



**TØI rapport  
413/1998**

# **Alternativ transportteknologi**

**Reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp fra transportsektoren**

**Trond Jensen**

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.

ISSN 0802-0175  
ISBN 82-480-0072-9

Oslo, desember 1998

---

**Tittel:** Alternativ transportteknologi - Reduserte CO2-utslipp fra transportsektoren

**Forfatter(e):** Trond Jensen

TØI rapport 413/1998  
Oslo, 1998-12  
90 sider  
ISBN 82-480-0072-9

ISSN 0808-1190

**Finansieringskilde:**

Norges forskningsråd

**Prosjekt:** 2421 Reduserte CO2-utslipp fra transportsektoren ved anvendelse av alternativ transportteknologi

**Prosjektleder:** Trond Jensen

**Kvalitetsansvarlig:** Harald Minken

**Emneord:**

CO2-utslipp; CO2-avgift; transportteknologi; modell; makroøkonomi; generell likevekt; klimapolitikk; elektriske biler; hybridbiler; brenselceller; gassdrift; alkoholdrift; biodiesel

**Sammendrag:**

Formålet er å belyse hvordan alternativ transportteknologi kan bidra til å redusere transportspesifikke- og totale CO2-utslipp i Norge. Et viktig spørsmål er om anvendelse av miljøvennlig transportteknologi kan redusere den samfunnsøkonomiske kostnaden ved å gjennomføre en norsk klimapolitikk. Batteridrevne biler og hybridbiler er de teknologiene som på kort sikt (fram til år 2010) best vil kunne bidra til lavere CO2-utslipp fra transportsektoren. Det mest realistiske alternativet på kort sikt er sannsynligvis en miks der en anvender elektriske biler i de deler av markedet disse fungerer (budbiler og leveranse i by), og hybridteknologi i den del av markedet som er villig til å betale for miljøteknologi.

---

**Title:** Alternative transport technology - Reduced CO2-emissions from the transport sector

**Author(s):** Trond Jensen

TØI report 413/1998  
Oslo: 1998-12  
90 pages  
ISBN 82-480-0072-9

ISSN 0808-1190

**Financed by:**

The Research Council of Norway

**Project:** 2421 Reduced CO2-emissions from the transport sector by using alternative transport technology

**Project manager:** Trond Jensen

**Quality manager:** Harald Minken

**Key words:**

CO2-emission; CO2-tax; transport technology; model; macroeconomics; general equilibrium; climate policy; electrical vehicles; hybrid vehicles; fuel cell vehicles; alcohol driven vehicles; bio diesel; gas driven vehicles

**Summary:**

The purpose is to shed light on how new transport technology can make a contribution to reducing transport-specific and overall CO2-emissions in Norway. An important question is whether the use of eco-friendly transport technology can reduce the socio-economic cost of implementing a Norwegian climate policy.

**Language of report:** Norwegian

---

Rapporten kan bestilles fra:  
Transportøkonomisk institutt, Biblioteket  
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo  
Telefon 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

---

The report can be ordered from:  
Institute of Transport Economics, The library  
Gaustadalleen 21, NO 0349 Oslo, Norway  
Telephone +47 22 57 38 00 - [www.toi.no](http://www.toi.no)

---

# Forord

Denne rapporten inngår som en del av forskningsrådsprogrammet KLIMATEK (Teknologi for reduksjon av klimagassutslipp). Som en del av det samme prosjektet er det tidligere utgitt en rapport fra Teknologisk Institutt (Skedsmoe og Hagman, 1998) som gir bakgrunnsdata til denne rapporten. Foreliggende rapport belyser sammenhengen mellom ny og alternativ transportteknologi, CO<sub>2</sub>-utslipp og økonomisk aktivitet.

Prosjektet har vært gjennomført i 1998 med Trond Jensen som prosjektleder i samarbeid med spesialrådgiver Rolf Hagman og spesialrådgiver Arild Skedsmo ved Teknologisk Institutt. Prosjektets referansegruppe har bestått av Erik Amundsen ved Universitetet i Bergen, Erling Moxnes fra Stiftelsen for Samfunns- og næringslivsforskning i Bergen, Hans-Roar Sørheim fra Christian Michelsens institutt i Bergen, Jan Erik Lindjord fra Samferdselsdepartementet og Erling Holden fra Vestlandsforskning. Vi vil takke medlemmene av referansegruppen for nyttige innspill og kommentarer underveis.

Rapporten er ført i pennen av Trond Jensen. Forskningsleder Harald Minken har hatt ansvaret for kvalitetssikringen. Laila Aastorp Andersen har stått for den endelige tekstbehandlingen av rapporten.

Oslo, desember 1998

TRANSPORTØKONOMISK INSTITUTT

*Knut Østmoe*  
instituttssjef

*Harald Minken*  
forskningsleder



# Innhold

<b>Sammendrag</b> .....	I
<b>Summary</b> .....	i
<b>1 Innledning</b> .....	1
<b>2 Bakgrunn</b> .....	3
<b>3 Metode</b> .....	5
<b>4 CO<sub>2</sub>-utslipp og CO<sub>2</sub>-avgiftens betydning</b> .....	8
4.1 CO <sub>2</sub> -utslipp i transportsektoren.....	9
4.2 Kostnader ved å redusere utslippet av CO <sub>2</sub> .....	12
4.3 Markedsvirkninger.....	14
<b>5 Modellen</b> .....	16
<b>6 Alternativ transportteknologi</b> .....	19
6.1 Alternative teknologiske transportløsninger.....	19
6.2 Tekniske koeffisienter for alternativ transportteknologi.....	22
6.2.1 Personbiler.....	22
6.2.2 Tunge biler.....	26
6.2.3 Tog, bane, fly og skip.....	28
6.2.4 Konklusjon for videre analyser.....	30
<b>7 Introduksjonstakten for alternativ transportteknologi</b> .....	31
<b>8 Beregninger og resultater</b> .....	38
8.1 Referansebanen (BAU) og basisalternativet (BASIS).....	39
8.2 Virkning av alternativ transportteknologi på det nasjonale CO <sub>2</sub> utslippet uten klimapolitikk eller nye CO <sub>2</sub> -avgifter.....	42
8.3 Virkningen av alternativ transportteknologi ved en generell CO <sub>2</sub> -policy og anslag for en ikke-stimulert teknologisk utvikling i transportteknologi.....	48
8.3.1 Resultater for 2010.....	50
8.3.2 Resultater for 2020.....	51
8.4 Virkningen av alternativ transportteknologi ved en generell CO <sub>2</sub> -policy og anslag for en stimulert teknologiske utvikling i transport.....	55
8.4.1 Resultater for 2010.....	56
8.4.2 Resultater for 2020.....	58
<b>9 Konklusjon</b> .....	61
<b>10 Litteraturliste</b> .....	65
<b>Vedlegg:</b>	
Vedlegg 1: Referansebanen (BAU) og basisalternativet (BASIS-alternativet).....	69
Vedlegg 2: Produksjon av transport i GODMOD.....	83
Vedlegg 3: Sektorinndeling.....	89

---



**Sammendrag:**

# **Alternativ transportteknologi**

## **Reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp fra transportsektoren**

I denne rapporten ser vi på ulike aspekter ved anvendelse av alternativ og "miljøvennlig" transportteknologi i tilknytning til CO<sub>2</sub>-utslipp fra transportsektoren. Formålet er å belyse hvordan transportteknologi kan bidra til å redusere transportspesifikke- og totale CO<sub>2</sub>-utslipp i Norge. Et viktig spørsmål er om anvendelse av miljøvennlig transportteknologi kan redusere den samfunnsøkonomiske kostnaden ved å gjennomføre en norsk klimapolitikk, for eksempel i forbindelse med Kyoto-avtalen. Vi har også forsøkt å finne ut hvilke teknologier som på kort og langt sikt er best egnet til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet i transportsektoren, og i hvilken grad sterkere miljøkrav i seg selv fremskynder anvendelse av alternativ transportteknologi.

Alternativ miljøvennlig transportteknologi omfatter motorteknologi og nye drivstoffsystemer med lave eller ingen CO<sub>2</sub>-utslipp. Elektriske- og gassdrevne biler kan for eksempel fjerne eller gi lavere CO<sub>2</sub>-utslipp i forhold til dagens alternativer. I prosjektet har vi vurdert ulike alternative teknologier i ulike deler av transportsektoren, og er kommet frem til fire typer som har noe for seg i sammenheng med CO<sub>2</sub>-politikk.

Prosjektet består av to deler. Første del, som er en oversikt over utviklingen av forskjellige teknologiske transportløsninger fram til 2020, er nærmere dokumentert av Teknologisk Institutt (Skedsmoe og Hagman, 1998), og i en nedkortet versjon i kapittel 6 i denne rapporten. I den andre delen har vi gjennomført makroøkonomiske modellberegninger for å finne ut hvilke utsikter alternativ transportteknologi gir for den norske klimapolitikken og de nasjonale CO<sub>2</sub>-utslippene.

Uansett fra hvor og fra hvilken sektor utslippet kommer, er konsekvensen av det menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslippet den samme. Siden CO<sub>2</sub>-utslipp blant annet skyldes forbrenning av fossil energi, kan ensidige miljøtiltak innen transportsektoren få utilsiktede virkninger gjennom energibruk i andre sektorer. Anvendelse av elektriske biler vil for eksempel redusere CO<sub>2</sub>-utslippet fra transportsektoren, men mer fossil energi gjøres samtidig via reduserte priser tilgjengelig til boligoppvarming og andre energikrevende formål. Dette medfører at CO<sub>2</sub>-utslippet kan flyttes fra transport til disse sektorene. Det er dermed hensiktsmessig (minst kostbart) å se alle CO<sub>2</sub>-utslipp i sammenheng og utforme en felles geografisk uavhengig klimastrategi for alle sektorer (i den grad dette er mulig).

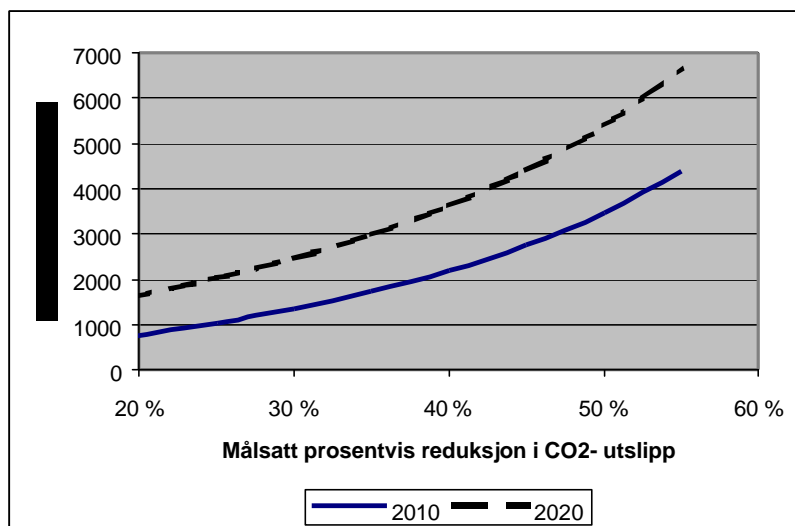
Utgangspunktet vårt er at det er en dårlig løsning å fokusere ensidig på dyre CO<sub>2</sub>-tiltak i transportsektoren dersom like gode resultater kan oppnås til lavere kostnad innen andre sektorer, eller dersom problemene gjennom substitusjonsvirkninger blir flyttet til andre sektorer. Ved å benytte en makroøkonomisk likevektsmodell får vi

tatt hensyn til alle slike forhold. Beregningene i dette prosjektet er gjennomført med makromodellen GODMOD (Jensen og Eriksen, 1997).

En klimapolitisk målsetning om å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet krever lavere forbruk av karbonholdige varer og energi. En slik begrensning i økonomien har en "skyggekostnad" som kan betraktes som marginalkostnaden ved å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet med en enhet til, gitt at vi er like ved å nå målsetningen. Marginalkostnaden øker progressivt med ambisjonsnivået (noe som er vist i figur 1).

Beliggenhet og helning for marginalkostnadskurven avhenger blant annet av transportteknologi. Hvis vi introduserer ny teknologi med lavere CO<sub>2</sub>-utslipp, vil kurven skifte nedover mot høyre, og kurvens krumning kan endres. Hvordan ny og alternativ transportteknologi vil skifte kurven, avhenger både av miljøegenskaper og av den relative kostnaden ved teknologien.

Figur 1. Sammenheng mellom CO<sub>2</sub>-avgift og en målsetning om en viss prosentvis reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet i forhold til forventet utslippsnivå i år 2010, BASIS-alternativet, 1992 kroner.



Før vi kommer inn på teknologiberegningene, skal vi si litt om utgangspunktet for disse, som er en referansebane (BAU= business as usual) med uendret politikk som beskriver utviklingstrekk for norsk økonomi frem til 2020. I BAU stilles det ingen krav til klimapolitikken. Vi benytter BAU som utgangspunkt for å beregne et BASIS-alternativ, der det er satt et mål for klimapolitikken. Målet, som er å redusere det nasjonale utslippet av CO<sub>2</sub>, gjennomføres ved en lik avgift på alle CO<sub>2</sub>-utslipp (utenom utenriks sjøfart). Verken i BAU eller BASIS-alternativet finnes det alternativ transportteknologi.

Forutsetningene i BAU gir en årlig vekst i BNP på 2,7% mellom 1992 og 2010. Veksten reduseres til 1,9% per år mellom 2010 og 2020. I perioden 1992 til 2010 øker privat konsum med 3,2% per år, og deretter med 2,3% per år mellom 2010 og 2020. Beregningene gir et totalt CO<sub>2</sub>-utslipp på 47.2 millioner tonn i BAU i 2010.

Figur 1 viser sammenhengen mellom CO<sub>2</sub>-avgift og oppnådde reduksjoner i CO<sub>2</sub>-utslippet i årene 2010 og 2020 i BASIS-alternativet. Den prosentvise reduksjonen i



CO<sub>2</sub>-utslippet både i 2010 og i 2020 (vist langs den horisontale akse) regnes i forhold til det forventede utslippsnivået i år 2010.

Målsetningen om å overholde en øvre målsetning for CO<sub>2</sub>-utslippet på 1% over 1990-nivå (Kyoto-avtalen) tilsvarer en reduksjon i utslippet på 19% i forhold til det forventede utslippet i 2010. Dette reduserer BNP med 0,5% i 2010 og 0,7% i 2020 i forhold til BAU. BNP-tapet øker til 4,1% ved 55% reduksjon i utslippet i 2010 og tilsvarende 5,0% for å overholde det samme utslippsnivået i 2020.

To ulemper gjør at alternativ transportteknologi ikke benyttes i stort omfang. For det første er teknologien kostbar, og dernest finnes det en rekke praktiske ulemper med den (for eksempel kort rekkevidde og lang ladetid for elektriske biler). Disse forholdene motiverer ikke transportbrukere til å anvende alternativ teknologi, og ulempene må kompenseres gjennom krav til utslipp, fysiske tiltak eller gjennom økonomiske tiltak i form av avgifter og tilskudd som favoriserer slik teknologi.

I prosjektet ser vi på to ulike tilnæringer til implementeringen av alternativ transportteknologi. I det første tilfellet studerer vi ensidige tiltak i transportsektoren der virkemidlet er rene driftstilskudd til alternativ teknologi. I det andre tilfellet implementeres teknologien som en del av strategien i en helhetlig klimapolitikk. *Beregningene er utført separat for hver teknologi slik at virkningene ikke er additive.*

En faktor som i lang tid vil begrense effekten av tiltak rettet mot anvendelse av alternativ transportteknologi, er utskiftingstakten for bilparken. Biler har normalt en levetid på ca 17 år, og overgangen til ny transportteknologi vil derfor ta tid. I tillegg vil bare et fåtall av de nye bilene som kjøpes de nærmeste ti årene være annet enn tradisjonelle bensin- og dieslbiler. Dette medfører at vi ikke kan vente at mer enn maksimalt 20% av bilparken under noen omstendighet består av annet enn bensin- og dieslbiler i år 2010, og maksimalt 50-60% i år 2020. Basert på forskjeller i anvendbarhet og introduksjonstidspunkt vil disse tallene variere en god del med de forskjellige teknologiene. Dette er spesielt utslagsgivende for brenselcelleteknologien, som ikke vil være i praktisk bruk før tidligst mellom år 2005 og 2010. Disse faktorene har vi tatt hensyn til i alle beregningene, noe som blant annet medfører at brenselcelleteknologien kommer dårlig ut i analysene.

Vi ser først på ensidige økonomiske tilskudd til alternativ transportteknologi som virkemiddel for å kompensere høye kostnader i beregninger basert på BAU. Klimapolitiske virkemidler (som for eksempel CO<sub>2</sub>-avgiften i BASIS-alternativet) er dermed ikke benyttet i disse beregningene. Tabell 1 viser de nødvendige tilskuddene for hver teknologi for at den skal konkurrere kostnadsmessig med tradisjonell teknologi.

*Tabell 1. Nødvendig subsidie for utjevning av kostnadsulempe for ulike teknologialternativer i prosent av total langsiktig driftskostnad.*

	Personbiler		Tunge biler	
	2010	2020	2010	2020
<b>Elektrisk, batteri</b>	15%	00%	30%	20%
<b>Hybrid</b>	15%	15%	35%	31%
<b>Gass</b>	20%	20%	20%	20%
<b>Hydrogen</b>	40%	40%	50%	50%

Tabell 2. Beregnet prosentvis andel av totale kjøretøykilometer vi får utført med alternative teknologier i 2010 og 2020 ved generelle driftstilskudd til teknologien.

	2010				2020			
	Elektrisk	Hybrid	Gass	Hydrogen	Elektrisk	Hybrid	Gass	Hydrogen
Drosje	-	-	-	-	-	-	-	-
Leiebil <10 tonn	26 %	27 %	19 %	0,7 %	72 %	74 %	64 %	16 %
Leiebil 10-15 tonn	25 %	26 %	18 %	0,7 %	72 %	73 %	63 %	16 %
Leiebil >15 tonn	25 %	25 %	18 %	0,7 %	71 %	72 %	62 %	16 %
Rutebil/buss	-	-	-	-	-	-	-	-
Egenbil <10 tonn	25 %	26 %	18 %	0,7 %	72 %	73 %	63 %	16 %
Egenbil 10-15 tonn	25 %	-	-	0,7 %	-	-	62 %	15 %
Egenbil >15 tonn	-	-	-	-	-	-	-	15 %
Personbil	14 %	26 %	14 %	1,0 %	52 %	77 %	51 %	7 %

Tabell 2 viser hvor stor del av det totale antall kjøretøykilometer vi får utført med alternative teknologier ved å subsidiere disse teknologiene i BAU-scenariet. Virkningene på transportspesifikt og totalt CO<sub>2</sub>-utslipp er vist i tabell 3, mens tabell 4 viser kostnaden ved å gjennomføre tiltakene i form av tapt privat konsum.

Konklusjonen er at isolerte tiltak for å få innført alternativ transportteknologi (vist i tabell 4) er kostbare å gjennomføre, men potensialet for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene gjennom anvendelse av miljøvennlig transportteknologi er bra (vist i tabell 3). I det følgende skal vi se at kostnaden kan snus til en gevinst dersom vi anvender miljøvennlig transportteknologi som en del av en generell klimastrategi i stedet for som isolerte CO<sub>2</sub>-tiltak i transportsektoren.

Tabell 3. Reduksjon av CO<sub>2</sub> utslipp ved anvendelse av alternative transportteknologier.

	2010				2020			
	Elektrisk	Hybrid	Gass	Hydrogen	Elektrisk	Hybrid	Gass	Hydrogen
Total reduksjon	-2,0 %	-1,0 %	-0,1 %	-0,1 %	-5,7 %	-2,1 %	-0,8 %	-0,9 %
Utslppsreduksjon fra personbil	-14,2 %	-11,3 %	-1,2 %	-1,2 %	-51,5 %	-32,0 %	-6,4 %	-6,8 %
Utslppsreduksjon fra tunge biler	-4,3 %	-1,7 %	-0,2 %	-0,1 %	-8,3 %	-3,9 %	-3,5 %	-3,8 %

Tabell 4. Kroner i reduksjon i privat konsum per kilo CO<sub>2</sub> reduksjon.

	2010	2020
Elektrisk	6,57	4,62
Hybrid	19,57	22,34
Gass	8,89	13,91
Hydrogen	12,49	18,48

I de neste beregningene introduseres alternativ transportteknologi i BASIS-alternativet, som har en klimapolitisk målsetning. Ved konservative anslag på teknologit utviklingen i transportsektoren framstår bare batteridrevne personbiler som en både miljøvennlig og kostnadseffektiv teknologi i år 2010, sammenliknet med tradisjonell transportteknologi. Introduksjon av batteridrevne biler reduserer CO<sub>2</sub>-

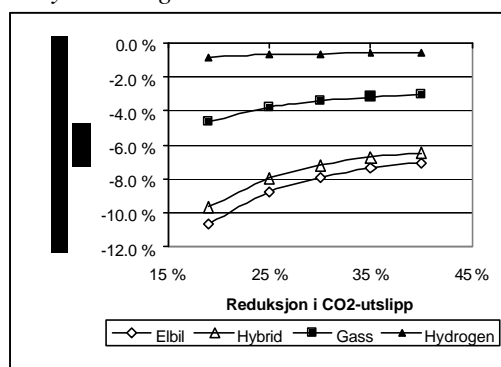
avgiften med 9% i forhold til BASIS-alternativet ved reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet på 19% i forhold til det forventete utslippet i 2010 (Kyoto-kravet). Vi finner liten effekt på BNP. Ved en reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslippet på 40% i forhold til det forventete utslippet i 2010, er BNP-gevinsten i forhold til BASIS-alternativet relativt lite, bare 0,1%.

Innen 2020 er også personbiler med brenselcelle (hydrogen) og personbiler med hybridteknologi et miljøvennlig og kostnadseffektivt alternativ til tradisjonelle personbiler (fortsett ved konservative anslag på teknologiutviklingen i transport). Ved en reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet til et nivå som tilsvarer 19% reduksjon i forhold til utslippet i 2010, vil introduksjon av batteridrevne personbiler redusere CO<sub>2</sub>-avgiften med 20% i forhold til BASIS-alternativet. Den tilsvarende effekten for hybridbilene er 15% og hydrogenbilene 2%. Effekten på BNP blir noe sterkere enn i beregningene for 2010 (0,3% BNP-gevinst for batteri- og hybridbilene).

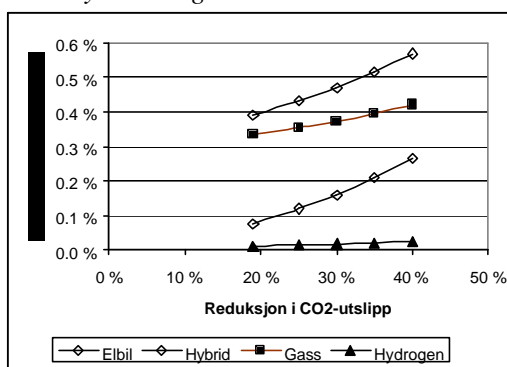
Innen tungtransport og sjø-, bane- og lufttransport er utslippsgevinsten fra alternative teknologier for liten i forhold til teknologikostnadene, selv med optimistiske teknologiforventninger. Den beste klimastrategien innen tungtransport på vei og all transport på sjø, bane og i luft er videreutvikling av dagens løsninger, noe en kan forsterke gjennom nye utslippskrav.

I de siste beregningene har vi tatt utgangspunkt i optimistiske anslag på den teknologiske utviklingen innen transportsektoren. Miljøegenskapene til alternativ transportteknologi forutsettes da å utvikle seg fortere (er bedre), og kostnadene relativt til tradisjonell transportteknologi er vesentlig lavere. Dette medfører alt i all gunstigere resultater for alternativ transportteknologi. Vi må samtidig bemerke at de optimistiske anslagene på teknologiutvikling også gjelder tradisjonell transportteknologi. Anslagene vil derfor også påvirke BASIS-alternativet som heretter omtales som BASIS(+).

Figur 2. Prosentvis endring i CO<sub>2</sub>-avgift i år 2010 i forhold til BASIS(+), optimistiske anslag for utvikling av ny teknologi.



Figur 3. Prosentvis endring i BNP i år 2010 i forhold til BASIS(+), optimistiske anslag for utvikling av ny teknologi.

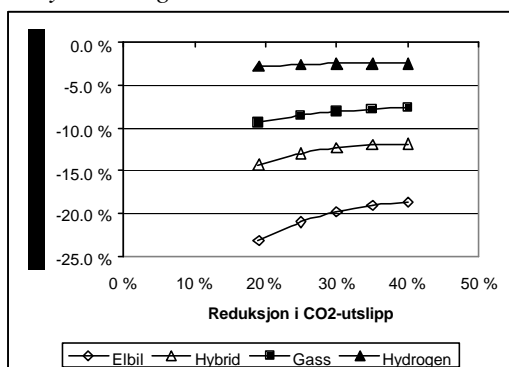


For det første finner vi nå ut at både batteridrevne-, brenselcelle-, hybrid- og gassbiler er miljøvennlige og kostnadseffektive alternativer til tradisjonelle bensin- og dieslbiler innen personbilmarkedet allerede i år 2010 ved Kyoto-kravet. Der- nest ser vi at alle de fire teknologiene reduserer CO<sub>2</sub>-avgiftene i forhold til BASIS-

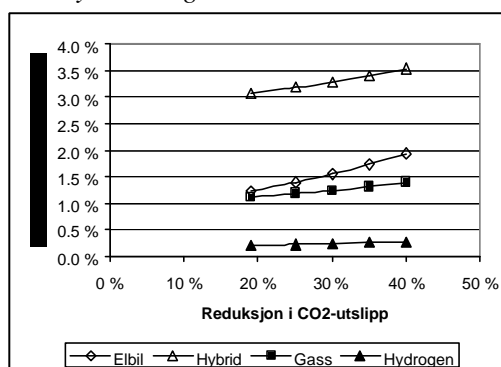
alternativet. Figur 2 viser effektene på avgiften i 2010, og figur 4 viser effektene på avgiften i 2020.

Effektene på BNP er gunstigere enn i de tidligere tilfellene. BNP-gevinsten i forhold til BASIS-alternativet i 2010 er vist i figur 3. Figur 5 viser BNP-gevinsten i 2020.

Figur 4. Prosentvis endring i CO<sub>2</sub>-avgift i år 2020 i forhold til BASIS(+), optimistiske anslag for utvikling av ny teknologi.

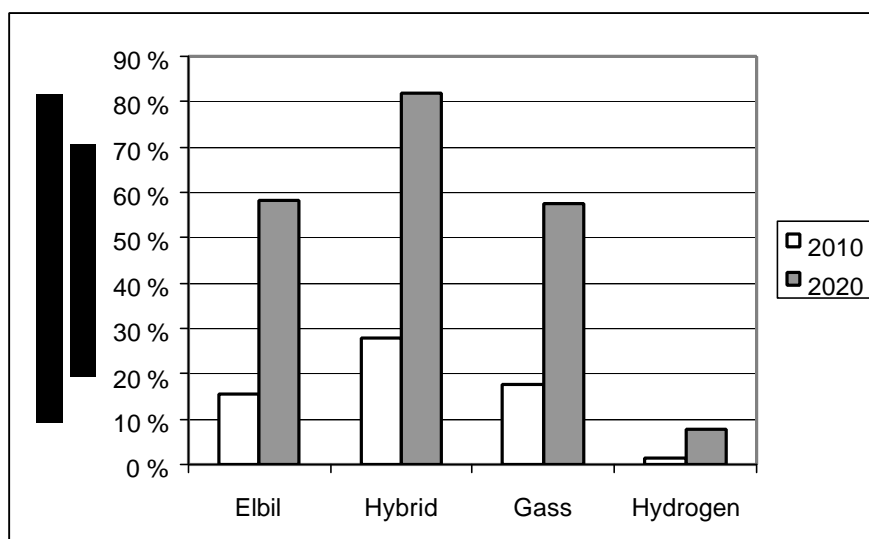


Figur 5. Prosentvis endring i BNP i år 2020 i forhold til BASIS(+), optimistiske anslag for utvikling av ny teknologi.



