3-5
Totalt	30-40

TØI rapport 1047/2009

2.4.2 Energieffektivisering etter 2020

Den omtalte energieffektiviseringen til 2020 er basert på å ta i bruk dagens teknologi. Det innebærer at det aller meste av innlandsflåten antagelig vil være fly som er 6-12 år gamle for Norwegians del og antagelig ha noe større spredning i alder for SAS sin del.

Den videre utviklingen etter 2020 diskuteres ikke i større grad i Avinors rapport, men SAS forventer og krever i følge rapporten fly som er 30 prosent mer effektive enn dagens fly, dvs de flyene som nå selges og som vil dominere innlands-markedet i 2020. I følge SAS regner Boeing med at denne teknologien vil bli tilgjengelig rundt 2015.

I et intervju i Teknisk ukeblad nr 33 sier Bjørn Kjos i Norwegian at vi etter 2020 vil halvere utslippene i forhold til i dag og nevner Boeings foreløpig uferdige 787 Dreamliner med et utslipp på 65 g CO₂/setekm som referanse.

I Thune-Larsen et al (2009) tas det utgangspunkt i scenarier som går frem til 2030. Her legges det til grunn 30 prosent energieffektivisering per passasjerkm fra 2007 til 2020. Fra 2007 til 2030 legges det til grunn totalt 40 prosent effektivisering per passasjerkm fra 2007 til 2030 i et scenario med lave kvotepriser (25 €tonn CO₂ i 2020 og 30 €tonn i 2030), 50 prosent totalt i et scenario med middels kvotepriser (50-75 €tonn) og 60 prosent i et scenario med høye kvotepriser (100-125 €tonn).

Effektiviseringspotensialet ble også diskutert på konferansen "The Future of Air Transport" i London 3-4 desember 2007, der Robert Nutell (Vice President Strategic Marketing and Environment, Rolls Royce PLC) holdt et innlegg om utsiktene for flyteknologien i 2040.

I følge Nutell ligger ¼ av effektiviseringspotensialet i bedret flydesign og ¾ i bedret motordesign. Samtidig vil det selv i 2040 fremdeles bare være konven-

sjonell, eventuelt syntetisk, jetparafin som gjelder i luftfart. Dermed må brorparten av effektiviseringspotensialet skje i form av bedret motorteknologi.

Innen 2015 regner Nutell med at man kan effektivisere dagens motortyper med 12-15 prosent. Omkring 2017 kan det komme nye, revolusjonerende motortyper med en effektivisering på 30 prosent i forhold til dagens teknologi, men det er store utfordringer (considerable design complexity) knyttet til utviklingen. I tillegg kan 10 prosent spares som følge av bedre flydesign, slik at i alt 40 prosents effektivisering kan oppnås i overskuelig fremtid. Nutell nevnte også muligheten for 50 prosents effektivisering på lengre sikt.

2.5 Scenarier

I drøftingen av utslippsreduksjoner fra transportsektoren fokuserer Lavutslippsutvalget på tiltak som vurderes å ha størst samlet effekt. Lavutslippsutvalget er av den oppfatning at det både bør satses på en overgang til bruk av klimavennlige kjøretøy og bruk av bio-baserte drivstoff. Dette skyldes at utfordringene innenfor transportsektoren er såpass store at begge typer tiltak er nødvendige. Utvalget ser videre for seg at lavutslippskjøretøy vil være en naturlig satsing i nær framtid, mens nullutslippskjøretøy vil bli mer betydningsfulle fram mot 2050.

Lavutslippsutvalget har også valgt å inkludere utvikling og innføring av lavutslippsfartøy på sin tiltaksliste og mener at Norge her kan spille en rolle internasjonalt når det gjelder å utvikle miljøvennlig teknologi. På bakgrunn av norsk maritim kompetanse og pågående forsøk med gassferjer er derfor dette tiltaket inkludert. Lavutslippsutvalget foreslår innfasing av biodrivstoff, innfasing av en større andel lavutslippskjøretøy og nullutslippskjøretøy, effektivisering av transportarbeidet og utvikling og innføring av lavutslippsfartøy som fire tiltak for å bidra til reduserte utslipp fra transport fram mot 2050:

I motsetning til Lavutslippsutvalget har vi i våre scenarier også vurdert og tatt hensyn til sannsynlige reduksjoner i energibruk og utslipp per transportytelse fra innenriks flytrafikk. Fire tiltaksområder, hvor det fjerde inkluderer lavutslippsfly, er brukt for å illustrere reduksjoner i utslipp av klimagasser fra transportsektoren. De fire tiltaksområdene for transportsektoren er:

- Innfasing av en større andel lavutslippskjøretøy og nullutslippskjøretøy
- Innfasing av biodrivstoff
- Effektivisering av transportarbeidet
- Utvikling og innføring av lavutslippsfly, lavutslippsfartøy og fiskebåter

Lavutslippsutvalget antar at det vil skje en utflating av veksten i utslipp av klimagasser etter 2010 på grunn av mer effektiv kjøretøyteknologi og innfasing av biodrivstoff. Vi antar på samme måte som Lavutslippsutvalget at reduksjonene i utslipp vil skje gradvis og ha en lineær form. "Hydrogensamfunnet" betrakter vi som lite sannsynlig, men det er en teknisk mulighet og er et av alternativene som Lavutslippsutvalget antyder kan være med på å bidra til de sterke reduksjonene av klimagassutslipp i sitt scenario "Lavutslippsbanen". Grunnene for at vi ikke betrakter "Hydrogensamfunnet" som sannsynlig i tiden frem mot 2035, er at utviklingen av brenselceller etter vår vurdering foreløpig ikke har vært fremgangsrik med tanke på kostnader og driftsikkerhet. Oppbygging av infrastruktur for et hydrogensamfunn er kostbar. Hydrogen og brenselcelleteknologi for transportsektoren vil på den andre siden innebære null utslipp av alle typer avgasser "Tank to Wheel".

I tillegg til trenden fra historisk utvikling og Referansescenarioet er våre to scenarier:

Lavutslipp

Kompromiss

2.5.1 Referansescenario

Vårt referansescenario er i prinsippet Lavutslippsutvalgets Referansebane med tillegg for at vi har tatt med reduksjoner i utslipp fra luftfart. Referansebanen forutsetter en drøy dobling av transportvolumet i Norge fra 2005 til 2050. En dobling av transportvolumet fra 2005 til 2050 innebærer en årlig gjennomsnittlig vekst på drøyt 1,5 %. Med en forventet teknologisk utvikling vokser utslippene i Lavutslippsutvalgets referansebane likevel bare med 16 prosent, og veitrafikkutslippene bare med 13 prosent. Utslippene av klimagasser fra transportsektoren blir med Lavutslippsutvalgets beregningsmetoder i Referansescenarioet på 18 Megatonn CO₂ ekvivalenter i 2050.

I 2050 har man i Lavutslippsutvalgets Referansebane 15 prosent lavutslippskjøretøy, og 17 prosent av drivstoffet er ikke-fossilt. Energieffektiviteten i kjøretøyflåten forutsettes å få en bedring på 30 prosentpoeng over perioden 2005-2050. De resterende reduksjonene blir tatt ved hjelp av biodrivstoff, som i henhold til Lavutslippsutvalget forutsetninger er klimanøytralt, og ved reduksjoner i utslipp av klimagasser fra skipsfart og fiske.

Referansebanens utvikling innebærer en aktiv satsing på virkemidler på nasjonalt nivå som gir redusert vekst i transportomfang og samtidig reduserte CO₂-utslipp fra bilparken. Det vil være utfordringer knyttet til innføring av tiltak som medfører lavere klimagassutslipp enn den historiske trenden vi har sett frem til 2005. Disse vil særlig være knyttet til omfanget av person- og godstransport på veg.

Referansebanen vil innebære en fortsatt vekst i utslippene fra mobile kilder på 11 prosent fra 2005 til 2035. Veksten fra 1990 til 2050 vil da være rundt 20 prosent. Denne veksten vil imidlertid bli betydelig høyere hvis utslippene fortsetter å vokse i tråd med den trendlinje vi har sett fra 1990 og fram til i dag.

Veitransport

For lette kjøretøy anslår vi en reduksjon av energiforbruk og utslipp av CO₂ som en naturlig følge av en revidert avtale mellom EU og bilprodusentenes organisasjoner. Avtalen innebærer at personbiler i 2012 skal ha et gjennomsnittlig utslipp av CO₂ på 130 g/km. Reduksjonen vil fremst være et resultat av lettere biler og mer effektive motorer. I 2007 har andelen av nye lette biler med dieselmotor kommet opp i 75 prosent, noe som gir en energisparing og reduksjon av CO₂-utslipp med ca 25 prosent.

Mild hybridteknologi, som er en enklere og rimeligere form for hybrid drift (mindre elektromotor), vil i seg selv ved bykjøring kunne gi en reduksjon på ca 10 prosent. Vi antar i Referansebanen at utslippene av CO₂ fra lette kjøretøy i 2030 vil bli redusert ved innføring av små dieselmotorer og hybridbiler.

Utslippene av CO₂ fra tunge kjøretøy med store dieselmotorer er på grunn av kjøretøyenes vekt vanskelig å redusere når kjøretøyet holder jevn hastighet. Vekten av den last som skal transporteres er avgjørende for energiforbruk og utslippene av CO₂. På lange avstander og ved kjøring med jevn hastighet er derfor

potensialet for ytterligere effektivisering av store dieselmotorer begrenset. Ved bykjøring er potensialet for reduksjon av forbruk og utslipp av CO₂ betydelig større.

I Referansebanen antar vi at EURO-kravene for både lette og tunge kjøretøy vil bli videreført og gradvis skjerpet. Ingen helt nye teknologier vil bli tatt i bruk, men forbrenningsmotorer og rensesystemene for avgasser vil bli gradvis forbedret frem til 2030. Energieffektiviteten for lette og tunge kjøretøy forutsettes i referansescenarioet å få en bedring med i gjennomsnitt 30 prosentpoeng fra 2005 til 2050. Forbedringen antas å bli 40 prosentpoeng for lette kjøretøy og 20 prosentpoeng for tunge kjøretøy. Busser antas i bytrafikk å få en forbedring på 30 prosentpoeng og tunge kjøretøy antas ved landeveiskjøring få en forbedring på 5-10 prosentpoeng.

I tillegg til de nevnte reduksjonene av CO₂ ved hjelp av forbedret fremdriftsteknologi vil planlagt innføring av biodrivstoffer som erstatning for fossile drivstoffer medføre at utslippene av fossil CO₂ reduseres i et "Well to Wheel" perspektiv. Etanol, biodiesel og syntetiske drivstoffer med opprinnelse i biomasse vurderes i referansebanen å kunne erstatte fossil bensin og diesel til vegtransport. Biodrivstoff vil bli tatt i bruk og i 2035 og andelen biodrivstoff i Referansebanen antas å utgjøre 17 prosent i 2050.

Sjøfart og fiske

På bakgrunn av vurderingene i kapitel 2.3 legges det i referansescenarioet til grunn en gradvis energieffektivisering som vil bli på 10 prosents i 2050 i forhold til 2005. Reduksjon i utslipp av klimagasser vil, på grunn av økt bruk av metan (naturgass) som drivstoff, bli noe høyere enn tilsvarende reduksjoner av energiforbruket.

Luftfart

Lavutslippsutvalget har i sine scenarier beregnet en dobling i flytrafikken frem til 2050 men ikke tatt med redusert energiforbruk eller redusert utslipp av klimagasser fra fly. Vi kompletterer Lavutslippsutvalgets scenarier med å inkludere nyere prognoser for effektivisering av fly i både *referansescenariet*, *lavutslippscenariet* og *kompromiss*.

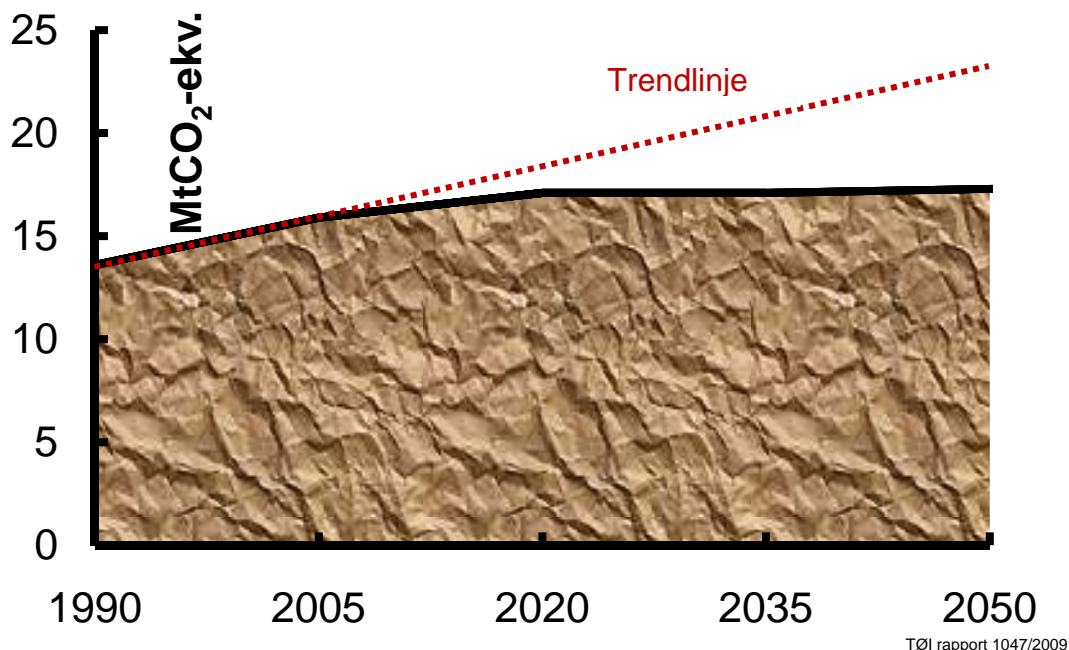
På bakgrunn av vurderingene i kapitel 2.4 legges det i Referansescenariet til grunn 30 prosents energieffektivisering i 2020 i forhold til 2007.

Den videre utviklingen diskuteres stort sett med utgangspunkt i dagens teknologi, dvs den teknologien som vil dominere bransjen i 2020. De forbedringene som diskuteres ser i hvert fall ut til å komme før 2020 og vil dermed antagelig få betydning for de flyene som leveres fra omtrent 2020.

Vi legger til grunn at energieffektiviseringen vil ligge mellom 20 og 40 prosent til 2050 og at 2035 vil være en mellomstasjon der halvparten av flyene vil ha den nye teknologien på plass.

I Referansescenarioet legges det dermed til grunn en energieffektivisering fra 2020 til 2050 på 20 prosent hvorav halvparten er tatt ut i 2035. I forhold til 2007

innebærer det at energibruk og utslipp per tilbudt sete- og tonnkm vil være redusert med ca 37 prosent i 2035 og 44 prosent i 2050.



Figur 2.5.1: Uvikling av klimagassutslipp i Lavutslippsutvalgets Referansebane supplert med TØI's anslag for reduksjoner av utslippsfaktorer for innenriks flytransport

Tabell 2.5.1. Utslipp fra transport i Lavutslippsutvalgets Referansebane (Mt CO₂ per år)

	2005	2020	2035	2050
Veitransport	11,4	12,5	12,5	12,9
Innenriks flytransport*	1,2	1,3	1,4	1,4
Innenriks sjøtransport og fiske	3,3	3,3	3,2	3,0
Sum transportutslipp*	15,9	17,1	17,1	17,3

*Justert med TØI's anslag for utvikling i utslippsfaktorer for innenriks flytransport

TØI rapport 1047/2009

Utslippene fra transportsektoren i Lavutslippsutvalgets Referansebane som vises i tabell 2.5.1 kan ikke direkte sammenlignes med utslippsfaktorene som vises i tabell 2.5.2. Utslippsverdiene i Lavutslippsutvalgets Referansebane er relatert til klimapåvirkning fra transportsektoren i et livsløpsperspektiv, mens utslippen i tabellene 2.5.2 og 2.5.3 er relatert til målbare avgassutslipp eller målt energiforbruk fra kjøretøy og annen transport. Grunnen til den lille forskjellen i reduksjon i utslipp av CO₂-ekvivalenter og reduksjoner i energiforbruk for innenriks sjøfart og fiske er bruk av metan som drivstoff.

Tabell 2.5.2. Gjennomsnittlig reduksjon av utslippsfaktorer i Referansbanen (CO₂ ekvivalenter/km for kjøretøy) - "Tank to Wheel" og redusert utslipp for annen transport

Transportmiddel	2020	2035	2050
Lette kjøretøy i forhold til 2005	-25 prosent	-30 prosent	-40 prosent
Tunge kjøretøy i forhold til 2005	-10 prosent	-15 prosent	-20 prosent
Innenriks flytransport i forhold til 2005	-30 prosent	-37 prosent	-44 prosent
Innenriks sjøtransport og fiske i forhold til 2005	-0 prosent	-6 prosent	-12 prosent

TØI rapport 1047/2009

Tabell 2.5.3. Redusert energiforbruk i Lavutslippsbanen (kWh/km) i Referansebanen - "Tank to Wheel" og redusert energiforbruk for annen transport

Transportmiddel	2020	2035	2050
Lette kjøretøy i forhold til 2005	-25 prosent	-30 prosent	-40 prosent
Tunge kjøretøy i forhold til 2005	-10 prosent	-15 prosent	-20 prosent
Innenriks fly transport	-30 prosent	-37 prosent	-44 prosent
Innenriks sjøtransport og fiske	-0 prosent	-5 prosent	-10 prosent

TØI rapport 1047/2009

2.5.2 Lavutslippsscenariet

Lavutslippsscenariet er identisk med Lavutslippsutvalgets Lavutslippsbane. Som i Referansebanen forutsetter Lavutslippsscenariet en drøy dobling av transportvolumet i Norge fra 2005 til 2050.

For å redusere utslippene fra veitrafikken ned til 1,3 Mt CO₂-ekvivalenter kombinerer Lavutslippsutvalget innfasing av lav- og nullutslippskjøretøy med innfasing av CO₂-nøytralt drivstoff til erstatning for fossile drivstoff. Nullutslippskjøretøyene forutsettes å ha elektrisk drift og vil derved ikke bare få null utslipp men vil også i 2050 kunne redusere energiforbruket med 50-60 prosent i forhold til hva som er tilfelle i Referansescenarioet.

I Lavutslippsscenarioet er det er tatt med ytterligere reduksjoner av utslipp fra sjøfart, fiske og bruk av lavutslippsfartøyer slik at utslippene kommer ned i 1,2 Mt CO₂-ekvivalenter.

I Lavutslippsscenarioet medfører i tillegg bedre logistikk, mer transporteffektiv utbygging av byer samt overgang til jernbane at transportsektoren kan spare 1 Mt CO₂-ekvivalenter fra og med 2035.

Lavutslippsscenarioet innebærer en akselerasjon av den tekniske utvikling som allerede finner sted i Referansebanen. I Lavutslippsscenariet blir de samlede utslippene av klimagasser med klimapåvirkning 2,4 Mtonn CO₂-ekvivalenter i 2050.