Transportteknologienes virkning på CO<sub>2</sub>-avgift og på BNP må sees i sammenheng med anvendelsesgraden for teknologialternativene. I figur 6 har vi som eksempel vist hvor stor andel av transport med personbil som utføres med de ulike teknologiene ved krav om at utslippet av CO<sub>2</sub> ikke skal overstige 19% av det forventete utslippet i 2010. (Andelene øker med maksimalt 1% i år 2010 og 3% i år 2020 når kravet til redusert utslipp økes til 40%.)

Figur 6. Andel av transport med personbil utført med ulike transportteknologier ved 19% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet i forhold til det forventete utslippet i 2010.



Batteridrevne biler og hybridbiler er de teknologiene som på kort sikt (frem til år 2010) best vil kunne bidra til lavere CO<sub>2</sub>-utslipp fra transportsektoren. Men batteri-

drevne biler vil, på grunn av dårlig rekkevidde og lang ladetid, bare i begrenset grad fungere annet enn i spesielle nisjer. Vår tro på hybridbilene styrkes av de meget gunstige inntektseffektene vi ser i forbindelse med denne teknologien (figur 3). Det mest realistiske alternativet på kort sikt er sannsynligvis en miks der en anvender elektriske biler i de deler av markedet disse fungerer (budbiler og leveranse i by), og hybridteknologi i den del av markedet som er villig til å betale for miljøteknologi. Men en stor del av transporten frem til år 2010 i personbilmarkedet vil fortsatt betjenes av tradisjonelle bensin- og dieselmotorer, men med vesentlig bedre miljøegenskaper gjennom bedre forbrenningssystem, kraftoverføring og renseteknologi.

På langt sikt kan man håpe at hydrogenteknologien modnes og at lagringsproblemer med hydrogen løses. Men kostnadene og energiforbruket er relativt høyt for denne teknologien, noe som svekker vår tro på hydrogenløsningen som middel til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene. Som et alternativ tror vi at batteridrevne biler vil kunne få bedre rekkevidde og kortere ladetid, og vil da kunne utgjøre et bra alternativ, kanskje til og med et bedre når en tar energiforbruk og energikostnad i betraktning. Det er imidlertid hybridbilene som gir den beste inntektsvirkningen (BNP), også i perspektivet frem mot 2020 (figur 5).



**Summary:**

# **Alternative transport technology**

## **Reduced CO<sub>2</sub>-emissions from the transport sector**

In this report we look at various aspects of alternative and "eco-friendly" transport technologies in connection with CO<sub>2</sub> emissions from the transport sector. The purpose is to shed light on how transport technology can make a contribution to reducing transport-specific and overall CO<sub>2</sub>-emissions in Norway. An important question is whether the use of eco-friendly transport technology can reduce the socio-economic cost of implementing a Norwegian climate policy, for example in connection with the Kyoto Protocol. We have also attempted to find out the technologies which in the short and long term are best suited to reducing CO<sub>2</sub>-emissions in the transport sector, and to which degree more stringent environmental standards per se will hasten the introduction and use of alternative transport technology.

Alternative eco-friendly transport technology comprises motor technology and new fuel systems with low or no CO<sub>2</sub>-emissions. Electric and gas-powered cars can for example remove or yield lower CO<sub>2</sub> emissions compared with current alternatives. In the project we have evaluated various alternative technologies in various parts of the transport sector, and have arrived at four types that have something to offer in connection with CO<sub>2</sub>-policy.

The project consists of two parts. The first part, which is an overview of the development of different technological transport solutions until 2020, is documented in further detail by the National Institute of Technology (Skedsmoe and Hagman, 1998), and in an abbreviated version in Chapter 6 of this report. In the second part we have conducted macroeconomic model calculations to determine what alternative transport technology can offer vis-à-vis Norwegian climate policy and national CO<sub>2</sub>-emissions.

Regardless of wherever and from whichever sector the emissions emanate, the consequences of human-generated CO<sub>2</sub>-emissions are the same. Since CO<sub>2</sub>-emissions are caused inter alia by the burning of fossil energy, unilateral measures to protect the environment in the transport sector may cause unintended effects through energy usage in other sectors. The use of electric cars will for instance reduce CO<sub>2</sub> emissions from the transport sector, but more fossil energy would then be made available for home heating and other energy-intensive purposes. This means that CO<sub>2</sub> emissions could be transferred from transport to these sectors. Consequently, it is appropriate (least costly) to look at all CO<sub>2</sub> emissions as a whole and draft a joint geographically independent climate strategy for all sectors (to whatever degree possible).

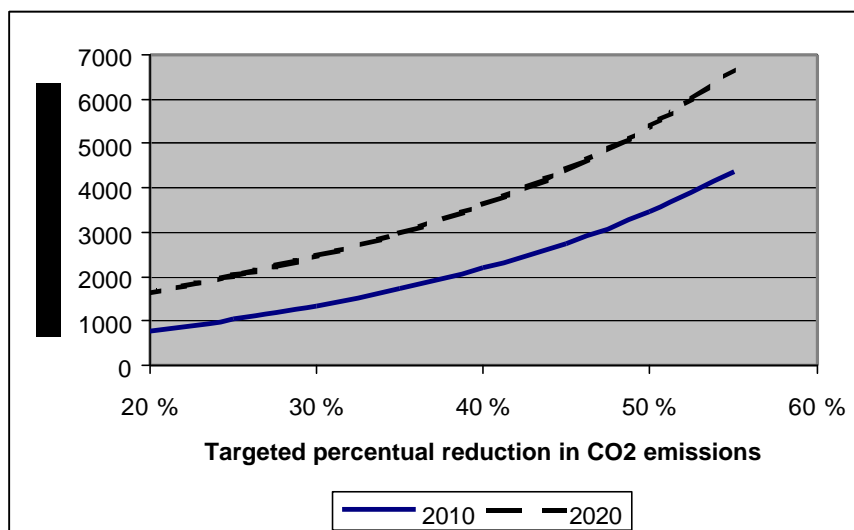
It is a poor solution to focus one-sidedly on expensive CO<sub>2</sub> measures in the transport sector if equally good results can be achieved at a lower cost in other

sectors, or if the problems through substitution effects would be transferred to other sectors. To take such factors into consideration we use the computable general equilibrium model GODMOD (Jensen and Eriksen, 1997).

A climate policy goal to reduce CO<sub>2</sub>-emissions requires reduced consumption of carbon-containing goods and energy. Such a restriction in the economy has a "shadow cost" which can be regarded as the marginal cost of reducing CO<sub>2</sub>-emissions by one more unit, given that we have already almost achieved the goal. The marginal cost increases progressively with the ambition level (shown in Figure 1).

The location and incline of the marginal cost curve depends inter alia on transport technology. If we introduce new technology with lower CO<sub>2</sub> emissions, the curve will shift downwards to the right and the curvature of the curve may be changed. How new and alternative transport technology will change the curve depends both on the environmental characteristics and on the relative cost of the technology.

Figure 1. The connection between CO<sub>2</sub> tax and targeted percentage reduction in CO<sub>2</sub> emissions relative to projected emission levels in the year 2010, BASIS alternative, 1992 kroner.



Before discussing the technology calculations, we will say something about the departure point for these, which is a reference path (BAU= business as usual) describing the development of the Norwegian economy until 2020. There is no climate policy goal in BAU. We use BAU as a point of departure to calculate a BASIS alternative with climate policies. The goal in the BASIS alternative, which is to reduce national emissions of CO<sub>2</sub>, will be implemented with an equal tax on all CO<sub>2</sub> emissions (excluding international shipping). There is no alternative transport technology in either the BAU or BASIS alternative.

The BAU assumptions give on an annual GDP growth rate of 2.7% between 1992 and 2010. The growth is reduced to 1.9% per year between 2010 and 2020. In the period 1992 to 2010 private consumption increases by 3.2% per year, followed by 2.3% per year between 2010 and 2020. The calculations yield CO<sub>2</sub> emissions totalling 47.2 millions tonnes in BAU in 2010.



Figure 1 shows the connection between CO<sub>2</sub> taxes and the achieved reductions in total CO<sub>2</sub>-emissions in the years 2010 and 2020 in the BASIS alternative. The targeted percentage reduction in CO<sub>2</sub>-emissions both in 2010 and 2020 (shown along the horizontal axis) is relative to the projected emission level in the year 2010 in BAU.

The goal of complying with an overall CO<sub>2</sub> emission target of 1% above the 1990 level (the Kyoto Protocol) is equivalent to reducing emissions by 19% compared with projected emissions in 2010. This will reduce GDP by 0.5% in 2010 and 0.7% in 2020 in relation to BAU. GDP losses increase to 4.1% with if a 55% reduction in emissions in 2010 is sought and correspondingly 5.0% to maintain the same emission level in 2020.

Two drawbacks have curtailed the large-scale use of alternative transport technology. First, the technology is costly and secondly a number of practical problems are associated with it (e.g. short range and long recharging time for electric cars). These circumstances do not motivate transport users to use alternative technology, and the disadvantages must be compensated through emission standards, physical measures or through economic measures in the form of taxes and subsidies favouring such technology.

In the project we study two different approaches to the implementation of alternative transport technology. In the first case we study unilateral measures in the transport sector in the forms of pure operating subsidies for alternative technologies. In the second case the technology is implemented as a part of an overall climate policy strategy. *The calculations were done separately for each technology so that the effects were not additive.*

One factor which for a long time will limit the effect of measures directed at the use of alternative transport technology is the rate at which vehicles will be replaced. Cars normally have a lifetime of c. 10 years and the transition to new transport technology will therefore take time. In addition, only a minority of the new vehicles purchased over the next 10 years will be other than traditional gasoline and diesel-powered vehicles. This means that we cannot expect that more than a maximum of 20% of car stocks will under any circumstance consist of other than gasoline and diesel-powered cars in the year 2010, and maximum 50-60% in the year 2020. Based on differences in applicability and time of introduction, these figures will vary considerably across the various technologies. This is particularly true of fuel cell technology, which will not be in practical use before between 2005 and 2010 at the earliest. We have taken these factors into consideration in all calculations, which inter alia means that fuel cell technology does not do well in the analyses.

We look first at sector specific economic subsidies for alternative transport technology as a means of compensating for high costs in the BAU-scenario. Climate policy instruments (such as the CO<sub>2</sub> tax in the BASIS-alternative) are therefore not used in these calculations which are based on BAU. Table 1 shows the necessary subsidies for each technology to enable it to compete in terms of costs with traditional technology.

*Table 1. Necessary subsidy for evening out cost disadvantages for various technology alternatives, in per cent of total long-term operating costs.*

	Cars	Heavy vehicles
--	------	----------------

	2010	2020	2010	2020
<b>Electric, battery</b>	15%	00%	30%	20%
<b>Hybrid</b>	15%	15%	35%	31%
<b>Gas</b>	20%	20%	20%	20%
<b>Hydrogen</b>	40%	40%	50%	50%

Table 2. Estimated percentages of total vehicle kilometres performed by alternative technologies in 2010 and 2020 with general operating subsidies for the technology.

	2010				2020			
	Electric	Hybrid	Gas	Hydrogen	Electric	Hybrid	Gas	Hydrogen
<b>Taxi</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Com. vehicle &lt;10 tonnes</b>	26 %	27 %	19 %	0.7 %	72 %	74 %	64 %	16 %
<b>Com. vehicle 10-15 tonnes</b>	25 %	26 %	18 %	0.7 %	72 %	73 %	63 %	16 %
<b>Com. vehicle &gt;15 tonnes</b>	25 %	25 %	18 %	0.7 %	71 %	72 %	62 %	16 %
<b>Bus</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Private vehicle &lt;10 tonnes</b>	25 %	26 %	18 %	0.7 %	72 %	73 %	63 %	16 %
<b>Private vehicle 10-15 tonnes</b>	25 %	-	-	0.7 %	-	-	62 %	15 %
<b>Private vehicle &gt;15 tonnes</b>	-	-	-	-	-	-	-	15 %
<b>Car</b>	14 %	26 %	14 %	1.0 %	52 %	77 %	51 %	7 %

Table 2 shows how much of the total number of vehicle kilometres is performed with alternative technologies given these subsidies. The effects of transport-specific and total CO<sub>2</sub> emissions are shown in Table 3, while Table 4 shows, in the form of lost private consumption, the cost of implementing the measures.

The conclusion is that isolated measures to introduce alternative transport technology (shown in Table 4) are costly to implement, but the potential for reducing the CO<sub>2</sub> emissions through the application of eco-friendly transport technology is good (shown in Table 3). In the following we will see that the cost can be turned into a gain if we use eco-friendly transport technology as part of a general climate strategy instead of isolated CO<sub>2</sub> measures in the transport sector.

Table 3. Reduction of CO<sub>2</sub>-emissions with the use of alternative transport technologies.

	2010				2020			
	Electric	Hybrid	Gas	Hydrogen	Electric	Hybrid	Gas	Hydrogen
<b>Total reduction</b>	-2.0 %	-1.0 %	-0.1 %	-0.1 %	-5.7 %	-2.1 %	-0.8 %	-0.9 %
<b>Reduction in emissions from cars</b>	-14.2 %	-11.3 %	-1.2 %	-1.2 %	-51.5 %	-32.0 %	-6.4 %	-6.8 %
<b>Reduction in emissions from heavy vehicles</b>	-4.3 %	-1.7 %	-0.2 %	-0.1 %	-8.3 %	-3.9 %	-3.5 %	-3.8 %

Table 4. Kroner reduction in private consumption per reduced kilo of CO<sub>2</sub>

	2010	2020
<b>Electric</b>	6.57	4.62
<b>Hybrid</b>	19.57	22.34
<b>Gas</b>	8.89	13.91
<b>Hydrogen</b>	12.49	18.48

In the next calculations the alternative transport technology is introduced in the BASIS-alternative, which incorporates a climate policy goal. With a conservative estimate of technological development in the transport sector only battery-powered cars are *both* eco-friendly *and* cost-effective compared with traditional transport technology by the year 2010. The introduction of battery-powered cars reduces the CO<sub>2</sub> tax by 9% in relation to the BASIS alternative with a 19% reduction in CO<sub>2</sub> emissions in relation to projected emissions in 2010 (Kyoto requirement). We find little effect on GDP. With a 40% reduction in CO<sub>2</sub> emissions in relation to expected emissions in 2010, the GDP gain in relation to the BASIS alternative is relatively small, only 0.1%.

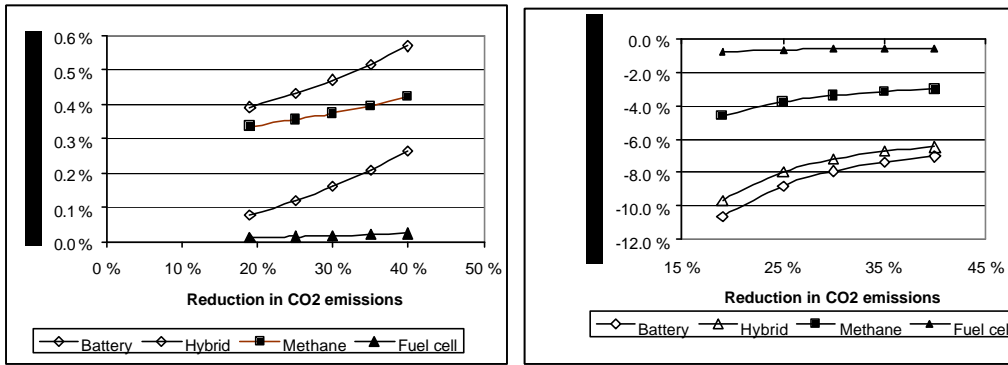
By 2020 cars with fuel cells (hydrogen) and cars with hybrid technology will also be an eco-friendly *and* cost-effective alternative to traditional cars (still using conservative estimates for technological developments in transport). With a targeted reduction in CO<sub>2</sub> emissions to a level corresponding to a 19% reduction in relation to emissions in 2010, the introduction of battery-powered cars will reduce the CO<sub>2</sub> tax by 20% in relation to the BASIS alternative. The corresponding effect for hybrid cars is 15% and for hydrogen cars 2%. The effect on the GDP is somewhat stronger than in the calculations for 2010 (0.3% GDP gain for battery and hybrid cars).

In heavy road and sea, rail, and air transport the emissions gains from alternative technologies are small in proportion to the technological costs, even with optimistic technological expectations. The best climate strategy in heavy transport by road and all sea, rail and air transport is a further development of current solutions, which can be strengthened through new emission standards.

In the last calculations we have introduced more optimistic estimates of the technological development in the transport sector. The environmental characteristics of alternative transport technology are then assumed to develop at a faster pace (is better) and the costs relative to traditional transport technology are significantly lower. All in all, this entails more favourable results for alternative transport technology. At the same time, we note that the optimistic estimates for technological development also apply to traditional transport technology. The estimates will therefore all affect the BASIS alternative henceforth referred to as BASIS(+).

*Figure 2. Percentage change in CO<sub>2</sub> tax in 2010 in relation to BASIS(+), optimistic estimate for development of new technology.*

*Figure 3. Percentage change in GDP in 2010 in relation to BASIS(+), optimistic estimate for development of new technology.*

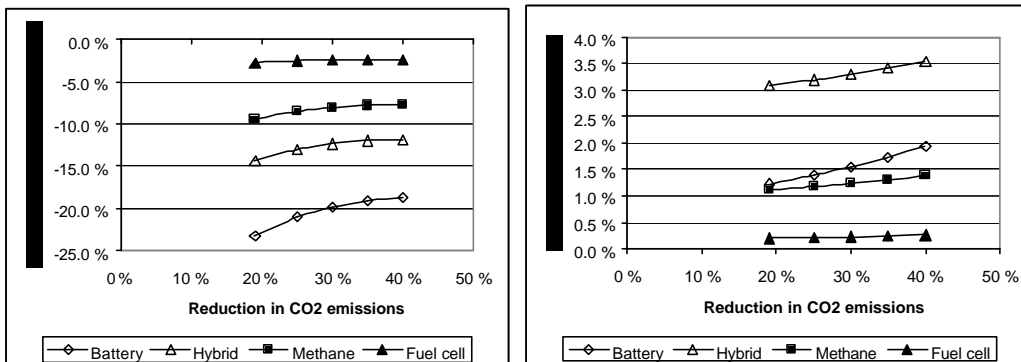


Firstly, we now find that under the Kyoto requirements battery-powered, fuel cell, hybrid and gas cars are eco-friendly and cost-effective alternatives to traditional gasoline or diesel vehicles in the car market as early as the year 2010. Next we see that all four technologies reduce the CO<sub>2</sub> taxes relative to the BASIS-alternative. Figure 2 shows the effects of the tax in 2010, and Figure 4 shows the effects on the tax in 2020.

The effects on GDP are more favourable than in the previous cases. The GDP gain in relation to the BASIS alternative in 2010 is shown in Figure 3. Figure 5 shows the GDP gain in 2020.

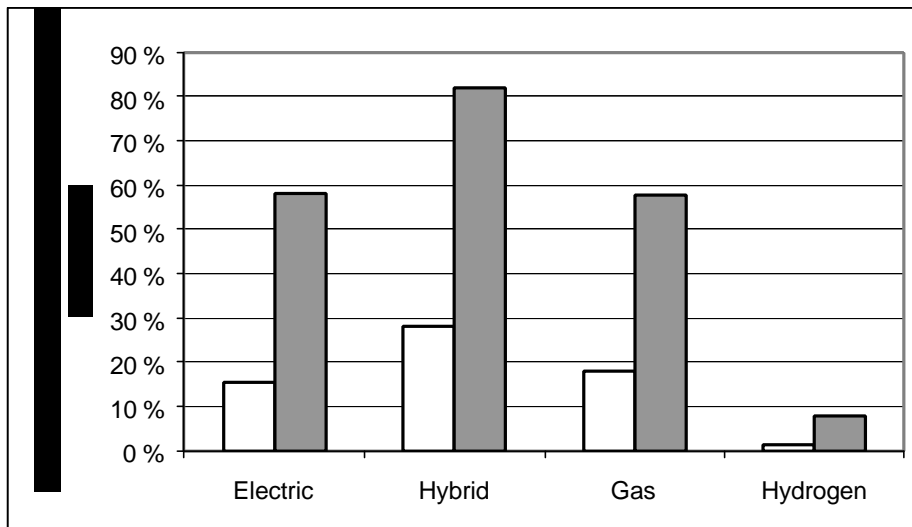
Figure 4. Percentage change in CO<sub>2</sub> tax in 2020 in relation to BASIS(+), optimistic estimate for development of new technology.

Figure 5. Percentage change in GDP in 2020 in relation to BASIS(+), optimistic estimate for development of new technology.



Transport technologies' effect on the CO<sub>2</sub> tax and GDP must be judged in connection with the degree of use for the technology alternatives. In Figure 6 we have for instance shown how large a percentage of transport with cars is performed by the various technologies in compliance with the requirement that emissions of CO<sub>2</sub> do not exceed 19% of the projected emissions in 2010. (The percentages increase with a maximum of 1% in the year 2010 and 3% in the year 2020 when the emissions reduction standard is increased to 40%.)

Figure 6. Percentage of transport by car performed with various transport technologies with a 19% reduction in CO<sub>2</sub> emissions in relation to projected emissions in 2010.



In conclusion we see that battery-powered cars and hybrid cars are the technologies which in the short term (until the year 2010) have the best potential of lowering CO<sub>2</sub> emissions from the transport sector. Due to short range and long recharging time, however, battery-powered cars will to only a limited degree function elsewhere than in special niches. Our belief in hybrid cars is strengthened by the most favourable income effects we see in connection with this technology (Figure 2). The most realistic alternative in the short term is therefore probably a mixture in which electric cars are used in the segment of the market in which they function (in-town deliveries) and hybrid technology in the segment of the market that is willing to pay for environmental technology. Until the year 2010, a large portion of the transport in the car market will still be served by traditional gasoline and diesel cars, but with significantly better environmental properties through improved combustion systems, power transfer and pollution-abatement technology.

In the long term it is hoped that hydrogen technology will mature and that the storage problems connected with hydrogen will be solved. However, the costs of and energy use with this technology are relatively high, weakening our belief in the hydrogen solution in reducing CO<sub>2</sub> emissions. As an alternative, we believe that longer ranges and shorter recharging times are within reach for battery-powered cars, which will then offer a good, perhaps even better, alternative when energy use and energy costs are taken into consideration. Hybrid cars, however, offer the best income effect on GDP, including in the perspective until the year 2020. (Figure 5).



# 1 Innledning

Økende miljøproblemer i transportsektoren viser at det stadig er behov for økt innsats for å få bukt med problemene. De fleste tiltak som kan anvendes medfører imidlertid også ulemper. For eksempel vil både miljøavgifter og andre trafikale restriksjoner kunne påføre samfunnet betydelige kostnader gjennom redusert fleksibilitet. Valg av dosering på miljøtiltak er derfor (blant annet) en avveining mellom miljø og mobilitet. Satsing på utvikling og introduksjon av ny transportteknologi fremstår derfor som et gunstig tiltak fordi slik teknologi åpner muligheter for at miljøproblemer i transportsektoren kan reduseres uten at mobiliteten rammes i samme grad.

I denne rapporten har vi prøvd å belyse i hvilken grad ny transportteknologi kan bidra til å redusere både transportspesifikke- og totalt CO<sub>2</sub>-utslipp. Vi har også sett på i hvilken grad anvendelse av alternativ transportteknologi vil kunne redusere den samfunnsøkonomiske kostnaden ved å gjennomføre generelle reduksjoner i de norske CO<sub>2</sub> utslippene. Arbeidet gir oss kunnskap om hvilke alternative løsninger som i fremtiden kan komme til å bidra til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet i Norge, og i hvilken grad sterkere miljøkrav i seg selv vil fremskynde anvendelsen av alternativ transportteknologi.

Utslipp av gasser og partikler skyldes ikke bare transport. Andre aktiviteter bidrar også til miljøproblemer. Siden utslippene fra transportsektoren bare utgjør en del av de totale miljøskadene, er det åpenbart viktig å se miljøproblemer i transportsektoren i sammenheng med annen forurensende aktivitet. Med dette mener vi å si at det er en dårlig løsning å ensidig fokusere på å gjennomføre dyre miljøtiltak i transportsektoren dersom like gode resultater kan oppnås til lavere kostnad innen andre sektorer. Miljøtiltak i transportsektoren bør derfor sees i sammenheng med tilsvarende tiltak innen andre deler av samfunnet.

Under utformingen av miljøtiltak er det også viktig å ta hensyn til ulike makrosammenhenger. Siden fossil energi har alternativ anvendelse, kan ensidige miljøtiltak innen transportsektoren få en utilsiktet virkning gjennom energiforbruk i privat konsum eller i andre sektorer. For eksempel må vi anta at utstrakt anvendelse av elektriske biler isolert sett vil redusere CO<sub>2</sub> utslippet fra transportsektoren. Men fossil energi har alternative anvendelser både i boligoppvarming og til andre energikrevende formål. Dette kan medføre at CO<sub>2</sub>-utslippet fra bensinbiler ikke forsvinner, men flyttes til disse sektorene i stedet. På lignende vis kan det også argumenteres for at et nasjonalt utslipp av CO<sub>2</sub> kan flyttes ut av landet gjennom internasjonal handel.

Rapporten er organisert som følger. I kapittel 2 og 3 går vi litt mer i dybden på problemstilling og bakgrunn for problemstillingen i prosjektet. I kapittel 4 ser vi på litt på teorien bak analysene, mens modellen som benyttes i beregningene er presentert kort i kapittel 5. Kapittel 6 gir en kort oversikt over transportteknologier og anslag på kostnader, energibruk og utslipp for alternativ transportteknologi og for videreutvikling av tradisjonell transportteknologi. Forutsetninger om potensialet for å introdusere ny transportteknologi i kjøretøyparken drøftes i kapittel 7, og i kapittel 8 presenteres analysene.



## 2 Bakgrunn

De skadelige utslippene fra transportsektoren kan grovt deles i to kategorier. For det første har vi utslipp med mer eller mindre ”umiddelbar” virkning på helse og materiell, og for det andre utslipp som på lenger sikt har en effekt på jordens klima. Skader på helse og materiell skyldes høye bakkenære konsentrasjoner av gasser og partikler<sup>1</sup> og knyttes hovedsakelig til begrensede geografiske områder (byer). De langsiktige effektene på jordens klima skyldes høye konsentrasjoner av klimagasser<sup>2</sup> i atmosfæren. Skaden fra klimagassutslippene er ikke begrenset til et visst geografisk område, og er derfor mer kompliserte å forholde seg til. Økende utslipp av klimagasser skaper et problem fordi overskuddsvarme fra jorden hindres i å unnslippe, slik at den globale temperaturen øker.

Mens den miljømessige fokus for utviklingen av alternativ transportteknologi i stor grad synes å rette seg mot utslipp av svovel, nitrogen og hydrokarboner, er formålet med dette prosjektet å undersøke hvilke egenskaper alternative teknologier har som kan bidra til å redusere klimagassutslippene fra transportsektoren. Den største klimagassen er CO<sub>2</sub>, som er den gassen vi har konsentrert oss om.

Utslipp av CO<sub>2</sub> fra transport har sammenheng med bruk av fossilt drivstoff. Forbrenning av fossil energi, som bensin og diesel, gir et fast utslipp av CO<sub>2</sub> ut fra drivstoffets karboninnhold. Siden karbon ikke lar seg rense, får vi indirekte også en fast sammenheng mellom bruk av fossil energi og utslipp av CO<sub>2</sub>. Ved å ta i bruk transportmidler som har lave CO<sub>2</sub>-utslipp, enten fordi energieffektiviteten er høyere eller fordi drivstoffet fysisk er et annet, er det mulig å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet fra transport uten nødvendigvis å måtte redusere omfanget tilsvarende.

Alternativ drivstoffteknologi omfatter alternative motorer og drivstoffsystemer med lave eller ingen CO<sub>2</sub>-utslipp. Eksempler er elektriske biler, propandrevet buss, bil og ferger, motorer drevet av elektrisitet fra brenselceller og alkohol. Slike løsninger har lavere eller ingen CO<sub>2</sub>-utslipp i forhold til dagens alternativer.