Veitransport

Lette kjøretøy er i Lavutslippsscenarioet i all hovedsak kjøretøy med elektrisk fremdrift og elektrisk energi fra fornybare kraftkilder. For lette kjøretøy anslår vi i 2050 en reduksjon av energiforbruk med 60 prosent i forhold til Referansescenarioet i avsnitt 2.5.1. Utslipp av CO₂ med klimapåvirkning for lette kjøretøy

med elektrisk drift anslår vi til å få en reduksjon med 95 prosent i forhold til Referansescenarioet.

Energieffektiviteten for tunge kjøretøy forutsettes i Lavutslippsscenarioet å få en bedring som er marginalt bedre enn i Referansescenarioet. Busser antas i bytrafikk få en forbedring på 40 prosentpoeng og tunge kjøretøy antas ved landeveiskjøring få en forbedring på 10 prosentpoeng. Utslipp av CO₂ med klimapåvirkning for tunge kjøretøy anslår vi til å få en reduksjon med 80 prosent i forhold til Referansescenarioet.

En omfattende innfasing av biodrivstoffer som erstatning for fossile drivstoffer til tung veitransport vil medføre at klimapåvirkningen reduseres i et "Well to Wheel" perspektiv. Etanol, biodiesel og syntetiske drivstoffer med opprinnelse i biomasse vurderes å kunne erstatte fossil bensin og diesel til vegtransport. Klimanøytrale biodrivstoff vil dog ikke eller i liten grad bidra til reduserte avgassutslipp av CO₂ fra tunge kjøretøy.

Hydrogen og brenselceller er et alternativ som vil gi null utslipp av CO₂ fra tunge kjøretøy. I Lavutslippsscenarioet oppfyller vi dog Lavutslippsutvalgets forutsetninger for redusert klimapåvirkning fra tungtransport på vei med hjelp av biodrivstoffer.

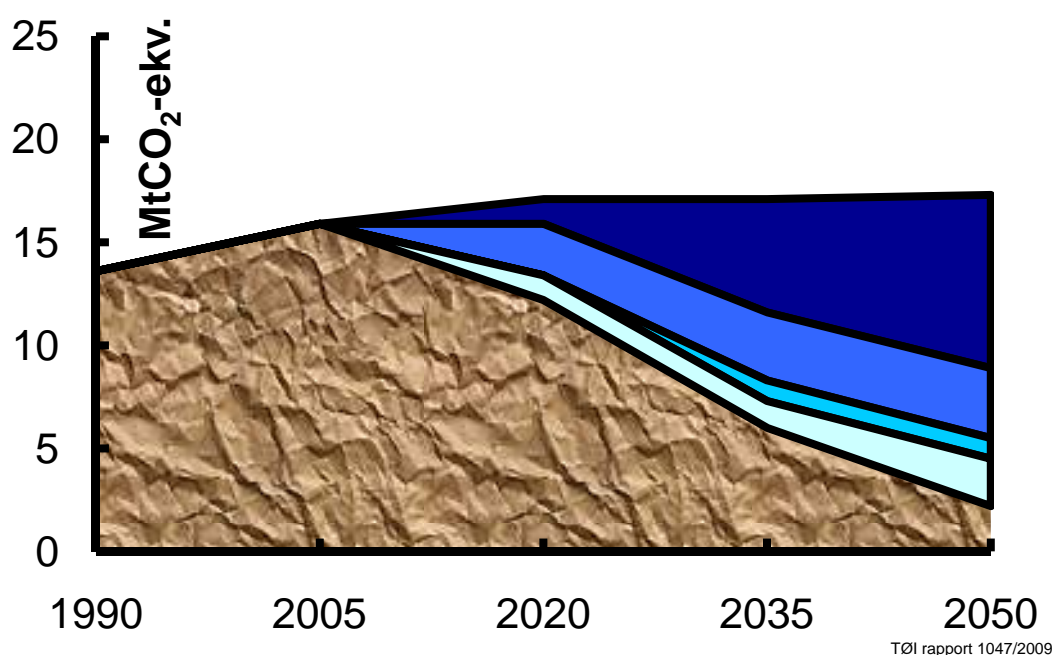
Sjøfart og fiske

På bakgrunn av vurderingene i kapitel 2.3 legges det i *Lavutslippsscenarioet* til grunn en gradvis energieffektivisering som vil bli på ytterligere 20 prosents i 2050 i forhold til Referansescenarioet. Reduksjon i utslipp av klimagasser vil, på grunn av økt bruk av metan (naturgass) som drivstoff, bli noe høyere enn tilsvarende reduksjoner av energiforbruket.

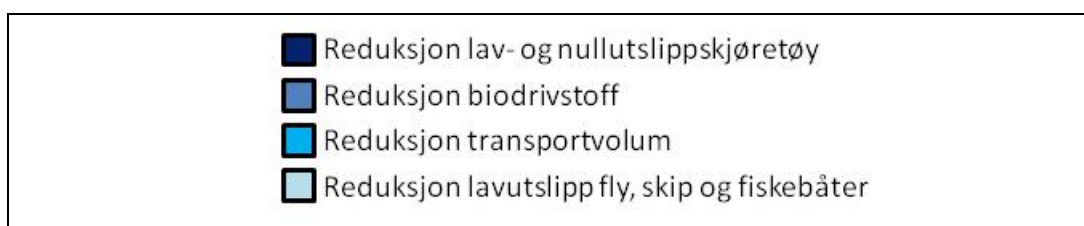
Luffart

I *Lavutslippsscenarioet* legges det i 2020 til grunn 40 prosents effektivisering i forhold til 2007.

Fra 2020 til 2050 faller drivstofforbruket med ytterligere 40 prosent hvorav halvparten er tatt ut i 2035. I forhold til 2007 innebærer det at energibruk og utslipp per tilbudt sete- og tonnkm vil være redusert med ca 52 prosent i 2035 og 64 prosent i 2050.



Figur 2.5.2: Uvikling av klimagassutslipp i Lavutslippscenariet supplert med TØIs anslag for reduksjoner av utslippsfaktorer for innenriks flytransport



Tabell 2.5.4 Utslipp fra transport i Lavutslippsutvalgets Lavutslippsbane (Mt CO₂ per år)

	2005	2020	2035	2050
Veitransport	11,4	8,7	4	1,3
Innenriks fly transport*	1,2	1,1	1,1	0,9
Reduksjon transportvolum	0	0	-1	-1
Innenriks sjøtransport og fiske	3,3	2,3	2,1	1,2
Sum transportutslipp*	15,9	12,1	6,2	2,4

*Justert med TØI's anslag for utvikling i utslippsfaktorer for innenriks flytransport

TØI rapport 1047/2009

Tabell 2.5.5 Endringer i klimapåvirkning fra Lavutslippsbanen i forhold til Referansebanen (MtCO₂ per år)

	2005	2020	2035	2050
Veitransport – reduserte utslipp fra kjøretøy	0	-1,2	-5,5	-8,4
Veitransport – klimanøytralt biodrivstoff	0,0	-2,5	-3,3	-3,4
Innenriks flytransport (justert av TØI)	0,0	-0,2	-0,3	-0,5
Innenriks sjøtransport og Fiske	0,0	-1,0	-1,0	-1,8
Innsparing fra mindre transportvolum	0	0	-1,0	-1,0
Sum reduksjon transportutslipp (justert av TØI)	0,0	-4,9	-11,1	-15,1

TØI rapport 1047/2009

Tabell 2.5.6 Reduksjon av gjennomsnittsnivåene på utslippsfaktorer i Lavutslippsbanen (CO₂ ekvivalenter/km) for kjøretøy og reduserte utslipp for annen transport - "Tank to Wheel" i forhold til Referansebanen.

Transportmiddel	2020	2035	2050
Lette kjøretøy	-30 prosent	-70 prosent	-95 prosent
Tunge kjøretøy	-10 prosent	-15 prosent	-20 prosent
Innenriks flytransport	-14 prosent	-24 prosent	-36 prosent
Innenriks sjøtransport og fiske	-10 prosent	-20 prosent	-25 prosent

TØI rapport 1047/2009

Tabell 2.5.7 Redusert energiforbruk (kWh/km) i Lavutslippsbanen i forhold til Referansebanen - "Tank to Wheel".

Transportmiddel	2020	2035	2050
Lette kjøretøy	-30 prosent	-50 prosent	-60 prosent
Tunge kjøretøy	-5 prosent	-5 prosent	-10 prosent
Innenriks fly transport	-14 prosent	-24 prosent	-36 prosent
Innenriks sjøtransport og fiske	-5 prosent	-15 prosent	-20 prosent

TØI rapport 1047/2009

2.5.3 Kompromiss

Kompromiss er et scenario som er en kompromiss mellom *Referansescenarioet* og de klimamål som oppfylles i *Lavutslippsscenarioet*. *Kompromiss* forutsetter som i de andre scenariene en drøy dobling av transportvolumet i Norge fra 2005 til 2050.

I *Kompromiss*scenarioet har vi forsøkt å ta med den utvikling av teknologi som har skjedd fra Lavutslippsutvalgets rapport ble publisert i 2006. Med *Kompromiss* prøver vi å presentere et realistisk scenario og erfaringer fra arbeidet i "Future Climate - engineering solutions" (Future Climate, 2009) hvor 13 ingeniørorganisasjoner over hele verden gikk sammen om å fremme tekniske løsninger for å redusere utslipp av klimagasser i verden og lokalt.

I *Kompromiss* får vi utslipp av CO₂ fra veitrafikken som først reduserer klimapåvirkning etter 2020. I tiden rundt 2020 vil det være mulig at lavutslippskjøretøy, elektrisk strøm til biler og relativt sett godt klimanøytrale biodrivstoffer vil være tilgjengelige i stort omfang og til en attraktiv pris. I perioden fra 2020 til 2035 vil

det være mulig å skifte ut teknologi med stort energiforbruk og fase inn klimavennlig energi. I *Kompromiss* er det tatt med ytterligere reduksjoner av utslipp fra skipsfart, fiske og bruk av lavutslippsfartøyer slik at utslippene kommer ned i 1,2 Mt CO₂-ekvivalenter.

Innbyggerne er i scenarioet *Kompromiss* villige til å redusere sitt omfang av transport. I *Kompromiss* medfører bedre logistikk, mer transporteffektiv utbygging av byer samt overgang til jernbane at transportsektoren kan spare 0,5 Mt CO₂-ekvivalenter i 2020, 1,0 Mt CO₂-ekvivalenter i 2035 og 1,5 Mt CO₂-ekvivalenter i 2050.

Kompromiss innebærer en akselerasjon av den tekniske utvikling som allerede finner sted i Referansebanen. I *Kompromiss* blir de samlede utslippene av klimagasser med klimapåvirkning 12 Mtonn CO₂-ekvivalenter i 2035 vår meget usikre prognose 10 Mtonn CO₂-ekvivalenter i 2050.

Veitransport

En stor andel av de lette bilene vil i *Kompromiss* få elektrisk fremdrift frem mot 2035 (CARB, 2007). Utslippene av CO₂ vil reduseres med 60 og 80 prosent i forhold til Referansebanen. Energieffektiviteten vil for lette biler, som konsekvens av overgangen til hel eller delvis elektrisk drift øke med 50 og 60 prosent i forhold til Referansebanen.

Forbedringspotensialet for høy energieffektivitet og reduserte utslipp av CO₂ er større for elektrisk drift og kombinert elektrisk drift i bykjøring enn ved kjøring med jevn hastighet over lange avstander. Ny batteriteknologi og hybridbiler vil i innenfor det aktuelle tidsperspektivet sannsynligvis kunne tilfredsstille behov og ønsker om lavutslippskjøretøy. Såkalte *plug-in hybridbiler* forventes å kunne kjøre 40-60 km på batteridrift samtidig som de på langkjøring kan bruke en kombinasjon av elektrisk drift og forbrenningsmotor. Med relativt sett akseptabel kostnad for batterier kan lette batterielektriske biler og plug-in hybridbiler bli mer mindre kostbare null- og lavutslippskjøretøy produseres enn hva som synes mulig med brenselceller og hydrogen som energibærer.

Utslippene av CO₂ fra tunge kjøretøy er vanskelige å redusere ved kjøring med jevn hastighet. Ved bykjøring forventer vi at alle bybusser og distribusjonsbiler har avansert hybridteknologi og HCCI-motorer eller tilsvarende. En andel av de tunge kjøretøyene kan i tillegg bruke metangass som drivstoff og bidrar derved til å redusere gjennomsnittlig utslipp av CO₂ for tunge kjøretøy, slik at vårt estimat for reduksjon av energiforbruk og CO₂-utslipp i *Kompromiss* i forhold til *Referansebanen* ender opp med -5 prosent i 2050.

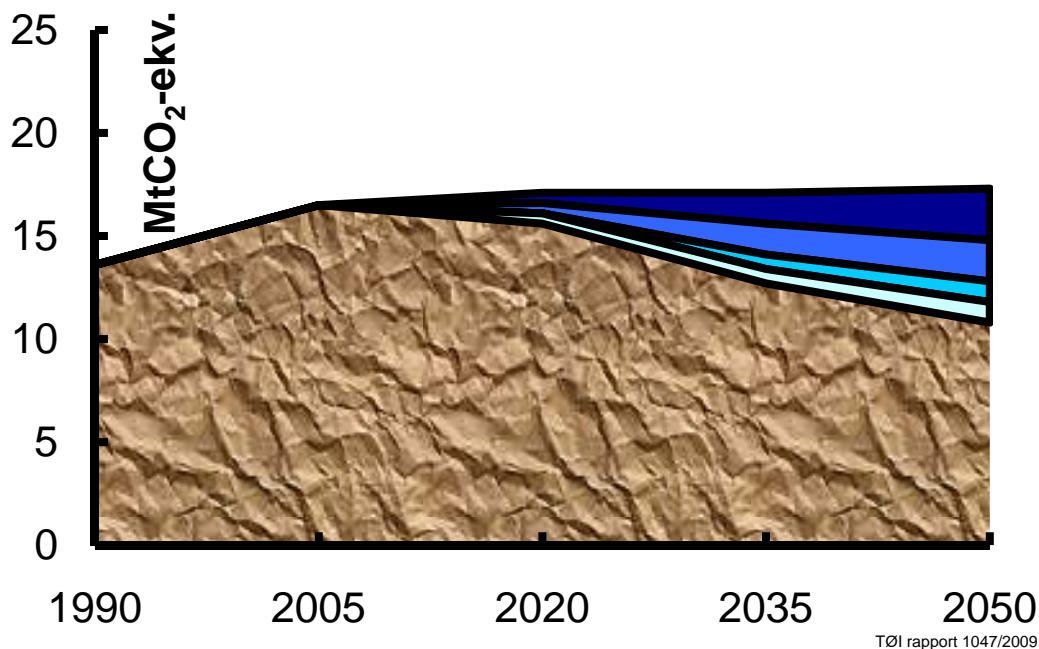
Sjøfart og fiske

På bakgrunn av vurderingene i kapittel 2.3 legges det i *Kompromiss*scenarioet til grunn en gradvis energieffektivisering som vil bli på ytterligere 10 prosents i 2050 i forhold til Referansescenarioet. Reduksjon i utslipp av klimagasser vil, på grunn av økt bruk av metan (naturgass) som drivstoff, bli noe høyere enn tilsvarende reduksjoner av energiforbruket.

Luftfart

I kompromisscenarioet legges det i 2020 til grunn 35 prosents effektivisering i forhold til 2007.

Fra 2020 til 2050 reduseres energiforbruk og CO₂-utslipp med ytterligere 30 prosent hvorav halvparten er tatt ut i 2035. I forhold til 2007 innebærer det at energibruk og utslipp per tilbudt sete- og tonnkm vil være redusert med ca 45 prosent i 2035 og 55 prosent i 2050.



Figur 2.5.3: Uvikling av klimagassutslipp i scenariet Kompromiss

- Reduksjon lav- og nullutslippskjøretøy
- Reduksjon biodrivstoff
- Reduksjon transportvolum
- Reduksjon lavutslipp fly, skip og fiskebåter

Tabell 2.5.8 Utslipp fra transport i Kompromiss (Mt CO₂ per år)

	2005	2020	2035	2050
Veitransport	11,4	11,5	9,5	8,4
Innenriks fly transport	1,2	1,2	1,2	1,1
Innsparing fra redusert transportvolum	0	-0,5	-1,0	-1,5
Innenriks sjøtransport og fiske	3,3	2,8	2,5	2,0
Sum transportutslipp	15,9	15,0	12,2	10,0

TØI rapport 1047/2009

Tabell 2.5.9 Endringer i klimapåvirkning i Kompromiss i forhold til Referansebanen (MtCO₂ per år)

	2005	2020	2035	2050
Veitransport – mindre utslipp fra kjøretøy	0	-0,5	-1,5	-2,5
Veitransport – mindre utslipp biodrivstoff	0,0	-0,5	-1,5	-2
Innenriks flytransport	0,0	-0,1	-0,2	-0,3
Reduksjon transportvolum	0	-0,5	-1	-1,5
Innenriks sjøtransport og Fiske	0,0	-0,5	-0,7	-1
Sum reduksjon transportutslipp	0,0	-2,1	-4,9	-7,3

TØI rapport 1047/2009

Tabell 2.5.10 Reduksjon av gjennomsnittsnivåene på utslippsfaktorer i Kompromiss (CO₂ ekvivalenter/km for kjøretøy) i forhold til Referansebanen og reduserte utslipp for annen transport "Tank to Wheel"

Transportmiddel	2020	2035	2050
Lette kjøretøy	-30 prosent	-60 prosent	-80 prosent
Tunge kjøretøy	0 prosent	-5 prosent	-5 prosent
Innenriks fly transport	-7 prosent	-12 prosent	-19 prosent
Innenriks sjøtransport og fiske	-5 prosent	-20 prosent	-30 prosent

TØI rapport 1047/2009

Tabell 2.5.11 Redusert energiforbruk (kWh/km) i Kompromiss i forhold til Referansebanen - "Tank to Wheel"

Transportmiddel	2020	2035	2050
Lette kjøretøy	-25 prosent	-35 prosent	-40 prosent
Tunge kjøretøy	0 prosent	-5 prosent	-5 prosent
Innenriks fly transport	-7 prosent	-12 prosent	-19 prosent
Innenriks sjøtransport og fiske	-5 prosent	-10 prosent	-20 prosent

TØI rapport 1047/2009

3 Persontransport

3.1 Vegtransport

3.1.1 Oversikt over den historiske utviklingen

Først vil vi gi en oversikt over den teknologiske utviklingen innen vegtransporten med hensyn til drivstoffeffektivitet og utslipp. Siden vi i dette prosjektet begrenser oss til å se på utslipp av CO₂, blir dette i praksis den samme tidsutviklingen. Det er her ikke tatt hensyn til eventuell bruk av biodrivstoff.

Oversikten bygger på SSBs Veitransportmodell og er hentet fra rapporten Toutain et al (2008). Drivstoff-forbruk og utslipp for årene 1994, 1998 og 2004 er framstilt i Tabell 3.1.1.