Selv om alternativ transport i noen tilfeller gir lave drivstoffkostnader, er teknologien ofte kostbar i forhold til dagens løsninger. I tillegg finnes en del praktiske ulemper ved anvendelse av alternativ teknologi, som for eksempel rekkevidde og ladetid for elektriske biler. Kostnadmessig vil for eksempel en elektrisk bil gjerne koste opp mot 30% mer enn en tilsvarende bensinbil. Dette gir alt i alt lite insentiver for trafikkantene som ønsker å anvende denne teknologien. De

---

<sup>1</sup> De vanligste er hydrokarboner (HC), nitrogenoksyder (NO<sub>x</sub>), karbonmonoksyd (CO) og svevestøv (PM<sub>10</sub>).

<sup>2</sup> De viktigste klimagassene er karbondioksyd (CO<sub>2</sub>), lystgass (N<sub>2</sub>O), metan (CH<sub>4</sub>) og vanndamp (H<sub>2</sub>O),

kostnadmessige og praktiske ulempene kan imidlertid delvis kompenseres ved krav til utslipp eller avgifter og tilskudd som favoriserer slik teknologi.

Om vi ser på antall nye transportløsninger under utvikling og potensialet for disse, synes dette å variere en god del innen ulike deler av transportsektoren. I den ene ytterkanten satses det en god del på utvikling av miljøvennlige personbiler og busser, der listen over foreslåtte løsninger er lang. Når det gjelder tog, fly og skip, som er i den andre ytterkanten, er vi usikre på hva som kan dukke opp, og så langt vi kan se gjøres det mest på disse frontene innen å forbedre de løsningene som allerede er tilgjengelige. Dette kan for eksempel skyldes at potensialet for å videreutvikle de tradisjonelle løsningene innen luftfart, banedrift og skipsfart er stort og at alternativer har vist seg å være lite anvendbare eller svært kostbare.

En må imidlertid uansett anta at teknologi som utvikles for en bestemt transportsektor etter hvert også vil kunne tilpasses bruk i andre transportsektorer. For eksempel vil vi antakeligvis se at de teknologiske løsningene som i dag utvikles for personbiler på lenger sikt også vil bli benyttet på tyngre kjøretøyer som lastebiler og busser. Men med utgangspunkt i det tallmaterialet vi har samlet i dette prosjektet, ser det ut til at en tilsvarende teknologiløsning for tyngre kjøretøyer har større kostnadsulempen i forhold til tradisjonell teknologi enn tilfellet er for personbiler, og også at de har til dels mindre miljøfordeler når det gjelder CO<sub>2</sub> utslipp<sup>3</sup> enn personbiler. Dette medfører at kostnadsterskelen for å anvende alternativ teknologi er høyere for bruk innen tungtransport enn innen lett transport<sup>4</sup> (personbiler/varebiler).

---

<sup>3</sup> Skyldes i hovedsak at personbiler drives av bensin, og at tungtransport bruker diesel, som er mer energieffektiv og dermed gir mindre utslipp av CO<sub>2</sub>.

<sup>4</sup> Likevel ser vi større utbredelse av alternativ teknologi innen bussdrift (gassdrift) enn blant personbiler. Dette antar vi har med bedrifters ønske om å markere en miljøprofil å gjøre, et poeng som ikke er like viktig for de fleste enkeltpersoner. Dessuten kan det nok være enklere for en bedrift, for eksempel et busselskap, å skaffe offentlig støtte til drift av miljøvennlige kjøretøy.

## 3 Metode

Prosjektet har vært delt inn i to faser. Formålet i den første fasen har vært å gi en oversikt over utviklingen av forskjellige teknologiske transportløsninger for de neste 20 årene til 2020. Resultatene fra denne fasen er nærmere dokumentert av Teknologisk Institutt (Skedsmoe og Hagman, 1998).

I den andre fasen av prosjektet har vi gjennomført analyser som viser hvordan transportteknologier virker i samspill med resten av økonomien, og hvilke konsekvenser dette har for perspektivene og potensialet for alternative transportløsninger. Målsetningen har vært å finne ut hvilke teknologiske løsninger det vil være lønnsomt å satse på for å redusere de norske CO<sub>2</sub>-utslippene fra transportsektoren. Den andre fasen av prosjektet er beskrevet i denne rapporten.

Vi har valgt å lage to mulige utviklingsbaner for utviklingen av alternativ transportteknologi. Det første er et nøytralt anslag basert på en "ikke-stimulert teknologiutvikling"<sup>5</sup>. Det andre er et anslag på et "stimulert" tilfelle der vi tar utgangspunkt i at det innføres strengere internasjonale miljøkrav, slik at produsenter er gitt et sterkere insentiv til å øke utviklingstakten.

Vi skiller mellom forbedring av dagens tekniske løsninger og utvikling av alternativ teknologi. Grensene her er flytende, og det er vanskelig å skjelne mellom hva som tilhører den ene og den andre kategorien. Vi har imidlertid holdt oss til den linje at bruk av nytt materiale i karosseri, mer energieffektive motorer og overføringssystemer som er basert på diesel- og bensinmotorer, skal oppfattes som videreutvikling av dagens transportløsninger. Alternativ transportteknologi omfatter alle alternativer der det anvendes andre drivstofftyper.

I utgangspunktet benytter vi det ikke-stimulerte teknologianslaget som basis for analyser, og som sammenligningsgrunnlag for å vurdere alternativ teknologi. I beregningene introduseres en og en teknologitype som sammenlignes med tradisjonell teknologi. Hver beregning forutsetter derfor implisitt at den alternative teknologien vi ser på, er den eneste tilgjengelige.

I våre analyser legger vi an til et helhetlig perspektiv i vår oppfattelse av hvordan alternativ transportteknologi kan påvirke det fremtidige norske CO<sub>2</sub>-utslippet. Det knytter seg da tre dimensjoner til problemstillingen. Den første knytter seg til teknologiegenskaper ved de spesifikke transportløsningene, den andre er av dynamisk art og fokuserer på utskiftning av eksisterende kjøretøyer, mens den tredje knytter seg til makrovirkninger.

---

<sup>5</sup> Det vil si ingen nye internasjonale miljøkrav

Energibruk, teknologispesifikt utslipp av CO<sub>2</sub> og kostnader ved drift av alternativ transportteknologi sett i forhold til tradisjonelle løsninger. Teknologier med lavt forbruk av fossil energi vil ha et tilsvarende lavt CO<sub>2</sub>-utslipp. Transportløsninger som bruker annen energi enn fossil energi (for eksempel elektrisitet) vil kunne ha et 0-utslipp av CO<sub>2</sub>. Høy teknologikostnad og mindre anvendbarhet er ofte i disfavør av alternative transportløsninger.

Introduksjon i kjøretøyparken. Eksisterende kjøretøy har en viss levetid, og det vil ta tid å skifte ut bilparken. Transportbrukere må ved nyanskaffelse ta stilling til hvilken teknologisk løsning han eller hun skal velge. Mindre anvendbarhet eller høye kostnader medfører lavere sannsynlighet for at en transportbruker vil velge en alternativ teknologisk løsning.

Makrosammenhenger virker gjennom kompliserte markedssammenhenger og kan gi en utilsiktet virkning. Endret etterspørsel etter fossil energi i en sektor vil delvis kunne bli motvirket av at den fossile energien har en alternative anvendelse i en annen sektor. Et eksempel kan være at deler av CO<sub>2</sub>-utslippet fra forbrenning i bensinbiler flyttes til oppvarming av boliger og driftsbygg om elektriske biler erstatter bensinbiler. På lignende vis kan et nasjonalt utslipp av CO<sub>2</sub> flyttes til utlandet gjennom internasjonal handel. Vi tar imidlertid ikke opp den dimensjonen i dette prosjektet.

Ved å vurdere ulike transportløsninger i lys av punkt 1 får vi en viss oversikt over utslippsegenskapene ved ulike teknologier. Helhetsbildet trer imidlertid først frem når vi knytter disse teknologiske egenskapene sammen både med bruk av transport og med annen aktivitet. Det er for eksempel et viktig poeng at energiforsyningen står i en særstilling i Norge ved at vi både produserer fossekraft og fossil energi. Hvis bilparken i løpet av kort tid ble "elektrifisert" ville behovet for elektrisk kraft øke. Dette ville sannsynligvis gi høyere elektrisitetspriser og behov for økt produksjonskapasitet i vannkraftsektoren, økt import av kraft eller en radikal satsing på enøk-tiltak (se for eksempel Mathiesen L. og Moxnes E. 1997). Samtidig ville bortfall av etterspørsel etter fossil energi til transport medføre at oljesektoren enten måtte øke eksportandelen, levere mer energi til annen innenlandsk forbrenning eller redusere produksjonsnivået.

Den første fasen i prosjektet har vært konsentrert om punkt 1, mens vi i fase 2 har kommet nærmere inn på punkt 2 og 3. Datainnsamlingen i første fase har hatt som utgangspunkt at vi har behov for konkrete anslag på teknologiutvikling<sup>6</sup>, og miljøegenskaper ved ulike transportløsninger<sup>7</sup>. Dette er nødvendig for å kunne kombinere kunnskap om alternativ transportteknologi med anvendelse av en økonomisk modell for å belyse hvilke konsekvenser potensialet til å redusere fremtidige norske utslipp av CO<sub>2</sub> har for annen relatert aktivitet.

---

<sup>6</sup> Utvikling i drivstofforbruk, vedlikeholdsinnsats og anskaffelseskostnader.

<sup>7</sup> Utslipp av lokalt forurensende partikler og gasser og utslipp av CO<sub>2</sub>.

Til analysene benyttes transport- og makromodellen GODMOD (Jensen og Eriksen, 1997). Tidsperspektivet for analysene er 2020, og vi beregner fire ulike alternativer. Først ser vi på de norske CO<sub>2</sub>-utslippene frem til 2020 dersom ingenting gjøres for å redusere utslippet i et "business as usual" alternativ (BAU).

I den andre beregningen ser vi på hvor stor CO<sub>2</sub>-reduksjon vi kan få ved anvendelse av ulike alternative transportteknologier, der vi forutsetter at alternative teknologiløsninger subsidieres for å jevne ut kostnadene i forhold til tradisjonelle løsninger. Vi fokuserer på norske forhold, og ser dermed ikke på bidrag til internasjonal teknologiutvikling/spredning.

Dernest beregner vi et basisalternativ (BASIS-alternativet) som viser hvor mye en reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet, gjennomført ved avgifter, vil koste innenfor dagens teknologiske løsninger, og til sist ser vi på i hvor stor grad introduksjon av alternative transportteknologi vil kunne redusere behovet for CO<sub>2</sub>-avgift for å oppnå et gitt utslippskrav relatert til Kyoto-avtalen.

I prosjektet ser vi bare på endringer i norske CO<sub>2</sub>-utslipp. Import av elektrisk kraft medfører derfor ikke CO<sub>2</sub>-utslipp i analysene. Import av elektrisk kraft kan imidlertid bety at kraften kommer fra et kullfyrt kraftverk som vi overser i disse analysene.

## 4 CO<sub>2</sub>-utslipp og CO<sub>2</sub>-avgiftens betydning

Menneskeskapt utslipp av CO<sub>2</sub> og andre klimagasser kommer i tillegg til naturlige utslipp, blant annet fra ånding og nedbryting av organisk materiale, og kan forsterke den naturlige drivhuseffekten, noe som kan gi uheldige og varige klimaendringer på jorden.

Det menneskeskapte utslippet av CO<sub>2</sub> har flere kilder. Produksjonsaktivitet gir utslipp av CO<sub>2</sub> både i form av prosessutslipp (fordampning fra kjemikalier, forbruk av fossile råvarer, anodeforbruk o.l.) og forbrenning av fossil energi. Utslippene fra transport og konsum skyldes i all hovedsak forbrenning av fossil energi til drift av transportmidler.

Det er stor usikkerhet knyttet til skadeomfang og kostnader forbundet med eventuelle klimaendringer, og det er derfor vanskelig å ta stilling til velferdsgevinsten av å redusere det menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslippet. (Det er dessuten ikke utenkelig at en global klimaendring isolert sett vil kunne gi en velferdsgevinst for enkelte land.) På grunn av usikkerheten forholder vi oss til behovet for reduksjoner det norske CO<sub>2</sub>-utslippet som en politisk målsetning, som dermed er et uttrykk for en "føre var" holdning. Målsetningen representerer begrensninger på handlefriheten i økonomien og medfører derigjennom økte produksjonskostnader i Norge.

Vi har i dette prosjektet konsentrert oss om å finne en kostnadseffektiv løsning for å overholde de norske forpliktelsene til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene. Tiltak som favoriserer alternativ og energieffektiv transportteknologi kan dermed bli viktige elementer for å redusere kostnaden ved å overholde Kyoto-avtalen. Vi ønsker å finne ut hvilke transportteknologiske løsningene som gir det beste resultatet, også sett i sammenheng med resten av aktiviteten i norsk økonomi.

CO<sub>2</sub> er bare en del, om enn den største delen, av det totale utslippet av klimagasser. Klimagasser, som blant annet også omfatter lystgass, metan og vanndamp, er en fellesbetegnelse på de gassene som medvirker til drivhuseffekten. Regnet i CO<sub>2</sub> ekvivalenter, utgjorde CO<sub>2</sub> ca 70% av det totale klimagassutslippet i Norge i 1992 (Stortingsmelding nr 29, 1997-1998).

At vi i dette prosjektet bare forholder oss til CO<sub>2</sub> skyldes tre forhold. For det første har vi sagt at CO<sub>2</sub> er den viktigste klimagassen målt i klimaeffekt. Dernest forventes det ikke vesentlige økninger i utslipp av de øvrige klimagassene utover dagens nivå (se for eksempel Stortingsmelding nr 29 (1997 – 98), s 24). Til sist vil man sannsynligvis, om man klarer å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet, også redusere utslippet av andre klimagasser gjennom redusert aktivitet.

I motsetning til helseskader forårsaket av høye lokale konsentrasjoner av for eksempel svovel, nitrogenoksider og svevestøv, er drivhuseffekten et globalt problem. Den geografiske plassering av et utslipp av CO<sub>2</sub> har ikke betydning. Siden Norge bare står for om lag 0,2% av verdens samlede utslipp av klimagasser, er det lite vi kan bidra med for å løse klimaproblemene alene. Så langt har imidlertid Norge sammen med en del andre land underskrevet Kyoto-protokollen, som er ment å binde de enkelte land til å redusere egne utslipp av CO<sub>2</sub> og andre klimagasser (Kyoto-protokollen er beskrevet i Stortingsmelding nr 29, 1997 – 98).

For Norges del betyr Kyoto-avtalen at vårt utslipp av klimagasser i år 2010 ikke skal overstige utslippet i 1990 med mer enn 1%. I følge makroøkonomiske beregninger (Stortingsmelding nr 29 (1997 – 98), s 30) vil utslippet av CO<sub>2</sub> alene i Norge være ca 19% høyere enn det dette målet tillater dersom ingen nye tiltak settes inn for å redusere utslippet. Dette betyr at Norge i år 2010 må ha redusert sitt utslipp av CO<sub>2</sub> med 19% i forhold til det som ellers forventes i år 2010, og med 23% for alle klimagasser samlet.

#### 4.1 CO<sub>2</sub>-utslipp i transportsektoren

Ca 27% av norsk innenriks CO<sub>2</sub> utslipp kunne i 1992 knyttes direkte til transport. Dette omfatter utslipp fra privatbilisme, offentlig persontransport og godstransport med bil, jernbane og skip. Utslipp fra lystbåter, motorsykler, små motorredskaper, drift av industrimaskiner og oppvarming av boliger og driftsbygg utgjorde ca 28% det samme året. De resterende utslippene på 45% kom fra prosesser i industrien og omfatter blant annet anodeforbruk i metallindustrien, faking og fordampning fra olje og gassinstallasjoner, produksjon av ammoniakk og sement.

Utslipp av CO<sub>2</sub> fra transport har sammenheng med forbrenning av drivstoff. Forbrenning av fossil energi, som bensin og diesel, gir et fast utslipp av CO<sub>2</sub> ut fra drivstoffets karboninnhold. Siden karbon ikke lar seg rense, har vi (om vi ser bort fra deponering) en fast sammenheng mellom bruk av fossil energi og utslipp av CO<sub>2</sub>.

Vanlige drivstoffer til transport, dvs bensin og diesel, gir 3,15 kilo CO<sub>2</sub> per kilo drivstoff. Utslippet av CO<sub>2</sub> per liter drivstoff vil dermed variere med tettheten i drivstoffet, slik at tunge destillater har det høyeste CO<sub>2</sub>-utslippet. CO<sub>2</sub> utslippet per kilometer er avhengig av energiforbruket for det enkelte transportmiddelet.

Siden vi har en fast sammenheng mellom fossil energi og karbon, vet vi at en reduksjon i utslippet av CO<sub>2</sub> fra transportsektoren nødvendigvis må implisere en tilsvarende stor reduksjon i forbruket av fossil energi, og bruk av fossil energi til transportformål kan påvirkes gjennom tre tiltaksområder. Disse tre tiltaksområdene er:

- Transportomfang
- Transportmiddelfordeling
- Transportteknologi

CO<sub>2</sub>-utslippet fra transport vil bli redusert om en klarer å redusere transportomfanget. Omfanget av transport kan påvirkes og reduseres for eksempel gjennom arealbruk, informasjonsteknologi, kapasitetsutnyttningen, og gjennom endringer i produksjon og konsum. Alle disse faktorene kan myndighetene påvirke gjennom energi/miljøavgifter, engangsavgifter, årsavgifter, parkeringsavgifter, bevist holdning til å planlegge arealbruk/arealutvikling og infrastrukturinvesteringer.

Energibruk i transport er ikke bare avhengig av transportomfang. Ved å ta i bruk transportmidler som har lave CO<sub>2</sub>-utslipp, enten fordi energieffektiviteten er høyere eller fordi drivstoffet er annet, er det også mulig å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet fra transport uten nødvendigvis å måtte redusere omfanget. Et eksempel er tiltak for å erstatte bruk av privatbil med kollektivtransport. Myndighetene kan få til en slik utvikling gjennom å øke de relative kostnadene for bilkjøring i forhold til kollektivtrafikk. Dette oppnår en ved enten å gjøre bilkjøring dyrere eller mindre anvendbart, eller gjennom å gjøre kollektivtransport bedre (kvalitetsheving) eller billigere. Vi kan her tenke oss virkemidler som miljø/energiavgifter, parkeringspolitikk, veiprisning og kollektivinvesteringer.

I dette prosjektet har vi konsentrert oss om hvordan vi kan redusere CO<sub>2</sub>-utslippet fra transport ved å anvende teknologi som på en eller annen måte enten medfører lavere energibruk eller at energibruken tas fra andre og mindre forurensende energikilder (som for eksempel vannkraft). Vi kan tenke oss tre ulike varianter av teknologi som vil redusere utslippene av CO<sub>2</sub> fra transportsektoren.

- Videreutvikle og forbedre eksisterende teknologi
- Organisering av transport
- Alternativ drivstoffteknologi

Videreutvikling av eksisterende teknologi gir lavere drivstofforbruk gjennom redusert vekt og gjennom mer energieffektiv forbrenning. Videreutvikling av dagens teknologi er interessant i dette prosjektet fordi det utgjør et nullalternativ.

Videreutvikling av eksisterende teknolog skjer med en viss forutsigbarhet, og erfaringsmessig vet vi eksempelvis at morgendagens biler vil klare seg med et lavere bensinforbruk enn dagens biler. Likevel tyder undersøkelser på at denne utviklingen kan akselereres av strengere miljøkrav (Thune-Larsen, 1997).

Organisering av transport omfatter nye logistikk-løsninger, kapasitetsutnyttelse og introduksjon av informasjonsteknologi og lignende. Transportsentraler er et eksempel på organisering av transport der et hovedpoeng er å bedre kapasitetsutnyttningen. Nye utviklingstrekk innenfor logistikkområdet peker imidlertid i retning av at flere og flere bedrifter finner det lønnsomt å satse på "just in time" leveranser, noe som medfører mindre nyttelast per transport og flere sendinger (se Jensen og Hop, 1995).

Alternativ drivstoffteknologi omfatter alternative motorer og drivstoffsystemer med lave eller ingen CO<sub>2</sub>-utslipp. Eksempler er elektriske biler, propandrevet buss, bil og ferger, motorer drevet av elektrisitet fra brenselceller og alkohol. Slike løsninger har lavere (eller ingen) CO<sub>2</sub>-utslipp sammenlignet med dagens beste alternativer. Selv om alternativ transport har lave drivstoffkostnader, er selve den involverte teknologien ofte kostbar i forhold til dagens løsninger.



Utvikling av alternativ teknologi er til dels uforutsigbar og skjer hovedsakelig utenfor Norge. Det vil si at den norske klimapolitikken i seg selv vil ha lite å si for utvikling av ny transportteknologi. Myndighetenes tiltak i Norge kan imidlertid påvirke akseptasjon av nye og alternative transportteknologier i Norge. Eksempler på slike tiltak som har vært nevnt i media er gratis parkeringsplasser og gratis opplading av elektriske biler.

Vi forventer at flere land enn Norge vil følge opp Kyoto-avtalen. Det vil i så fall si at flere land enn Norge vil innføre tiltak som favoriserer ny og alternativ transportteknologi. I et slikt perspektiv må en forvente at den teknologiske utviklingen ikke forblir upåvirket. Vi har derfor to anslag på den teknologiske utviklingen av transportteknologi i dette prosjektet, et optimistisk og et pessimistisk. Det pessimistiske anslaget representerer potensialet i en "ikke stimulert" utviklingsbane, og det optimistiske anslaget representerer en stimulert utvikling. Med "stimulert utvikling" mener vi at myndighetene i ulike land går aktivt inn med tiltak på miljøområdet slik at energieffektivitet og miljømålsetninger blir viktige for teknologi-producenter.

En rasjonell transportbruker vil oppfatte både kostnadseffektivitet og brukervennlighet som elementer i valg mellom transport alternativer. Siden ny transportteknologi er dyrere og mindre anvendbar enn dagens transportløsninger (se tabell 3, 5 og 7, kapittel 6 og Skedsmoe og Hagsman, 1998), må det spesielle tiltak til for å få transportbrukere til å velge miljøvennlige alternativer. Så lenge miljøvennlig transportteknologi både er dyrere og mindre anvendbar enn dagens transportteknologi, har transportbrukeren lite incitament til å velge miljøvennlige løsninger.

Økonomisk teori tilsier at økt relativ pris for forurensende transport gir transportbrukerne et insentiv til å velge miljøvennlig. Et mulig virkemiddel er å la transportbrukerne betale for ulempene de påfører samfunnet, for eksempel gjennom avgifter. Andre virkemidler kan være offentlig satsing på forskning og utvikling av alternativ og miljøvennlig transportteknologi, avgiftsfritak for alternativ teknologi, offentlig støtte til utvikling av den nødvendige infrastruktur, avgifter på forurensning og andre offentlige ordninger.

Alternativ transportteknologi utvikles imidlertid hovedsakelig ikke i Norge<sup>8</sup>. En innsats for å øke utviklingstempoet for alternativ teknologi må derfor komme fra et internasjonalt initiativ. Det vi imidlertid kan gjøre noe med i Norge, er å påvirke etterspørselen etter alternativ teknologi i Norge<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> PIVCO er imidlertid et hederlig unntak. PIVCO var en norsk fabrikant av små elektriske biler. Fabrikken er nå kjøpt opp av Ford Motors.

<sup>9</sup> Vi ser bort fra utvikling av norsk transportteknologi som foreløpig er svært liten (j.f.r. PIVCO).

## 4.2 Kostnader ved å redusere utslippet av CO<sub>2</sub>

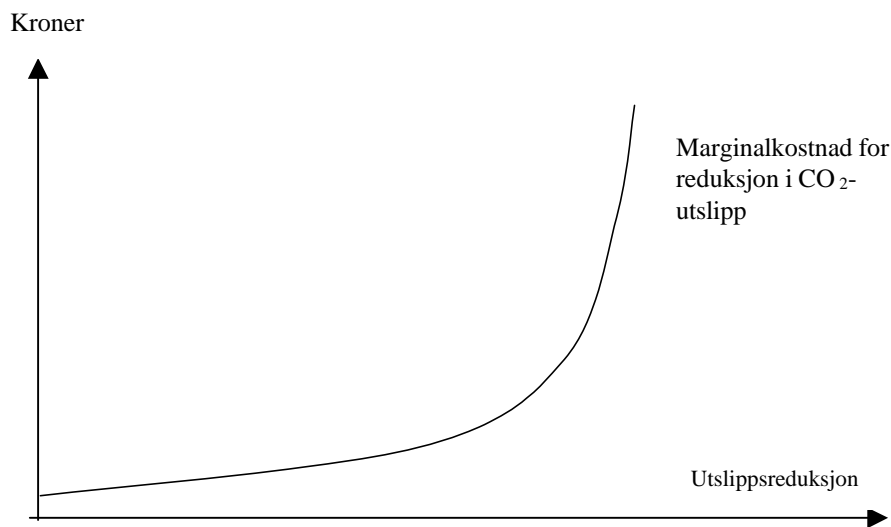
En målsetning om å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet må gjennomføres gjennom å stimulere til lavere forbruk av karbonholdige varer og energi i husholdninger og bedrifter. Dette er en begrensning for tilpasningsmulighetene i økonomien. Teorien tilsier at enhver begrensning har en "skyggekostnad", og kostnaden ved å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet reflekteres i skyggeprisen på CO<sub>2</sub>-restriksjonen. Skyggekostnaden på CO<sub>2</sub>-restriksjonen betraktes som marginalkostnaden for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet.

Hvordan kan dette tolkes? Vi kan ta utgangspunkt i en nasjonal målsetning om reduserte utslippene av CO<sub>2</sub>. Målsetningen er at det totale utslippet av CO<sub>2</sub> ikke skal overstige en viss grense (som for eksempel Kyoto-avtalen). For å gjennomføre målsetningen kan vi tenke oss at myndighetene innfører et pålegg om at man må ha en tillatelse før man slipper ut CO<sub>2</sub>, og at det ikke deles ut flere tillatelser enn det det er rom for innenfor utslippsmålsetningen. For å bestemme hvem som skal få utslippstillatelsene, benytter myndighetene betalingsvillighet til å selge utslippsrettigheter til høystbydende i et fritt marked. Når aktørene må betale for tilgang til en utslippsrettighet vil de minst kostnadseffektive aktørene blir priset ut, noe som sikrer at bare de mest lønnsomme utslippene blir opprettholdt og man finner en økonomisk effektiv fordeling av utslippene. Prisen på utslippsrettigheter i dette tenkte markedet kan nå tolkes som en kostnadseffektiv CO<sub>2</sub>-avgift, som om den innføres vil gi en kostnadseffektiv utslippsfordeling innenfor rammene av den opprinnelige utslippsmålsetningen. De samfunnsøkonomiske kostnaden av CO<sub>2</sub>-reduksjonen utgjøres av det inntektstapet som følger av at de minst lønnsomme "CO<sub>2</sub>-produsentene" tvinges til å redusere sin aktivitet.

Ved å gi noen sektorer fritak fra å måtte "kjøpe CO<sub>2</sub>-kvoter, risikerer vi at lite lønnsomme utslipp opprettholdes. Dette vil i så fall medføre at mer lønnsomme utslipp må tas ut i stedet. Vi må vente at en slik politikk vil bli dyrere å gjennomføre. Fritak bør derfor i det minste være velbegrunnet, for eksempel ut fra distriktpolitiske hensyn.

Vi kan videre anta at utslippsrettigheter er et normalt gode med avtakende grenseprodukt, og at marginalkostnaden ved å redusere utslippet av CO<sub>2</sub>, øker mer enn proporsjonalt med ambisjonsnivået for reduksjonen. Det siste samsvarer med at stadig mer effektive enheter blir konkurrert ut av CO<sub>2</sub>-markedet. Sammenhengen mellom reduksjonsnivå og marginalkostnad er illustrert i figur 1.

Marginalkostnaden for å redusere utslippet av CO<sub>2</sub> er ulik i forskjellige sektorer avhengig av teknologiske forhold i den enkelte sektor. Økonomisk teori foreskriver at reduksjonene i CO<sub>2</sub>-utslipp i ulike deler av økonomien skal gjennomføres inntil alle står overfor den samme marginalkostnad for en ytterligere utslippsreduksjon. Det vil si at utslippsreduksjonen vil være forskjellig i ulike deler av økonomien.