Tabell 3.1.1 Drivstoff- og CO₂ effektivitet, vegtransport. Pr kjøretøykm

	Personbil bensin		Personbil diesel		Drosjer		Mopeder		Motorsykler		Rutebusser	
	Drivstoff kg/vkm	CO ₂ g/vkm	Drivstoff kg/vkm	CO ₂ g/vkm	Drivstoff kg/vkm	CO ₂ g/vkm	Drivstoff kg/vkm	CO ₂ g/vkm	Drivstoff kg/vkm	CO ₂ g/vkm	Drivstoff kg/vkm	CO ₂ g/vkm
1994	0,063	197	0,051	161	0,09	273	0,19	59	0,39	89	0,257	815
1998	0,061	189	0,048	152	0,08	253	0,19	59	0,39	86	0,249	788
2004*	0,057	179	0,045	141	0,07	223	0,19	59	0,39	82	0,234	741

*Rutebusser: 2005

TØI rapport 1047/2009

De relative endringene blir de samme enten vi ser drivstoffbruk eller CO₂-utslipp. Endringene går fram av Tabell 3.1.2.

Tabell 3.1.2 Utvikling i utslippseffektivitet. 1994 = 100 %. Pr kjøretøykm.

	Personbil bensin	Personbil diesel	Drosjer	Mopeder	Motor-sykler	Rutebusser ¹
1994	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1998	96 %	94 %	93 %	100 %	97 %	97 %
2004*	91 %	88 %	82 %	100 %	92 %	91 %
Gj endr	-0,0095	-0,0132	-0,0198	-	-0,0082	-0,0086

*Rutebusser: 2005

TØI rapport 1047/2009

Vi ser at personbilparken har fått forbedret sin drivstoff- og utslippseffektivitet med vel 1 % i året i perioden 1994 til 2004¹ i gjennomsnitt. I dette ligger endringer i effektivitet for hele personbilparken, også i sammensetningen av bestanden. Vi vil komme tilbake til teknologisk effektivitetsforbedring for "like" biler over tiden nedenfor. Av den privatkjørte personbilparken har bensinbilene forbedret seg med noe under 1 % i året, mens dieselbilenes effektivitet er for-

¹ For busser 2005.

bedret med 1,3 % i året. Drosjebilparkens drivstoffeffektivitet er forbedret med hele 2 % i året.

For mopeder har det ikke skjedd noen effektivitetsforbedring, mens motorsykler har fått forbedret sin drivstoffeffektivitet med 0,8 % i året.

For parken av rutebusser er effektiviteten forbedret med 0,9 % i året i gjennomsnitt, om lag det samme som personbilparken. Dette er bare busser i ordinær rute-drift. Denne statistikken omfatter bare dieseldrevne busser.

Nedenfor vil vi gå dypere inn på et par av de viktigste kjøretøytypene.

3.1.2 Historisk utvikling personbiler

Tradisjonelt drivstoff

Bestandsutvikling, tekniske egenskaper og salg av drivstoff for den norske personbilparken for perioden 1975 til 1988 er analysert i Johansen og Eriksen (1991) og tilsvarende for 1992 til 2001 i Johansen (2003).

For perioden 1975-1988 er gjennomsnittlig bensinforbruk per mil anslått basert på bensinsalget fordelt på beregnet total kjørelengde for bensinbiler. Det går frem av Eriksen og Johansen (1991) at forbruket per mil for personbilparken som helhet sank med 12 % i perioden, mens forbruket for nye biler sank med 23 %, eller med 1,8 % årlig. At reduksjonen i forbruk for hele bilparken var langt mindre enn for de nye bilene, kan til dels forklares med at gjennomsnittsalderen i bilparken har økt i denne perioden. Dermed har de nye bilenes relative betydning blitt redusert, dette til tross for at de eldre bilene gjennomsnittlig kjøres mindre enn de nye.

Vi har sett at forbruket for nye biler har sunket med 1,8 % årlig. I disse tallene ligger imidlertid at gjennomsnittsvekten og motorstyrken for de nye bilene øker over tiden. Økonometriske beregninger på det samme datamaterialet tyder på at årlig effektivitetsforbedring for ellers like tunge biler ligger rundt 2,3 %. Hadde vi også tatt hensyn til økt motorstyrke, ville kanskje effektivitetsendringen for ellers like nye biler ha vært enda større.

Johansen (2003) får i sine økonometriske beregninger basert på tilsvarende data for 1992-2001 at tiden i seg selv bidrar med en forbedring i drivstoffeffektiviteten for bensinbiler med 1,8 %, mens den tilsvarende forbedringen for dieslbiler er 2,5 % årlig. Det totale drivstofforbruket for nye bensindrevne personbiler har i samme periode forbedret seg med 1,1 % i året i gjennomsnitt, mens det tilsvarende tallet for dieslbiler er 0,9 %.

For begge disse periodene ser vi altså at bilkjøperne i stor grad tar ut teknologisk gevinst i form av større biler med større motorkraft.

Et grovt anslag for perioden 2001 til 2008 tyder på at drivstofforbruket for bensindrevne personbiler har bedret seg med 2,2 % i årlig gjennomsnitt. Tilsvarende tall for dieslbiler er 0,8 %.

Alternativt drivstoff

Bruken av alternativt drivstoff har til nå hatt svært lite omgang i Norge både absolutt og hvis vi sammenlikner med Sverige, Tyskland og med EU generelt.

Alternativt drivstoff dreier seg i stor grad om biodrivstoff. Hensikten med å bruke biodrivstoff er at det gir lavere netto utslipp av klimagasser, i de plantene som brukes i produksjonen opptar CO₂ når de vokser. Dermed inngår produksjon og

bruk av biodrivstoff i det ordinære kretsløpet. Produksjon og bruk av biodrivstoff har etter hvert blitt omdiskutert, noe vi vil komme tilbake til nedenfor.

Biodrivstoff består hovedsakelig i biodiesel, bioetanol og biogass. Av dette er det biodiesel som har vært mest vanlig i Norge.

Tidligere har salget av biodiesel i Norge vært forsvinnende lite, men har i de senere årene økt raskt. I 2006 var salget 7,1 millioner liter. Salget kom i 2007 opp i 39,2 millioner liter i følge Samferdsel og miljø (2009 og tidligere årganger). (SSB 2009). I 2008 steg forbruket kraftig, helt opp til 103,6 mill liter. Dette er lite i forhold til Tyskland, som i 2007 hadde et salg på 3000 000 tonn, noe som tilsvarer rundt 3500 millioner liter.

Også for busser har biodrivstoff hatt vekst. Dette har trolig sammenheng med det settes stadig strengere miljøkrav fra samferdselsmyndighetene når drift av bussruter settes ut på anbud. Kollektivselskapene er da også opptatt av å framstå med en miljøvennlig profil.

I Oslo og Akershus hadde rutebussene i følge Ruter AS i 2008 et samlet forbruk på 27 millioner liter drivstoff. Av dette var 1,5 mill liter RME og 0,6 mill liter bioetanol. Det vil si at rutebussene i Oslo/Akershus har om lag like stor andel biodrivstoff som hele vegtrafikken på landsbasis har.

3.1.3 Historisk utvikling rutebuss

Vi så av oversikten i kapittel 3.1.1 at gjennomsnittlig forbedring i drivstoffeffektiviteten er ca 0,9 % årlig. Det er også her grunn til å spørre om dette er genuine tekniske endringer, eller om størrelse eller andre tekniske egenskaper med bussen har bidratt til eller svekket dette resultatet.

Det fins ingen tilgjengelig statistikk over rutebussenes tekniske data. Derimot kan vi av SSBs rutebilstatistikk beregne gjennomsnittlig antall plasser (seter pluss tillatte ståplasser) i hver buss². Problemet er at den gamle rutebilstatistikken ble nedlagt i 1997, og en ny statistikk for kollektivtransport ble opprettet i 2004. Vi er usikre på hvilken betydning dette har for sammenlignbarheten over tid, men den nye statistikken omfatter færre bussruter, blant annet bare en del av ekspressbusstrafikken.

Utviklingen i transportytelser og kapasitet for rutebusser går fram av tabell 3.1.3.

Tabell 3.1.3 Rutebusser. Utvikling i transportytelser og kapasitet.

	Passasjerkm (1 000 km)	Plasskm (1000 km)	Utkjørt distanse (1 000 km)	Belegg	Gjennomsn. plasser
1994	3956000	17820000	350000	0,222	50,9
1998	4423000	18200000	351000	0,243	51,9
2005	3832109	17763690	327348	0,216	54,3
Gj endr	-0,0029	-0,0003	-0,0061	-0,0026	0,0058

TØI rapport 1047/2009

Vi ser at bussenes passasjerkapasitet har øket noe fra 1994 til 2005. Størrelsen på denne endringen er imidlertid usikker på grunn av at det er brudd i tidsserien. Dersom vi likevel ut fra dette kan slutte at bussene er blitt litt større over tiden

² Seter hadde trolig vært det mest konsistente målet, men vi mangler gjennomgående data.

eller i hvert fall ikke mindre, kan vi også slutte at drivstoffeffektiviteten i ellers like store busser har bedret seg med mer enn 0,86 % i året, trolig mer enn 1 %.

3.1.4 Oversikt over kapasitetsutnyttelsen

Utslipper pr personkilometer går fram av Tabell 3.1.4. Denne tabellen gir en oversikt over utslippseffektivitet i forhold til utført transportarbeid for kjøretøy-gruppene på veg. Kilde er Toutain et al (2008).

Tabell 3.1.4 Drivstoff- og CO₂ effektivitet, vegtransport Pr personkm

	Personbil bensin g/pkm	Personbil diesel g/pkm	Drosjer g/pkm	Moped g/pkm	Motorsykler g/pkm	Rutebusser g/pkm
1994	110	89	210	59	95	72
1998	107	86	195	59	95	63
2004/2005*	103	82	172	59	94	62

*Rutebusser

TØI rapport 1047/2009

Kombinerer vi dette med tabell 3.1.4 ovenfor, får vi et grovt uttrykk for utviklingen i kapasitetsutnyttelsen for disse kjøretøyene i forhold til utgangsåret 1994 slik det går fram av tabell 3.1.5.

Tabell 3.1.5. Utvikling i kapasitetsutnyttelse. 1994=100%

	Personbil bensin g/vkm	Personbil diesel	Drosjer	Moped	Motorsykler	Rutebusser
1994	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1998	99 %	98 %	100 %	100 %	97 %	110 %
2004*	97 %	95 %	100 %	100 %	93 %	106 %
Gj endring	-0,003	-0,005	-0,000	-	-0,007	0,005

*Rutebusser:2005

TØI rapport 1047/2009

Vi ser at for drosjer og mopeder har det ikke vært noen endring av betydning i kapasitetsutnyttelsen. For drosjer ligger belegget stabilt på 1,3 passasjerer. For mopeder er belegget pr definisjon 1 person.

For motorsykler har det vært en viss bedring i kapasitetsutnyttelsen, noe som trolig skyldes størrelsen har økt og passasjerkomforten har blitt bedre. Avrundete tall gjør at det ikke kan legges for stor vekt på forskjellene.

I det følgende går vi dypere inn i utviklingen for personbiler og rutebusser. Det tas forbehold om manglende overensstemmelse mellom ulike statistiske kilder. Dette kan blant annet skyldes ulik detaljeringsgrad.

3.1.5 Kapasitetsutnyttelse personbiler

Ifølge Rideng og Vågene (2008) har gjennomsnittsbelegget i personbiler i personbiler sunket fra 2,14 personer i 1975 til 1,70 personer i 2006 (og har holdt seg uendret senere). Reiselengden har sunket fra 15,4 km til 13,5 km i samme periode. Mye av dette er det naturlig å forvente ut fra økningen i personbilbestanden. I samme periode har bestanden av personbiler øket fra 946 000 til 2249 000. Det vil si at mange flere husstander har mer enn én bil. Årlig kjørelenge er om lag den samme i 1975 som i 2006.

Det at biltilgjengeligheten har økt så mye, har i makro gitt et sterkt bidrag til nedgangen i belegget, men det kan også være nyttig å se på fordelingen på reisehensikter. Vi legger til grunn at kapasiteten pr personbil ikke har endret seg vesentlig i gjennomsnitt, selv om det har kommet en del flere store biler.

Reisens formål kan si noe om kapasitetsutnyttelsen. Reisevaneundersøkelsene (RVU) 1992, 2001 og 2005 viser ifølge Denstadli et al (2006) at de daglige reisenes fordeling på formål er relativt stabil over tiden.

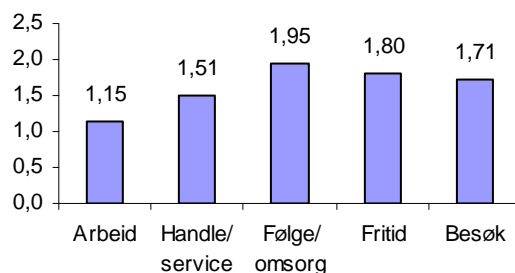
De daglige reisene fordeler seg på formål disse tre årene etter et forholdsvis konstant mønster, slik det framgår av tabellen nedenfor. Handlereiser og arbeidsreiser er de to viktigste formålene, slik inndelingen er.

Tabell 3.1.6. Daglige reiser etter formål. 1992, 2001 og 2005. Prosent

Reise	1992	2001	2005
Til/fra arbeid	19	22	19
Til/fra skole/studium	4	4	4
Tjenestereise	3	3	2
Handle/service	26	25	28
Omsorgs-/følgereise	8	13	10
Fritid	18	17	17
Besøk	16	13	13
Annet	6	3	7
Sum	100	100	100

Kilde: TØI-rapport 844/2006

Bilen har en høy andel av alle reiser og ikke minst av de daglige reisene. For arbeidsreiser er andelen som gjøres med bil stabilt 63 til 65 prosent viser RVU2005 (Denstadli et al 2006). Ser vi på belegget i bilene er det svært lavt for arbeidsreiser, 1,15 i 2005. For alle fritidsrelaterte formål ligger belegget mellom 1,71 og 1,95 i følge Vågane (2006). Se nedstående figur.



Kilde: TØI rapport 856/2006

Figur 3.1.1: Antall personer i bilen etter reisens formål

Denne stabile strukturen tilsier at det er belegget ved arbeidsreisene som er mest avgjørende og trolig også mest påvirkbart dersom en ønsker å øke belegget totalt. Med en bilbestand som øker langt sterkere enn folketallet er det lite som tilsier økt belegg i bilene ved fritidsreiser og handlereiser. Mulighetene ligger heller i å påvirke belegget på arbeidsreiser med bil. Alternativet er å redusere bilens andel av arbeidsreisene som helhet.

3.1.6 Kapasitetsutnyttelse rutebusser

Rutebilenes kapasitetsutnyttelse har tilsynelatende økt, slik det framgår av tabell 3.1.5. Her er det imidlertid forholdet mellom antall passasjerer og antall busser som er belyst. Det som tabell 3.1.3 viser, er imidlertid at kapasiteten mht antall plasser pr buss har økt, og at kapasitetsutnyttelsen egentlig har gått noe ned. Her må det tas forbehold om at det er svakheter i statistikken. Den nye kollektivtransportstatistikken bygger ikke nødvendigvis på helt samme grunnlag som den gamle rutebilstatistikken. TØI bygger for perioden fra 1998 og fram til i dag på et annet datagrunnlag, nemlig i tjenestedata for innskuddsberettigede ruter. Veitrafikkmodellen er dessuten brukt for å korrigere tallene til Toutain et al (2008) uten at vi vet hvordan det slår ut for rutebusser.

Med unntak for avganger i rushtiden er det vanligvis ikke bussens størrelse som er den begrensende faktor. Se vi i stedet på utviklingen i antall passasjerer pr buss, slik det framgår av tabell 3.1.8, finner vi ingen klar tendens. Tallene varierer opp og ned innenfor begge periodene vi har tall for. Siden det er brudd i tidsserien, kan vi ikke legge mye vekt på dette.

Tabell 3.1.7. Transportytelser og belegg. Rutebusser.

	Passasjerkm (1 000 km)	Plasskm (1 000 km)	Utkjørt distanse (1 000 km)	Belegg	Gj ant plasser	Gj ant pass
1994	3956000	17820000	350000	0,222	50,9	11,3
1995	3752000	16825000	332000	0,223	50,7	11,3
1996	4117000	17900000	379000	0,230	47,2	10,9
1997	4248000	19222000	348000	0,221	55,2	12,2
1998	4423000	18200000	351000	0,243	51,9	12,6
1999	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-
2004	3108646	17896702	326296	0,174	54,8	9,5
2005	3832109	17763690	327348	0,216	54,3	11,7
2006	3783659	17441221	325455	0,217	53,6	11,6
2007	3552995	18613207	341734	0,191	54,5	10,4
2008	3574079	18256973	342573	0,196	53,3	10,4

TØI rapport 1047/2009

Mønsteret reiseformålenes fordeling på transportmidler holder seg noenlunde konstant over tiden. F eks ligger kollektivandelen av arbeidsreisene konstant rundt 11-12 % ifølge RVU. Vi ser også at bussens andel av de lange reisene har en meget stabil andel på 6 % i alle de tre siste RVU-ene.

3.1.7 Fremskrivning

Fremskrivningen per vognkilometer bygger på tabell 3.1.1 og scenarioene i kapittel 2.

For personbiler er det utarbeidet gjennomsnittstall for bensin- og dieslbiler ut fra fordelingen i bilparken som så fremskrives med antatt endring i energi- og utslippsfaktorer for alle lette biler i kapittel 2.

For rutebusser er er gjennomsnittstall for alle rutebusser fremskrevet med antatt endring i energi- og utslippsfaktorer for alle tunge biler i kapittel 2.

Mulighetene for elektrisk fremdrift er generelt større på korte distanser enn på lange mens hybriddrift vil ha større effekt i bykjøring enn i jevn kjøring utenbys. Derfor vil utviklingen i energi- og utslippsfaktorene generelt være større enn i tabell 3.1.8 og 3.1.10 for korte reiser i bytrafikk og mindre for lange reiser utenbys. Spesielt gjelder det for rutebussene som ”deler” utvikling med andre tunge kjøretøy.

Tabell 3.1.8 Scenarioer for energiforbruk og CO₂-utslipp per vognkilometer persontransport på vei 1994-2050.

År	Personbil		Drosjer		Mopeder		Motersykler		Rutebusser*	
	Energi MJ/vkm	CO ₂ g/vkm	Energi MJ/vkm	CO ₂ g/vkm	Energi MJ/vkm	CO ₂ g/vkm	Energi MJ/vkm	CO ₂ g/vkm	Energi MJ/vkm	CO ₂ g/vkm
1994	2,68	195	3,87	210	0,82	59	1,68	89	11,05	815
1998	2,58	186	3,44	195	0,82	59	1,68	86	10,71	788
2004	2,38	174	3,01	172	0,82	59	1,68	82	10,06	741
Referansescenarioet										
2020	1,78	130	2,26	167	0,61	44	1,26	62	9,06	667
2035	1,66	122	2,11	156	0,57	41	1,17	57	8,55	630
2050	1,43	104	1,81	134	0,49	35	1,01	49	8,05	593
Kompromissscenarioet										
2020	1,34	91	1,69	117	0,46	31	0,94	43	9,06	667
2035	1,08	49	1,37	62	0,37	17	0,76	23	8,13	598
2050	0,86	21	1,08	27	0,29	7	0,60	10	7,65	563
Lavutslippsscenarioet										
2020	1,25	91	1,58	117	0,43	31	0,88	43	8,60	600
2035	0,83	36	1,05	47	0,29	12	0,59	17	8,13	535
2050	0,57	5,2	0,72	6,7	0,20	2	0,40	2,5	7,24	474

* Gjennomsnittet for alle rutebiler fremskrevet med forventet gjennomsnittlig teknologisk utvikling for alle tunge kjøretøy.

TØI rapport 1047/2009

Oversikt over belegg 1994-2007 er gjengitt i tabell 3.1.9.

Tabell 3.1.9 Kapasitetsutnyttelse for persontransport på vei 1994-2007.

År	Personbil*		Drosjer**		Mopeder		Motersykler***		Rutebusser	
	Personer	Belegg	Personer	Belegg	Personer	Belegg	Personer	Belegg	Personer	Belegg
1994	1,80	36 %	1,3	33 %	1	100 %	1,3	65 %	11,3	22 %
1998	1,77	35 %	1,3	33 %	1	100 %	1,3	65 %	12,6	24 %
2004	1,73	35 %	1,3	33 %	1	100 %	1,3	65 %	9,5	17 %
2007	1,70	34 %	1,3	33 %	1	100 %	1,3	65 %	10,4	19 %

* 5 seter

** 4 passasjer seter

*** 2 seter

TØI rapport 1047/2009

Ved å dele energibruk og utslipp per vognkilometer i tabell 3.1.8 med antall personer per vognkilometer i tabell 3.1.9 får vi fremskrivninger per personkilo-

meter i tabell 3.1.10. Her er belegget i 2007 lagt til grunn for årene 2020-50. I vurderinger av energibruk og utslipp for personbiler vil det uansett være mest naturlig å knytte energibruk og utslipp per vognkm til endringer i antall bilførere. Bilbelegget analyseres nærmere i TØI-prosjektet ”Analyse av bilbelegg”.

Tabell 3.1.10 Scenarioer for energiforbruk og CO₂-utslipp per personkilometer persontransport på vei 1994-2050.

År	Personbil		Drosjer		Mopeder		Motorsykler		Rutebusser*	
	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm
1994	1,49	108	2,98	210	0,82	59	1,29	68	0,98	72
1998	1,46	105	2,65	195	0,82	59	1,29	66	0,85	63
2004	1,37	100	2,32	172	0,82	59	1,29	63	1,06	78
Referansescenarioet										
2020	1,05	77	1,74	129	0,61	44	0,97	47	0,87	64
2035	0,98	72	1,62	120	0,57	41	0,90	44	0,82	61
2050	0,84	61	1,39	103	0,49	35	0,77	38	0,77	57
Kompromissscenarioet										
2020	0,79	54	1,30	90	0,46	31	0,73	33	0,83	64
2035	0,64	29	1,05	48	0,37	17	0,59	18	0,78	58
2050	0,50	12	0,83	21	0,29	7	0,46	8	0,70	54
Lavutslippsscenarioet										
2020	0,73	54	1,22	90	0,43	31	0,68	33	0,78	58
2035	0,49	21	0,81	36	0,29	12	0,45	13	0,70	51
2050	0,34	3,1	0,49	5,1	0,20	1,8	0,31	1,9	0,62	46

* Gjennomsnittet for alle rutebiler fremskrevet med forventet gjennomsnittlig utvikling for alle tunge kjøretøy.

TØI rapport 1047/2009

3.2 Rutebåter

Rutebåter omfatter bilferger, Hurtigruten og hurtigbåter. Drivstofforbruk, utslipp og transportytelser for de tre båtkategoriene er gjengitt i Toutain et al. Alle de tre kategoriene frakter både personer og gods, og det er dermed nødvendig å vekte personer og gods. Hos Toutain et al benyttes forholdstallet 1 passkm = 0,0865 kg. Dette virker som en urimelig lav vektning av passasjerer kontra gods siden en passasjer i praksis trenger langt mer fasiliteter enn 86,5 kg gods (4-5 koffert(er)).

I det følgende presenteres det først beregninger med utgangspunkt i forholdstallet 1 passkm = 0,0865 kg for årene 1993-2004 og deretter tilsvarende beregning for 2004 med utgangspunkt i at 1 passkm = 1 tonnkm. I fremskrivingen legges det til grunn at 1 passkm = 1 tonnkm.

3.2.1 Ferges

Drivstofforbruket til fergene økte med fra 16 prosent fra 111 000 tonn i 1993 til 129 000 tonn i 2004. Samtidig økte summen av tonnkilometer (tonnkilometer gods og personkilometer) med 46 prosent. Dermed sank forbruket per passasjer- og tonnkilometer med over 20 prosent. Med en mer realistisk vektning av personer og gods synker ville energiforbruket per transportytelse synke langt mindre. Med

forholdet 1 til 1 for person og gods synker energiforbruk/utslipp per passasjer/tonnkilometer bare med 7 prosent.

Tabell 3.2.1 Energiforbruk, utslipp og transportytelser innenlandske ferger

	Drivstoff 1000 tonn	Passkm Mill	Tonnm Mill	Beregnet tonnm Mill	Drivstoff kg/tkm	Drivstoff kg/pkm	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm
1993*	111	283	240	264	0,420	0,036	1,56	114
1998*	114	297	314	340	0,336	0,029	1,25	91
2004*	129	293	361	386	0,334	0,029	1,24	91
2004**	129	293	361	654	0,197	0,197	8,48	621

*Legger til grunn at 1 passkm=86,5 tonnm.

TØI rapport 1047/2009

**Legger til grunn at 1 passkm = 1 tonnm.

Fremskrevne utslippsfaktorer for ferger for årene 2020-50 bygger på tabell 3.2.1 og scenarioene i kapittel 2 og legger til grunn at 1 passkm = 1 tonnm.

Tabell 3.2.2 Energiforbruk og utslipp per transportytelse 2004-2050 for innenlandske ferger. Legger til grunn at 1 passkm=1 tonnm.

	Drivstoff kg/pkm	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm
1993	0,212	9,13	669
1998	0,187	8,02	588
2004	0,197	8,48	621
Referansescenario			
2020	0,197	8,48	621
2035	0,187	8,06	584
2050	0,178	7,63	547
Kompromissscenario			
2020	0,187	8,06	590
2035		7,25	467
2050		6,11	383
Lavutslippsscenario			
2020		8,06	559
2035		6,85	467
2050		5,73	410

TØI rapport 1047/2009

3.2.2 Hurtigruten

Hurtigruten økte drivstofforbruket med 26 prosent fra 1994 til 2004. Samtidig ble persontransporten doblet og godstransporten redusert med 11 prosent. Dermed økte omregnet tonnkilometer med 4 prosent og energiforbruk per passasjer- og tonnkilometer med 21 prosent. Med forhold 1 til 1 ville energiforbruk/utslipp i stedet ha sunket med 24 prosent.

Tabell 3.2.3 Energiforbruk, utslipp og transportytelser Hurtigruten

	Drivstoff 1000 t	Passkm Mill	Tonnkm Mill	Beregnet tonnkm Mill	Drivstoff kg/tkm	Drivstoff kg/pkm	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm
1993*	43	177	106	121	0,354	0,031	1,32	97
1998*	58	299	137	163	0,356	0,031	1,32	97
2004*	54	369	94	126	0,429	0,037	1,60	117
2004**	54	369	94	463	0,117	0,117	5,02	367

*Legger til grunn at 1 passkm = 86,5 tonnkm

TØI rapport 1047/2009

**Legger til grunn at 1 passkm = 1 tonnkm.

Fremskrevne utslippsfaktorer for Hurtigruten for årene 2020-50 bygger på tabell 3.2.3 og scenariene i kapittel 2 og legger til grunn at 1 passkm = 1 tonnkm.

Tabell 3.2.4 Energiforbruk og utslipp per transportytelse 2004-2050 for Hurtigruten. Legger til grunn at 1 passkm=1 tonnkm.

	Drivstoff kg/pkm	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm
1993	0,152	6,53	479
1998	0,133	5,72	419
2004	0,117	5,02	367
<i>Referansescenario</i>			
2020	0,117	5,02	367
2035	0,111	4,76	345
2050	0,105	4,51	323
<i>Kompromissscenario</i>			
2020	0,111	4,76	349
2035		4,29	276
2050		3,61	226
<i>Lavutslippsscenario</i>			
2020		4,76	331
2035		4,05	276
2050		3,61	242

TØI rapport 1047/2009

3.2.3 Hurtigbåter

Hurtigbåtenes drivstofforbruk sank med 5 prosent fra 1993 til 2004. Samtidig sank antall passkilometer med 16 prosent. Antall tonnkilometer for 2004 er ukjent. Det er derfor uklart hvordan forbruket per beregnet tonnkilometer har utviklet seg siden 1998. Ved å legge til grunn samme antall tonnkm i 2004 som i 1998 får vi et mer realistisk bilde av utslipp per transportenhet enn ved å se helt bort i fra gods-transporten i 2004. Tabell 3.2.5 buster på uendret antall tonnkm fra 1998 til 2004.

Tabell 3.2.5 Energiforbruk, utslipp og transportytelser hurtigbåt.

	Drivstoff	Passkm	Tonnkm	Beregnet tonnkm	Drivstoff	Drivstoff	Energi	CO ₂
	1000 tonn	Mill	Mill	Mill	kg/tkm	kg/pkm	MJ/pkm	g/pkm
1993**	61	224	22	41	1,474	0,128	5,48	402
1998**	64	250	13	35	1,848	0,160	6,88	504
2004**	58	189	13*	29	1,976	0,171	7,35	538
2004***	58	189	13*	202	0,287	0,287	12,35	904

*Anslag

TØI rapport 1047/2009

**Legger til grunn at 1 passkm = 86,5 kg

*** Legger til grunn at 1 passkm = 1 tonnkm

Fremskrevne utslippsfaktorer for Hurtigbåtene for årene 2020-50 bygger på tabell 3.2.5 og scenarioene i kapittel 2 og legger til grunn at 1 passkm = 1 tonnkm.

Tabell 3.2.6 Energiforbruk og utslipp per transportytelse 2004-2050 for hurtigbåter. Legger til grunn at 1 passkm=1 tonnkm.

	Drivstoff	Energi	CO ₂
	kg/pkm	MJ/pkm	g/pkm
1993	0,248	10,66	781
1998	0,243	10,46	767
2004	0,287	12,35	904
Referansescenario			
2020	0,287	12,35	904
2035	0,273	11,73	850
2050	0,258	11,11	796
Kompromissscenario			
2020	0,273	11,73	859
2035		10,56	680
2050		8,89	557
Lavutslippsscenario			
2020		11,73	814
2035		9,97	680
2050		8,89	597

TØI rapport 1047/2009

3.3 Luftfart

Utslippene i luftfart ble utredet av TØI i et oppdrag for Avinor i 2007. Arbeidet bygger blant annet på resultatene fra dette oppdraget.

3.3.1 Historikk

Utslipp og energibruk

Den historiske utviklingen i energiforbruk og utslipp tilsvarer utviklingen i salget av jetparafin og flybensin til innenlandsk sivil luftfart i følge SSB.

I følge tall oversendt fra SSB og ekstrapolering for 2007 økte drivstofforbruket i sivil innenlandsk luftfart med 44 prosent fra 194 000 tonn i 1989 til 280 000 tonn i 2007.

Et annet utgangspunkt er SSB's statistikk for CO₂-utslipp fra fly. Dette gir vesentlig høyere utslipp i alle år. I denne rapporten er SSB's drivstoffsalg lagt til grunn slik at utgangspunktet skal stemme med tallene i Toutain.

Av totalt utslipp anslås det at utslippene fra helikoptertransporten til kontinentalsokkelen står for ca 10 prosent. Spørsmålet er hvordan utviklingen for helikopter har vært over tid. Et av de utviklingstrekkene som har hatt betydning for utslipp per transportenhet fra vanlige fly er antall passasjerer per fly, som økte med 83 prosent, fra 28 til 51 per fly fra 1989 til 2007. For helikopter falt derimot antall passasjerer per helikopter svakt fra 15 i 1991 til 14 i 2007. På den bakgrunn legger vi til grunn at energiforbruk og utslipp fra helikopter følger utviklingen i transportytelsene i årene frem til 2007.

3.3.2 Transportytelser

Omfanget av innenlandske transportytelser er gjengitt i Rideng (2008) og økte med 79 prosent fra 1989 til 4408 mill passkm i 2007. Transportytelsene her dekker fly- og helikoptertrafikk med start- og sluttdestinasjon i Norge.

Av dette utgjorde helikoptertrafikken til kontinentalsokkelen 136 mill passkm i 2007.

Passasjerer som har transfer til/fra utlandet er trukket fra Ridengs tall. Andelen av disse har vært økende og utgjorde 12 prosent av innenlandstrafikken i 2007. Justert for helikoptertrafikk og transfer økte passasjertransporten med fly mellom norske lufthavner fra 1989 med 94 prosent til 4789 mill passkm i 2007.

Statistikk for kabinfaktorer finner en i Luftfartsverkets årsstatistikker til og med 2002 og anslag fra Avinor for årene 2003-2007. Kabinfaktoren for rutetrafikken har økt fra 57 prosent i 1989 til 67 prosent i 2007. Dette gir grunnlag for å beregne ASK (tilbudte setekm), som fra 1989 økte med 68 prosent til 7194 mill ASK i 2007.

Ved å multiplisere antall passkm med 0,0865 som i Toutain får vi et anslag for antall tonnkm knyttet til passasjertransport inkludert bagasje. Dette utgjorde 214 mill tonnkm i 1989 og 414 mill tonnkm i 2007 mens antall tonnkm knyttet til post og frakt var 18 mill tonnkm i 1989 og 19 mill i 2007. Passasjerandelen av utnyttet tonnasje økte dermed fra 92 prosent i 1989 til 96 prosent i 2007.

3.3.3 Utslipp og energibruk per transportytelse

Etter å ha skilt mellom persontransport med helikopter, persontransport med fly og godstransport med fly kan vi beregne utslipp og energiforbruk per transportenhet for årene 1989-2007 i tabell 3.3.1 og 4.3.1. I tabellene er det forutsatt at energiforbruk og CO₂-utslipp for helikopter ligger fast på 9 MJ/pkm og 650 g CO₂/pkm i hele perioden.

Tabell 3.3.1 Energiforbruk, utslipp og transportytelser innenlands persontransport med fly. Historikk 1989-2007.

År	Energi	Passkm	ASK	Belegg	Energi	CO ₂	CO ₂
Enhet	PJ	Mill	Mill	%	MJ/pkm	g/pkm	g/ASK
1989	6,8	2469	4294	57	2,8	202	116
1990	7,6	2694	4501	60	2,8	206	123
1991	7,8	2703	4646	58	2,9	211	123
1992	8,1	2965	4848	61	2,7	200	122
1993	8,0	3228	5195	62	2,5	180	112
1994	9,4	3488	5879	59	2,7	196	116
1995	10,1	3671	6370	58	2,8	202	116
1996	11,3	4028	6955	58	2,8	205	119
1997	11,9	4155	7034	59	2,9	209	123
1998	12,2	4378	7432	59	2,8	203	120
1999	14,0	4541	8599	53	3,1	225	119
2000	12,7	4678	8382	56	2,7	198	110
2001	12,7	4535	8088	56	2,8	205	115
2002	10,9	4310	7011	61	2,5	184	113
2003	11,3	4054	6765	60	2,8	204	122
2004	11,3	4310	7039	61	2,6	191	117
2005	9,3	4449	7152	62	2,1	152	95
2006	10,1	4673	7280	64	2,2	158	102
2007	10,4	4789	7194	67	2,2	158	105
Årl.vekst	2,4 %	3,8 %	2,9 %		-1,3 %	-1,3 %	-0,5 %

TØI rapport 1047/2009

Utslippene per transportenhet har i følge tabell 3.1 falt med 1,3 prosent. Det viser seg imidlertid at all effektivisering har skjedd etter 2003 og at ca 2/3 av effektiviseringen skyldes økt kabinfaktor.

3.3.4 Fremskrivning

Utviklingen i kabinfaktorer

Selv om kabinfaktoren i 2007 på 67 prosent er den høyeste på mange år ligger det an til en videre økning over tid. Kabinfaktoren innenlands i dag er i praksis et gjennomsnitt av Norwegian's kabinfaktor på ca 78 prosent og SAS-konsernets kabinfaktor, som er en del lavere. Med økende markedsandeler for flyselskaper med lave kostnader vil kabinfaktoren antagelig øke i årene fremover.

I følge FAA (2009) økte gjennomsnittlig innenlands kabinfaktor i USA (for US commercial air carriers) fra 70,6 prosent i 2000 til 80 prosent i 2007 mens prognosen fremover ligger på 80-82 prosent. Kabinfaktorene i Europa ligger en del lavere og varierer generelt mellom 55 prosent rett etter jul til nærmere 80 prosent midt på sommeren.

Det er usikkert hvordan kabinfaktorene vil utvikle seg fremover, men med dagens trend med stadig økende lavkostandel antar vi at kabinfaktoren i hvert fall vil øke med 3 prosenpoeng til 70 prosent innen 2020 og at den reelle usikkerheten på sikt ligger i intervallet 70-75 prosent. Høy kabinfaktor kan gjenspeile høy lavkostandel og dermed raskere vekst, raskere utskiftingstakt og større fly. Selv om det

ikke er dette som utgjør forskjellen mellom scenarioene, så hører høy kabinfaktor etter vårt skjønn mer hjemme i et scenario med rask teknologisk utvikling enn i et scenario med langsommere utvikling.

Vi velger derfor å kombinere referansescenarioet med viderføring av kabinfaktoren fra 2007 på 67 prosent. I kompromisscenarioet legger vi til grunn at kabinfaktor og kapasitetsutnyttelse fra 2007 vil øke til 70 prosent i 2020 og holde seg der. I lavutslippsscenarioet øker kabinfaktoren til 70 prosent i 2020, 73 prosent i 2035 og 75 prosent i 2050.

Tabell 3.3.2. Energiforbruk og utslipp per transportytelse for innenlands persontransport med fly. Historikk 1989-2007 og scenarioer 2020-50.