Figur 1. Marginalkostnad ved å redusere CO<sub>2</sub>-utslipp.

Med utgangspunkt i kostnadsminimering, kjent fra økonomisk teori (se for eksempel Madden, 1986, side 180 - 184), vet vi at sammenhengen i figur 1 mellom utslippsreduksjon og marginalkostnad for reduksjoner kan "snus". Dersom en i stedet for krav om reduksjoner i utslippet pålegger den tilsvarende marginalkostnaden i form av en avgift direkte på alle utslipp av CO<sub>2</sub>, vil en få reduksjoner i utslippet som følger samme kurve. Marginalkostnadskurven i figur 1 kan følgelig også tolkes som en kostnadseffektiv avgift relatert til et mål om en gitt reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet.

Beliggenhet og helning for marginalkostnadskurven er avhengig av teknologi, deriblant transportteknologi. Hvis vi introduserer ny teknologi med lavere CO<sub>2</sub>-utslipp, vil marginalkostnadskurven kunne skifte nedover mot høyre (samtidig som kurvens krumning kan endres). Hvordan ny og alternativ transportteknologi vil skifte kurven, avhenger av den relative kostnaden ved denne teknologien i forhold til tradisjonell transportteknologi.

Det vi i dag har av kunnskap om marginalkostnadskurven for utslippsreduksjoner er basert på tradisjonell transportteknologi og til en viss grad muligheten til å effektivisere denne<sup>10</sup>. Et spørsmål vi har prøvd å se på i dette prosjektet er hvordan ny og alternativ transportteknologi vil påvirke marginalkostnaden, og hvilke effekt de ulike teknologialternativene har på marginalkostnadskurven.

Eksisterende transport betaler allerede for en del av CO<sub>2</sub>-utslippet. Dagens CO<sub>2</sub> avgift for bensin er for eksempel på 89 øre per liter, (Std melding nr 29, 1997-98, side 35). Alternativ transportteknologi med lave CO<sub>2</sub>-utslipp er på andre siden dyrere enn tradisjonell teknologi. Dette skyldes for eksempel at teknologien befinner seg i en tidlig og lite utviklet fase, at markedet ikke har absorbert teknolo-

<sup>10</sup> Muligheten til å effektivisere eksisterende transportteknologi med hensyn på nye utslippskrav, er gitt av substitusjonsmulighet mellom energi og andre produksjonsfaktorer i transport.

gien, og at omsetningsvolumet er lite. Den relative kostnad ved å anvende transportteknologi med lave CO<sub>2</sub>-utslipp (for eksempel elektriske biler) vil imidlertid reduseres om det innføres krav om å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene. Det medfører at høyere CO<sub>2</sub>-avgift i seg selv vil øke sannsynligheten for at miljøvennlig transportteknologi tas i bruk, selv om egenskapene ikke enda er tilsvarende bensin og dieselbiler (det siste er bare et tidsspørsmål før teknologien er ferdigutviklet).

### 4.3 Markedsvirkninger

Ressurser har en alternativ anvendelse. Dersom en bedrift, for eksempel som følge av en teknologisk nyvinning, reduserer forbruket av forurensende fossil energi (gjærne samtidig som den øker forbruket av vannkraft), vil det kunne lønne seg for andre å gjøre det motsatte fordi det den første bedriften gjør vil påvirke de relative prisene på fossil energi og vannkraft.

Det en enkelt bedrift foretar seg vil imidlertid bare ha marginal virkning på relative priser, slik at substitusjonsvirkninger i andre bedrifter vil være marginale eller lite betydningsfulle. Hvis vi derimot tenker oss at etterspørselen fra en hel sektor i økonomien endres som følge av eksogene teknologiske skift, kan de relative prisene endres så mye at vi får betydelige substitusjonsvirkninger i andre sektorer.

I sammenheng med alternativ transportteknologi er det en mulighet for at redusert utslipp av CO<sub>2</sub> i transportsektoren vil gi økt utslipp i andre sektorer. Et eksempel på dette er om bensindrevne biler erstattes av elektriske biler drevet av strøm produsert i et kullkraftverk. Siden kullkraftverket også slipper ut CO<sub>2</sub> for å produsere energi, kan nettoeffekten på CO<sub>2</sub>-utslippet av et slikt tiltak bli null eller også negativt, selv om en ser bort ifra virkningene på kraftpriser.

Dersom reduserte utslipp fra transportsektoren gir høyere utslipp andre steder i samfunnet, har vi ikke løst noen problemer. Det er tenkelig at det finnes en løsning som ikke reduserer utslippet av CO<sub>2</sub> like mye i transportsektoren, men som ikke påvirker utslippet i andre deler av økonomien, og en slik løsning kan tenkes å være mer effektiv på et nasjonalt nivå.

Vi må altså ta hensyn til den helheten transportaktivitetene inngår i. Dersom de riktige betingelsene ikke er til stede, også utenfor transportsektoren, er det ikke sikkert at den beste løsningen innen transportmarkedet også er den beste løsningen for samfunnet som helhet.

Fordi CO<sub>2</sub>-utslippet fra transport skyldes forbrenning av fossil energi, og siden transport er en energiintensiv aktivitet, er tilpasningene i de to energisektorene (vannkraft og olje/gass) viktige elementer. Vi må ta hensyn til:

- Hva som skjer med den fossile energien som i dag benyttes til transport dersom miljøvennlig transportteknologi blir tatt i bruk og etterspørselen etter fossil energi faller.
- Hva som skjer med elektrisitetsforbruket når etterspørselen og prisen på strøm øker.

Hvis hovedformålet er å redusere det totale norske CO<sub>2</sub>-utslippet, bør spørsmålet være hvordan en mest mulig effektivt kan anvende den fossile energien en tross alt vil være avhengig av i lang tid enda, og ikke nødvendigvis bare hvordan en kan redusere de transportspesifikke utslippene mest mulig uten å ta hensyn til de to over nevnte problemstillingene, i alle fall innen den tidshorizonten vi skal se på. Dette sikrer vi i våre analyser ved å anvende en makromodell (GODMOD).

## 5 Modellen

Til analysene i dette prosjektet har vi benyttet TØIs transport-og makromodell GODMOD (Jensen og Eriksen, 1997). Dette er en en-periodisk anvendt generell likevektsmodell med detaljert fremstilling av sammenhengene mellom produksjon, konsum og transport i Norge. Modellen er en-periodisk i den forstand at den beregner en markedslikevekt som representerer den økonomiske aktiviteten i Norge for et enkelt år. Modellen er statisk fordi den ikke beregner utviklingen over tid eller gir noen beskrivelse av hva som skjer mellom to likevektspunkter.

Modellen er pålagt en forutsetning om full ressursutnyttelse. Priser klarer alle markeder slik at tilbud er lik etterspørsel i hvert marked. En markedslikevekt i en slik modell defineres ved at priser, volumer og inntekter er slik at:

1. Ingen sektor har profitt utover normal faktoravkastning.
2. Tilbud minus etterspørsel er større eller lik 0 for alle varer og faktorer.
3. Konsumentene bruker hele sitt budsjett.
4. Tilbud og etterspørsel reflekterer profitt- og nyttemaksimering.

Aktører i modellen tar markedsprisene for gitt. Aktørene har full informasjon og perfekte forventninger slik at ingen handel skjer utenfor likevekt. Produsenter oppfattes som profitt-maksimerende og konsumentene maksimerer nytte. Modellen beregner dermed en frikonkurransemarkedslikevekt.

Produksjonsfaktorer og konsumvarer kan pålegges prosentvise (ad-valorem) avgifter. Avgiftssystemet som eksisterte i 1992 er representert i modellens referanseløsning, som er basert på norsk økonomi for det samme året. Dette innebærer at alle varer, faktorer og produksjonsaktiviteter er pålagt de relevante avgifter som arbeidsgiveravgift, investeringsavgifter, vareavgifter, toll o.l.

Tidsperspektivet i modellen er den perioden det vil ta for økonomien å justeres inn i en likevekt. Det er to forhold, bindinger på kapitalbeholdning og estimerte elastisiteter, som gir grunnlag for å si noe om dette. Vi kan ikke gi noe eksakt tidsaspekt på denne bakgrunnen, men vi antar likevekten kan knyttes til en periode på 5 til 10 år.

Produsenter og produksjonsaktivitet beskrives av produktfunksjoner med konstant skalaelastisitet. Dette betyr at en prosentvis lik øking i volumet for all faktorer i en produksjonsprosess vil gi samme prosentvise produksjonsøkning. Denne skalaegenskapen gir tilbud- og etterspørselsfunksjoner som er homogene av grad null, og innebærer at en prosentvis lik endring i alle priser ikke har realøkonomisk betydning. Dermed er det bare endring i relative priser har en realøkonomisk betydning. Både produkt- og nyttefunksjonene er formulert ved hjelp av "nestete" CES-funksjoner (se for eksempel Jensen og Eriksen, 1997).

GODMOD deles inn i en produksjons- og i en konsumside. Produksjonssiden består av 8 produsenter av godstransport, 7 produsenter av persontransport, en sektor for offentlig tjenesteyting og 15 generelle vare- og tjenesteproduserende sektorer. Konsumsiden består av ett privat, ett offentlig og ett “utenlandsk” hushold. Konsumentene finansierer konsumet ved salg av arbeidskraft, kapital og valuta som blir omsatt til markedspris. Det totale sluttkonsumet omfatter privat- og offentlig konsum, eksport og brutto realinvesteringer. Sektorgrupperingen er tatt med i vedlegg 3.

Transportsektorene produserer hver sin transporttjeneste, mens transportbrukeren står overfor valg mellom disse ulike transporttjenestene. Fleksibiliteten i valg av ulike transporttjenester er beskrevet ved substitusjonselastisiteter, som indirekte reflekterer konkurranseforhold, infrastruktur og lokaliseringsatferd.

Markedet for godstransport deles inn i sjø-, bane- og veitransport. Veitransport deles i 3 vektclasser og i egen- og leietransport. Persontransport deles inn i transport med fly, jernbane, privatbil, sjøfart, taxi, sporvei og rutebiler. Tabell 1 viser inndelingen av transportmarkedet.

Tabell 1. Inndeling av transportmarkedet i GODMOD-3.

Godstransport	Persontransport
1. Egentransport med bil, totalvekt <10 tonn	1. Privatbil
2. Egentransport med bil, totalvekt 10-15 tonn	2. Fly
3. Egentransport med bil, totalvekt >15 tonn	3. Rutebil
4. Leietransport med bil, totalvekt <10 tonn	4. Drosje
5. Leietransport med bil, totalvekt 10-15 tonn	5. Sporvei
6. Leietransport med bil, totalvekt >15 tonn	6. Sjøfart
7. Sjøfart	7. Jernbane
8. Jernbane	

Transporttjenester er en innsatsfaktor til produksjon og konsum. Godstransport har i hovedsak sammenheng med varestrømmene mellom produksjonssektorene, hvor produsenter etterspør vareinnsats, og kan benytte ulike transportmidler for å flytte varene. Vi står overfor en avledet etterspørsel etter godstransport, hvor tilgang på varer er målsetningen, mens transport er en nødvendig faktor. I mindre grad har også husholdninger etterspørsel etter godstransport – da hovedsakelig i forbindelse med flytting og søppelkjøring. Godstransport utgjør imidlertid en svært liten del av privat konsum.

Produksjon av transporttjenester beskrives med en produktfunksjon som omdanner innsats av kapital (biler), arbeid (sjåførere), varer (reservedeler o.l), tjenester (forsikring, registrering o.l) og energi (drivstoff) til transporttjenester. Prisen på transporttjenester bestemmes av marginalkostnad ved produksjon, og transportetterspørsel bestemmes av grensenytte/grenseproduktivitet.

GODMOD løses i computerprogrammet MPSGE som er utviklet av T. Rutherford (1989). En MPSGE modell er basert på kostnader og substitusjonselastisiteter, og forenkler programmeringsprosessen slik at en i større grad kan konsentrere seg om teoretiske sammenhenger. MPSGE benytter utelukkende nytte- og produktfunksjoner av CES-klassen.



## 6 Alternativ transportteknologi

I innledningskapitlet delte vi problemstillingen i prosjektet inn i tre punkter. I dette kapitlet skal vi se på det første punktet som handler om anslag på den teknologiske utvikling av transportteknologi og teknologispesifikke utslipp av CO<sub>2</sub>. De to siste punktene, om utskiftning av kjøretøyparken, anvendelse og makroøkonomiske implikasjoner av teknologiene, blir belyst i kapittel 7 og 8.

I første avsnitt presenterer vi kort hvilke alternative transportteknologiene vi anser som relevante. Deretter ser vi på koeffisienter for kostnader, energibruk og utslipp av CO<sub>2</sub> for teknologialternativene.

Noe av hensikten er å se om det er hensiktsmessig å gå videre med alle alternativene i modellberegningene i kapittel 8. Vi har diskutert dette i siste avsnitt i kapitlet, der vi argumenterer for å kutte ut noen av alternativene på basis av oppsummeringen i dette kapitlet.

### 6.1 Alternative teknologiske transportløsninger

Som regel finnes det flere ulike varianter av en enkelt teknologi. Bruker vi elektriske biler som eksempel, finnes det flere ulike batteriløsninger og elektriske motorer med forskjellige fordeler og ulemper. Vi vet for eksempel at det arbeides med minst 7 ulike batterityper for elektriske biler (se for eksempel MacKenzie, 1994). Også hydrogen- og gasskjøretøyer omfatter ulike varianter. Med utgangspunkt i et mer generelt formål i dette prosjektet, synes vi imidlertid ikke det er behov for å gå detaljert inn på hver enkelt teknologivariant. Vi har valgt å studere representative varianter av hver teknologi. For de som ønsker en drøfting av enkeltvarianter, kan vi henvise til MacKenzie (1994).

I prosjektet tar vi utgangspunkt i det vi antar er de beste egenskapene fra flere varianter av en viss teknologi. Vi betrakter dette som potensialet for alternativet. Vi ser for eksempel på en "elektrisk bil" i stedet for hver av de mange ulike elektriske biler med ulike batteriløsninger. På bakgrunn av Skedsmoe og Hagman (1998) har vi laget en inndeling av teknologialternativer. Inndelingen er oppgitt i tabell 2.

I tabellen har vi 7 ulike teknologialternativer for personbiler og 7 alternativer for tunge biler, som omfatter busser og flere vektclasser for laste- og godsbiler. De grunnleggende trekkene ved teknologialternativene er de samme for personbiler og tunge biler, så vi gir en beskrivelse av dem samlet. Koeffisientene for energibruk og kostnader er imidlertid forskjellige for personbiler og tunge kjøretøy.

Det første alternativet vi har ført inn i tabellen er forbedring av dagens teknologi. Selve teknologien skulle ikke trenge nærmere kommentar, annet enn at forbedrin-

gene kan oppnås med lettere materialer i kjøretøyene, mer effektiv drivstoffor-  
brenning i motorene og bedre overføring av energi fra motor til hjul.

Gjennom en modifikasjon av dagens forbrenningsmotorer kan en del av disse  
også kjøres på gass. Det betyr faktisk at de fleste vanlige biler i dagens bilpark  
kan bygges om til gassdrift. Alternative gasstyper er "liquified petroleum gas"  
(LPG), "compressed natural gas" (CNG), "liquified natural gas" (LNG) og  
"demetyl-eter" (DME). DME og CNG produseres fra naturgass, mens LPG  
produseres fra råolje. I dette prosjektet har vi valgt å fokusere videre på metan  
(CNG) som anses for det beste alternativet for biler. Datagrunnlaget for LPG og  
DME er imidlertid også lagt ved i Teknologisk Institutt (1998).

Hybridbiler benytter en kopling av ulike fremdriftsteknologier. Den hybridbilen vi  
ser på her, er en parallell kopling mellom en elektrisk motor og en forbrennings-  
motor. For personbiler er drivstoffet bensin, og for tunge kjøretøyer er det diesel.  
Forbrenningsmotoren i hybridbilen brukes til å lade batterier til en elektrisk mo-  
tor. Men for å gi større ytelse ved landeveiskjøring, kan forbrenningsmotoren også  
koples inn. Den elektriske motoren fungerer som aggregat som også kan lade  
batteriene ved oppbremsing. I bykjøring benytter hybridbilen den elektriske  
motoren, mens den fungerer som en vanlig bil på landeveien<sup>11</sup>.

Tabell 2. Alternative transportteknologier.

Personbiler	Godsbiler, buss og rutebiler	Skip	Fly	Jernbane
1. Effektivisering av dagens teknologi	1. Effektivisering av dagens teknologi	1. Effektivisering av dagens teknologi	1. Effektivisering av dagens teknologi	1. Effektivisering av dagens teknologi
2. Gass, CNG	2. Gass, CNG	2. Gass, LNG	2. Gass, LNG	2. Gass, LNG
3. Hybrid bensin/ elektrisk	3. Hybrid diesel/ elektrisk			
4. Elektriske biler med batteridrift	4. Elektriske biler med batteridrift			
5. Alkohol, metanol	5. Alkohol, metanol			
6. Biodiesel, RME	6. Biodiesel, RME			
7. Hydrogen, brenselcelle	7. Hydrogen, brenselcelle			

Elektriske biler benytter en elektrisk motor som får strøm fra et batteri. Batteriet  
lades gjennom det vanlige strømmettet.

Som gass, kan også alkohol brukes som drivstoff i vanlige forbrenningsmotorer.  
Her har vi valgt å se på metanol som produseres fra naturgass. Metanol (og andre  
alkoholtyper) kan også brukes i blanding med bensin for å opprettholde energi-  
innholdet i drivstoffet ved hjelp av innblandet bensin. En kan også benytte etanol  
som utvinnes fra trevirke som drivstoff i forbrenningsmotorer, men vi har ikke tatt  
stilling til etanol i dette prosjektet.

Biodiesel benyttes i dieselmotorer og kan framstilles fra ulike kilder, blant annet  
biologisk avfall og rapsplanter. Her ser vi på en type biodiesel kalt Rapsolje-  
Mety-Ester (RME) som framstilles fra oljen av rapsplanten. Alle planter, også

<sup>11</sup> Vår hybridbil er basert på Toyota Prius.

raps, opptar CO<sub>2</sub> under veksten. Så selv om RME har et relativt høyt karboninnhold, blir nettoutslippet av CO<sub>2</sub> null på grunn av rapsplantenes CO<sub>2</sub> opptak.

Til sist vil vi se på det mange anser som fremtidens løsning for biler, hydrogen. Hydrogen kan benyttes på ulike måter i kjøretøyer, for eksempel i direkte forbrenning. Her skal vi imidlertid se på elektriske biler som bruker hydrogen til å generere elektrisitet. Dette skjer i en brenselcelle i bilen. Brenselcellen omdanner hydrogenet til elektrisitet via en kjemisk reaksjon. Denne teknologien er ikke anvendbar for personbiler enda, og vil sannsynligvis ikke være det i de nærmeste 10 årene. Et problem er at hydrogen krever svært stor lagringsplass. Det finnes imidlertid busser som bruker brenselcelleteknologi i drift i California. En av fordelene med hydrogen er at denne bilen bare vil ha vann som avfall, og hydrogen finnes i nesten uendelige mengder.

Som vi var inne på i innledningskapitlet, har vi funnet lite informasjon om utvikling av alternativ teknologi innen skipsfart, jernbane og luftfart. I tillegg til forbedring av tradisjonell teknologi, er gassdrift det eneste alternativet for disse tre transportsektorene. Den mest anvendbare gasstypen er LNG, som står for "liquified natural gas".

Hvert av alternativene i tabell 2 kan anvendes innen flere segmenter i transportmarkedet. Alle personbilalternativene vil for eksempel kunne benyttes både som privatbiler og som drosjer. Dette gjør det nødvendig med en inndeling av transportmarkedet slik at vi kan systematisere alle anvendelsesområder for alle teknologialternativene. Vi har en inndeling av transportmarkedet fra modellen GODMOD. Siden denne modellen anvendes i analysene er det naturlig at denne også legger premissene for markedsinndelingen i prosjektet. Markedsinndelingen i GODMOD er vist i tabell 1 i forrige kapittel.

Siden analysene er gjennomført med GODMOD, er det viktig å være klar over hvilke elementer som kan fanges opp av denne modellen. I modellen representeres en aktivitet ved hjelp av en produktfunksjon basert på koeffisienter for innsatsfaktorvolumer, priser og substitusjonselastisiteter. Med utgangspunkt i tabell 1 ser vi at modellen ikke skiller mellom lange og korte reiser, slik at det ikke er mulig å representere et slikt skille i analysene. Dette betyr at rekkevidde ikke kan endogeniseres i analysene. Elektriske biler er for eksempel et alternativ til bensindrevne biler, men bare innen korte reiser. Siden rekkevidden for dagen elektriske biler er maksimalt 10 mil før en må lade opp batteriene på nytt, mister vi en dimensjon i analysen. Det er imidlertid grunn til å tro at forskjeller i rekkevidde er midlertidig (MacKenzie, 1994), og at en i fremtiden vil ha alternative kjøretøyer med relativt god rekkevidde. Vi mener derfor at inndelingen i tabell 1 er tilstrekkelig for å fange opp de langsiktige markedsmulighetene for alternativ transportteknologi. Vi har imidlertid, som vi kommer tilbake til i kapittel 5, tatt hensyn til rekkevidde i eksogene anslag i analysene.

## 6.2 Tekniske koeffisienter for alternativ transportteknologi

På bakgrunn av Teknologisk Institutt (1998) har vi beregnet volumandeler<sup>12</sup> for innsatsfaktorene til alternativ og forbedret transportteknologi. Koeffisientene danner grunnlaget for produktfunksjonene for teknologialternativene i tabell 2.

### 6.2.1 Personbiler

Volumkoeffisienter for faktorbruk og utslipp fra personbiler for 1998 vises i tabell 3. Tabellen er delt inn i tre seksjoner, og omfatter alle teknologialternativene for personbil som vi vil studere i dette prosjektet.

De tre øverste radene i tabell 3 viser de relative kostnadsandeler for kapital, vedlikehold og energi. Kostnadene er målt i forhold til bensin/dieslbiler som er satt til 1. Energikostnad er regnet eksklusiv avgifter.

De fem mellomste linjene omhandler energibruk og CO<sub>2</sub> utslipp målt i volum i forhold til kjøretøykilometer. Drivstofforbruk er oppgitt i liter og kilowattimer per kjøretøykilometer. Energiforbruket er oppgitt i megajoule per kjøretøykilometer.

I de fire nederste linjene i tabell 3 vises utslipp av CO<sub>2</sub> og av helseskadelige partikler og gasser. Utslippene er oppgitt per kjøretøykilometer.

Tabell 3. Volumandeler for personbil, anslag for 1998.

	Bensin	Elektrisk	Hybrid	Gass	Bio	Alko	Hydr
<b>Kapital (relativt til bensinbil)</b>	1,00	1,33	1,67	1,22	1,22	1,11	1,68
<b>Vedlikehold (relativt til bensinbil)</b>	1,00	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Energikostnad (relativt til bensinbil, eks avgift)</b>	1,00	0,11	0,50	1,35	1,23	1,74	0,75
<b>Drivstoff (l/km, kw/km)</b>	0,10	0,27	0,05	-	0,07	0,22	-
<b>Energi (MJ/km)</b>	3,11	0,96	1,56	3,07	2,34	3,50	1,28
<b>CO<sub>2</sub>, kg/MJ i forbrenning</b>	0,07	0,00	0,07	0,06	0,08	0,07	0,00
<b>CO<sub>2</sub>, kg/MJ i fremstilling</b>	0,02	0,00	0,02	0,01	0,06	0,03	0,00
<b>CO<sub>2</sub> (kg/km)</b>	0,27	0,00	0,14	0,20	0,32	0,37	0,00
<b>Utslipp med lokal forurensningseffekt</b>							
<b>NO<sub>x</sub> (g/km)</b>	0,14	0,00	0,07	0,07	0,52	0,03	0,00
<b>HC (g/km)</b>	0,18	0,00	0,18	0,04	0,00	0,20	0,00
<b>CO (g/km)</b>	0,83	0,00	0,42	0,05	0,22	0,97	0,00
<b>Pm10 (g/km)</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00

Tallene i tabellen er bearbejdede størrelser fra Skedsmoe og Hagman (1998)

Ulemper i form av tid til å fylle drivstoff eller å lade batterier for kjøretøyet kan i prinsippet reflekteres i redusert fritid for bilister og økt bruk av arbeidskraft for profesjonell transport. Fritid er imidlertid ikke representert i GODMOD slik at ulempen ved lang lade-/tanketid vil eksogent bli fanget opp gjennom sannsynligheten for at en vil anskaffe en alternativ bil ved et nybilkjøp (vi kommer tilbake til dette poenget i neste kapittel). Økt bruk av arbeidskraft/sjåførtid fordi det tar len-

<sup>12</sup> Volumandeler er definert i vedlegg 2

ger tid å lade enn å tanke fanges derimot opp som økt lønnskostnad for profesjonell transport.

Tabell 3 viser at elektriske biler er det mest energieffektive transportalternativet vi kjenner i dag for personbiler. I forhold til bensinbiler bruker en elektrisk bil bare 31% av energien per kilometer. Den gjennomsnittlige elektriske bilen er imidlertid mindre en tilsvarende bensinbil. Det forklarer en del av forskjellen.

Om en tar utgangspunkt i elektrisitet som er produsert fra vannkraft, er den batteridrevne elektriske bilen per i dag den eneste som ikke gir CO<sub>2</sub>-utslipp<sup>13</sup>. Hydrogenbilen, som heller ikke har CO<sub>2</sub>-utslipp, er ikke et aktuelt alternativ før tidligst i 2010. Dersom elektrisitet til elbilen derimot kommer fra import, vil bruk av elektrisk bil kunne medføre et CO<sub>2</sub> utslipp i utlandet, for eksempel fra kull- eller gasskraftverk. Kostnadmessig er elbilen dyrere enn en bensinbil, men har til gjengjeld lavere vedlikeholds- og energikostnader. Hovedankepunktene mot dagens elektriske biler er at de er små, har kort rekkevidde og lang ladetid.

Biler basert på hybridteknologi synes å være et godt alternativ til bensinbilen. Hybridbilen har ikke elbilens begrensninger i ladetid, ytelse, rekkevidde og størrelse. Fordelen med hybridløsningen er at den har nærmest alle de samme egenskapene som en vanlig personbil har, men med langt lavere energiforbruk. En åpenbar ulempe er at hybridbilen koster nærmere 70% mer enn en tilsvarende bensinbil i innkjøp. Kostnadsulempen vil imidlertid reduseres dersom en får økte avgifter på CO<sub>2</sub>.

Biler med gassdrift, her representert med CNG, bruker omtrent like mye energi som dagens bensinbiler målt i MJ. Likevel er CO<sub>2</sub>-utslippet noe lavere fra gassbilen. Fremstilling og komprimering av gass er derimot en god del dyrere enn bensin, noe som gir 33% høyere energikostnad for gassbilen i forhold til bensinbiler. Gassbilen har også 22% høyere kapitalkostnad enn dagens bensinbil.

Siden gassbiler ikke har vesentlig lavere CO<sub>2</sub>-utslipp enn bensinbiler, men relativt høy energikostnad og kapitalkostnad, tror vi ikke gass er en god løsning på CO<sub>2</sub>-problemet. Både elbilen og hybridløsningen virker for oss som bedre og mer kostnadseffektive alternativer. Det er dessuten en viss eksplosjonsfare forbundet med komprimert gass. Oppbevaring av gass på denne måten gir dessuten lavt energiinnhold per volumenheter, noe som innebærer at gassbilen har kortere rekkevidde enn bensinbilen.