Enhet	Drivstoff g/ASK	Energi. MJ/ASK	CO ₂ . g/ASK	Belegg %	Drivstoff g/pkm	Energi MJ/pkm	CO ₂ g/pkm
År	<i>Historikk</i>						
1989	37	1,59	116	57	64	2,76	202
1998	38	1,64	120	59	65	2,78	203
2007	33	1,44	105	67	50	2,17	158
	<i>Referansescenario</i>						
2020	23	1,01	74	67	35	1,52	111
2035	21	0,91	66	67	32	1,36	100
2050	19	0,81	59	67	28	1,21	89
	<i>Kompromisscenario</i>						
2020	22	0,94	68	70	31	1,35	98
2035	18	0,80	58	70	27	1,14	84
2035	15	0,66	48	70	22	0,94	69
	<i>Lavutslippsscenario</i>						
2020	20	0,87	63	70	29	1,24	91
2035	16	0,69	51	73	22	0,95	70
2035	12	0,52	38	75	16	0,70	51

TØI rapport 1047/2009

3.4 Jernbane, trikk og forstadsbaner

3.4.1 Historikk jernbane

Utslipp og energibruk

NSB BA opplyser i NSB (2009) at de i 2006 brukte 285 445 MWh til persontogfremføring uten tap og 351 527 med tap. I 2007 hadde strømforbruket uten tap sunket til 266 300 MWh. Med samme forhold mellom forbruk med og uten tap som i 2006 gir dette et anslått forbruk inklusive tap på 327 950 MWh i 2007.

I tillegg kommer forbruket til Gjøvikbanen, som beregnet på tilsvarende måte utgjorde 13 958 MWh og flytoget som i følge årsrapporten for 2007 brukte 37 700 MWh i 2007. I alt utgjør dette et elektrisitetsforbruk på 379 248 MWh til persontogfremføring i 2007.

Hvis vi legger til 15 prosent omformertap på eldre tall så var de tilsvarende forbrukstallene 253 000 MWh i 1988, 323 876 MWh i 1994, 348 079 MWh i 1998 og 370 850 i 2004. Det har altså vært en vekst i elektrisitetsforbruket over tid.

Dieselforbruket var i 2007 på 7 183 tonn som i hovedsak er en reduksjon i forhold i forhold til tidligere.

Tabell 3.4.1: El- og dieselforbruk persontog 1988-2007.

	MWh	Tonn diesel	Kilde
1988	253 000	13 156	TØI (1991)
1994	323 877	10 630	TØI (1997)
1998	348 079	8 060	Toutain
2004	370 850	6 740	NSB, Flytoget
2007	379 248	7 191	NSB, Flytoget

TØI rapport 1047/2009

Transportytelser og kapasitetsutnyttelse

I følge statistikk fra NSBs miljøregnskap 2008 og Flytoget var transportarbeidet for persontog 2892 mill personkilometer i 2007 og tilbudt kapasitet i alt 8902 mill setekilometer. Tilsvarende tall for 2004 anslås til 2600 mill personkilometer og 8233 mill setekilometer.

Av dette gikk 250,9 mill personkilometer og 674 mill setekilometer med dieseltog i 2007 og 270,5 mill personkilometer og 674 setekilometer i 2004.

Statistikk for tidligere år er hentet fra Toutain, TØI (1991) og TØI (1997).

Tabell 3.4.2: Mill personkm fordelt på el- og dieseltog 1988-2007.

	El-tog		Dieseltog		Sum		Kilde
	mill pkm	mill setekm	mill pkm	mill setekm	mill pkm	mill setekm	
1988					2 025	5 329	TØI (1991)
1994					2 328	7 464	TØI (1997)
1998	2 213,0		343,8		2 557		Toutain
2004	2 329,4	7 559	270,5	674	2 600	8 233	NSB, Flytoget
2007	2 641,0	8 122	250,9	780	2 892	8 902	NSB, Flytoget

TØI rapport 1047/2009

Utslipp og energibruk per transportytelse

Ved å sammenstille tallene for energibruk, transportutnyttelse og kapasitetsutnyttelse får vi energibruk og utslipp per personkilometer og setekilometer i tabellene 3.4.3-3.4.5.

Av tabellene fremgår det at samlet energibruk per setekilometer falt med 2 prosent årlig fra 1988 til 2007. Pga redusert kapasitetsutnyttelse falt energibruken per personkilometer med 1,2 prosent. Fra 1994 var den tilsvarende utviklingen 1,1 prosent årlig per setekilometer og 1,4 prosent per personkilometer. Reduksjonen skyldes delvis bruk av mer strøm og mindre og delvis energieffektivisering. På grunn av dette er CO₂-utslippene på 19 år redusert med 67 prosent per setekm og 62 prosent per personkilometer.

Tabell 3.4.3 Energiforbruk og transportytelser innenlands elektriske persontog

År	Energi		Passkm Mill	Setekm Mill	Belegg %	Energi	
	GWh	PJ				MJ/pkm	MJ/setekm
1988	253,0	0,91					
1994	323,9	1,17					
1998	348,1	1,25	2 213			0,566	
2004	370,9	1,34	2 329	7559	30,8 %	0,573	0,177
2007	379,2	1,37	2 641	8122	32,5 %	0,517	0,168

TØI rapport 1047/2009

Tabell 3.4.4 Energiforbruk, utslipp og transportytelser innenlands diesel persontog

	Energi		Passkm Mill	Setekm Mill	Belegg %	Energi		CO ₂	
	Tonn	PJ				MJ/pkm	MJ/setekm	g/pkm	g/setekm
1988	13 156	0,57							
1994	10 630	0,46							
1998	8 060	0,35	343,8			1,008		74	
2004	6 740	0,29	270,5	674	40,1 %	1,071	0,430	79	32
2007	7 191	0,31	250,9	780	32,2 %	1,232	0,396	91	29

TØI rapport 1047/2009

Tabell 3.4.5 Energiforbruk, utslipp og transportytelser innenlands persontog

	Energi PJ	Passkm Mill	Setekm Mill	Belegg %	Energi		CO ₂	
					MJ/pkm	MJ/setekm	g/pkm	g/setekm
1988	1,48	2 025	5 329	38 %	0,729	0,277	20,6	7,8
1994	1,62	2 328	7 464	31 %	0,697	0,217	14,5	4,5
1998	1,60	2 557			0,626		10,0	
2004	1,62	2 600	8 233	32 %	0,625	0,197	8,2	2,6
2007	1,67	2 892	8 902	32 %	0,579	0,188	7,9	2,6

TØI rapport 1047/2009

3.4.2 Fremskrivning jernbane

Energieffektivisering

I løpet av 19 år har persontogene blitt 32 prosent mer energieffektive, og det er liten grunn til å tro at utviklingen vil stoppe opp i 2007.

For elektriske tog har NSB satt i gang et prosjekt sammen med Enova som går ut på å redusere strømforbruket med 15 prosent ved hjelp av energiøkonomisk kjøring, energiforbruk i parkerte tog og klimaenøk på togene. Prosjektet ligger an til å bli gjennomført i god tid før 2020.

Flytoget har allerede vært gjennom et program som reduserte forbruket med 16 prosent på 2 år. Fremover regner Flytoget med en energieffektivisering på 2-5 prosent pga tekniske forhold. Flytoget har imidlertid satt i gang forlengelse av dagens togsett. Forlengelsen vil øke lengden på togsettene fra 3 til 4 vogner og øke setekapasiteten med 40 prosent. Hvis en legger til grunn at energiforbruket per togsett øker i takt med antall vogner blir resultatet en energieffektivisering på

5 prosent per setekilometer for flytoget. Dette gir en samlet effektivisering på 7-10 prosent. I tillegg kan forlengelse av Flytogruten til Drammen redusere forbruket per setekilometer noe pga redusert gjennomsnittshastighet.

Legger vi til grunn 15 prosents energieffektivisering for persontog fra 2007 til 2020 så tilsvarer det 1,2 prosent årlig forbedring og innebærer at trenden siden 1994 i hovedsak blir videreført til 2020. For perioden 2020 til 2030 antyder Norges Naturvernforbund (2008) 10 prosents reduksjon i energiforbruket. På lengre sikt antar vi at videre energieffektivisering vil bli kompensert av høyere hastighet.

I et scenario med svært omfattende klimatiltak kan utbygging av høyhastighetstog få økt aktualitet. I Norges Naturvernforbund (2008) henvises det til at dagens høyhastighetstog bruker 0,04-0,05 kWh/setekm som tilsvarer 14,4-18 MJ/setekm. Dette er omtrent på linje med gjennomsnittsforbruket i dagens togsystem.

Scenarier for energieffektivisering

Vi legger til grunn 3 scenarier for energifeffektivisering. I alle scenarioene reduseres energiforbruket for elektriske tog med 15 prosent til 2020. Samtidig er det lagt til grunn at utviklingen i energiforbruk og CO₂-utslipp for dieseltog følger utviklingen for tunge kjøretøy.

I referansescenariot er energiforbruket etter 2020 konstant og andelen dieseldrift konstant hele tiden.

I kompromisscenariot faller forbruket for elektriske tog dessuten med 10 prosent til i 2035, mens andelen dieseldrift halveres i 2050.

I lavutslippsscenarioet halveres dessuten andelen dieseldrift i 2035 mens CO₂-utslippene forsvinner helt i 2050 som følge av full elektrifisering.

3.4.3 Utvikling i kapasitetsutnyttelse

I en årrekke har kapasitetsutnyttelsen for persontog ligget relativt stabil rundt 32 prosent. Uten spesielle tiltak er det lite trolig at utnyttelsen vil endres nevneverdig på sikt. I forbindelse med omfattende klimatiltak kan det være aktuelt å forbedre togtilbudet for å bidra til ønsket transportmiddelomfordeling. Dette kan redusere utnyttelsen ved at kapasiteten økes kraftig uten at passasjertrafikken øker tilsvarende, men kan også øke utnyttelsen hvis det blir et økende innslag av langdistansetraffikk med "flykvalitet", dvs. rask transport over lange strekninger med få stopp og etterspørselsstyrte billettpriser. I TØI-Cicero (2007) anslås det at omtrent 40 prosent av innenlands flytraffikk foregår på strekninger der høyhastighetstog kan være aktuelle. Dette utgjør nærmere 2 milliarder personkilometer. Hvis 80 prosent av denne trafikken går over på tog så kan togtrafikken i Norge øke med 50 prosent. Hvis den "nye" delen av togtrafikken får en kapasitetsutnyttelse på i hvert fall 50 prosent så øker samlet kapasitetsutnyttelse fra 32 til 38 prosent. Vi legger dette til grunn i lavutslippsscenarioet i 2050.

Tabell 3.4.6 Energiforbruk og utslipp per transportytelse for persontog 1988-2050 i 3 scenarioer.

Enhet	Diesel	El	Energi	CO ₂	Belegg	Diesel	El	Energi	CO ₂
	g/setekm	kWh/setekm	MJ/setekm	g/setekm	%	g/pkm	kWh/pkm	MJ/pkm	g/pkm
År	Historikk								
1988	2,47	0,047	0,28	7,8	38,0	6,50	0,125	0,73	20,6
1994	1,42	0,043	0,22	4,5	31,2	4,57	0,139	0,70	14,5
1998						3,15	0,136	0,63	10,0
2004	0,82	0,045	0,20	2,6	31,6	2,59	0,143	0,62	8,2
2007	0,81	0,043	0,19	2,6	32,5	2,49	0,131	0,58	7,9
	Referansescenario								
2020	0,73	0,036	0,16	2,3	32,5	2,24	0,111	0,50	7,1
2035	0,69	0,036	0,16	2,2	32,5	2,11	0,111	0,49	6,7
2050	0,65	0,036	0,16	2,0	32,5	1,99	0,111	0,49	6,3
	Kompromisscenario								
2020	0,69	0,036	0,16	2,3	32,5	2,24	0,111	0,50	6,7
2035	0,65	0,033	0,15	2,1	32,5	2,01	0,100	0,45	6,4
2050	0,31	0,034	0,14	1,0	32,5	0,94	0,105	0,42	2,8
	Lavutslippsscenario								
2020	0,65	0,036	0,16	2,2	32,5	2,13	0,111	0,49	6,4
2035	0,33	0,034	0,14	1,0	32,5	1,00	0,105	0,42	2,8
2050	0	0,036	0,13	0,0	38,0	0,00	0,094	0,34	0,0

TØI rapport 1047/2009

3.4.4 Trikk og forstadsbaner

Energibruken for trikk og forstadsbaner er utelukkende basert på elektrisk energi.

Elforbruk og transportytelser for sporveier og forstadsbaner oppgis årlig i samferdselstatistikken og er oppsummert i TØI (1991), TØI (1997), Toutain og Samfunnsregnskap for Oslo Sporveier 2005.

Utviklingen i energiforbruket er gjengitt i tabell 3.4.7.

Tabell 3.4.7 Energiforbruk for trikk og T-bane. GWh.

	T-bane	Trikk	Sum
1987			86
2000	71	19	90
2004	69	19	88
2005	66	24	91

TØI rapport 1047/2009

Tabell 3.4.8 Transportytelser for trikk og T-bane. Millioner.

	T-bane		Trikk		Sum	
	Plasskm	Pkm	Plasskm	Pkm	Plasskm	Pkm
1987					2 677	477
2000		405		86		491
2004		362		91		453
2005	2 426	406	339	107	2 765	513

TØI rapport 1047/2009

Tabell 3.4.9 Energiforbruk per transportytelse for trikk og T-bane. MJ.

	T-bane		Trikk		Sum	
	Per plasskm	Per pkm	Per plasskm	Per pkm	Per plasskm	Per pkm
1987					0,116	0,649
2000		0,631		0,795		0,660
2004		0,686		0,752		0,699
2005	0,098	0,585	0,071	0,807	0,118	0,639

TØI rapport 1047/2009

Ut fra tabell 3.4.9 har energiforbruket for trikk og forstadsbaner vært relativt konstant i mange år og det legges til grunn uendret fremtidig energiforbruk per transportytelse.

4 Godstransport

4.1 Vegtransport

4.1.1 Historisk utvikling utslippskoeffisienter

Også for godstransport på veg har vi hentet informasjon om utvikling i energiforbruk og utslippsfaktorer fra Toutain et al. (2008). De skiller mellom varebiler og tre størrelsesgrupper av tunge godsbiler:

1. Varebiler med nyttelast under 1 tonn
2. Lastebiler med nyttelast 1-5 tonn
3. Lastebiler med nyttelast 5-11 tonn
4. Lastebiler med nyttelast over 11 tonn

Drivstofforbruk og utslipp for hver av disse kjøretøygruppene er for årene 1994, 1998 og 2004 framstilt i tabell 4.1.1.

Tabell 4.1.1 Drivstoff- og CO₂-effektivitet, godstransport på veg, ulike kjøretøygrupper. Pr kjøretøykm (vkm).

	Varebil, bensin		Varebil, diesel		NL 1-5 tonn		NL 5-11 tonn		NL over 11 tonn	
	Bensin	CO ₂	Diesel	CO ₂	Diesel	CO ₂	Diesel	CO ₂	Diesel	CO ₂
	kg/vkm	g/vkm	kg/vkm	g/vkm	kg/vkm	g/vkm	kg/vkm	g/vkm	kg/vkm	g/vkm
1994	0,101	316	0,079	250	0,134	425	0,181	574	0,282	894
1998	0,100	313	0,078	247	0,128	406	0,172	545	0,265	840
2004	0,098	307	0,074	235	0,123	390	0,164	520	0,253	802

TØI rapport 1047/2009

Som for persontransport blir de relative endringene de samme enten vi ser på drivstofforbruk eller CO₂-utslipp. Dette framgår av tabell 4.1.2.

Tabell 4.1.2. Utvikling i utslippseffektivitet. 1994=100%. Pr kjøretøykm.

	Varebil, bensin	Varebil, diesel	NL 1-5 tonn	NL 5-11 tonn	NL over 11 tonn
1994	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1998	99 %	99 %	96 %	95 %	94 %
2004	97 %	94 %	92 %	91 %	90 %
Gj.sn. årlig endring					
1994-2004	-0,30 %	-0,65 %	-0,85 %	-0,98 %	-1,08 %

TØI rapport 1047/2009

Det framkommer at det er størst forbedring i drivstoff- og utslippseffektivitet for de største lastebilene med nesten 1% pr år, mens bensindrevne varebiler har hatt minst forbedring med knapt 0,3% per år fra 1994 til 2005. Utvikling i utslippseffektivitet tar her hensyn til både de forbedringer som skyldes bedre motorteknologi for nye biler, samt strukturelle endringer som følger av endringer i kjøretøybestand mht størrelse for vare- og lastebilene.

4.1.2 Kapasitetsutnyttelse

Det ideelle målet på kapasitetsutnyttelse er å måle fraktet mengde i forhold til bilens kapasitet. To forhold vanskeliggjør dette målet. Det ene er hvordan kapasitet defineres, det andre er at det ofte er varenes volum og ikke lastvekten som dimensjonerer kapasiteten. Vi har sett på grunnlagsdata fra SSBs lastebilundersøkelse og finner at definisjonen av kapasitet (målt som bilens nyttelast) endres vesentlig fra 2003. Bilens nyttelast i lastebilundersøkelsen øker betydelig fra 2003, noe som bidrar til at kapasitetsutnyttelsen avtar, selv om gjennomsnittlig lastmengde øker. SSB publiserte da også tidligere tall for utvikling i kapasitetsutnyttelse, men denne indikatoren har opphørt etter 2001. Vi har derfor benyttet et mer grovt mål på utvikling i kapasitetsutnyttelse, som er gjennomsnittlig antall tonn som fraktes pr kjørt km for ulike kjøretøygrupper.

Tabell 4.1.3 viser utvikling i transportarbeid og kapasitetsutnyttelse målt i tonn.

Tabell 4.1.3. Utvikling i transportarbeid og kapasitetsutnyttelse målt i tonn.

	Varebil, bensin		Varebil, diesel		NL 1-5 tonn		NL 5-11 tonn		NL over 11 tonn	
	Mill tkm	Tonn	Mill tkm	Tonn	Mill tkm	Tonn	Mill tkm	Tonn	Mill tkm	Tonn
1994	77	0,204	112	0,223	356	0,8	935	3,2	6979	9,4
1998	47	0,186	182	0,282	352	0,8	830	3,1	10844	10,4
2004	101	0,129	143	0,196	341	0,8	1092	3,7	13298	10,7
Årlig endring 1994-2004	2,75%	-4,48%	2,47%	-1,28%	-0,43%	0,0%	1,56%	1,46%	6,66%	1,30%

TØI rapport 1047/2009

Det framkommer at de største lastebilene har hatt størst årlig økning i transportarbeid (med 6,7 % pr år), mens lastebiler med nyttelast mellom 5 og 11 tonn har størst årlig økning i gjennomsnittlig lastmengde (med 1,46 % pr år). Utvikling i trafikkarbeid framkommer som differanse mellom årlig vekst i hhv. utført transportarbeid og gjennomsnittlig lastmengde pr tur. Denne er klart størst for de største lastebilene og for varebilene. Det vil si at en økende andel av trafikkarbeidet utføres med de største lastebilene og med varebilene.

For varebiler foreligger ikke separate tall for transportytelser, fordelt på drivstoff for 2004. Vi har laget anslag basert på undersøkelsen blant små godsbiler i 2004 (Rideng og Strand), og benyttet dieselbilenes andel fra 1998³. Anslagene på transport- og trafikkarbeid er sammenliknet med nasjonale transportytelsestall fra Rideng og Vågane. Dette framgår av tabell 4.1.4.

³ I 1998 utgjorde dieselbilenes andel 80 % av transportarbeidet og 72% av trafikkarbeidet for små godsbiler.

Tabell 4.1.4. Utvikling i transportarbeid (mill tonnkm), trafikkarbeid (mill km) og gjennomsnittlig lastmengde (i tonn).

	Varebil, bensin	Varebil, diesel	Lastebil 1- 5 tonn	Lastebil 5-11 tonn	Lastebil 11 tonn+	SUM	Rideng og Vågane
Transport-arbeid							
1994	77	112	356	935	6 979	8 459	8 714
1998	47	182	352	830	10 844	12 255	12 636
2004	101	143	341	1092	13 298	14 975	14 966
Trafikkarbeid							
1994	378	503	445	292	742	2 361	3 607
1998	253	645	440	268	1 043	2 648	4 291
2004	780	1 988	426	295	1 243	4 732	4 431
Gjennomsnittlig lastmengde (tonn)							
1994	0,20	0,22	0,80	3,20	9,40	3,58	2,42
1998	0,19	0,28	0,80	3,10	10,40	4,63	2,94
2004	0,13	0,07	0,80	3,70	10,70	3,16	3,38

TØI rapport 1047/2009

Alle celler merket med lilla er hentet fra Holtskog og Toutain et al, mens celler merket med grønt er basert på Rideng og Strand, der fordelingen på bensin og diesel er basert på andelene fra 1998. Sammenliknet med transportytelsestallene fra Rideng og Vågane viser tabellen at det er rimelig god overensstemmelse for transportarbeid, mens det er store avvik for alle år for trafikkarbeidet. Vi legger derfor transportarbeidet til grunn for beregning av gjennomsnittlige utslippskoeffisienter for all godstransport på veg, og dividerer med gjennomsnittlig lastmengde fra Rideng og Vågane, merket oransje i tabellen til å beregne gjennomsnittlig utslipp pr km for all godstransport på veg.

Om vi dividerer gjennomsnittlig CO₂-utslipp pr vognkm fra tabell 4.1.1 med gjennomsnittlig lastmengde for ulike kjøretøygrupper og i sum for all godstransport, får vi utslippskoeffisienter pr tonnkm. Utslipp pr tonnkm gir en oversikt over utslippseffektivitet pr utført transportarbeid for kjøretøygruppene på veg. Kilde er Toutain et al. (2008), og framkommer av tabell 4.1.5.

Tabell 4.1.5. Utslippsfaktorer for CO₂ for godstransport på veg. Pr tonnkm.

	Varebil, bensin	Varebil, diesel	NL 1-5 tonn	NL 5-11 tonn	NL over 11 tonn	All godstransport på veg
	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm
1994	1550	1123	531	179	95	150
1998	1683	877	507	176	81	117
2004	2378	1197	487	141	75	135
Gj.sn. årlig endring						
1994-2004	4,37 %	0,64 %	-0,85 %	-2,41 %	-2,35 %	-1,02 %

TØI rapport 1047/2009

Det framkommer av tabellen at de to største kjøretøygruppene har hatt størst forbedring i utslippsintensitet (g/tkm), mens de minste bilene som har hatt en reduksjon i gjennomsnittlig lastmengde, har fått økt utslippsintensitet pr tonnkm fra 1994 til 2004. Siden de største bilene utfører en økende andel av transportarbeidet, er utslippseffektiviteten i gjennomsnitt for all godstransport forbedret fra 1994 til 2004 med drøye 1 % pr år.

Vi har også tatt med en gjentakelse av utslippskoeffisientene pr vognkm fra tabell 4.1.1, men der vi har beregnet gjennomsnittlige utslippsfaktorer for all godstransport på veg basert på tilsvarende utslippskoeffisienter pr tonnkm (tabell 4.1.5) og gjennomsnittlig lastmengde i sum for all vegtransport (fra tabell 4.1.4).

Tabell 4.1.6. Utslippsfaktorer for CO₂ for godstransport på veg. Pr vognkm.

	Varebil, bensin	Varebil, diesel	NL 1-5 tonn	NL 5-11 tonn	NL over 11 tonn	All godstransport på veg
	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
1994	316	250	425	574	894	361
1998	313	247	406	545	840	346
2004	307	235	390	520	802	456
Gj.sn. årlig endring						
1994-2004	-0,30 %	-0,65 %	-0,85 %	-0,98 %	-1,08 %	2,35 %

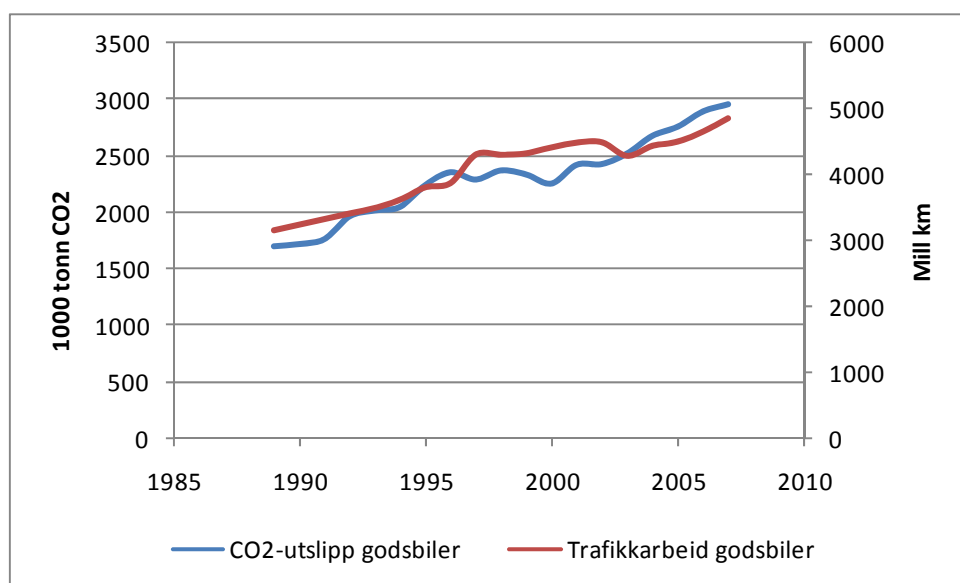
TØI rapport 1047/2009

Selv om CO₂-utslippet pr vognkm avtar for alle bilgruppene i tabell 4.1.6, øker den i sum for all godstransport på veg. Årsaken til dette er at de store bilene sin andel av trafikkarbeidet er økende. Derved øker også utslippskoeffisienten pr km for en gjennomsnittlig godsbil, men fordi de største bilene har den høyeste utnyttelsesgraden, er utslippskoeffisienten pr tonnkm redusert i samme periode. Det vil si at utslippseffektiviteten pr tonnkm øker.

Vi har forsøkt å lage en tidsserie for utviklingen i CO₂-utslipp fra godstransport for hele perioden 1989 til 2007, med utgangspunkt i SSBs årlige beregninger av CO₂-utslipp etter kilde. Oppstillingen til SSB skiller imidlertid ikke mellom person- og godstransport. Vi har derfor: 1) Antatt at godstransport utgjør 25 % av CO₂-utslippet⁴ fra alle lette kjøretøy, unntatt personbiler, 2) trukket fra CO₂-utslippet fra busser, hentet fra Holtskog (2001) og Toutain (2007), og antatt 0-vekst i utslipp fra buss mellom hvert av årene vi har observasjoner for⁵. Dette gir en utvikling i CO₂-utslipp og trafikkarbeid for godsbiler som framgår av figur 4.1.1, der trafikkarbeidet er hentet fra Rideng og Vågane.

⁴ I en undersøkelse av lette godsbiler finner Rideng og Strand (2004) at i andel av årlig kjørelengde for vare- og kombinertbiler utgjør persontransport 44 %, håndverk/service 32 % og godstransport 24 %. I en undersøkelse SSB har gjennomført blant små godsbiler i 2008 konkluderes det med at 21 % av kjørte km med små godsbiler er godstransport, 49 % er transporter knyttet til håndverk/service, mens 30 % er privat kjøring.

⁵ Vi har gjort denne forutsetningen fordi årlig vekst i transportarbeid med busser bare har vært 0,4 % fra 1989 til 2007.

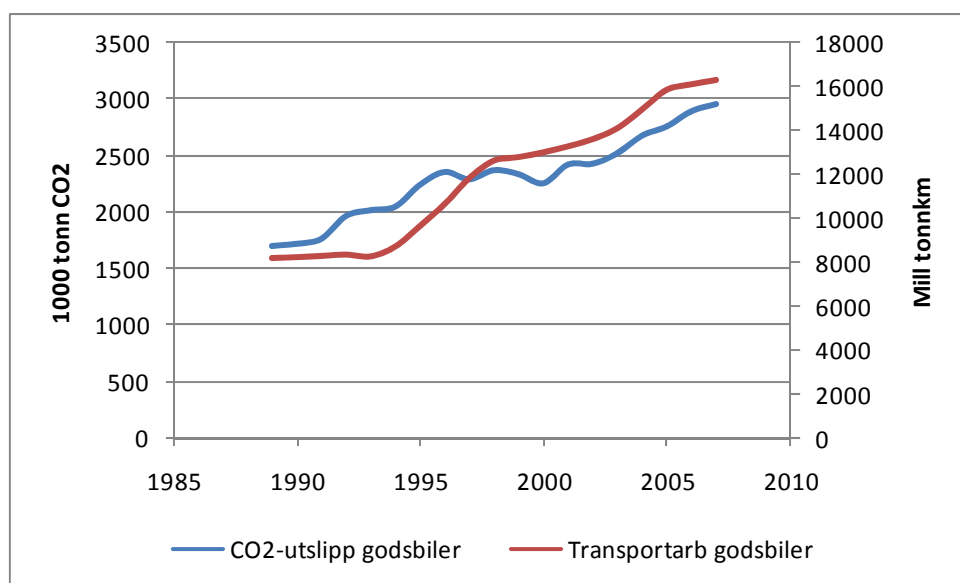


TØI rapport 1047/2009

Figur 4.1.1. Utvikling i CO₂-utslipp (1000 tonn) og innenriks trafikkarbeid (mill km) for gods-biler.

Det framkommer at det er nær sammenheng mellom utvikling i trafikkarbeid og CO₂-utslipp fra gods-biler, men at CO₂-utslippet har økt mer enn trafikkarbeidet. Dette skyldes som tidligere nevnt at transport med de store bilene utgjør en økende andel av trafikkarbeidet.

Samme utvikling, men relatert til transportarbeid (tonnkm) på veg i stedet for trafikkarbeid framgår av figur 4.1.2, der transportarbeidet er hentet fra Rideng og Vågane.



TØI rapport 1047/2009

Figur 4.1.2. Utvikling i CO₂-utslipp (1000 tonn) og innenriks transportarbeid (mill tonnkm) for gods-biler.

Figur 4.1.2 viser at transportarbeidet har økt mer enn CO₂-utslippet fra gods-bilene, og at denne utviklingen har vært særlig stor fra 1993. Det vil si at utslipp-effektiviteten målt i CO₂ pr tonnkm er økende (gram CO₂ pr tonnkm avtar).

Utviklingen skyldes, som vi tidligere har vært inne på, at det er de lange transportene som har økt mest i denne perioden, og at de lange transportene i større grad enn lokaldistribusjon utføres med store lastebiler som også har høyere utnyttelsesgrad enn gjennomsnittet ved nærdistribusjon.

4.1.3 Energibruk

Tabell 4.1.7 og 4.1.8 viser historisk utvikling i energibruk for godstransport på veg for ulike kjøretøystørrelser pr hhv vognkilometer og tonnkilometer. Gjennomsnittet er beregnet som et vektet snitt basert på samme metodikk som for utslipp-parametrene. Det vil si at vi har vektet etter transportarbeid, mens gjennomsnittet pr vognkm er avledet av gjennomsnittlig energibruk pr tonnkm for all godstransport på veg multiplisert med gjennomsnittlig lastmengde pr tur.

Tabell 4.1.7. Energibruk for godstransport på veg. Pr vognkm.

	Varebil, bensin MJ/km	Varebil, diesel MJ/km	Lastebil 1-5 tonn MJ/km	Lastebil 5-11 tonn MJ/km	Lastebil over 11 tonn MJ/km	All godstrans- port på veg MJ/km
1994	4,434	3,396	5,779	7,810	12,154	4,930
1998	4,407	3,348	5,519	7,413	11,410	4,706
2004	4,295	3,169	5,294	7,058	10,896	6,210
Årlig vekst 1994-2004	-0,32 %	-0,69 %	-0,87 %	-1,01 %	-1,09 %	2,33 %

TØI rapport 1047/2009

Tabell 4.1.8. Energibruk for godstransport på veg. Pr tonnkm.

	Varebil, bensin MJ/tkm	Varebil, diesel MJ/tkm	Lastebil 1-5 tonn MJ/tkm	Lastebil 5-11 tonn MJ/tkm	Lastebil over 11 tonn MJ/tkm	All godstrans- port på veg MJ/tkm
1994	21,767	15,252	7,224	2,441	1,293	2,041
1998	23,723	11,865	6,899	2,391	1,097	1,598
2004	33,163	44,059	6,618	1,908	1,018	1,838
Årlig vekst 1994-2004	4,30 %	11,19 %	-0,87 %	-2,43 %	-2,36 %	-1,04 %

TØI rapport 1047/2009

4.1.4 Oppsummering

Beregningene foran viser at det har vært en utvikling i retning økt utslipp pr vognkm i sum for all vegtransport, samtidig som utslipp pr tonnkm for hver størrelsesgruppe av biler er redusert. Dette skyldes at en økende andel av trafikkarbeidet utføres med de største bilene. Utslippet av CO₂ i gram pr tonnkm er avtakende med bilenes størrelse, fordi disse bilene har en gjennomsnittlig høyere utnyttelsesgrad enn små biler, samtidig som bilens stordriftsfordeler også spiller inn på energieffektivitet pr utført tonnkm.

4.1.5 Framskrevne utslippskoeffisienter

Vi har lagt til grunn fordelingen i kjørte km fra 2004 mellom kjøretøygrupper. For transportarbeidet har vi antatt en videre bedring i kapasitetsutnyttelsen representert ved fortsatt vekst i gjennomsnittlig lastvekt pr tur for de to største bilgruppene også for de kommende år. Veksten tilsvarer halvparten av den årlige veksten i lastmengde i perioden fra 1994 til 2004, og skal representere økt kapasitetsutnyttelse for bilene, og ikke at bilene blir større. Større biler ville isolert bidratt til økt utslipp pr vognkm, som ikke er ivaretatt i utviklingsbanene fra kapittel 2.

Energibruk og CO₂-koeffisienter pr kilometer og tonnkm for godsbilene framgår av tabell 4.1.9 til 4.1.11. Disse bygger på tabell 4.1.5 og 4.1.6, samt scenariene fra kapittel 2.5, i tillegg til forutsetningen om videre bedring av kapasitetsutnyttelse for de to største godsbilgruppene.

Referansebanen

Tabell 4.1.9. Energibruk og utslippsfaktorer for CO₂ for godstransport på veg, pr hhv vognkm og tonnkm. 2004-2050. Referansebanen.

	Varebil, bensin	Varebil, diesel	NL 1-5 tonn	NL 5-11 tonn	NL over 11 tonn	All godstransport på veg
Energibruk	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km
2004	33,16	44,06	6,62	1,91	1,02	1,84
2020	24,87	33,04	5,96	1,53	0,83	1,41
2035	23,21	30,84	5,62	1,23	0,67	1,17
2050	19,90	26,44	5,29	0,99	0,55	0,95
CO ₂ -koeffisienter	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
2004	307	235	390	520	802	427
2020	230	176	351	416	650	340
2035	215	164	331	317	501	286
2050	184	141	312	227	363	227
CO ₂ -koeffisienter	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm
2004	2368	3261	487	141	75	135
2020	1776	2446	439	100	55	97
2035	1658	2283	414	68	38	74
2050	1421	1957	390	44	25	54

TØI rapport 1047/2009

Lavutslippsalternativet

Tabell 4.1.10. Energibruk og utslippsfaktorer for CO₂ for godstransport på veg, pr hhv vognkm og tonnkm. 2004-2050. Lavutslippsalternativet.

	Varebil, bensin	Varebil, diesel	NL 1-5 tonn	NL 5-11 tonn	NL over 11 tonn	All godstransport på veg
Energibruk	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km
2004	33,16	44,06	6,62	1,91	1,02	1,84
2020	17,41	23,13	5,66	1,45	0,78	1,23
2035	11,61	15,42	5,34	1,17	0,64	0,94
2050	7,96	12,34	4,76	0,89	0,49	0,72
CO ₂ -koeffisienter	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
2004	307	235	390	520	802	427
2020	161	123	316	374	585	275
2035	64	49	282	269	426	181
2050	9	7	250	182	291	115
CO ₂ -koeffisienter	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm
2004	2368	3261	487	141	75	130
2020	1243	1712	395	90	49	78
2035	497	685	352	58	33	47
2050	71	98	312	35	20	27

TØI rapport 1047/2009

Kompromissalternativet

Tabell 4.1.11. Energibruk og utslippsfaktorer for CO₂ for godstransport på veg, pr hhv vognkm og tonnkm. 2004-2050. Kompromissalternativet.