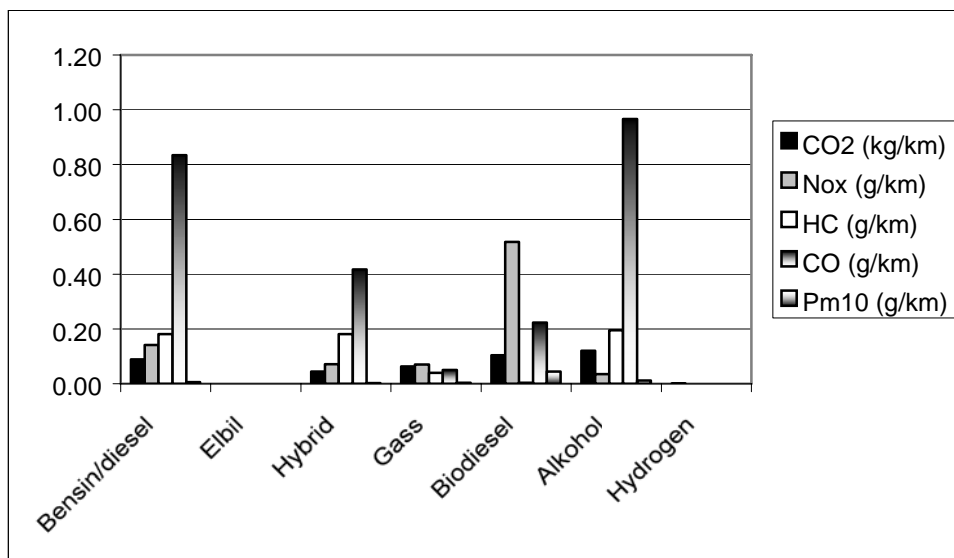
Fordelen med rapsmetyler (RME) er at dyrking av raps binder like mye CO<sub>2</sub> som forbrenningen frigjør. Det betyr at nettoutsippet av CO<sub>2</sub> fra RME forbrenning er null. Ulempen med biodrivstoff er at det er svært arealkrevende å dyrke raps. Anslag tyder på at det ikke vil være rom for å produsere mer enn 2-3% i Norge av det vi trenger for å erstatte diesel ved dyrking hver 6 år på det totale areal dyrkbar jord i Norge (Skedsmoe og Hagman, 1998). Dette vil selvfølgelig gå utover annet jordbruk. Vi må i beste fall være nødt til å importere RME, noe som også er begrenset av samme grunn. Kostnadmessig ligger RME bedre an enn

---

<sup>13</sup> Biodiesel gir et nettoutslipp på null fordi dyrking av rapspflanter tar opp like mye CO<sub>2</sub> som det vi får i utslipp fra forbrenning av biodiesel.

gass, men på grunn av de nevnte problemene med å dyrke raps, har vi liten tro på denne løsningen.

Figur 2. Utslipp fra personbiler, utslipp per kjøretøykilometer.



Biler drevet med metanol har ca 11% høyere anskaffelseskostnad en bensinbil. Energikostnadene er dessuten nesten 70% høyere og drivstoffet gir faktisk noe høyere CO<sub>2</sub>-utslipp enn bensin. Vi ser derfor ingen grunn til å gå videre med alkohol i dette prosjektet.

Hydrogen er en mulig langsiktig løsning for CO<sub>2</sub>-utslipp (og andre utslipp) fra transport. Men teknologien er enda ikke kommet langt nok til å anvendes i privatbiler. Det er ingen som i dag har klart å lage en hydrogendrevet personbil som har brukbare egenskaper, selv om noen produsenter driver med tester av dette. Problemet teknologien står overfor er at lagring av hydrogen tar for stor plass til å gi plass til flere enn sjåføren i en personbil. Men på lenger sikt kan nok hydrogen bli et godt alternativ, også for personbiler. Vi vil imidlertid ikke ta med hydrogenbilen i analysene før år 2010. Hydrogenbilen er et kostbart alternativ.

Hvis vi også tar hensyn til utslipp med lokal forurensningseffekt, er det først og fremst elbilen og hydrogenbilen som skiller seg ut som gode alternativer. Utslippene fra disse er null. Hybridene har halvparten av utslippet til bensinbilen bortsett fra for HC. Gassbilen har tydeligvis mer for seg i sammenheng med lokalforurensning, mens alkohol ikke ser ut til å gi vesentlige gevinster her heller. Overraskende er det at biodrivstoff er et relativt dårlig alternativ for lokalmiljøet. Utslipet av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, CO og Pm<sub>10</sub> fra personbilalternativene er vist i figur 2.

Det neste viktige punktet i dette kapitlet er forventet utviklingen for faktorbruk frem til år 2020 for de ulike alternativene. Vi satt opp to utviklingsbaner. En med et stimulert (+) anslag, og en med et ikke-stimulert (-) anslag. Forventet utvikling

i teknologialternativene er vist i tabell 4. Kostnader og energiforbruk regnes i forhold til bensinbiler som er satt lik 1 i 1998.

Tallene i tabell 4 viser hvor mye innsatsen av hver faktor reduseres i forhold til referanseåret i hvert av tidspunktene 2001, 2010, 2020. Forbruket for en gjennomsnittlig bensinbil i 1998 er satt lik 1. Størrelsene i tabellen representerer ”eksogen faktorproduktivitet” for transport med personbil. Produksjon av kjøretøyer skjer utenfor Norge, og størrelsene i tabell 4 er uavhengig av bruken i Norge (fordi vi representerer et lite marked i verdensmålestokk).

I det optimistiske anslaget er det biler med brenselcelle drevet av hydrogen og hybridbiler som forventes å få den sterkeste reduksjonen i kapitalkostnader. For elbiler antas kapitalkostnaden å være lavere enn for de øvrige alternativene, mens den tradisjonelle bensinbilen er av de som antakeligvis får størst reduksjon. I det optimistiske anslaget kommer elbilen bedre ut, men fremdeles ser det ut til at vi må anta at hybridbilen og brenselcellebilen vil falle sterkest i pris.

Tabell 4. Teknologiske utvikling for personbiler, endring i faktorbruk, Bensinbil i 1998 = 1. Stimulert (+) og ikke-stimulert (-) utvikling.

		Bensin		Elektrisk		Hybrid		Gass		Biodiesel		Metanol		Hydrogen	
		-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
<b>Kapital</b>	<b>1988</b>	1,00	1,00	1,33	1,33	1,67	1,67	1,22	1,22	1,22	1,22	1,11	1,11	1,68	1,68
	<b>2001</b>	0,94	0,94	1,33	1,28	1,55	1,49	1,19	1,04	1,17	1,11	1,05	0,99	1,61	1,56
	<b>2010</b>	0,89	0,89	1,33	1,22	1,44	1,33	1,17	0,89	1,11	1,00	1,00	0,89	1,56	1,44
	<b>2020</b>	0,89	0,89	1,22	1,11	1,33	1,11	1,11	0,89	1,11	1,00	1,00	0,89	1,44	1,22
<b>Vedlikehold</b>	<b>1988</b>	1,00	1,00	0,90	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	<b>2001</b>	0,95	0,90	0,85	0,81	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	0,90
	<b>2010</b>	0,90	0,81	0,81	0,73	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81
	<b>2020</b>	0,80	0,72	0,72	0,65	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72
<b>Energi (MJ)</b>	<b>1988</b>	1,00	1,00	0,31	0,31	0,50	0,50	0,99	0,99	0,75	0,75	1,12	1,12	0,41	0,41
	<b>2001</b>	0,91	1,00	0,29	0,29	0,42	0,39	0,96	0,88	0,63	0,53	0,94	0,79	0,37	0,37
	<b>2010</b>	0,70	0,50	0,28	0,28	0,35	0,30	0,94	0,79	0,53	0,38	0,79	0,56	0,34	0,34
	<b>2020</b>	0,60	0,31	0,25	0,25	0,30	0,25	0,89	0,74	0,45	0,34	0,67	0,35	0,31	0,31

Tallene i tabellen er bearbejdede størrelser fra Skedsmoe og Hagman (1998)

Når det gjelder utvikling av reparasjon og vedlikeholdskostnader er det lite grunn til å forvente store ulikheter mellom alternativene verken i det optimistiske eller det nøytrale anslaget.

Drivstofforbruket antas å reduseres sterkest for bensin, hybrid, alkohol og biodiesel alternativene i det nøytrale anslaget. Potensialet for energieffektivisering av elektriske biler er i alt vesentlig ”tatt ut” allerede. Det samme gjelder for hydrogenbilen. I det optimistiske anslaget ser vi at bensinbilen kan ha mer å hente enn de øvrige i energieffektivisering.

Utviklingspotensialet for drivstoffeffektivitet kan med andre ord være ganske stort for bensinbiler. Som vi har vært inne på før skyldes det at bensindriften i utgangspunktet ikke er svært energieffektivt sett med hensyn på det faktiske energiforbruket målt i joule.

Med utgangspunkt i det ikke-stimulerte alternativet (-) i tabell 4 ser det kanskje ikke ut til at de til dels store kostnadmessige ulemper for alternative bilteknologier vil reduseres dramatisk. Det vil si at utvikling i energikostnader inklusiv eventuelle avgifter på for eksempel CO<sub>2</sub>, utvikling av kjøreegenskaper, lade-

/batteriteknologi og distribusjonssystemer for alternativt drivstoff vil avgjøre om disse bilene blir tatt i bruk eller ikke.

Hvis vi derimot legger et mer optimistisk syn til grunn for teknologiutviklingen, får vi et litt annet inntrykk av mulighetene. I det stimulerede anslaget (+) antas det at kapitalkostnaden for alle alternative transportmidler reduseres sterkere med tiden enn tilfellet er for tradisjonelle bensinbiler. Dette betyr at også utviklingen i kapitalkostnad over tid er med på å redusere fordelene ved å kjøre en bensindrevet bil.

## 6.2.2 Tunge biler

De tre øverste radene i tabell 5 viser de relative kostnadsandelene for kapital, vedlikehold og energibruk for tunge biler. Kostnadene er målt i forhold til dieserbiler som er satt til 1. Energikostnad er regnet eksklusiv avgifter.

Tabell 5. Volumandeler for tunge biler, anslag for 1998.

	Diesel	Elektrisk	Hybrid	Gass	Bio	Alko	Hydr
<b>Kapital (relativt til diesebil)</b>	1,00	1,40	1,50	1,05	1,05	1,15	1,60
<b>Vedlikehold (relativt til diesebil)</b>	1,00	0,90	1,11	1,00	1,00	1,00	1,11
<b>Energikostnad (relativt til diesebil, eks avgift)</b>	1,00	0,15	0,61	1,63	1,69	1,37	1,29
<b>Drivstoff (l/km, kw/km<sup>*</sup>)</b>	0,33	0,14	0,20	-	0,37	0,67	-
<b>Energi (MJ/km)</b>	11,64	4,95	7,07	13,90	12,04	10,35	8,24
<b>CO<sub>2</sub>, kg/MJ i forbrenning</b>	0,07	0,00	0,07	0,06	0,08	0,07	0,00
<b>CO<sub>2</sub>, kg/MJ i fremstilling</b>	0,02	0,00	0,02	0,01	0,06	0,03	0,00
<b>CO<sub>2</sub> (kg/km)</b>	1,06	0,00	0,64	0,89	1,66	1,11	0,02
<b>Utslipp med lokal forurensningseffekt</b>							
<b>Nox (g/km)</b>	8,00	0,00	NA	3,90	10,39	5,00	0,00
<b>HC (g/km)</b>	0,55	0,00	NA	2,00	0,02	0,12	0,00
<b>CO (g/km)</b>	1,70	0,00	NA	0,80	1,36	0,14	0,00
<b>Pm10 (g/km)</b>	0,17	0,00	NA	0,01	0,17	0,04	0,00

Tallene i tabellen er bearbejdede størrelser fra Skedsmoe og Hagman (1998)  
NA= ikke tilgjengelig

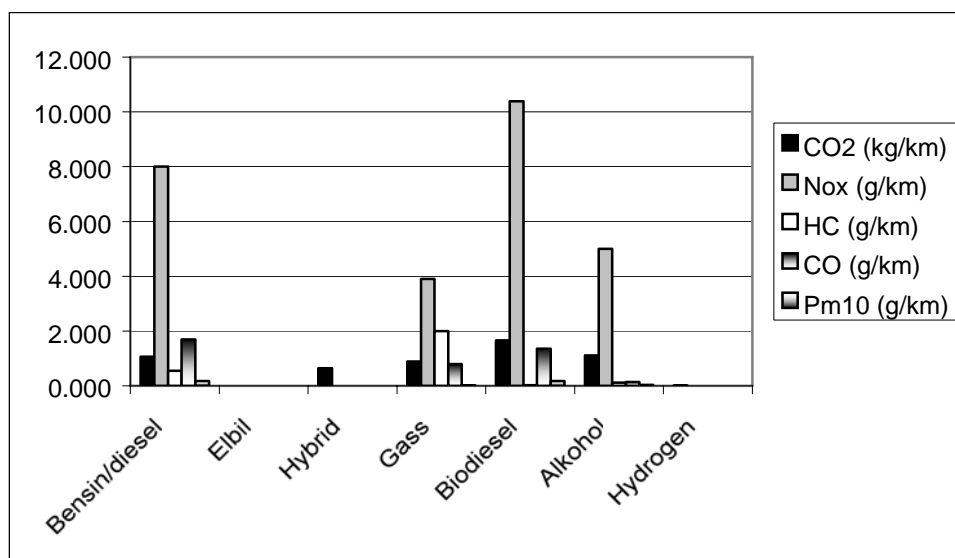
De fem mellomste linjene omhandler energibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp målt i volum pr kjøretøykilometer. Drivstofforbruk er oppgitt i liter og kilowattimer per kjøretøykilometer. Energiforbruket er oppgitt i megajoule per kjøretøykilometer.

I de fire nederste linjene i tabell 5 vises utslipp av CO<sub>2</sub> og av lokalt skadelige partikler og gasser. Alle utslippene er oppgitt per kjøretøykilometer.

Resultatene for tunge biler følger i hovedsak resultatene for personbiler og vi gjentar bare kort resonnementene her.



Figur 3. Utslipp fra tunge biler, utslipp per kjøretøykilometer.



Elbiler vil kunne være et alternativ til bensinbiler fordi disse er fri for alle utslipp. Biodiesel er et lite realistisk alternativ (utenom kanskje i enkelte små segmenter, bybusser o.l.) av samme grunn som for personbiler. Når det gjelder gass, er vi litt mer usikker på hvordan dette alternativet vil bli for tunge biler. Vi tror i alle fall at gass er et bedre alternativ for tunge biler enn for personbiler. I figur 3 har vi vist utslippene av CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC, CO og Pm<sub>10</sub> fra tunge biler i et stolpediagram. Verdiene er de samme som i tabell 5.

Tabell 6. Teknologiske utvikling, tunge biler, endring i faktorbruk per kjøretøykilometer, Dieselbil i 1998 = 1. Stimulert (+) og ikke-stimulert (-) utvikling.

		Diesel		Elektrisk		Hybrid		Gass		Biodiesel		Alkohol		Hydrogen	
		-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
<b>Kapital</b>	<b>1998</b>	1,00	1,00	1,40	1,40	1,50	1,50	1,05	1,05	1,05	1,05	1,15	1,20	1,60	1,60
	<b>2001</b>	0,95	0,95	1,30	1,24	1,40	1,34	1,02	1,00	1,02	1,00	1,12	1,07	1,50	1,44
	<b>2010</b>	0,90	0,90	1,20	1,10	1,30	1,20	1,00	0,95	1,00	0,95	1,10	0,95	1,40	1,30
	<b>2020</b>	0,90	0,90	1,10	1,00	1,20	1,00	0,95	0,90	0,95	0,90	1,05	1,00	1,30	1,10
<b>Vedlikehold</b>	<b>1998</b>	1,00	1,00	0,90	0,90	1,11	1,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,11
	<b>2001</b>	0,95	0,90	0,85	0,73	1,00	0,95	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	0,90	1,00	0,95
	<b>2010</b>	0,90	0,81	0,80	0,60	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81
	<b>2020</b>	0,80	0,72	0,70	0,50	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72
<b>Energi</b>	<b>1998</b>	1,00	1,00	0,43	0,43	0,61	0,61	1,19	1,19	1,03	1,03	0,89	0,89	0,71	0,71
	<b>2001</b>	0,96	0,89	0,41	0,38	0,57	0,57	1,15	1,07	1,00	0,93	0,86	0,80	0,66	0,66
	<b>2010</b>	0,93	0,80	0,40	0,34	0,53	0,53	1,11	0,96	0,96	0,83	0,83	0,71	0,62	0,62
	<b>2020</b>	0,86	0,64	0,37	0,27	0,50	0,43	1,03	0,76	0,89	0,66	0,77	0,57	0,58	0,50

Tallene i tabellen er bearbejdede størrelser fra Skedsmoe & Hagman (1998)

NA= ikke tilgjengelig

Tabell 6 viser hvor mye innsatsen av hver faktor reduseres i forhold til referanseåret i hvert av tidspunktene 2001, 2010, 2020 for tunge biler. Forbruket i 1998 er

satt lik 1. Størrelsene i tabellen representerer også her eksogen faktorproduktivitet for transport med tunge biler.

### 6.2.3 Tog, bane, fly og skip

Koeffisienter for innsatsfaktorer og utslipp fra bane, fly og skip for 1998 vises i tabell 7. Som de foregående tabellene er også denne delt inn i tre seksjoner.

De tre øverste radene i tabell 7 viser relative kostnadsandeler for kapital, vedlikehold og energibruk. Koeffisientene er beregnet i forhold til den tradisjonelle varianten innen hver transportsektor. Det vil si at fly drevet med parafin (jetbensin), båt drevet med diesel og elektriske tog er satt til 1. Energikostnad er fremdeles regnet eksklusiv avgifter.

Tabell 7. Volumandeler for tunge biler, anslag for 1998

	Fly, parafin	Fly, gass	Båt, diesel	Båt, gass	Tog, el	Tog, gass
<b>Kapital</b>	1,00	1,20	1,00	1,20	1,00	0,92
<b>Vedlikehold</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Energikostnad</b>	1,00	1,38	1,00	1,48	1,00	12,03
<b>Drivstoff (l/km, kw/km)*</b>	0,05	NA	0,03	NA	NA	NA
<b>Energi (MJ/km)</b>	1,76	1,73	1,23	1,30	0,12	0,42
<b>CO<sub>2</sub>, kg/MJ i forbrenning</b>	0,07	0,06	0,07	0,06	0,00	0,06
<b>CO<sub>2</sub>, kg/MJ i fremstilling</b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
<b>CO<sub>2</sub> (kg/km)</b>	0,15	0,11	0,10	0,08	0,00	0,03
<b>Utslipp med lokal forurensningseffekt</b>						
<b>Nox (g/tpk)</b>	0,37	0,37	1,90	0,38	0,00	0,14
<b>HC (g/tpk)</b>	0,07	0,01	0,09	0,17	0,00	0,06
<b>CO (g/tpk)</b>	0,32	0,03	0,09	0,17	0,00	0,27
<b>Pm10 (g/tpk)</b>	0,02	NA	0,01	0,00	0,00	0,00

Tallene i tabellen er bearbejdede størrelser fra Skedsmoe & Hagman (1998)

NA= ikke tilgjengelig

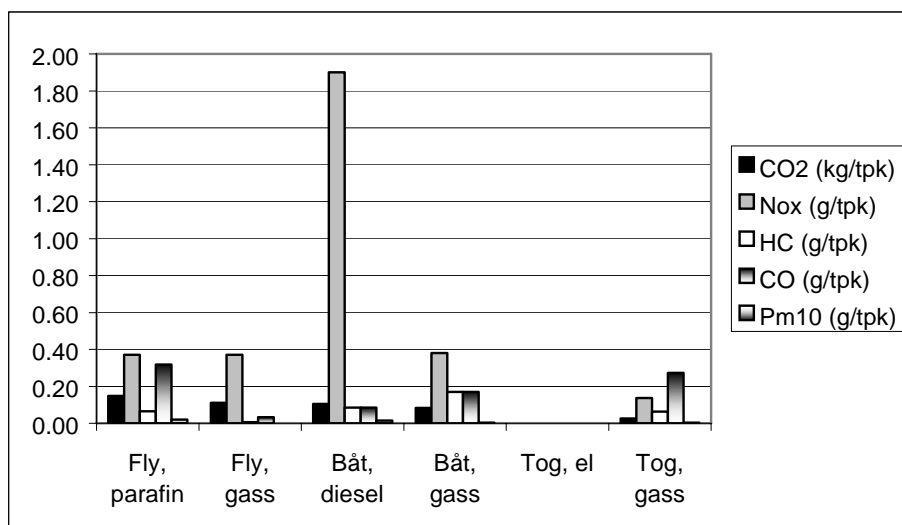
tpk = tilgjengelig passasjerkilometer

De fem mellomste linjene i tabell 7 omhandler energibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp målt i volum i forhold til tilgjengelige passasjerkilometer (tpk), det vil si antallet seter, enten de er besatt eller ikke. Drivstofforbruk er oppgitt i liter og kilowattimer. Energiforbruket er oppgitt i megajoule.

I de fire nederste linjene i tabell 7 vises utslipp av CO<sub>2</sub> og av lokalt skadelige partikler og gasser. Alle utslippene er oppgitt per tilgjengelige passasjerkilometer.

Dagens fly bruker parafin som også kalles jetbensin. Det er imidlertid mulig å bruke gass som drivstoff for fly. Ser vi på CO<sub>2</sub>-utslippet per tilgjengelige passasjerkilometer for gassfly i tabell 7, er dette noe mindre enn for jetbensin. Både kapital- og energikostnaden er imidlertid en god del større for gassfly enn de tradisjonelle drevet med parafin. Vi er derfor i tvil om hensiktsmessigheten for gassdrevne fly som alternativ til vanlig parafindrif i en klimasammenheng.

Figur 4. Utslipp fra tog, fly og skip, per tilgjengelig passasjerkilometer.



Gassfly er imidlertid en fordel i sammenheng med lokal forurensning. Men dette er bare et poeng i den grad flyplasser er lokalisert i nærheten av tett befolkede områder.

Tabell 8 viser den forventete teknologiske utvikling i tid for tog-, fly og båt. Som for personbiler og tunge biler har vi et stimulert (+) og et ikke-stimulert (-) alternativ. Det er imidlertid lite som skiller de to utviklingsalternativene for disse transportsektorene.

Tabell 8. Teknologiske utvikling, fly, tog, båt, endring i faktorbruk per tilgjengelige passasjerkilometer, 1998 = 1. Stimulert (+) og ikke-stimulert (-) utvikling.

		Fly, parafin		Fly, gass		Båt, diesel		Båt, gass		Tog, El		Tog, gass	
		-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
<b>Kapital</b>	<b>I dag</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	<b>2001</b>	0,95	0,95	0,96	0,91	0,95	0,95	0,96	0,91	1,00	0,96	0,96	0,89
	<b>2010</b>	0,90	0,90	0,92	0,83	0,90	0,90	0,92	0,83	1,00	0,92	0,92	0,79
	<b>2020</b>	0,90	0,90	0,92	0,75	0,90	0,90	0,92	0,75	0,92	0,92	0,92	0,75
<b>Vedlikehold</b>	<b>I dag</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	<b>2001</b>	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	0,90	0,95	0,90
	<b>2010</b>	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81	0,90	0,81
	<b>2020</b>	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72	0,80	0,72
<b>Energi (MJ)</b>	<b>I dag</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	<b>2001</b>	0,84	0,84	1,00	0,84	0,95	0,89	0,97	0,89	0,86	0,86	0,97	0,89
	<b>2010</b>	0,70	0,70	1,00	0,70	0,90	0,80	0,95	0,80	0,74	0,74	0,95	0,80
	<b>2020</b>	0,60	0,60	1,00	0,60	0,81	0,68	0,90	0,75	0,74	0,67	0,90	0,75

Når det gjelder båter og skip er forskjellen i CO<sub>2</sub> utslipp mellom diesel og gass enda mindre enn for fly. Kapitalkostnad og energikostnaden er også mye høyere for gassdrift enn diesel. Dette tilsier at det er tvilsomt om gassløsningen for båter og skip er realistisk i klimasammenheng. Når det gjelder tog er det lite aktuelt å skifte fra elektrisk kraft til fossil energi for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet. Figur 4 viser utslippet fra alternativene for fly, skip og tog.

### 6.2.4 Konklusjon for videre analyser

Ut ifra det tilgjengelige tallmateriale om energibruk og teknologikostnader har vi delt transportalternativene inn i tre kategorier. Alternativer med et mulig potensiale til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet fra transport, alternativer med et lite sannsynlig potensiale til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet fra transport, og alternativer uten potensiale til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet fra transport.

I den første kategorien vil vi plassere effektivisering av dagens teknologi for alle alternativene sammen med hybridbiler, batteridrevne elektriske biler og hydrogendrift for personbiler og tunge kjøretøy. I den andre kategorien plasserer vi gassdrift for personbiler og tunge kjøretøy, mens alkohol og biodiesel for personbiler og tunge kjøretøy, sammen med gassdrift av skip, bane og fly plasseres i den siste kategorien.

Dette er altså en helhetsvurdering, og ikke en vurdering bare av utslippsegenskaper. Like viktig er det at kostnad og anvendelsespotensialet er tilstrekkelig bra til at man realistisk kan forvente at teknologien vil bli anvendt.

Tabell 9. Alternative transportteknologier med et reelt potensiale til å redusere utslippene av CO<sub>2</sub> fra transport

Personbiler	Godsbiler, buss og rutebiler	Skip	Fly	Jernbane
1. Effektivisering av dagens teknologi	1. Effektivisering av dagens teknologi	1. Effektivisering av dagens teknologi	1. Effektivisering av dagens teknologi	1. Effektivisering av dagens teknologi
2. Gass, CNG (under tvil)	2. Gass, CNG (under tvil)			
3. Hybrid bensin/ elektrisk	3. Hybrid bensin/ elektrisk			
4. Elektriske, batteri	4. Elektriske, batteri			
7. Hydrogen, brensels-celle, fra 2010	7. Hydrogen, brensels-celle, fra 2001			

I de videre analysene i kapittel 5 og 6 er det først og fremst den første kategorien som er interessant å gå videre med. Den andre kategorien er det svært liten vits å gå videre med, og den siste kategorien er det unødvendig å gå videre med.

Vi har likevel valgt å ta med alternativene i kategori 2, fordi dette er et alternativ som vi er helt sikre på at er implementerbar på kort sikt. Ut ifra drøftingen i dette kapitlet har vi bestemt oss for å gjøre videre analyser på alternativene i tabell 9. Med dette har vi 13 alternative teknologier over alle transportsektorer.

## 7 Introduksjonstakten for alternativ transportteknologi

Tilgang på transportmidler med alternativ teknologi er en opplagt forutsetning for bruken av dem. Det finnes få slike transportmidler i dagens kjøretøypark<sup>14</sup>, og fremtidig bruk fordrer at transportbrukere velger å kjøpe transportmidler med slik teknologi.

Nye transportmidler kjøpes enten for å øke kjøretøyparken ved behov for kapasitetsutvidelser, eller for å erstatte utrangerte kjøretøy. Både ved kapasitetsøkning og erstatning av utrangerte kjøretøyer har man mulighet til å velge velkjent teknologi eller alternativ teknologi. Valget avhenger av hva transportbrukerne ser seg best tjent med. Vi må anta at sannsynligheten for å velge alternativ teknologi er avhengig av driftskostnader og anvendbarhet i forhold til tradisjonell transportteknologi. Dette medfører at sannsynligheten for å velge alternativ transportteknologi øker etter hvert som anvendbarheten i forhold til tradisjonell teknologi øker. Siden det både tar tid å skifte ut kjøretøyer og å utvikle tilstrekkelig anvendbar alternativ teknologi vil det ta tid å fase ny teknologi inn i kjøretøyparken.

Dette beskriver noe av problemet ved å få individer og bedrifter til å ta i bruk alternativ transportteknologi. Først må eksisterende kjøretøy utrangeres, dernest må brukerne overbevises om at det lønner seg å kjøpe et kjøretøy med alternativ teknologi. Problemet er av dynamisk karakter, og en må både se på behov for tilvekst i kjøretøyparken, utskiftning av eksisterende kjøretøyer og utviklingen i brukernes aksept<sup>15</sup> av alternativ teknologi. I dette kapitlet skal vi belyse hvordan vi takler dette i GODMOD.

I beregningene i dette prosjektet fremstår tilgang og bruk av transportmidler gjennom bruk av kjøretøyparken i et enkelt år. Personbiler er for eksempel representert med en bilpark i 1992, 2001, 2010 og i 2020 der tilveksten mellom disse tidspunktene beregnes ved hjelp av eksogene vekstanslag. Om transportbrukere skal velge alternativ eller tradisjonell transportteknologi, er dermed bare avhengig av statiske driftsmessige kostnader<sup>16</sup>, og ikke dynamiske elementer i GODMOD.

---

<sup>14</sup> I denne sammenhengen omfatter kjøretøyparken transportmidlene i alle sektorene, vei, luft, bane og sjøfart.

<sup>15</sup> Med aksept for alternativ teknologi mener vi sannsynligheten for at brukeren vil velge å kjøpe en alternativ transportløsning.

<sup>16</sup> Vi tenker på energipris, vedlikeholdskostnader, kapitalkostnader og de mange ulike avgiftene på transport og kjøretøyer.

For oss innebærer dette, siden vi antar at transportbrukere i valg mellom to helt like teknologier velger det transportalternativet de synes er mest hensiktsmessig, at hele kjøretøyparken vil bli oppfattet som enten bestående av tradisjonelle kjøretøy eller alternative kjøretøy etter hva som lønner seg for transportbrukeren. Utskiftning av kjøretøyparken og kjøp av nytt kjøretøy er altså ikke et element i modellen. Vi må altså gjøre endringer i GODMOD for å innarbeide kjøretøyparken.

Løsningen på problemet er å innføre en restriksjon på hvordan kjøretøyparken kan anvendes, ved at vi setter en maksimal grense for hvor stor andel av kjøretøyparken som under rimelige betingelser kan skiftes ut til alternativ teknologi i hver av årene 2010 og 2020. Implementasjon av utskiftningsrater og aksept av alternativ teknologi er derfor innarbeidet som eksogene faktorer for å anslå størrelsen på restriksjonen i det enkelte år. Den maksimale andelen av kjøretøyparken som i 2010 og 2020 kan bestå av alternativ transportteknologi, vil igjen bestemme hvor stor andel av transportarbeidet som kan utføres ved hjelp av teknologien.

Som vi har sagt er det utskiftningsraten for eksisterende kjøretøy, ny tilvekst i bilparken og aksepten av alternativ teknologi som bestemmer hvor stor andel av bilparken som maksimalt vil kunne bestå av ulike teknologier i 2010 og 2020.

- Utskiftningsrater sier hvor stor sannsynlighet det er for at et kjøretøy skal bli et gitt antall år.
- Aksept representeres med en sannsynlighet for at et nytt kjøretøy i år (t) vil være ett med alternativ teknologi.
- Tilveksten i kjøretøyparken er en eksogen størrelse som sier hvor mye flere kjøretøy vi får i hver periode.

For enkelthets skyld, og fordi introduksjon av alternativ teknologi ikke har skutt fart ennå, tenker vi oss at alternativ teknologi fases inn fra og med år 2001. Vi har pålagt følgende restriksjon i GODMOD-beregningene:

$$(1) \quad \frac{B_{am}^t}{B_m^t} \leq \gamma_{am}^t$$

- B = Antall kjøretøy (kjøretøyparken)
- t = År 2001, 2010 og 2020
- a = Alternative teknologier
- m = Transportsektor
- $\gamma_{am}^t$  = Den maksimale andelen av kjøretøyparken i sektor m som i år t kan være teknologi a

Antallet kjøretøy med alternativ transportteknologi a som andel av kjøretøyparken innen transportsektor m i år t,  $B_{am}^t$ , kan ikke være større enn andelen  $\gamma_{am}^t$  av den totale kjøretøyparken  $B_m^t$  i år t. a er teknologialternativene i tabell 2 mens m er transporttypene i tabell 1.

I analysene opptrer  $\gamma_{am}^t$  som eksogene parametre, og vi har bestemt størrelsen for disse parametrene ut fra følgende 4 komponenter:

- Kjøretøyparkens størrelse og alderssammensetningen i 1996
- Anslag for forventet vekst i kjøretøyparken
- Anslag på utskiftningsrater for kjøretøyer
- Anslag på introduksjonsrater for alternative kjøretøy

Vi tar først utgangspunkt i antall kjøretøy og alderssammensetningen for disse i 1996 for å starte fremskrivning av kjøretøypark for lastebiler, personbiler og busser. I følge Bil og vei (1997) bestod bilparken av 1,66 millioner personbiler, 34 tusen busser og 358 tusen godsbiler i 1996. Perioden mellom 1992 og 1996 er allerede kjent og derfor ikke særlig problematisk å håndtere. Vi starter derfor fremskrivningen fra 1996, og tar utgangspunkt i at 2001 er et rimelig tidspunkt å starte introduksjonen av nye transportalternativer.

Når det gjelder tog, fly og båter har vi ikke fått tak i tilstrekkelige data for å gjøre gode anslag på  $\gamma_{am}^t$ . Men i disse sektorene har vi heller ikke funnet noen gode alternativer til forbedring av tradisjonell teknologi, så anslagene er i alle fall overflødige.

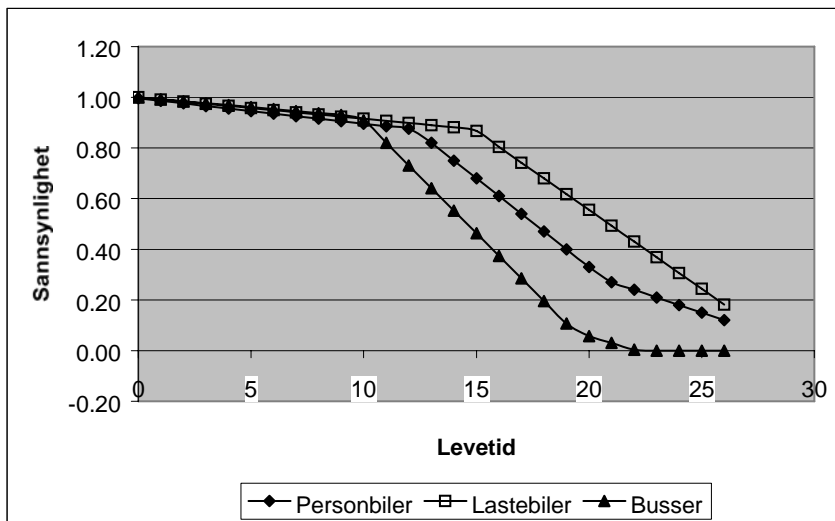
Som anslag på tilvekst i kjøretøyparken benytter vi prognosene som ligger til grunn for Norsk Vei og Veitrafikkplan for perioden 1998 til 2007 (NVVP, 1998 – 2007). Prognosen gir oss vekst i bilparken for tunge og lette kjøretøyer for perioden 1996 til 2020. I følge prognosene vil antallet lette kjøretøyer vokse med 1,2% per år frem til 2001, og deretter med 1% per år frem til 2020. Antallet tunge kjøretøyer vil vokse med 1,8% per år frem til 2001, og deretter med 1,5% per år. Vi benytter prognosene for lette biler for personbilparken, og anslagene for tunge biler for busser og godsbiler. Vi har ikke egne data for å fordele prognosene på egen- og leietransport eller etter vektklasse, og benytter derfor samme prognose for alle typer godsbiler.

Det totale antall nyregistrerte biler hvert år avhenger både av tilveksten i bilparken og av utskiftningen av gamle biler. For å beregne den årlige utskiftningen av gamle biler, legger vi til grunn Eriksen og Johansen (1991) som har beregnet sannsynligheter for at en ny bil skal bli brukt i ett gitt antall år.

Eriksen og Johansens anslag for overlevingsrater er imidlertid gamle og gjelder bare for personbiler. Vi har derfor korrigert disse slik at de gir en gjennomsnittlig levetid for personbiler som er i overensstemmelse med nyere statistikk i Bil og vei (1997). I mangel på data anvender vi også samme funksjon for overlevingsrater for godsbiler og busser, men har også korrigert disse ratene i tråd med statistikk for gjennomsnittlig levetid fra Bil og vei (1997). Dette gir oss de overlevingsratene for kjøretøy som er vist i figur 5.

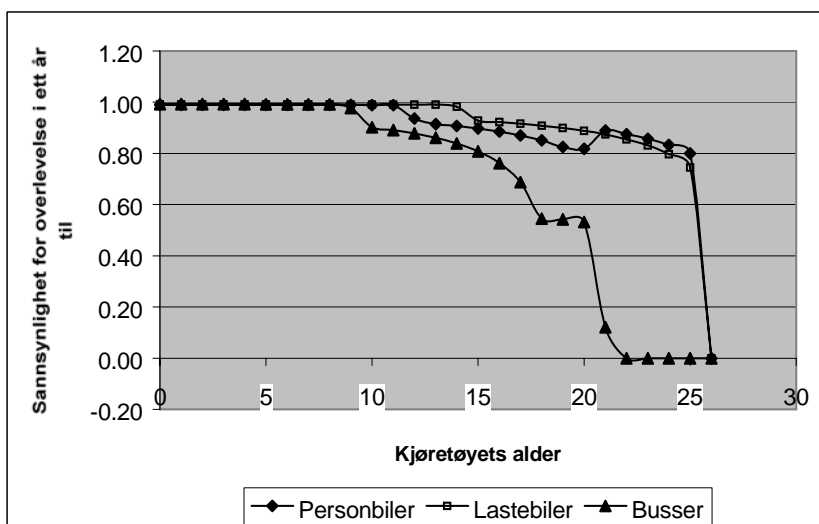
Kurvene i figur 5 viser forventet levetid for en ny bil basert på et historisk statistisk gjennomsnitt for nye biler. Tallene er korrigert for bruktimporterte biler i perioden og er oppdatert i tråd med gjennomsnittlig levetid i nyere statistikk. Krumning og beliggenhet for kurven kan påvirkes av myndighetene, for eksempel gjennom vrakpantordningen, avgifter og lignende tiltak.

Figur 5. Kumulative overlevingsrater for nye biler.



Med utgangspunkt i overlevingsratene i figur 5 har vi beregnet sannsynlighet for at et kjøretøy av en viss alder og kategori vil vare i ett år til. Sannsynligheten er illustrert i figur 6. I figuren ser vi at sannsynligheten for at en personbil eller godsbil skal overleve ett år til faller brått til null for 26 år gamle biler. Dette er fordi vi på et eller annet tidspunkt er nødt til å fase ut bilene, og vi har valgt 26 år. For busser, som har lavere gjennomsnittlig levetid, er sluttåret 22 år.

Figur 6. Sannsynligheten for at en bil på ett gitt alderstrinn skal vare ett år til.



Når vi kobler alderssammensetningen av bilparken i ett gitt år med sannsynligheten for at en bil av en gitt alder skal vare ett år til, kan vi beregne hvor mange gamle biler som skiftes ut hver år. Dette sammen med tilveksten av nye biler i henhold til NVVP (Norsk vei- og veitrafikkplan), gir oss antall nye kjøretøyer av



hver kategori for hvert år og alderssammensetningen av bilparken neste år. Dette kan rulleres fremover år for år og gir oss de samme størrelsene i hvert av årene som vi gjør beregninger for. Vi får da nybilkjøpet for hvert år, alderssammensetningen av bilparken hvert år og antall biler totalt hvert år.

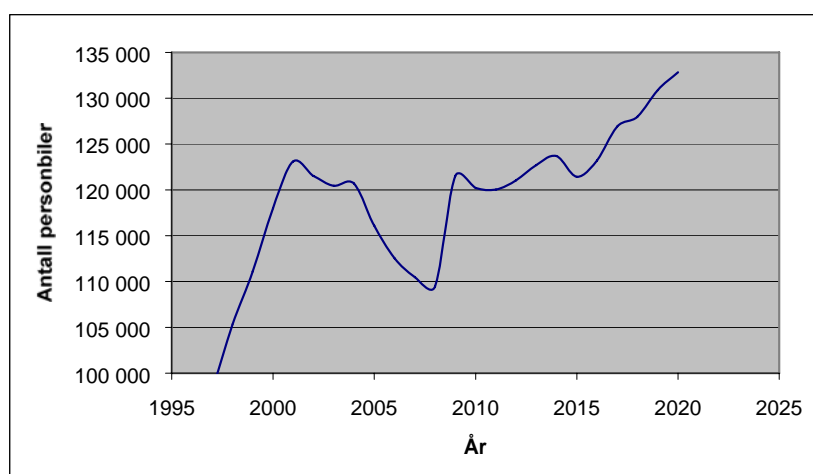
Med bakgrunn i figur 5 og 6 har vi beregnet alderssammensetningen for bilparken i hvert av årene 2001, 2010, 2020 og 2030. Alderssammensetningen i hvert tidspunkt er vist i tabell 10.

Tabell 10. Beregnet alderssammensetningen av bilparken. 1996 er statistikk, 2010 og 2020 er beregnet.

	Personbiler			Lastebiler			Busser		
	1996	2010	2020	1996	2010	2020	1996	2010	2020
<b>1</b>	7,5 %	6,2 %	6,1 %	7,8 %	5,5 %	5,7 %	9,9 %	8,2 %	7,2 %
<b>2</b>	5,4 %	6,2 %	6,0 %	6,8 %	5,5 %	5,5 %	10,0 %	7,9 %	7,0 %
<b>3</b>	5,1 %	5,5 %	5,8 %	5,3 %	5,1 %	5,3 %	7,8 %	7,5 %	6,8 %
<b>4</b>	3,8 %	5,5 %	5,7 %	3,1 %	5,0 %	5,1 %	8,7 %	7,1 %	6,7 %
<b>5</b>	3,8 %	5,6 %	5,4 %	2,9 %	5,0 %	4,8 %	11,7 %	6,7 %	6,7 %
<b>6</b>	3,5 %	5,7 %	5,3 %	2,9 %	5,0 %	4,8 %	7,2 %	6,2 %	6,7 %
<b>7</b>	3,9 %	5,8 %	5,4 %	3,2 %	5,0 %	5,0 %	4,7 %	5,9 %	6,7 %
<b>8</b>	3,4 %	5,8 %	5,3 %	3,0 %	5,0 %	4,7 %	3,0 %	5,6 %	6,7 %
<b>9</b>	4,1 %	5,7 %	5,1 %	4,7 %	4,9 %	4,6 %	3,9 %	5,1 %	6,7 %
<b>10</b>	6,8 %	5,8 %	5,0 %	7,1 %	5,2 %	4,5 %	4,8 %	5,1 %	6,7 %
<b>11 - 15</b>	36,9 %	24,3 %	22,5 %	25,0 %	25,5 %	20,6 %	17,5 %	23,5 %	24,2 %
<b>16 - 21</b>	12,4 %	11,7 %	16,8 %	15,9 %	14,7 %	19,8 %	8,3 %	10,9 %	7,8 %
<b>Over 21</b>	3,4 %	5,4 %	5,2 %	12,3 %	7,7 %	8,9 %	2,5 %	0,1 %	0,2 %

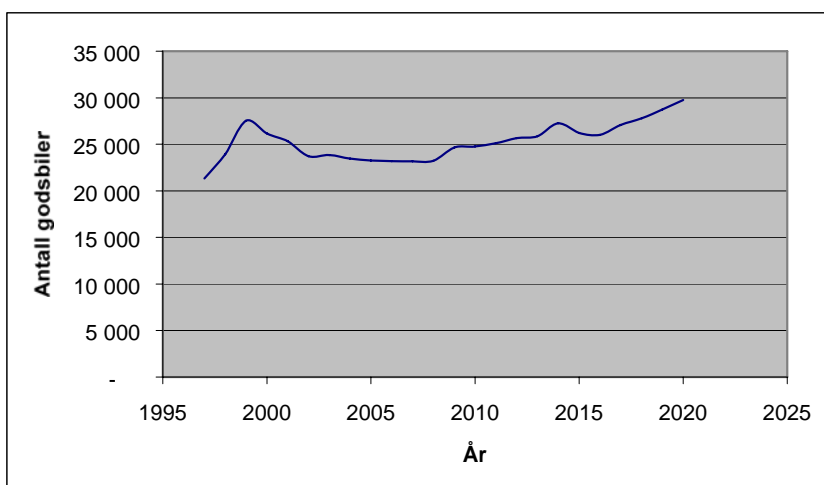
Det resulterende nybilkjøpet beregnet på bakgrunn av det foregående, er vist i figur 7, 8 og 9. Legg merke til at nybilsalget kan synke selv om vi har en vekst i bilparken. Dette er fordi utskiftningen av gamle biler er liten i enkelte år og høy i andre.

Figur 7. Beregnet utvikling i nybilkjøp for personbiler.

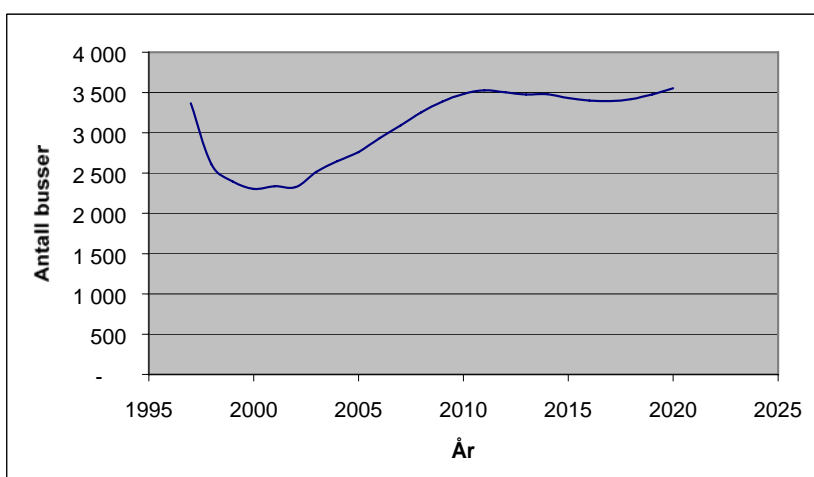


Sannsynligheten og muligheten for at alternative kjøretøyer vil bli anvendt på ulike tidspunkter i framtiden, er videre avhengig av hvilke muligheter det er for å skifte ut dagens kjøretøyer med ny teknologi. Dette er avhengig av nybilkjøpet og hvor stor andel av nybilkjøpet som er erstatning av gamle biler i hvert år. Når vi ser på overlevingsratene i figur 5, er det selvfølgelig utenkelig at en i løpet av kort tid, for eksempel i løpet av ett år, skal få noe særlig høy andel av nye kjøretøyer. Som vi skal se er selv et tiårsperspektiv langt fra nok til en utskiftning av kjøretøyparken.

Figur 8. Beregnet utvikling i nybilkjøp for godsbiler.



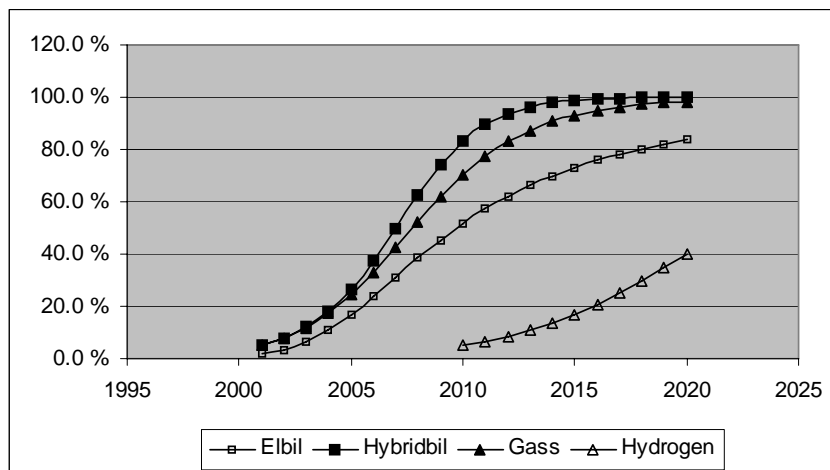
Figur 9. Beregnet utvikling i nybilkjøp for busser.



For å finne ut hvor mange alternative kjøretøyer en kan få i bilparken, er det nødvendig å anta hvor stor andel av hvert års nybilkjøp som *maksimalt* vil kunne være en alternativ bil. Vi starter introduksjonen av nye biler i år 2001, og antar at

maksimalt en viss andel av nybilkjøpet da er alternative biler. Dette er naturligvis avhengig av hvor langt teknologien er kommet. Etter 2001 tenker vi oss at en økende andel av nybilkjøpet er alternative biler, og at vi i 2020 vil kunne ha nært 100% av nybilkjøpet i form av alternative biler. Dette gir oss introduksjonskurver for alternativ transportteknologi innen personbiler, godsbiler og busser. Kurven er forskjellig for hver type alternativ teknologi.

Figur 10. Anslag på maksimal andel av nybilkjøp som er alternative biltyper i hvert år.



Vi har ikke grunnlag for å skille mellom personbiler, lastebiler og busser når det gjelder sannsynlighet for å velge alternativ teknologi, selv om disse antakelig vil være forskjellig. Vi anvender derfor de samme sannsynlighetene for alle kjøretøyer. Figur 10 viser vår antakelse for introduksjonstakten for alternative teknologier. Vi tror vi har lagt oss på en optimistisk linje.

Basert på det ovenstående kommer vi fram til at de maksimale andelene alternative kjøretøy som kan eksistere i bilparken i år 2010  $\gamma^{2010}_{am}$ . Våre anslag på  $\gamma^{2010}_{am}$  er vist i tabell 11.

Tabell 11. Beregnete maksimale andeler av kjøretøyparken som kan være alternativ teknologi.

	Personbil		Godsbil		Buss	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020
<b>Elbil</b>	14 %	51 %	12 %	46 %	17 %	60 %
<b>Hybrid</b>	22 %	70 %	20 %	64 %	27 %	83 %
<b>Gass</b>	19 %	65 %	17 %	59 %	24 %	77 %
<b>Hydrogen</b>	0,50 %	12 %	0,50 %	11 %	0,50 %	15 %

## 8 Beregninger og resultater

I beregningene tar vi utgangspunkt i en referansebane (BAU= business as usual), som under forutsetning av en uendret politikk beskriver utviklingstrekk for norsk økonomi frem til 2020. BAU er basert på fremskrivninger i "Basisalternativet uten CO<sub>2</sub>-avgift" fra Regjeringens langtidsprogram for 1998 – 2001 (Stortingsmelding nr 4, 1996 – 97). I våre beregninger er BAU representert ved enkelt årene 2001, 2010 og 2020. Siden referansebanen gir et "business as usual" perspektiv på den makroøkonomiske utviklingen, forutsettes det at det ikke innføres ytterligere restriksjoner eller avgifter på det norske CO<sub>2</sub>-utslippet. Eksogene forutsetninger for vekstperspektivene i BAU er beregnet med den økonomiske planleggingsmodellen MSG (Johansen, 1974).

Vi benytter referansebanen som utgangspunkt for å beregne et *basisalternativ* (BASIS-alternativ), der vi benytter CO<sub>2</sub> avgifter for å redusere det norske utslippet av CO<sub>2</sub>. Dette alternativet bygger på de makroøkonomiske forutsetningene fra BAU, men forutsetter at det innføres en særnorsk forpliktelse om å redusere det nasjonale utslippet av CO<sub>2</sub>. Vi har gjennomført beregninger i BASIS-alternativet med reduksjoner i det norske CO<sub>2</sub>-utslippet opp til 55% i forhold til det forventete utslippet i 2010. De samme utslippsgrensene målt i volum (tonn CO<sub>2</sub>) er også benyttet som restriksjoner på CO<sub>2</sub>-utslippet i 2020. Utenriks sjøfart er holdt utenfor utslippsreduksjonene.

Det høres kanskje underlig ut at vi har valgt å benytte et basisalternativ med særnorske CO<sub>2</sub>-restriksjoner fremfor et basisalternativ med en internasjonal avtale (som i dag synes mer sannsynlig). Vi vil understreke at dette ikke skyldes en oppfatning om hva som blir fremtidig norsk klimapolitikk (som for så vidt er skissert gjennom Kyoto-protokollen). Vi tar dette utgangspunkt fordi forutsetningene i beregninger av en eventuell internasjonal avtale burde vært basert på Kyoto-protokollen. Pr i dag finnes det imidlertid ikke beregninger som kan gi oss den nødvendige inputen til å etablere et slikt basisalternativ. I stedet for å velge en basisberegning basert på en vilkårlig gjetning om en internasjonal CO<sub>2</sub>-avtale, benytter vi altså en nasjonal forpliktelse.

BAU og BASIS-alternativet er våre to grunnleggende beregningsalternativer der vi ikke har tatt hensyn til alternativ transportteknologi. I de neste to beregningsalternativene utvides disse ved at alternativ teknologi introduseres.

I det første utvidete beregningsalternativet, BAU-TEK, som er en "utvidelse" av BAU, har vi introdusert alternativ teknologi i referansebanen. BAU-TEK er egentlig et sett med beregninger, en for hver av de alternative teknologiene som er presentert i tabell 9 i kapittel 6. Hensikten med disse beregningene er å belyse hvordan hver av teknologiene isolert sett virker på CO<sub>2</sub>-utslippet uten påvirkning av en generell klimapolitikk.

I det andre utvidete beregningsalternativet, BASIS-TEK, introduseres alternativ transportteknologi sammen med klimapolitikken i BASIS-alternativet. På samme måte som i BAU-TEK har vi her en beregning for hver av teknologialternativene 2, 3, 4 og 7 i tabell 9 i kapittel 6. Hensikten med disse beregningene er å få belyst i hvilken grad alternativ transportteknologi vil kunne påvirke de samfunnsøkonomiske kostnadene ved å gjennomføre en klimapolitikk, og hvordan den nødvendige avgiften for å nå en CO<sub>2</sub>-målsetning påvirkes av tilgangen på slik teknologi.

I BASIS-TEK har vi gjennomført beregninger for to ulike målsetninger for det norske CO<sub>2</sub>-utslippet. Den første er i tråd med utslippskravet for Kyoto-avtalen og omtales heretter som Kyoto<sub>min</sub>. Den andre målsetningen er en del strengere enn Kyoto-avtalen og omtales som Kyoto<sub>max</sub>. Som tidligere benytter vi de samme utslippsmålsetningene målt i tonn i 2010 og i 2020. En oversikt over beregningsalternativene er gitt i tabell 12. Vi kommer nærmere inn på forutsetningene i hvert alternativ i de respektive underkapitler.

Tabell 12. Oversikt over beregningsalternativene.

Alternativ	Forutsetninger
BAU	Referansebane basert på "Business as usual"
BASIS-alternativet	Særnorsk reduksjon av CO <sub>2</sub> utslippet ved hjelp av CO <sub>2</sub> -avgifter, forutsetning om tradisjonell teknologi
BAU-TEK	Redusert utslipp fra transport ved introduksjon av alternativ transportteknologi, basert på BAU
BASIS-TEK	Særnorsk reduksjon av CO <sub>2</sub> utslippet ved hjelp av CO <sub>2</sub> -avgifter ved introduksjon av alternativ transportteknologi, basert på BASIS

Til grunn for teknologiutviklingen i beregningene har vi lagt antakelsen om en "ikke-stimulert" teknologiutvikling i transportsektoren. Dette samsvarer med teknologianslagene i (-) kolonnene i tabell 4, 6 og 8 i kapittel 6. I det siste avsnittet i dette kapitlet har vi imidlertid også gitt eksempler på beregninger der vi forutsetter en "stimulert" utvikling.

## 8.1 Referansebanen (BAU) og basisalternativet (BASIS)

De makroøkonomiske forutsetningene i referansebanen gir oss en årlig vekst i BNP på 2,7% mellom 1992 og 2010. Veksten i BNP reduseres deretter til 1,9% per år mellom 2010 og 2020.

I perioden 1992 til 2010 øker privat konsum med 3,2% per år, og deretter med 2,3% per år mellom 2010 og 2020. Privat konsum som andel av BNP øker mellom 1992 og 2020 fra 51% i 1992 til 55% i 2010 og til 57% i 2020. Dette er i samme størrelsesorden<sup>17</sup> som prognosene i Stortingsmelding nr 4, 1996 – 97 (side 75).

Under forutsetning av at det ikke bygges gasskraftverk, gir våre beregninger et totalt CO<sub>2</sub>-utslipp på 47.2 millioner tonn i BAU i 2010. Med gasskraftverk ville CO<sub>2</sub>-utslippet (i følge Stortingsmelding nr 29, 1997-1998) vært ca 2.1 millioner tonn høyere, slik at utslippet med gasskraftverk ville vært 49.3 millioner tonn. De offisielle prognosene for CO<sub>2</sub>-utslipp inkluderer gasskraftverk, og gir et CO<sub>2</sub>-utslipp på 50,6 millioner tonn i 2010 (Stortingsmelding nr 29, 1997 – 98, side 30). Våre beregninger ligger dermed 3% under de offisielle beregningene. Avviket kan delvis skyldes høyere anslag på teknologisk fremgang innen transportsektoren<sup>18</sup> enn det som ligger inne i de offisielle prognosene. Men vi må også innse at siden de offisielle prognosene er beregnet med en annen modell, er vi under ingen omstendighet garantert fullstendig samsvar mellom resultatene.