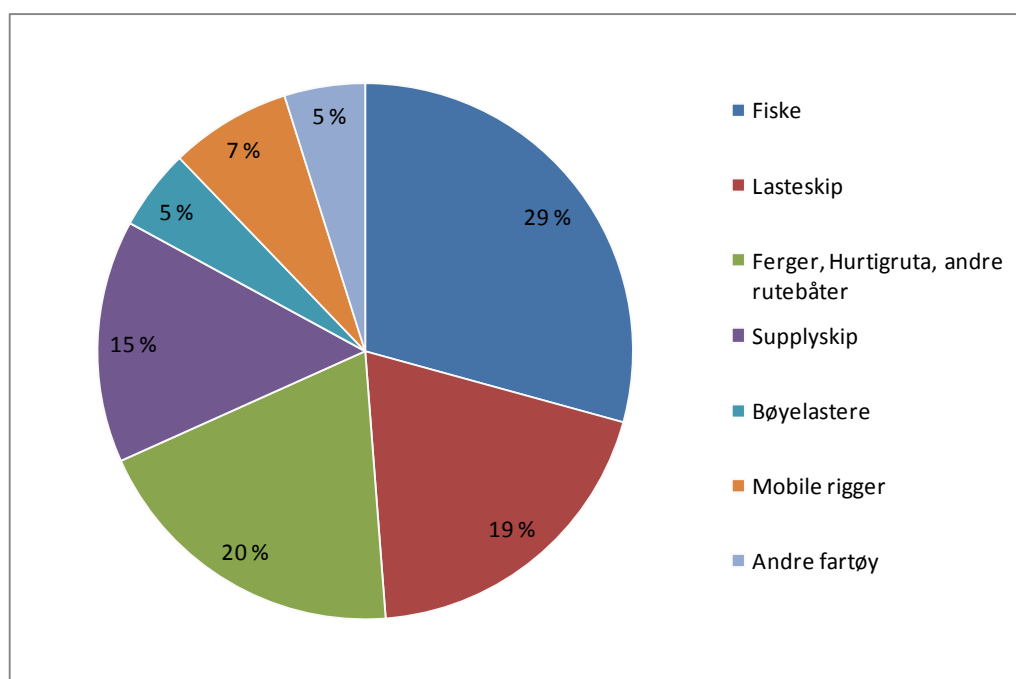
	Varebil, bensin	Varebil, diesel	NL 1-5 tonn	NL 5-11 tonn	NL over 11 tonn	All godstransport på veg
Energibruk	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km	MJ/km
2004	33,16	44,06	6,62	1,91	1,02	1,84
2020	18,65	24,78	5,96	1,53	0,83	1,30
2035	15,09	20,05	5,34	1,17	0,64	1,00
2050	11,94	15,86	5,03	0,94	0,52	0,80
CO ₂ -koeffisienter	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
2004	307	235	390	520	802	427
2020	161	123	351	416	650	297
2035	86	66	315	301	476	208
2050	37	28	296	216	345	149
CO ₂ -koeffisienter	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm
2004	2368	3261	487	141	75	135
2020	1243	1712	439	100	55	85
2035	663	913	394	65	36	54
2050	284	391	370	42	24	35

TØI rapport 1047/2009

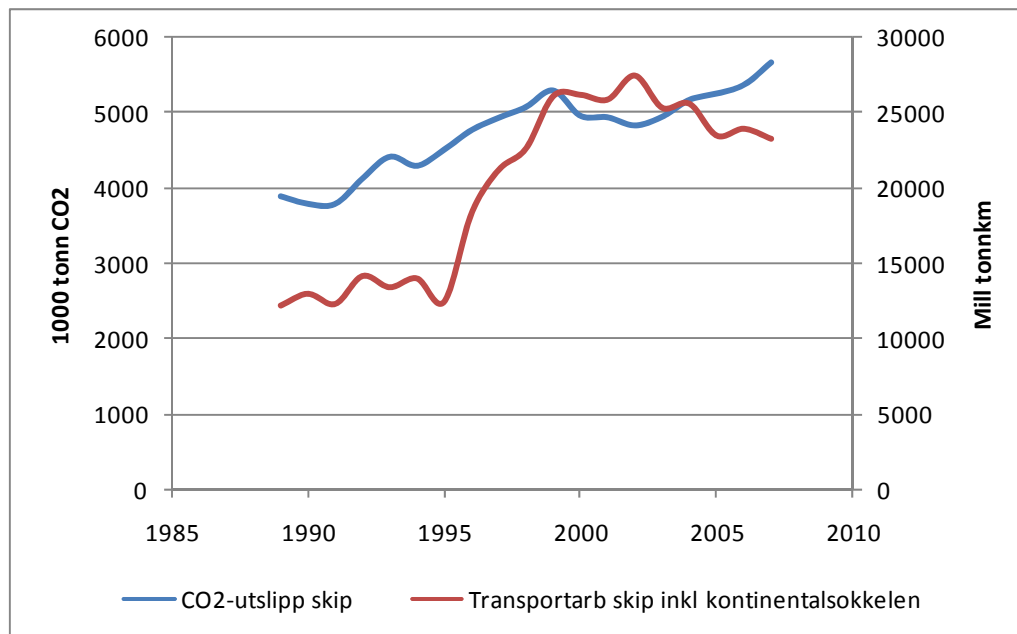
4.2 Sjøtransport

4.2.1 Historisk utvikling utslippskoeffisienter

Toutain har bare oppdaterte utslippsfaktorer for sjøtransport for ferge og Hurtigruten. Så vidt vi kjenner til er de siste beregninger av utslipp til luft fra norske skip som er fordelt på ulike typer av skip, gjennomført av SSB i 2001 basert på data for 1998 (Holtskog, 2001; Tornsjø, 2001). Begrunnelsen til Toutain et al for å ikke behandle godsskip i sin analyse, er at datagrunnlaget til å bestemme drivstofforbruket for skip er mangelfullt. Vi har derfor hentet informasjon fra de to over nevnte publikasjoner og laget et sammenstilt bilde for CO₂-utslipp fra sjøtransport for 1993 og 1998. I tillegg har vi tatt utgangspunkt i SSBs årlige beregninger av kildefordelte utslipp til luft, der utslipp fra innenriks sjøfart er dekomponert på 1) Kysttrafikk, 2) Fiske, 3) Mobile oljerigger, m.v. og 4) Småbåter. Kysttrafikken inkluderer i tillegg til lasteskip og oljerelatert aktivitet også ferger, Hurtigruten, passasjertrafikk og andre fartøy som redningsfartøy, forsvar og andre nyttefartøy. Toutain et al har beregnet CO₂-utslipp fra Riksvegfergene og Hurtigruten for 2004. Trekker vi dette ut av kategorien kysttrafikk, står vi igjen med et grovt anslag på utslipp fra lasteskip inkludert supplyskip, bøyelastere, forsvar, redningsskip og andre statlige skip. Siste tre kategorier utgjorde kun 5 % av utslippet fra sjøtransport i 1998 (framgår av figur 4.2.1), og utslippsnivået (ikke andelen) var konstant fra 1993 til 1998. Vi har antatt konstant utvikling også til 2004, og trukket ut 0,3 mill CO₂. Utvikling i CO₂-utslipp fra godstransport med skip for perioden 1989 til 2007, er da som følger i hht figur 4.2.2.



Figur 4.2.1. CO₂-utslipp fra godsskip i 1998, fordelt på kilde. Kilde: Holtskog (2001).



TØI rapport 1047/2009

Figur 4.2.2. Utvikling i CO₂-utslipp fra godsskip (1000 tonn) og innenriks transportarbeid med skip, inkludert transport til og fra kontinentalsokkelen (mill tonnkm).

Det framkommer av figur 4.2.2 at det har vært en kraftig forbedring i CO₂-utslipp fra godstransport med skip i forhold til utvikling i transportarbeid fra 1995 til 1999, men fra 2003 er CO₂-utslippene økt samtidig som transportarbeidet er redusert. Den viktigste forklaringen til reduksjonen i transportarbeidet med skip fra 2003 er redusert transportarbeid med bøyelastere som følge av økt rørtransport.

Energibruk, drivstoffeffektivitet og utslipp for årene 1994, 1998 og 2004 er framstilt i tabell 4.2.1, der CO₂-utslippet i 2004 er estimert på grunnlag av utviklingen fra 1998 til 2004.

Tabell 4.2.1. Energibruk (MJ/tkm) og drivstoff- og CO₂-effektivitet i gram pr tonnkm, sjøtransport (*legger til grunn at 1 passkm=86,5 tonnkm, ** 1 passkm = 1 tonnkm).

	Energibruk			Drivstoffeffektivitet			CO ₂ -effektivitet		
	1993	1998	2004	1993	1998	2004	1993	1998	2004
	MJ/tkm	MJ/tkm	MJ/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm	g/tkm
Alle skip eks bøyelastere og forsyningsskip < 3000 BT	1,20	1,83		28	42	NA	111	150	76
25-100 BT	27,16	25,57		630	593	NA	1 998	1 881	947
101-500 BT	1,95	2,76		45	64	NA	144	203	102
501-3000 BT	1,23	1,35		29	31	NA	91	99	50
>3000 BT	0,59	1,77		14	41	NA	88	160	81
Forsyningsskip < 3000 BT	4,53	1,04		105	24	NA	306	77	52
Bøyelastere	0,15	0,21		3	5	NA	11	16	16
Alle skip	1,05	0,80		24	19	NA	87	74	57
Ferger*	18,10	14,48	14,39	420	336	334	1 331	1 065	1 059
Ferger**	9,13	8,02	8,48			197	669	588	621
Hurtigruta (SSB)*	15,25	15,34	18,48	354	356	429	1 122	1 129	1 360
Hurtigruta (SSB)**	10,66	10,46	5,02			117	781	767	367

TØI rapport 1047/2009

Ikke uventet er det store variasjoner fra år til år for de ulike skipstyper, noe som reflekterer at det er stor usikkerhet i datamaterialet. Sett i forhold til SSBs beregninger av årlig CO₂-utslipp og utvikling i transportytelsene fra 1993 til 1998 virker utviklingen i CO₂-utslipp pr tonnkm i tabell 4.2.1 å være rimelig.

Tabell 4.2.2. Utvikling i utslippseffektivitet pr tonnkm. 1993=100 %.

	1993-1998	1998-2004	1993-2004
Alle skip eks bøyelastere og forsyningskip < 3000 BT	35,4 %	-49,7 %	-31,8 %
25-100 BT	-5,9 %	-49,7 %	-52,6 %
101-500 BT	41,3 %	-49,7 %	-28,8 %
501-3000 BT	9,1 %	-49,7 %	-45,1 %
>3000 BT	81,9 %	-49,7 %	-8,4 %
Forsyningskip < 3000 BT	-74,9 %	-32,7 %	-83,1 %
Bøyelastere	46,4 %	4,6 %	53,1 %
Alle skip	-15,0 %	-23,1 %	-34,7 %
Ferger	-20,0 %	-0,6 %	-20,5 %
Hurtigruta	0,6 %	20,5 %	21,2 %

TØI rapport 1047/2009

Det framkommer at Hurtigruta og Bøyelastere er de eneste skipskategoriene der utslipp pr tonnkm er økt fra 1993 til 2004.

Siden det er betydelig usikkerhet i utslippsfaktorene for innenriks sjøfart, har vi supplert informasjonen med utslippsfaktorer utarbeidet av finske VTT i 2007. De har lagt til grunn en betydelig mer detaljert inndeling i skipstyper enn de tidligere norske tallene, og benytter inndeling som framgår av tabell 4.2.3. Vi har også lagt til en kategorisering av skipene om de hovedsakelig benyttes til innenriks- eller utenriksfart.

Tabell 4.2.3. Skipstyper som det foreligger utslippsfaktorer for fra VTT.

	Innenriks	Utenriks
1. Container-skip, 1 000 TEU		X
2. Container-skip, 2 000 TEU (not in the Baltic Sea)		X
3. Container-skip, 14 000 TEU (not in the Baltic Sea)		X
4. Roro, trailer capacity 150		X
5. Roro, papir-transport		X
6. Ferge		X
7. Utenlandsferge, trailerkapasitet 300		X
8. Ropax, trailerkapasitet 300		X
9. Bilskip		X
10. Bulkskip, medium	X	X
11. Bulkskip, large	X	X
12. Slepebåt, stor	X	
13. Slepebåt, liten	X	
14. General cargo, small	X	
15. General cargo, Multi purpose carrier	X	
16. Tankskip for råolje, short voyage	X	X
17. Tankskip for råolje, long voyage		X
18. Tankskip, product carrier, short voyage	X	X
19. Tankskip, product carrier, long voyage	X	X
20. Tankskip for kjemikalier	X	X

TØI rapport 1047/2009

VTT har ikke laget anslag for gjennomsnittlige utslippsfaktorer for skip som er veid med seilte km eller utført transportarbeid med hver skipstype. Utslippsfaktorene for skip som hovedsakelig benyttes til innenrikstransport framgår i tabell 4.2.4.

Tabell 4.2.4. Energibruk og utslippsfaktorer i 2007 for ulike skipstyper fra VTT.

Kilde: <http://www.lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/indexe.htm>

	Drivstoffbruk [g/tkm]	Energibruk [MJ/tkm]	CO ₂ g pr tkm
Bulk carrier, medium	4,9	0,2	16
Bulk carrier, large	3,3	0,14	10
Pusher barge, large	5,3	0,22	17
Pusher barge, small	7,4	0,3	24
General cargo, small	8,2	0,34	26
General cargo, Multi purpose carrier	8,5	0,35	27
Tanker, crude carrier, short voyage	2,0	0,083	6,5
Tanker, crude oil, long voyage	1,6	0,065	5,1
Tanker, product carrier, short voyage	5,6	0,23	18
Tanker, product carrier, long voyage	3,9	0,16	12
Tanker, chemicals	16,0	0,66	51

Sammenliknet med anslagene for 2004 fra tabell 4.2.1, er utslippskoeffisientene fra VTT konsentrert i den nedre delen av skalaen. I gjennomsnitt for alle skip viser våre beregninger en gjennomsnittlig utslippskoeffisient på 57 gram pr tonnkm, mens alle skipsklasser i VTTs beregninger har lavere utslippskoeffisienter enn dette. Det illustrerer at nedjusteringen fra 1998 til 2004 i tabell 4.2.1 virker rimelig, med mindre de finske skipene enten er større eller nyere enn de norske.

4.2.2 Framskrevne utslippskoeffisienter

Fremskriving av utslippsfaktorer pr tonnkm for skipene bygger på tabell 4.2.1, samt scenarioene i kapittel 2.5.

Det er ikke lagt til grunn noen endringer i kapasitetsutnyttelsen for skipene i de ulike scenarioene, siden vi ikke har historisk informasjon om endringer i kapasitetsutnyttelse for skip. Slike forbedringer vil komme i tillegg til anslagene i tabell 4.2.5.

Vi har i alle scenariene lagt til grunn at 1 passkm = 1 tonnkm for ferge og Hurtigruten, som tilsvarer forutsetningene i scenarioene for persontransport.

Tabell 4.2.5. Utvikling energibruk og CO₂-utslipp fra godstransport med skip. 2004-2050. Referansescenariet.

Referanse	Energibruk MJ/tkm				Utslippskoeffisienter i g/tkm			
	2004	2020	2035	2050	2004	2020	2035	2050
Alle skip eks forsynings-skip og bøyelastere	1,83	1,83	1,74	1,65	76	76	71	66
25-100 BT	25,56	25,56	24,29	23,01	947	947	890	833
101-500 BT	2,76	2,76	2,62	2,49	102	102	96	90
501-3000 BT	1,35	1,35	1,28	1,21	50	50	47	44
>3000 BT	1,77	1,77	1,68	1,59	81	81	76	71
Forsyningsskip < 3000 BT	1,04	1,04	0,99	0,94	52	52	49	45
Bøyelastere	0,21	0,21	0,20	0,19	16	16	15	14
Alle skip	0,80	0,80	0,76	0,72	57	57	53	50
Ferger	8,48	8,48	8,06	7,63	621	621	584	546
Hurtigruta	5,02	5,02	4,77	4,52	367	367	345	323

TØI rapport 1047/2009

 Tabell 4.2.6. Utvikling energibruk og CO₂-utslipp fra godstransport med skip. 2004-2050. Lavutslippsscenarioet.

Lavutslipp	Energibruk MJ/tkm				Utslippskoeffisienter i g/tkm			
	2004	2020	2035	2050	2004	2020	2035	2050
Alle skip eks forsyningsskip og bøyelastere	1,83	1,74	1,48	1,32	76	68	57	50
25-100 BT	25,56	24,29	20,64	18,41	947	852	712	625
101-500 BT	2,76	2,62	2,23	1,99	102	92	77	68
501-3000 BT	1,35	1,28	1,09	0,97	50	45	38	33
>3000 BT	1,77	1,68	1,43	1,28	81	72	61	53
Forsyningsskip < 3000 BT	1,04	0,99	0,84	0,75	52	46	39	34
Bøyelastere	0,21	0,20	0,17	0,15	16	15	12	11
Alle skip	0,80	0,76	0,64	0,57	57	51	43	37
Ferger	8,48	8,06	6,85	6,11	621	559	467	410
Hurtigruta	5,02	4,77	4,05	3,61	367	330	276	242

TØI rapport 1047/2009

Tabell 4.2.7. Utvikling energibruk og CO₂-utslipp fra godstransport med skip. 2004-2050. Kompromisscenariet.

Kompromiss	Energibruk MJ/tkm				Utslippskoeffisienter i g/tkm			
	2004	2020	2035	2050	2004	2020	2035	2050
Alle skip eks forsyningsskip og bøyelastere	1,83	1,74	1,56	1,32	76	72	57	47
25-100 BT	25,56	24,29	21,86	18,41	947	900	712	583
101-500 BT	2,76	2,62	2,36	1,99	102	97	77	63
501-3000 BT	1,35	1,28	1,15	0,97	50	47	38	31
>3000 BT	1,77	1,68	1,51	1,28	81	76	61	50
Forsyningsskip < 3000 BT	1,04	0,99	0,89	0,75	52	49	39	32
Bøyelastere	0,21	0,20	0,18	0,15	16	16	12	10
Alle skip	0,80	0,76	0,68	0,57	57	54	43	35
Ferger	8,48	8,06	7,25	6,11	621	590	467	383
Hurtigruta	5,02	4,77	4,29	3,61	367	349	276	226

TØI rapport 1047/2009

4.3 Luftfart

4.3.1 Historikk

Utslipp og energibruk

Drivstofforbruket i sivil innenlandsk luftfart økte med 44 prosent fra 194 000 tonn i 1989 til 280 000 tonn i 2007.

Transportytelser

Ved å multiplisere antall passkm med 0,0865 som i Toutain får vi et anslag for transportarbeid i tonnkilometer knyttet til persontransport. Antall tonnkm knyttet til passasjertransport inkludert bagasje utgjorde 214 mill tonnkm i 1989 og 414 mill tonnkm i 2007, mens antall tonnkm knyttet til post og frakt var 18 mill tonnkm i 1989 og 19 mill i 2007. Godsandelen av utnyttet tonnasje sank dermed fra 8 prosent i 1989 til 4 prosent i 2007.

Anslag for kapasitetsutnyttelsen som andel av ATK (disponible tonnkm) ble utarbeidet av Luftfartsverket til og med 2002, og økte fra 50 prosent i 1984 til 58 prosent i 2002. Det har ikke vært mulig å få oppdaterte tall for senere år. Grunnlagsmaterialet for denne typen statistikk innhentes nå av Luftfartstilsynet.

Forskjellen mellom kabinfaktor (passkm/ASK) og kapasitetsutnyttelse (tonnkm/ATK) har vært nesten identisk med andelen av tonnkm som er knyttet til frakt. Ved å legge til grunn det samme i årene etter 2002 får vi en tidsserie helt frem til 2007 da kapasitetsutnyttelsen ut fra dette lå på 62 prosent.

Dermed får vi anslag for hele perioden som viser en økning på 52 prosent fra 459 mill ATK i 1989 til 697 mill i 2007.

Utslipp og energibruk per transportytelse

Etter å ha skilt mellom persontransport med helikopter, persontransport med fly og godstransport med fly kan vi beregne utslipp og energiforbruk per

transportenhet for årene 1989-2007 i tabell 4.3.1 I tabellen er det forutsatt at energiforbruk og CO₂-utslipp for helikopter ligger fast på 9 MJ/pkm og 650 g CO₂/pkm i hele perioden.

Tabell 4.3.1 Energiforbruk, utslipp og transportytelser innenlands godstransport med fly. Historikk 1989-2007.