Ifølge Kyoto-protokollen skal ikke det samlede norske utslippet av klimagasser i 2010 overstige utslippet i 1990 med mer enn 1%. Ifølge Stortingsmelding nr 29 (side 30) forventes det samlede utslippet av klimagasser, eksklusive CO<sub>2</sub>, å reduseres med 11,2% mellom 1990 og 2010. Dette betyr at utslippet av CO<sub>2</sub> ikke må overstige 38,3 millioner tonn i 2010 dersom vi skal overholde Kyoto-protokollen. I forhold til det utslippet vi har beregnet i vår modell, betyr dette at CO<sub>2</sub>-utslippet i 2010 må reduseres med 19%. Det er dette vi kaller Kyoto<sub>min</sub> i våre beregninger. Utslippsmålsetningen i Kyoto<sub>max</sub> er 40% av det forventete utslippet i 2010.

Siden Kyoto-protokollen ikke sier stiller nye utslippskrav etter 2010, har vi forutsatt at utslippene fryses på 2010 nivå. Det innebærer at våre krav til utslippsnivå i 2020 er de samme som kravene i 2010 målt i tonn CO<sub>2</sub>. Siden utslippsveksten forventes å fortsetter etter 2010, betyr dette at kravet er strengere i forhold til forventet utslipp i 2020 enn i forhold til forventet utslipp i 2010.

Figur 11 viser hvilken CO<sub>2</sub>-avgift vi har beregnet for ulike krav til utslippsreduksjoner i 2010 og 2020 i BASIS-alternativet. Kurvene samsvarer med marginalkostnadskurver for reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslipp i Norge i 2010 og 2020. Som en forutsetning har vi antatt at aktørene har perfekte forventninger. Det innebærer at konsumentene på forhånd kjenner den riktige avgiften og kan tilpasse seg denne i alle sine valg. Vi kan for eksempel tenke på dette som at avgiften gradvis trappes opp fra 2000 og til riktig nivå i 2010 slik at konsumentene hele tiden er innforstått med hva som skjer.

---

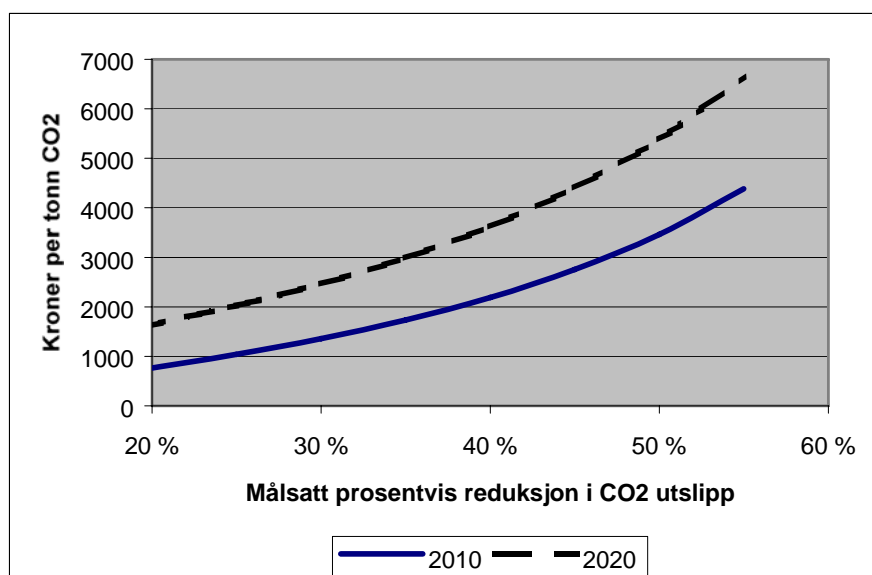
<sup>17</sup> Det er vanskelig å direkte sammenligne resultatene i våre beregninger med offisielle prognoser, i alle fall ved å se direkte på BNP og privat konsum. Årsaken er at vi opererer med andre vareaggregater, og dermed benytter andre prisindekser i våre beregninger. Det er derimot mulig å ta utgangspunkt i fysiske volumer, for eksempel for CO<sub>2</sub>-utslipp, eller i forholdstall, for å se resultatene i sammenheng med de offisielle prognosene.

<sup>18</sup> Beregningene våre er basert på de samme anslagene for teknologisk framgang som beregningene i Stortingsmelding nr 4, 1996 – 97. Vi har imidlertid benyttet TIs anslag på teknologisk framgang innen transportsektorene (se tabell 4,6 og 8).

De to nederste punktet på begge marginalkostnadskurvene representerer 19% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet i forhold til det forventete utslippet i 2010. Dette er dermed det utslippet som samsvarer med Kyoto-protokollen. Vi har deretter beregnet avgifter/marginalkostnader for opp til 55% reduksjon i utslippet i forhold til forventet utslipp i 2010.

Målt i 1992-kroner blir det i følge våre beregninger nødvendig med en avgift på 710 kroner per tonn CO<sub>2</sub> i år 2010 dersom en skal begrense utslippet med 19% i forhold til det forventete utslippet. Avgiften må gradvis økes til 1562 kroner i 2020 for å holde utslippet konstant på samme nivå. Ved et krav om 55% reduksjon i utslippet blir avgiften 4387 kroner per tonn i 2010 og 6660 kroner i 2020. Avgiften er pålagt alle utslipp av CO<sub>2</sub>, eksklusive utenriks sjøfart<sup>19</sup>.

Figur 11. Sammenheng mellom CO<sub>2</sub>-avgift og reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet i forhold til år 2010, BASIS-alternativet, 1992 kroner.



Som en illustrasjon av avgiftens størrelse kan vi regne den om til kroner per liter bensin for en bilist. Vi tar utgangspunkt i at bensin har en egenvekt på 0,75 kg per liter, og at utslippskoeffisienten for bensin er 3,15 kg CO<sub>2</sub> per kilo bensin. Ved omregningen finner vi ut at avgiften i Kyoto-tilfellet svarer til 1,7 kroner per liter bensin i 2010, som en avgift som kommer i tillegg til dagens avgifter (utenom dagens CO<sub>2</sub>-avgift) på bensin. Ved 55% reduksjon i utslippet er det behov for en avgift på 10,4 kroner per liter bensin.

Målsetningen om å overholde en grense for CO<sub>2</sub>-utslippet på maksimalt 1% over 1990 nivå gir et BNP tap på 0,5% i 2010 og 0,7% i 2020 i forhold til BAU. BNP-

<sup>19</sup> Vi har gjennomført beregninger som indikerer at avgiften vil bli en del lavere dersom vi også inkluderer utenriks sjøfart i klimapolitikken.

tapet øker tiltakende, og kommer opp i 4,1% ved 55% reduksjon i utslippet i 2010 og tilsvarende 5,0% i 2020 målt i forhold til referansebanen (BAU).

Det overrasker oss at BNP tapet er så vidt lite ved  $Kyoto_{min}$ . Dette har imidlertid sammenheng med en velferdsgevinst som ser ut til å forekomme ved moderate  $CO_2$ -avgifter. Intuitivt sett vil en vridende avgift alltid medføre et velferdstap. Ikke så åpenbart er det at dette bare gjelder i en perfekt frikonkurranse markedslikevekt. Når det allerede eksisterer vridende skatter og avgifter, kan en ny avgift like godt korrigere i riktig som i gal retning. I tilfellet med moderate  $CO_2$ -avgifter virker det som om avgiften har en slik effekt. Korreksjonen slår imidlertid mer og mer negativt ut når en øker avgiften. Men dette betyr at man hele tiden har en gunstig effekt ”i bunn.”

Reduksjonen i nasjonalinntekt medfører i neste omgang lavere disponibel realinntekt for husholdene, og slår dermed ut i redusert privat konsum. Ved 19% reduksjon i  $CO_2$ -utslippet reduseres privat konsum med 0,4% i år 2010. Ved 55% reduksjon i  $CO_2$ -utslippet reduseres privat konsum med 6%. Ytterligere resultater i form av næringsvirkninger og effekter på transport fra BAU og BASIS er beskrevet i vedlegg 1.

## **8.2 Virkning av alternativ transportteknologi på det nasjonale $CO_2$ utslippet uten klimapolitikk eller nye $CO_2$ -avgifter**

Det er relativt enkelt å ta utgangspunkt i anslagene på utslippskoeffisienter fra ulike teknologialternativer for å regne ut ”bil for bil” hvor stor  $CO_2$  reduksjon ulike teknologier kan gi innen transportsektoren. Ser vi for eksempel på tabell 3, finner vi at vi ved å erstatte en kjørt kilometer med en bensindrevet personbil med en kilometer med en batteridrevet personbil, vil vi redusere utslippet av  $CO_2$  til 0. Hybridbilen vil på samme måte redusere utslippet til ca det halve av det en vanlig bensinbil gir. Vi vet at det ble kjørt ca 23659 millioner kilometer med personbil i Norge i 1992, slik at utslippet av  $CO_2$  fra personbilparken reduseres fra ca 6.3 millioner tonn til rundt 3 millioner tonn ved å erstatte alle bensinbilene med hybridbiler.

Så enkelt som å regne ”bil for bil” er det imidlertid ikke. For det første vil det, som vi har vært inne på i kapittel 5, ta lang tid å skifte ut bilparken. De største utslippseffektene fra introduksjon av alternativ transportteknologi vil derfor ikke komme umiddelbart, men etter 10 til 20 år, og fremdeles vil det være en god del bensinbiler igjen i kjøretøyparken.

Dernest må vi forvente at folk flest vil velge en transportteknologi som passer lommeboken. Siden ny teknologi er dyrt, velger fortsatt de fleste en tradisjonell bensinbil, og bare unntaksvis velger bileiere å kjøpe en elektrisk-, gassdrevne eller en bil med hybridløsning. De som kjøper slik teknologi på tross av åpenbare kostnadsulemper, er som oftest kommunale og/eller statlige institusjoner som velger ”å gå foran” ut ifra en miljøstrategi. Selv om de fleste av oss gjerne vil være ”miljøvennlige”, blir det fort for dyrt når vi skal velge bil.



I tillegg til dette representerer både mangel på infrastruktur og yteevne et problem for enkelte løsninger. Det er for eksempel enkelt å få installert en gassbeholder i bilen, men en kan bare fylle gass på utvalgte steder, og en må fylle oftere enn på en bensinbil. Men problemer knyttet til rekkevidde og infrastruktur vil kunne løses bare det blir en kommersiell interesse rundt produktene (se for eksempel MacKenzie, 1994).

Selv om en antar at infrastruktur og rekkevidde på lengre sikt vil kunne løses gjennom kommersialisering, vil man fortsatt stå overfor en kostnadsbarriere i forhold til tradisjonelle transportløsninger (se tabell 3 til 8). Noe vi ofte hører i media er behov for offentlig subsidiering av alternative biler for å gjøre dem kostnadseffektive. Dette kan gjennomføres i form av gratis parkeringsplasser for elektriske biler, avgiftsfritak for elektrisitet til biler, lavere eller ingen engangsavgift og redusert veiavgift. Bruk av slike virkemidler kan redusere eller fjerne ulempen for brukerne ved at teknologien er så dyr, og gjøre dette til attraktive alternativer til bensin og dieserbiler. Pengene til å finansiere slike tiltak kommer imidlertid ikke ut av luften, men må tas fra et sted. Dette vil si økte skatter og avgifter, noe som vil kunne medføre en samfunnsøkonomisk kostnad.

Selve finansieringsformen er i utgangspunktet ikke noe annet enn en overføring mellom ulike grupper (fra det offentlige til det private) og behøver dermed i seg selv ikke å gi et netto samfunnsøkonomisk tap. Det viser seg imidlertid ofte at finansiering gjennom skatter og avgifter har uheldige effektivitetsvirkninger som kan gi slike tap. I vårt tilfellet er det enkelt å se at en gjennom avgiftsfritak og/eller tilskudd til mer kostbare alternative transportmidler favoriserer en dyrere transportteknologi, som må kjøpes fra utlandet. Det vil si at vi ved en slik politikk risikerer økt import, slik at vi faktisk ”subsidierer” oss til en svekkelse i handelsbalansen.

Politikken vil også gi økt utnyttelse av bilparken, fordi subsidien gjør transport relativt billigere. Selv om den nye teknologien i seg selv reduserer utslippene fra transport, kan dette få en utilsiktet virkning gjennom mer støy, ulykker og trengsel.

Vi har tidligere vært inne på at en bilpark bestående av elektriske biler trenger ganske mye strøm. Denne elektrisiteten kan komme fra norske kraftverk, som i perioder allerede er overbelastet, eller fra utenlandske kraftverk, for eksempel kullkraftverk. Erstatte vi den norske bilparken med elbiler, trenger vi ca 6 TWH for å drive den. Resultatet kan da bli høyere elektrisitetspriser her hjemme på grunn av begrenset produksjonskapasitet, og dermed økt bruk av fyringsolje i husholdninger og næringsliv. Med andre ord, vi flytter CO<sub>2</sub>-utslipp fra transport til oppvarming og drift, og til en viss grad også til utlandet. Nettovirkningen på utslippet er dermed svært usikker. Nå er det imidlertid ikke mulig å erstatte alle biler i dag med elektriske biler før langt inn i neste århundre. Vi må anta at kraftsituasjonen, kapasiteten i elnettet og produksjonsfasiliteter da er bedre. Det vil i så fall redusere problemene med flytting av utslipp.

Vi har ikke mulighet til å ta for oss hvert av de tiltakene vi har nevnt, som for eksempel avgiftsfritak for elektriske biler, gratis parkeringsplasser og reduserte engangsavgifter for alternativ teknologi, i dette prosjektet. På grunn av tidsbegrens-

ninger må vi forenkle ”virkemiddelbruken”. Vi skal derfor se på et generelt tilskudd til drift av alternativ transportteknologi. Et tilskudd til transport av denne typen kan virke urealistisk, men er likevel interessant å studere fordi det vil gi mange av de samme virkningene som de tiltakene vi har nevnt.

I dette avsnittet skal vi konsentrere oss om kostnaden ved å gjennomføre subsidien, målt i tapt privat konsum, og på virkningene på transportomfang og CO<sub>2</sub>-utslipp. Beregningene baserer seg på referansebanen (BAU), og det er ikke lagt restriksjoner på CO<sub>2</sub>-utslippet. Subsidien forutsettes å finansieres ved lump sum beskatning av husholdet.

Med utgangspunkt i BAU har vi lagt inn tilbud av alternative teknologier, og gjennomfører separate analyser for hver teknologivariant. Vi legger deretter inn et ”generelt driftstilskudd” for alternativ teknologi, slik at tilskuddet oppveier for kostnadsulempene ved teknologien, noe som fører til at teknologien tas i bruk innenfor rammene som er gitt av utskiftningsratene i det enkelte år (se tabell 11).

*Vi gjør oppmerksom på at hver beregning må sees i isolasjon fra de øvrige. Det vil si at resultatene fra elbil-beregningene utelukker introduksjon av annen alternativ teknologi, og det samme gjelder for hver av de øvrige beregningene. Vi innfører hver av de alternative teknologiene samtidig for alle transportsektorene, noe som vil si at for eksempel elbiler vurderes samtidig for både personbiler og tunge kjøretøy.*

Tabell 13. Nødvendig subsidie for utjevning av kostnadsulempe for ulike teknologialternativer, i prosent av total langsiktig driftskostnad.

	Personbiler		Tunge biler	
	2010	2020	2010	2020
<b>Elektrisk, batteri</b>	15%	00%	30%	20%
<b>Hybrid</b>	15%	15%	35%	31%
<b>Gass</b>	20%	20%	20%	20%
<b>Hydrogen</b>	40%	40%	50%	50%

Tabell 13 viser de nødvendige tilskuddene for hver teknologi for at den skal kunne konkurrere kostnadmessig med tradisjonell teknologi. Vi skiller mellom personbiler og tunge biler, men har ikke skilt mellom ulike kategorier tunge biler. Det medfører at vi ikke får inn alle bilklassene i analysene av teknologier siden hver klasse krever ulike tilskudd.

De prosentvise tilskuddene er lagt oppå alle kostnader ved drift, inkludert energi, vedlikehold og kapitalkostnad (for yrkestransport også lønnskostnader). Fordi vi benytter generelle tilskudd på alle innsatsfaktorer til transport, kan vi sette subsidien lavere enn det som er den teknologisk betingete kostnadsulempen alene. I beregningene har vi benyttet kostnadscoeffisienter som svarer til teknologiutviklingen i (-) kolonnene i tabell 3 til 8.

Vi kan legge merke til at det trengs større subsidier/tilskudd til tunge kjøretøy enn til personbiler. Dette skyldes at kostnadsulempen for store kjøretøy i utgangspunktet større enn for personbiler.

Tabell 14. Beregnet prosentvis andel av totale kjøretøykilometer vi får utført med alternative teknologier i 2010 og 2020 ved generelle driftstilskudd til teknologien.

	2010				2020			
	Elektrisk	Hybrid	Gass	Hydrogen	Elektrisk	Hybrid	Gass	Hydrogen
<b>Drosje</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Leiebil &lt;10 tonn</b>	26 %	27 %	19 %	0,7 %	72 %	74 %	64 %	16 %
<b>Leiebil 10-15 tonn</b>	25 %	26 %	18 %	0,7 %	72 %	73 %	63 %	16 %
<b>Leiebil &gt;15 tonn</b>	25 %	25 %	18 %	0,7 %	71 %	72 %	62 %	16 %
<b>Rutebil/buss</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Egenbil &lt;10 tonn</b>	25 %	26 %	18 %	0,7 %	72 %	73 %	63 %	16 %
<b>Egenbil 10-15 tonn</b>	25 %	-	-	0,7 %	-	-	62 %	15 %
<b>Egenbil &gt;15 tonn</b>	-	-	-	-	-	-	-	15 %
<b>Personbil</b>	14 %	26 %	14 %	1,0 %	52 %	77 %	51 %	7 %

Tilskuddene gir for det første en vridning i transportsektoren fra 2010 mot bruk av alternativ teknologi (hvilket jo var hensikten med tilskuddet). Den beregnede andelen utførte kilometer med de ulike teknologivariantene er vist i tabell 13 for hver av de separate beregningene. Hvor stor andel av den utførte transporten som bruker alternativ transportteknologi, er selvfølgelig betinget av våre anslag på utskiftning av bilparken som er vist i tabell 11. Hydrogenteknologien forutsetter at det benyttes hydrogen som er produsert fra vannkraft.

Vi har sagt at hver beregning må sees isolert. Det betyr at beregningen i tabell 13 for elektriske biler i 2010, forutsetter at de resterende 86% av trafikkarbeidet med personbiler utføres med tradisjonelle bensin og dieslbiler, ikke med andre alternative teknologier. Det samme gjelder for de øvrige teknologiene.

Vi ser at tilskuddene gir vridning mot anvendelse av alternativ transportteknologi, men beregningene viser også en viss tendens til økning i antallet kjørte kilometer som en følge av tilskuddet til alternativ transport. Dette skyldes at tilskuddet gir lavere gjennomsnittlig transportkostnad for brukeren. Denne effekten reduseres imidlertid av at finansieringen av tiltaket gir et effektivitetstap som medfører lavere inntekt (BNP) og redusert privat konsum.

Veksten i antall kjøretøykilometer ved tilskuddsordningen varierer mellom de ulike teknologiene etter hvor store tilskudd de får, og hvor stor reduksjon finansieringen gir i privat konsum. Lavest vekst får vi i beregningen for elektriske biler, gassbiler og hydrogenbiler. Disse gir en vekst i trafikkarbeidet tilnærmet lik null. Introduksjonen av hybridbiler gir imidlertid en del mer trafikkarbeid med personbiler. Utførte kilometer med personbil øker med 1,4% i 2010 og med 9,7% i 2020. De anvendte tilskuddene er ikke i noen av beregningene stor nok til at det er lønnsomt å bruke alternativ teknologi verken for busser (rutebiler) eller drosjer.

Med utgangspunkt i den langsiktige beregningen til 2020 ser vi at det er et klart mønster mot at elbilteknologi og hybridteknologi har størst gjennomslagskraft for personbiler, mens gass og hydrogen også har noe gjennomslagskraft for de tunge bilene. Dette er på en måte gunstig sett i forbindelse med at lagringsproblematik-

ken, som er størst for gass og hydrogen, ikke er så fremtredende for tunge kjøretøy som for personbiler.

Tabell 15 viser beregnet reduksjon i CO<sub>2</sub> utslipp som følger av den anvendelsen av alternativ teknologi som er vist i tabell 14.

Tabell 15. Reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp ved anvendelse av alternative transportteknologier.

	2010				2020			
	Elektrisk	Hybrid	Gass	Hydrogen	Elektrisk	Hybrid	Gass	Hydrogen
<b>Total reduksjon</b>	-2,0 %	-1,0 %	-0,1 %	-0,1 %	-5,7 %	-2,1 %	-0,8 %	-0,9 %
<b>Utslppsreduksjon fra personbil</b>	-14,2 %	-11,3 %	-1,2 %	-1,2 %	-51,5 %	-32,0 %	-6,4 %	-6,8 %
<b>Utslppsreduksjon fra tunge biler</b>	-4,3 %	-1,7 %	-0,2 %	-0,1 %	-8,3 %	-3,9 %	-3,5 %	-3,8 %

Elektriske biler har udiskutabelt størst potensiale for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene fra transport, og det er som vi ser samsvar mellom reduksjonen i CO<sub>2</sub>-utslipp fra personbilparken og andel av utførte kjøretøykilometer med elektriske biler. Som andel av totalt norsk CO<sub>2</sub>-utslipp betyr utslppsreduksjonen naturligvis mindre. Men med utgangspunkt i at vi tross alt har tatt høyde for at elektriske biler er et mindre anvendbart alternativ enn bensinbiler, vil vi si at potensialet for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene ved hjelp av elektriske biler er betydningsfullt, også sett i sammenheng med det totale norske CO<sub>2</sub>-utslippet.

Hydrogenbiler, som heller ikke gir CO<sub>2</sub>-utslipp, er ikke et anvendbart alternativ innen 2010, og vil derfor heller ikke kunne introduseres i like stort omfang som de øvrige alternativene innen 2020. På kort sikt er derfor potensialet for CO<sub>2</sub>-reduksjon større for elbilen enn for hydrogenbilen. Også for hydrogenbiler ser vi at det er en sammenheng mellom andel av kjøretøykilometer som utføres med hydrogenbiler og reduksjonen i CO<sub>2</sub>-utslippet fra personbilparken.

Det er imidlertid noen interessante elementer vi bør legge merke til når det gjelder hydrogenbilen versus den vanlige batteridrevne elektriske bilen. I tabell 3 så vi at hydrogenbilen har et vesentlig høyere energiforbruk, målt i MJ/km, enn en batteridrevet elektrisk bil. Det vil si at introduksjon av hydrogenbiler vil ha en sterkere effekt på elektrisitetsprisene enn de vanlige batteridrevne elektriske bilene vil ha, dersom hydrogenet produseres fra vannkraft. Det medfører at andre aktiviteter med mulighet til å veksle mellom strøm og fossil energi i større grad vil gå over til det sistnevnte når hydrogenbilene tas i bruk. Det vil igjen si at den gunstige effekten hydrogenbiler har på CO<sub>2</sub>-utslipp i transportsektoren, delvis spises opp av høyere utslipp andre steder, og at dette er mer fremtredende for hydrogenbiler enn for batteridrevne biler.

På en annen side er hydrogenbilen vesentlig dyrere i innkjøp enn den batteridrevne bilen. Siden teknologien kjøpes fra utlandet, vil det si at vi får et handelsbalansetap i forhold til alternativet med batteridrevne biler, noe som igjen medfører lavere privat konsum og dermed redusert utslipp av CO<sub>2</sub>.

Det er interessant å merke seg at disse to effektene oppveier hverandre, slik at om vi sammenligner forholdet mellom virkning på CO<sub>2</sub>-utslippet i transportmarkedet og virkning på det totale CO<sub>2</sub>-utslippet for batteridrevne biler og hydrogenbiler, ser vi i tabell 15 at hydrogenbilene og den batteridrevne bilen gir omtrent den samme relative virkning på totalutslippet som den relative virkningen de har på utslipp i transportmarkedet. Men sett i forhold til energibruk vil vi få mindre transportinnsats igjen for ressursforbruk til hydrogenbiler enn til batteridrevne biler.

Nest etter de batteridrevne bilene har hybridteknologien det største potensialet for utslippsreduksjoner, mens gassbilen og hydrogenbiler gir omtrent samme utslippsreduksjon i 2020. I forhold til hvor stor andel av kjørte kilometer som utføres, er imidlertid hydrogenbilen som sagt på høyde med den elektriske bilen. Alle teknologiene gir større utslippsreduksjoner fra personbilparken enn fra tunge kjøretøyer.

Kostnaden ved å gjennomføre tiltak for å få tatt i bruk alternativ transportteknologi kan illustreres ved å se på reduksjonen i privat konsum. Ser vi på de ulike teknologivariantene, kan vi beregne hvor mye hvert kilo utslippsreduksjon koster i form av redusert konsum. Elektriske biler er en relativt lite kostbar teknologi som gir store reduksjoner i CO<sub>2</sub>-utslipp. Dessuten er energikostnaden vesentlig lavere for å kjøre en elektrisk bil enn noen av de øvrige alternativene. Det er derfor ikke overraskende at elbilen gir den laveste kostnaden for utslippsreduksjoner ved tilskudd til driftskostnad.

Tabell 16. Reduksjon i privat konsum, kroner per kilo CO<sub>2</sub>-reduksjon.

	2010	2020
<b>Elektrisk</b>	6,57	4,62
<b>Hybrid</b>	19,57	22,34
<b>Gass</b>	8,89	13,91
<b>Hydrogen</b>	12,49	18,48

Tabell 16 viser kostnaden ved tilskudd til alternative transportteknologier målt som kroner redusert privat konsum per kilo redusert CO<sub>2</sub>-utslipp. I 2010 får vi 6,57 kroner i redusert privat konsum per kilo reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet for elektriske biler. Det dyreste alternativet, målt i forhold til reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet, er hybridbiler. Her får vi 19,57 kroner redusert konsum per kilo CO<sub>2</sub>. Hybridbilen gir et høyere tap enn den relativt dyrere hydrogenteknologien fordi hybridbiler ikke gir like stor gevinst i CO<sub>2</sub> utslippet. Gassteknologien er relativt lite kostbar å implementere, men gir svært små reduksjoner i CO<sub>2</sub>-utslippet. Dette bildet endrer seg ikke innen vår tidshorisont.

Vi må imidlertid være klar over at konklusjonene så langt gjelder dersom en gjennomfører isolerte kostnadskrevende tiltak for å innføre alternativ transportteknologi. Dessuten er konklusjonene våre styrt av forutsetningene rundt introduksjonstakten for ulike teknologier (som ble diskutert i kapittel 5).

Med utgangspunkt i en mer generell miljøstrategi vil miljøfordelene ved alternativ teknologi kunne endre betingelsene for utslippsreduksjoner og bidra positivt til å redusere kostnadene ved en slik strategi. Dette er tema for neste avsnitt, der vi tar utgangspunkt i BASIS-alternativet, og introduserer alternativ teknologi uten driftstilskudd. Vi ser i hvilken grad generelle krav til utslippsreduksjoner, som gjennomføres gjennom en CO<sub>2</sub>-avgift, kan utjevne kostnadsulempene ved alternativ transportteknologi, og hvor strenge krav som må til før det lønner seg for transportbrukere å ta i bruk slik teknologi.

### **8.3 Virkningen av alternativ transportteknologi ved en generell CO<sub>2</sub>-policy og anslag for en ikke-stimulert teknologisk utvikling i transportteknologi**

I de beregningene vi ser på i dette avsnittet har vi introdusert tilbud av alternativ transportteknologi i BASIS-alternativet. Med disse beregningene ønsker vi å belyse i hvilken grad miljøfordelen er tilstrekkelig til å jevne ut kostnadsulempene for alternativ transportteknologi ved en klimapolitikk. Vi får også belyst i hvilken grad miljøfordeler ved alternativ teknologi vil kunne redusere de samfunnsøkonomiske kostnadene ved å gjennomføre miljøstrategien i BASIS-alternativet<sup>20</sup>. I disse beregningene har vi ikke gitt tilskudd til alternativ teknologi. Alternativteknologien bli dermed bare anvendt dersom miljøfordelen gir en kostnadsfordel fremfor tradisjonell teknologi når vi legger på CO<sub>2</sub>-avgifter.

Som før har vi at transportetterspørselen er en endogen variabel i beregningene. Det vil si at også valg av transportteknologi er endogen. Alternativ teknologi introduseres i et fritt marked, og vi står overfor en prisavhengig etterspørsel etter slik teknologi.

Vi har i alt laget fire beregninger basert på BASIS-alternativet. I den første beregningen introduserer vi batteridrevne elektriske kjøretøyer. Deretter ser vi suksessivt på hybridkjøretøyer, gassdrevne kjøretøy og hydrogenløsninger. Tilbudet av alternativ teknologi er i dette avsnittet basert på et ikke-stimulert (-) anslag for utvikling i kostnader og energiforbruk ved alternativ transport (i tabell 4, 6 og 8). Som i forrige avsnitt må hver beregning sees isolert fra de øvrige alternativene.

Vi forholder oss til to ulike utslippsnivåer. I implementering av Kyoto<sub>min</sub> som tilsvarer Kyoto-kravet, forutsetter vi at utslippet skal være under 1% over 1990-nivå både i 2010 og i 2020. Det innebærer en 19% reduksjon i utslippet i forhold til det som forventes i 2010<sup>21</sup>. I Kyoto<sub>max</sub> har vi gjennomført beregninger der vi holder

---

<sup>20</sup> Se drøftingen om marginalkostnad for utslippsreduksjoner i kapittel 2.4

<sup>21</sup> Kyoto-avtalen er foreløpig ikke utvidet til 2020, slik at et krav om å holde utslippet på dette nivået i 2020 ikke er forutsatt av Kyoto-avtalen.

utslippsnivået i 2010 og 2020 på et nivå som er 40% under det forventete utslippet i 2010.

I beregningene for 2010 er det bare den batteridrevne elektriske personbilen som er et kostnadseffektivt<sup>22</sup> alternativ til tradisjonell teknologi ved en klimapolitikk. Elektriske personbiler er et kostnadseffektivt alternativ i beregningene for Kyoto<sub>min</sub>, og dermed også ved Kyoto<sub>max</sub>. Ingen av de øvrige alternative teknologiene er tilstrekkelig kostnadseffektive, verken innen personbilparken eller parken av tunge kjøretøy i 2010. Dette betyr at miljøfordelen er for liten, og teknologikostnaden for høy for gassbilen, hybridbilen og hydrogenbilen. Det er mer effektivt å ta inn CO<sub>2</sub>-reduksjoner i andre sektorer i samfunnet enn å benytte slik teknologi.

Dersom en gjennomfører Kyoto-avtalen ved å bruke en lik CO<sub>2</sub>-avgift i alle sektorer (eller gjennom den ekvivalente formen som er kvotehandling), vil en riktig miljøstrategi i transportsektoren frem til år 2010 være å tilrettelegge for anvendelse av batteridrevne elektriske personbiler i de nisjene slike kjøretøy kan utnyttes.

I 2020 fremstår også hybrid- og hydrogenbilteknologien som kostnadseffektive alternativ til tradisjonell teknologi i personbilparken. Batteridrevne elektriske biler er aktuelle selv uten klimaavtale i 2020, mens hybridbilene er aktuelle ved et krav til utslippsnivå som ligger ca 30% under BAU-utslippet i 2010, det vil si mellom Kyoto<sub>min</sub> og Kyoto<sub>max</sub>. Hydrogenbilene er kostnadseffektive ved Kyoto<sub>min</sub>. Ingen alternative teknologier for tunge kjøretøyer er konkurransedyktige ved klimakravene i 2020.

Fremdeles er det altså de batteridrevne bilene som er det beste alternativet til å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene fra transportsektoren. Men så langt (i dag) er disse bilene lite anvendbare utover enkelte nisjer. Hvis ikke batteriteknologien blir vesentlig bedre, slik at bilene får lengre rekkevidde og kortere ladetid, vil de bare kunne benyttes i enkelte nisjer. Hybridbilen fremstår da som et bedre alternativ sett med hensyn på anvendbarhet. Også hydrogenteknologien virker lite anvendbar før lagringsproblematikken er løst. Men vi regner med at dette vil bli løst før 2020.

Tar vi i betraktning anvendbarhet, synes vi at hybridteknologien ser ut som den mest lovende muligheten innen transportsektoren, i alle fall på kort sikt. Spesielt må vi bemerke at våre anslag på teknologikostnad for hybridbilen er svært høye. Dette slår særlig ugunstig ut for denne biltypen. Dersom kostnaden ved hybridteknologien kan reduseres mer enn i våre anslag, tror vi den også kostnadmessig vil konkurrere med de elektriske bilene.

Før vi går nærmere inn på resultatene i beregningene i dette avsnittet, vil vi peke på en foreløpig konklusjon. Det ser ut til at det er vanskeligere, med utgangspunkt i kostnadseffektivitet, å innføre alternativ transportteknologi innen godstransport og generelt for tunge kjøretøy enn i personbilparken. Dette skyldes hovedsakelig det vi var inne på i innledningen til denne rapporten, at alternativ teknologi er dyrere for store kjøretøy enn for personbiler. Dessuten er ikke utslippsreduksjonen

---

<sup>22</sup> Med kostnadseffektiv mener vi her at dette alternativet er kostnadmessig fordelaktig fremfor andre alternativer.

så stor for tunge kjøretøy som for personbilene, siden tunge kjøretøy i utgangspunktet benytter diesel.

Dette betyr ikke at vi kan utelukke at andre forhold, som ønske om å holde en miljøprofil, eller nye krav til redusert lokal forurensning eller lignende, likevel vil kunne få aktører som benytter seg av tunge kjøretøyer til å velge alternative teknologier. Vi har sett at slik teknologi gir reduserte miljøulemper, men denne fordelene er relativt dyrekjøpt (i alle fall relatert til CO<sub>2</sub>). I følge våre beregninger vil miljøgevinstene oppnås til lavere kostnader i andre sektorer. Vi skal imidlertid senere se om et mer optimistisk anslag på teknologiutviklingen vil kunne endre disse konklusjonene.

### 8.3.1 Resultater for 2010

Det er som sagt bare batteridrevne elektriske personbiler som fremstår som et miljøvennlig og kostnadseffektivt alternativ til tradisjonell transportteknologi i BASIS-alternativet for 2010. Gitt våre forutsetninger om potensialet for å introdusere elbiler i personbilparken (i kapittel 5), utføres 13,6% av trafikkarbeidet med personbil, målt i kjøretøykilometer, med elektriske biler ved Kyoto<sub>min</sub>. Andelen øker til 14,6% ved Kyoto<sub>max</sub>.

Introduksjon av elektriske biler reduserer CO<sub>2</sub>-utslippet fra personbilparken med 13,1% ved Kyoto<sub>min</sub> og 13,6% ved Kyoto<sub>max</sub> i forhold til BASIS-alternativet. Innenfor rammene av utslippsmålsetningen gir dette rom for økte utslipp i andre sektorer. Dette kommer først og fremst prosessindustrien til gode, og prosessutslippene øker med 3% ved Kyoto<sub>min</sub> og 3,9% ved Kyoto<sub>max</sub> i forhold til BASIS-alternativet. Utslippene fra boligoppvarming øker med 2,7% og 3,4% ved henholdsvis Kyoto<sub>min</sub> og Kyoto<sub>max</sub> i forhold til BASIS-alternativet, og utslippene fra annen transport, oppvarming og drift i næringslivet går opp med ca 1% og 1,4% ved de to utslippsmålsetningene. Totalutslippet for Norge forblir uforandret i følge forutsetningene om et gitt utslippsnivå.

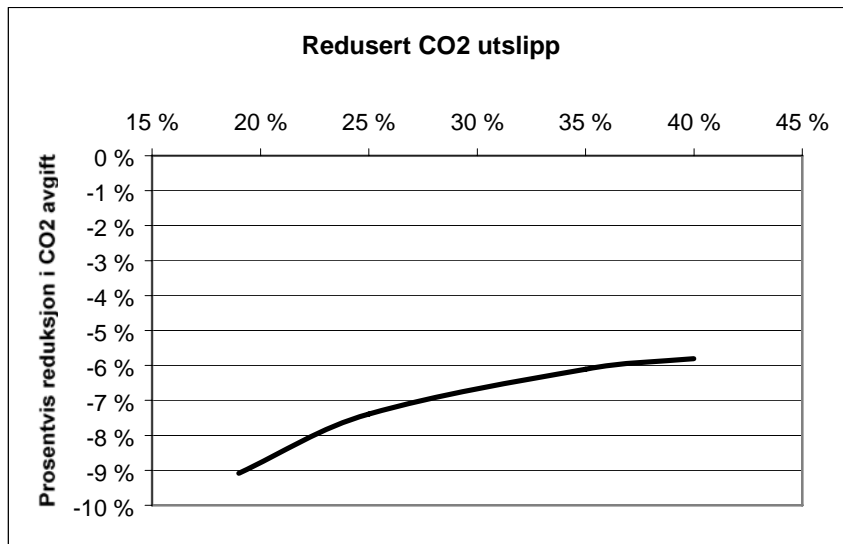
Elektriske biler reduserer utslippene av CO<sub>2</sub> fra transportsektoren, og det blir ikke lenger nødvendig med like høye CO<sub>2</sub>-avgifter som i BASIS-alternativet. Dette tolkes som at reduksjoner i transportutslippene medfører at en nå kan opprettholde en del av de mindre lønnsomme CO<sub>2</sub>-utslippene og fortsatt være innenfor CO<sub>2</sub>-kvoten. Avgiftsreduksjonen blir på 9,1% ved Kyoto<sub>min</sub> og 5,8% ved Kyoto<sub>max</sub>. Den prosentvise differansen mellom CO<sub>2</sub>-avgiften i BASIS-alternativet og i elbil-løsningen for 2010 er vist i figur 12.

Redusert CO<sub>2</sub>-avgift, forårsaket av elbilteknologi, gir i utgangspunktet en positiv impuls på inntektsskapingen i samfunnet. Imidlertid kjøper vi lavere CO<sub>2</sub>-utslipp gjennom å importere en relativt dyr teknologi. Dette medfører uheldige virkninger. For det første gir elbiler lavere etterspørsel etter norskprodusert olje sammenlignet med en bilpark drevet på bensin. Samtidig vil økt elektrisitetsetterspørsel presse opp prisene på elektrisitet i Norge, en effekt som forsterkes av begrenset produksjons- og overføringskapasitet. Norge taper valutainntekter på å eksportere olje til en lavere pris, samtidig som verdien av importerte biler øker gjennom kjøp av dyrere biler (elbiler). Norske husholdninger må dessuten betale mer for elektrisk kraft. Disse effektene nøytraliserer den største delen av gevinsten av redu-



serte avgifter, slik at vi kommer tilnærmet uendret ut i forhold til BASIS-alternativet med hensyn på BNP og privat konsum. Ved  $Kyoto_{min}$  reduseres valutakursen med ca 1,1%, oljeprisen faller med 0,5%, mens elektrisitetsprisen øker med 0,9%.

Figur 12. Prosentvis reduksjon i  $CO_2$ -avgift ved introduksjon av elektriske person biler i 2010. Reduksjon i forhold til  $CO_2$ -avgiften i BASIS-alternativet.



Når utslippsreduksjonen strammes til ved  $Kyoto_{max}$  og  $CO_2$ -avgiften øker, betyr en potensiell reduksjon i  $CO_2$ -avgift mer. BNP-økningen i forhold til BASIS-alternativet er da på 0,1%. Men fremdeles må endringene i BNP oppfattes som så små at de i beste fall er meget usikre. Endringen i valutakurs i forhold til BASIS-alternativet reduseres til 0,15%. Oljepris er uforandret i forhold til BASIS-alternativet, mens elektrisitetsprisen er økt med 1,22%. Dette antyder at handelsbalanseulempen betyr relativt mindre i forhold til betydningen av redusert  $CO_2$ -avgift ettersom utslippsrestriksjonene strammes til.

### 8.3.2 Resultater for 2020

Beregningene for 2020 viser at den teknologiske utviklingen over tid reduserer kostnadsulempen for flere teknologivarianter i forhold til tradisjonell transportteknologi. I tillegg til batteridrevne elektriske biler er dermed også personbiler av hybridtypen og hydrogentypen kostnadseffektive alternativer til tradisjonelle biler ved en  $CO_2$ -politikk. For tunge biler er det derimot fremdeles ingen kostnadseffektive alternativer blant de alternative teknologiene. Dette skyldes, som vi tidligere har sagt, at miljøfordelen ikke er like stor i forhold til diesel<sup>23</sup> som i forhold

<sup>23</sup> Personbiler bruker i all hovedsak bensin (95%), mens tunge biler bruker utelukkende diesel. Avgiftene for diesel er lavere enn for bensin, og  $CO_2$ -utslippet per kilometer er vesentlig lavere for diesel enn bensin. Det siste skyldes at dieselmotoren er mer effektiv enn bensinmotoren, slik at energiforbruket er mindre (se for eksempel Teknologisk Institutt, 1998, s 17).

til bensin, og at økningen i kapitalkostnaden i forhold til tradisjonell teknologi er større for tunge biler.

I 2020 vil elektriske personbiler i følge Teknologisk Institutt's anslag på teknologisk utvikling være kostnadseffektive uten at det settes krav til CO<sub>2</sub>-utslippet. Hydrogenbilene er kostnadseffektive ved Kyoto<sub>min</sub>. Hybridbilene er like dyre å kjøpe som hydrogenbilene, men gir ikke samme utslippsfordel. Disse er derfor kostnadseffektive først når kravet til utslippsnivå settes til 30% av utslippet i 2010 i BAU.

I beregningene utføres 53,6% av trafikkarbeidet med personbiler av elektriske biler ved Kyoto<sub>min</sub>. Andelen øker til 66,2% ved Kyoto<sub>max</sub>. Lavere CO<sub>2</sub>-utslipp fra transport medfører lavere kostnader og dermed mer transport. Ved Kyoto<sub>min</sub> er derfor trafikkarbeidet 3,3% høyere enn i BASIS-alternativet, og ved Kyoto<sub>max</sub> er trafikkarbeidet økt med 6,3% i forhold til BASIS-alternativet. Dette vil naturligvis kunne medføre en økning i ulykkestallet.

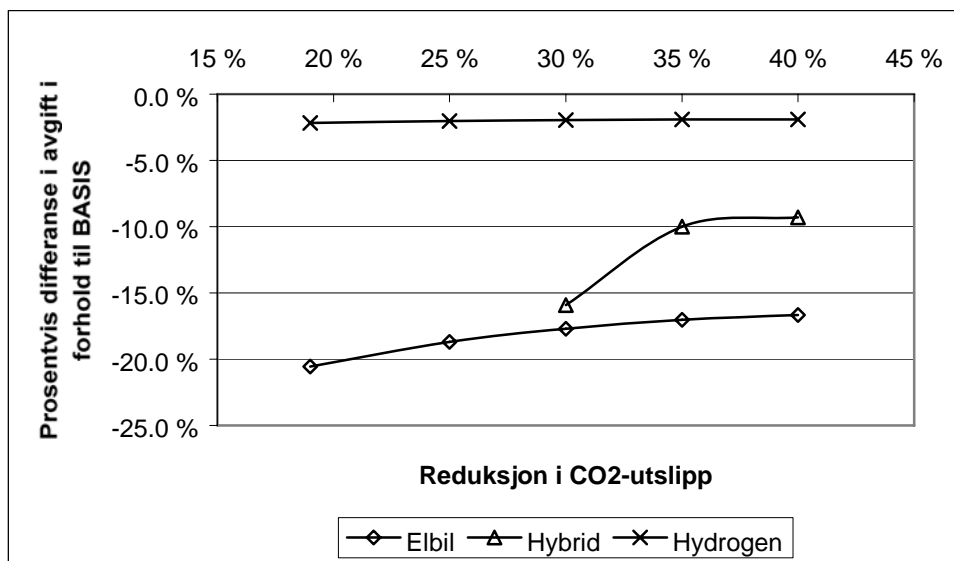
Hybridbilene vil ifølge beregningene våre ikke bli benyttet før i Kyoto<sub>max</sub>. De utfører da 77% av trafikkarbeidet, noe som gir en trafikkvekst på hele 10,6% i forhold til BASIS-alternativet. Årsaken til at trafikkarbeidet øker mest for hybridbilene, er at disse bilene er lettere å føre inn i bilparken siden de har mer sammenlignbare egenskaper med bensinbiler. Dessuten er handelsbalanseeffekten mindre ved denne teknologien siden oljeetterspørselen ikke faller helt bort fra den delen av bilparken som går over til alternativ teknologi. Dette gir høyere privat konsum, som igjen er med på å påvirke økningen i persontransport.

Til sist viser beregningene at hydrogenbilene er kostnadseffektive ved Kyoto<sub>min</sub>. Hydrogenbiler står da for 6,6% av trafikkarbeidet og øker til 6,8% ved Kyoto<sub>max</sub>. Trafikkveksten er moderat, 0,6% ved Kyoto<sub>min</sub> og 0,9% ved Kyoto<sub>max</sub> i forhold til BASIS-alternativet.

Tabell 17. Andelen alternativ teknologi og trafikkvekst i forhold til BASIS-alternativet ved en generell CO<sub>2</sub>-politikk i 2020.

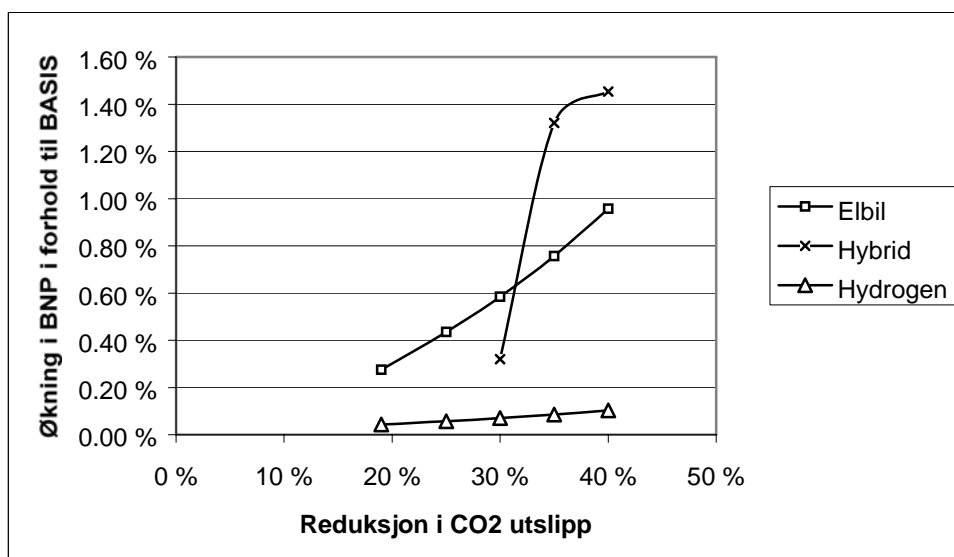
Utslippsnivå	Andel		Trafikkvekst	
	Kyoto <sub>min</sub>	Kyoto <sub>max</sub>	Kyoto <sub>min</sub>	Kyoto <sub>max</sub>
Elektriske biler	54 %	56 %	3 %	6 %
Hybridbiler	0 %	77 %	0 %	11 %
Hydrogenbiler	6 %	7 %	1 %	1 %

Elektriske biler gir den største reduksjonen i CO<sub>2</sub>-avgift i forhold til BASIS-alternativet. Ved Kyoto<sub>min</sub> er avgiftsreduksjonen på 21% og ved Kyoto<sub>max</sub> er differansen 17%. Hybridbilen reduserer avgiften ved Kyoto<sub>max</sub> med 9% og hydrogenbilen reduserer avgiften med 3% både ved Kyoto<sub>min</sub> og ved Kyoto<sub>max</sub>. Den prosentvise differansen i CO<sub>2</sub>-avgift mellom BASIS-alternativet og introduksjon av de ulike teknologialternativene er vist i figur 13.

Figur 13. Reduksjon i CO<sub>2</sub> avgift i år 2020 i forhold til BASIS-alternativet.


Reduksjonen i CO<sub>2</sub>-avgifter gir høyere BNP enn i BASIS-alternativet i alle beregningene der alternativ teknologi er tatt i bruk. Men også i disse beregningene får vi redusert inntektsvirkningen av at oljeprisen reduseres og at valutakursen synker. Ved Kyoto<sub>min</sub> blir BNP 0,3% høyere enn i BASIS-alternativet ved introduksjon av elektriske biler. Endringen i BNP i forhold til BASIS-alternativet er positiv men bort imot neglisjerbar for hydrogenalternativet.

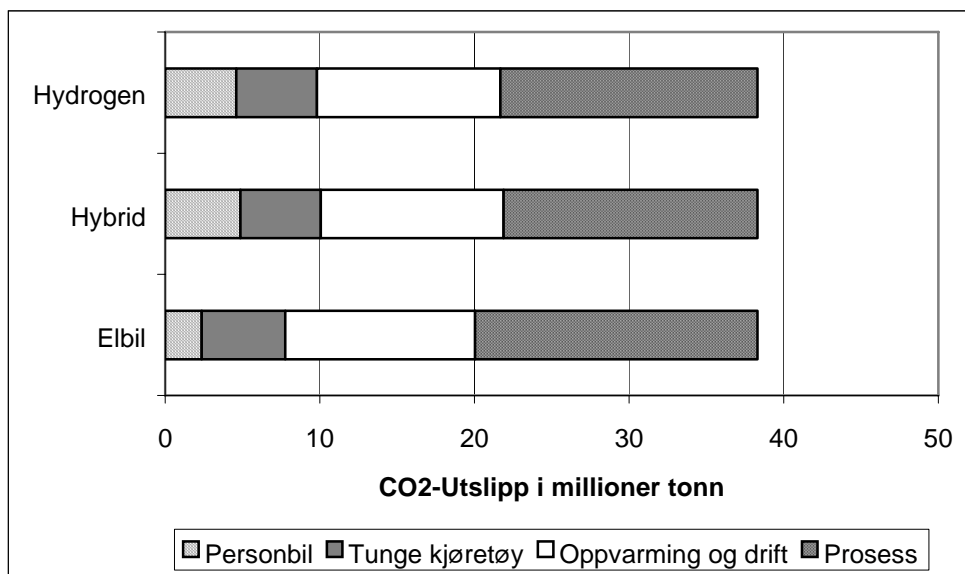
Figur 14. Prosentvis økning i BNP i forhold til BASIS-alternativet i 2020 ved introduksjon av alternativ transportteknologi.

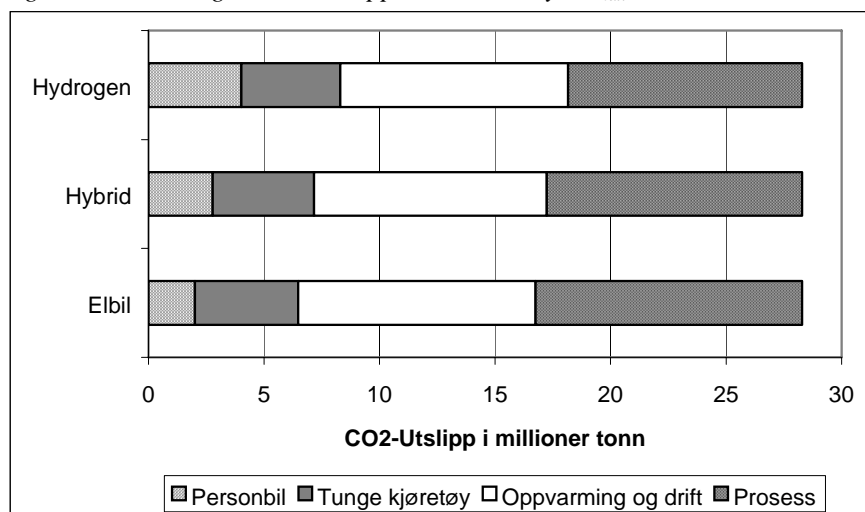


Ved Kyoto<sub>max</sub> får vi også inn hybridbiler. BNP øker med ca 1% i forhold til BASIS-alternativet for elektriske biler, 1,45 % for hybridteknologien i personbilparken og ca 0,1% for hydrogenalternativet. Hybridbilene har en gunstigere effekt på BNP, blant annet fordi innenlandsk etterspørsel etter olje ikke reduseres like mye som ved introduksjon av elektriske biler og hydrogenbiler. Dette opprettholder til en viss grad oljeprisen, slik at handelsbalansen ikke svekkes like mye som ved de andre to alternativene. De prosentvise endringene i BNP i 2020 ved introduksjon av alternativ transportteknologi er vist i figur 14.

Det totale utslippet av CO<sub>2</sub> er gitt forutsetningsvis av kravet til utslippsnivå. Fordelingen av utslippet mellom utslippkilder blir derimot påvirket av det teknologiske tilbudet innen transport. Beregningene vår viser at potensialet for å redusere utslippene av CO<sub>2</sub> fra personbilparken er størst for elektriske biler og minst for hydrogenbilene. Hydrogenbilene kommer dårligst ut fordi de forutsetningsvis vil ha en lavere andel i kjøretøyparken i 2020 enn de andre teknologiløsningene. Hybridbilene, som det rent teknisk vil være lettest å få aksept for, gir en utslippsreduksjon som i størrelsesorden ligger mellom elbilen og hydrogenbilen. Fordelingen av CO<sub>2</sub>-utslippet ved Kyoto<sub>min</sub> og Kyoto<sub>max</sub> i 2020 er vist i figur 15 og 16.

Figur 15. Fordeling av CO<sub>2</sub> utslipp i 2020 ved Kyoto<sub>min</sub> etter kilde.



Figur 16. Fordeling av CO<sub>2</sub> utslipp i 2020 ved Kyoto<sub>max</sub> etter kilde.

#### 8.4 Virkningen av alternativ transportteknologi ved en generell CO<sub>2</sub>-policy og anslag for en stimulert teknologiske utvikling i transport

Med utgangspunkt i anslag på en stimulert teknologisk utvikling innen transportsektoren, skal vi i dette avsnittet se på beregninger av CO<sub>2</sub>-avgiften når vi bruker parametre for teknologiutviklingen fra i (+) kolonnene i tabell 4, 6 og 8. En stimulert teknologiutvikling innebærer imidlertid at vi også får raskere teknologisk utvikling for tradisjonell transportteknologi, noe som har konsekvenser for enkelte eksogene parametre i BASIS-alternativet. De nye anslagene gir oss dermed både ny referansebane og et nytt basisalternativ, som vi refererer til som BAU (+) og BASIS(+). Konsekvensene av introduksjon av alternativ teknologi er i dette avsnittet målt i forhold til BASIS(+), og kan dermed *ikke* sammenlignes direkte med de foregående beregningene.

Med stimulert utvikling av transportteknologien får vi en gunstigere utvikling for alternativ teknologi sett i forhold til tradisjonell transportteknologi når det gjelder vedlikeholds- og kapitalkostnader. Utviklingen i energiforbruk er derimot relativt sett gunstigere for bensinbiler enn de alternative teknologiene i dette alternativet. Med dette utgangspunktet viser beregningene våre at både elektriske personbiler, hybrid-personbiler, gass-personbiler og hydrogen-personbiler er kostnadseffektive alternativer i forhold til tradisjonelle bensinbiler allerede ved den minst stramme CO<sub>2</sub>-restriksjonen (Kyoto<sub>min</sub>) i 2010. Det samme ser vi også i beregningene for 2020.

I klassene for tunge kjøretøyer er derimot fortsatt ikke alternativ transportteknologi kostnadseffektivt i forhold til tradisjonell teknologi basert på dieselmotorer.

### 8.4.1 Resultater for 2010