År	Energi	Tonnkm	ATK	Belegg	Energi	CO ₂	CO ₂
Enhet	PJ	Mill	Mill	%	MJ/tkm	kg/tkm	kg/ATK
1989	0,58	18	459	50	31,9	2,33	1,18
1990	0,61	19	477	53	32,6	2,38	1,26
1991	0,59	18	492	51	33,3	2,44	1,24
1992	0,58	18	519	53	31,7	2,31	1,22
1993	0,60	21	532	56	28,5	2,08	1,18
1994	0,63	20	616	52	31,1	2,27	1,19
1995	0,67	21	672	50	31,9	2,33	1,18
1996	0,70	22	730	51	32,4	2,37	1,20
1997	0,65	20	729	52	33,0	2,41	1,25
1998	0,61	19	783	51	32,1	2,35	1,19
1999	0,67	19	845	49	35,6	2,60	1,27
2000	0,60	19	824	51	31,3	2,29	1,18
2001	0,59	18	789	52	32,5	2,38	1,24
2002	0,47	16	674	58	29,2	2,13	1,23
2003	0,58	18	670	55	32,2	2,36	1,30
2004	0,51	17	685	57	30,2	2,21	1,26
2005	0,43	18	698	58	24,1	1,76	1,02
2006	0,45	18	705	60	25,0	1,83	1,10
2007	0,48	19	697	62	25,0	1,83	1,14
Årl.vekst	-1,1 %	0,2 %	2,3 %		-1,3 %	-1,3 %	-0,2 %

TØI rapport 1047/2009

Av en årlig energieffektivisering på 1,3 prosent årlig siden 1989 skyldes 1,1 prosent økt kapasitetsutnyttelse.

4.3.2 Fremskrivning

Scenariene for godstransport tilsvarer scenariene for persontransport pga persontransportens dominerende andel av transportarbeidet i luftfart. Resultatene er gjengitt i tabell 4.3.2.

Tabell 4.3.2. Energiforbruk og utslipp per transportytelse for innenlands godstransport med fly. Historikk 1989-2007 og scenarier 2020-50.

Enhet	Drivstoff g/ATK	Energi. MJ/ATK	CO ₂ . kg/ATK	Kap.utnytt %	Drivstoff kg/tkm	Energi MJ/tkm	CO ₂ kg/tkm
År	<i>Historikk</i>						
1989	373	16,1	1,18	50	740	31,9	2,33
1998	379	16,3	1,19	51	746	32,1	2,35
2007	361	15,6	1,14	62	581	25,0	1,83
	<i>Referansescenario</i>						
2020	253	10,9	0,80	62	407	17,5	1,28
2035	228	9,8	0,72	62	366	15,8	1,15
2050	202	8,7	0,64	62	325	14,0	1,02
	<i>Kompromissscenario</i>						
2020	235	10,1	0,74	65	360	15,5	1,13
2035	200	8,6	0,63	65	306	13,2	0,96
2050	164	7,1	0,52	65	252	10,9	0,79
	<i>Lavutslippsscenario</i>						
2020	217	9,3	0,68	65	332	14,3	1,05
2035	173	7,5	0,55	68	254	11,0	0,80
2050	130	5,6	0,41	70	185	8,0	0,58

TØI rapport 1047/2009

4.4 Jernbane

4.4.1 Historisk utvikling utslippskoeffisienter

CargoNet sto for nærmere 100 % av godstransportarbeidet med jernbane i 2004. Også for godstransport med jernbane har vi hentet informasjon om utvikling i energiforbruk og utslippsfaktorer fra Toutain et al. (2008), samt energiregnskap fra NSB for årene 2004 og 2007. Begge kilder skiller mellom transportarbeid utført med hhv elektrisk og dieseldrevet jernbane.

Energibruk og transportarbeid for godstransport med jernbane for årene 1998 og 2004 er framstilt i tabell 4.4.1.

Tabell 4.4.1. Energibruk og transportarbeid, godstransport på jernbane.

	Elektrisk tog			Dieseltog			Sum transport- arbeid Mill tkm
	Energi- forbruk MJ	Transport- arb Mill tkm	Energibruk/ tkm MJ/tkm	Energi- forbruk MJ	Transport- arb Mill tkm	Energibruk/ tkm MJ/tkm	
1998	393076	1824	0,215	427237	597	0,716	2421
2004	396569	1670	0,237	311047	548	0,566	2218
2007	410540	2111	0,194	287456	558	0,515	2669
Årlig endring							
1998-2007	0,5 %	1,6 %	-1,1 %	-4,3 %	-0,7 %	-3,6 %	1,1 %

TØI rapport 1047/2009

Det er vanlig å anta 0-utslipp ved bruk av elektrisk jernbane i Norge fordi Norge stort sett er selvforsynt med elektrisitet fra norske vannkraftverk. Norge importerte elektrisk energi tilsvarende 7 % pr år i perioden 1998-2004. Den norske elektrisitetsmiksen tilsvarer utslipp på 7 g CO₂ pr kWh. Vi har i likhet med persontogene antatt 0 CO₂-utslipp for elektriske tog. Dette fører til

utslippskoeffisienter for jernbane som framkommer av tabell 4.4.1, der vi har laget anslag for utslipp i gjennomsnitt for all jernbanetransport, basert på utført transportarbeid med hhv elektrisk tog og dieseltog fra tabell 4.4.2.

Tabell 4.4.2. Utslippskoeffisienter (CO₂) i g/tkm for godstransport med jernbane.

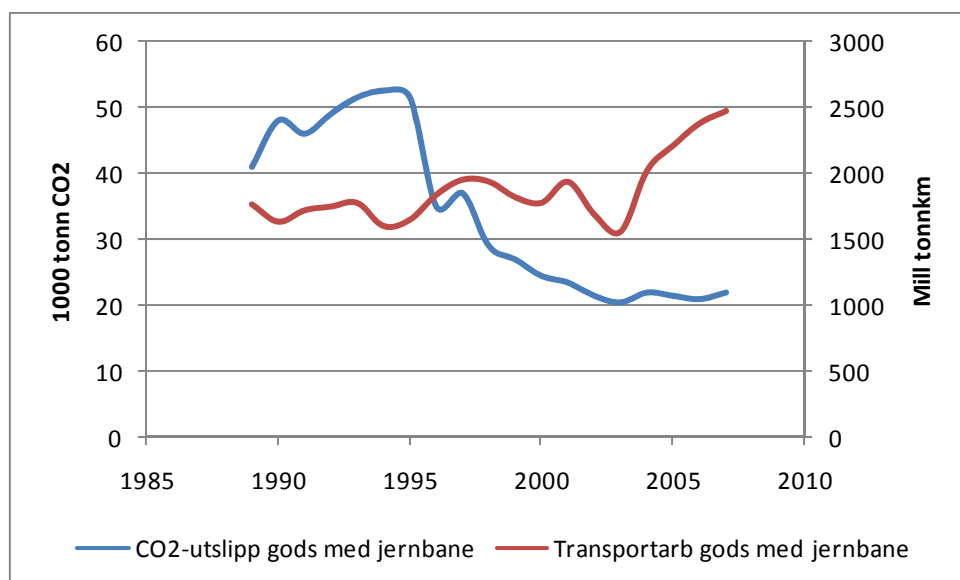
	Elektrisk tog CO ₂	Dieseltog CO ₂	Alle tog CO ₂
1998	0,0	52,6	13,0
2004	0,0	49,6	12,2
2007	0,0	45,0	9,4
Årlig endring 1998-2007	0,00 %	-1,73 %	-3,51 %

TØI rapport 1047/2009

Det framkommer at utslippseffektivitet for dieseldrevne godstog er forbedret med 1,73% pr år fra 1998 til 2007. Gjennomsnittlig utslippskoeffisient for all godstransport med jernbane er ytterligere redusert, fordi andelen av transportarbeidet som utføres med elektriske tog øker.

For godstransport med jernbane finnes det ingen informasjon om utvikling i kapasitetsutnyttelse eller informasjon om gjennomsnittlig lastmengde pr togtur. Det finnes heller ingen oversikt over utkjørte km med jernbanetransport i Norge, som gjør at man kunne beregnet utvikling i gjennomsnittlig lastmengde for hvert tog slik vi har beregnet for lastebil. Vi antar derfor konstant kapasitetsutnyttelse for jernbane i prognoseårene.

I figur 4.4.1 har vi tatt utgangspunkt i SSBs beregninger av utslipp av CO₂ fra innenriks jernbane, samt innenriks transportarbeid (i mill tonnkm) med jernbane, for perioden 1989 til 2007.



TØI rapport 1047/2009

Figur 4.4.1. Utvikling i CO₂-utslipp (1000 tonn) og transportarbeid (mill tonnkm) for godstransport på jernbane.

Det framkommer av figuren at CO₂-utslippet fra innenriks godstransport med jernbane er redusert fra 1995 til 2007, mens transportarbeidet har økt. Det vil si at det for jernbane har vært en økende utslippseffektivitet i perioden fra 1993 til 2007.

4.4.2 Framskrevne utslippskoeffisienter

Energieffektivisering

Fra 1998 til 2007 er energibruken for de elektriske godstogene redusert med nesten 10 %, som tilsvarer en årlig endring på 1,1 %. Til sammenlikning er persontogene blitt 32 prosent mer energieffektive over en periode på 19 år (som tilsvarer en årlig økning på 1,5 %). Det er liten grunn til å tro at utviklingen vil stoppe opp i 2007.

Vi antar tilsvarende reduksjon i strømforbruk (15 prosent) for elektriske tog som følge av energiøkonomisk kjøring, energiforbruk i parkerte tog og klimaenergiøkonomisering som for persontogene. Dette tilsvarer 1,2 prosents årlig forbedring og innebærer at trenden siden 1998 i hovedsak blir videreført til 2020.

Scenarier for energieffektivisering

Vi legger til grunn 3 scenarier for energieffektivisering. I scenarioene reduseres energiforbruket for elektriske tog med 15 prosent til 2020. I referansescenariet er energiforbruket etter 2020 konstant. I lavutslippsscenarioet forsvinner CO₂-utslippene i 2050 som følge av full elektrifisering. Vi har lagt til grunn en lineær reduksjon i dieselandelen fra 2007 til 2050. I kompromissalternativet har vi antatt at dieselandelen i 2020, 2035 og 2050 ligger mellom referansescenariet og lavutslippsscenarioet. Dette fører til en utvikling i dieselandel som følger av tabell 4.4.3.

Tabell 4.4.3 Antatt utvikling i dieselandel for godstransport på jernbane i de tre scenariene.

	Referanse	Lavutslipp	Kompromiss
1998	24,6 %	24,6 %	24,6 %
2004	24,7 %	24,7 %	24,7 %
2007	20,9 %	20,9 %	20,9 %
2020	20,9 %	14,6 %	17,7 %
2035	20,9 %	5,1 %	13,0 %
2050	20,9 %	0,0 %	10,5 %

TØI rapport 1047/2009

For dieseldrevne tog har vi lagt til grunn samme utvikling i energi- og CO₂-effektivitet som for de tunge bilene, som framgår av kapittel 5.2. Dette fører til scenarier for energibruk og CO₂-utslipp pr tonnkm for godstransport på jernbane som framgår av tabell 4.4.4.

Tabell 4.4.4. Scenarier for energibruk og CO₂-utslipp pr tonnkm fra godstransport på jernbane. 2004-2050.

		Elektrisk tog				Dieseltog				Alle tog			
Referanse:		2007	2020	2035	2050	2007	2020	2035	2050	2004	2020	2035	2050
Energibruk	MJ/tkm	0,19	0,17	0,14	0,12	0,51	0,46	0,39	0,32	0,26	0,23	0,19	0,16
CO ₂ /tkm	g/tkm	0,00	0,00	0,00	0,00	44,98	40,48	34,41	27,53	9,41	8,46	7,20	5,76
Lavutslipp:													
Energibruk	MJ/tkm	0,19	0,14	0,11	0,09	0,51	0,44	0,37	0,28	0,26	0,18	0,12	0,09
CO ₂ /tkm	g/tkm	0,00	0,00	0,00	0,00	44,98	36,43	29,25	22,02	9,41	5,32	1,49	0,00
Kompromiss:													
Energibruk	MJ/tkm	0,19	0,14	0,11	0,10	0,51	0,46	0,37	0,30	0,26	0,20	0,15	0,12
CO ₂ /tkm	g/tkm	0,00	0,00	0,00	0,00	44,98	40,48	32,69	26,15	9,41	7,19	4,25	2,73

TØI rapport 1047/2009

Referanser

- Andersen, O. (2006). *Transport, miljø og kostnader*. VF-notat nr 15/2006, Vestlandsforskning 2006.
- Andersson, E og Lukaszewicz, P. (2006): *Energy consumption and related air pollution for Scandinavian electric passenger trains*. Report KTH/AVE 2006:46. Stockholm 2006
- Avinor (2008): *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart*.
- Boeing (2009): *Evaluation of Bio-Derived Synthetic Paraffinic Kerosene (Bio-SPK)*. Dr. James D.Kinder and Timothy rahmes. The Boeing Company.
- Bonilla, D og Foxon, T. (2009): *Demand for New Car fuel Economy in the UK, 1970 – 2005*. Journal of Transport Economics and Policy, Volme 43, Part 1, January 2009, pp. 55-83.
- Denstadli et al (2006): *Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2005 – nøkkelrapport*. TØI-rapport 844/2006.
- EU kommisjonen:
http://ec.europa.eu/enterprise/automotive/pagesbackground/pollutant_emission/index.htm
- Enova Næring (2008): <http://naring.enova.no/sitepageview.aspx?articleID=2304>
- Finansdepartementet (2007): *Bilavgifter, hvordan kan en på en best mulig måte prise de samfunnsøkonomiske kostnadene som veitrafikken forårsaker?* Rapport fra interdepartemental arbeidsgruppe.
- Mekonnen Germiso (2007): *Energieffektive høyhastighetstog*. Arbeidsnotat 11/2007. Fremtiden i våre hender.
- Flugsrud, K og Rypdal, K (1996): *Utslipp til luft fra innenriks sjøfart, fiske og annen sjøtrafikk mellom norske havner*. SSB-rapport 17/1996.
- Future Climate – Engineering Solutions (2009): Joint report
<http://ida.dk/sites/climate/sider/default.aspx>
- Holtskog, S (2001): *Direkte energibruk og utslipp til luft fra transport i Norge 1994 og 1998*. SSB-rapport 16/2001.
- Institutt for energiteknikk (2006): *Reduserte klimagassutslipp 2050: Teknologiske kiler – innspill til Lavutslippsutvalget*. IFE-rapport 02/2006. IPCC. 2007 .
<http://www.ipcc.ch/>
- Johansen, Kjell Werner og Knut Sandberg Eriksen (1991): *Alternative avgiftssystemers effekt på bilhold, bilutskifting og utslipp*. TØI notat 963/91.
- Johansen, K. W. (2003): *Beskrivelse av data for bilsalgets sammensetning 1992-2001 til bruk i estimering av fordelingsmodell*. TØI arbeidsdokument TØI/1489/2003.

- Johansen, K. W. (2005): *Utarbeiding av bilbestands- og trafikkarbeidsmatriser til bruk i SFTs arbeid med nasjonalt Støymål*. TØI arbeidsdokument TØ/1821/2005.
- Johansen, K. W. (2006): *Bilgenerasjonsmodell - Beregningsgang med Excel filer*. TØI arbeidsdokument TØ/1841/2003.
- Lian m.fl.(2007): *Bærekraftig og samfunnsnytting luftfart*. TØI rapport 921/2007.
- NOU 2006:18: *Et klimavennlig Norge*.
- Nutell, Robert, Rolls Royce (2007): *Aviation in 2040: A look back into the Future*. Innlegg på Institute of Economic Affairs' 15th Annual Conference: "The Future of Air Transport" London, 3-4 desember 2007.
- OECD (2004): *Can Cars Come Clean? Strategies for low-emission vehicles*.
- Opplysningsrådet for Veitrafikken (2008): *Evaluering av avgiftsomleggingen i 2007*. OFV Rapport nr 1 – Mars 2008.
- Ragnøy, A. (1999): *BIG – Bilgenerasjonsmodell versjon 1*. TØI rapport 427/1999.
- Reis H. J og Santos Silva J.M.C (2006): *Hedonic prices indexes for new passenger cars in Portugal (1997-2001)*. Economic Modelling 23 (2006) pp 890 - 908.
- Rideng, A og Strand, S (2004): *Transportytelser for små godsbiler*. TØI-rapport 720/2004.
- Rideng og Vågane (2008): *Transportytelser i Norge 1946-2007*. TØI-rapport 979/2008.
- Ryan L. Ferreira S. og Cobvery F. (2009): *The impact of fiscal and other measures on new passenger car sales and CO₂ emissions intensity: Evidence from Europe*. Energy Economics 3 (2009) pp 365-374.
- Schlaupitz, H. (2008): *Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer. Effekter ved bygging av høyhastighetsbaner i Norge*. Norges Naturvernforbund Rapport 3/2008.
- SFT (2007): *Reduksjon av klimagasser i Norge. En tiltaksanalyse for 2020*.
- Smokers et al (2006): *Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce Co₂ emissions from passenger cars*. Rapport fra TNO (NL), IEEP – Institute for European Environmental Policy (UK) og LAT – Laboratory of Applied Thermodynamics (GR) til EU – kommisjonen.
- Thune-Larsen H (1991): *Teknologiske perspektiver for energieffektivitet og klimagassutslipp i transport 1985-2025*. TØI-notat 0991/1991.
- Thune-Larsen, Madslien og Lindjord (1997): *Energieffektivitet og utslipp i transport*. TØI-notat 1078/1997.
- Thune-Larsen, Torvanger og Sandberg-Eriksen (2009): *Virkningene i Norge av å inkludere luftfart i EU ETS*. TØI-Rapport 1018/2009.
- Tornsjø, B (2001): *Utslipp til luft fra innenriks sjøfart, fiske og annen sjøtrafikk mellom norske havner*. SSB-rapport 6/2001.
- Toutain, Taarneby og Selvig (2008): *Energiforbruk og utslipp til luft fra innenlandsk transport*. SSB rapport 2008/49.

UIC and CER (2008): *Rail Transport and Environment – FACTS & FIGURES*. Community of European Railway and Infrastructure Companies (CER) og International Union of Railways (UIC). November 2008.

Vågane, Liva (2006): *Bilhold og bilbruk i Norge*. Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2005. TØI-rapport 856/2006.

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gaustadalléen 21
NO 0349 Oslo

Telefon: 22 57 38 00
Telefaks: 22 60 92 00
E-post: toi@toi.no

www.toi.no



**Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning**

- utfører forskning til nytte for samfunn og næringsliv
- har rundt 70 forskere med høy, flerfaglig samferdselskompetanse samarbeider med en rekke samfunnsinstitusjoner, forsknings- og undervisningssteder i Norge og i utlandet
- gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag av høy kvalitet innen områder som trafiksikkerhet, kollektivtransport, miljø, reisevaner, reiseliv, planlegging, beslutningsprosesser, transportøkonomi og næringslivets transporter
- driver aktiv forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, Internett, tidsskriftet Samferdsel og andre nasjonale og internasjonale tidsskrifter
- deltar i CIENS, Forskningscenter for miljø og samfunn, i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo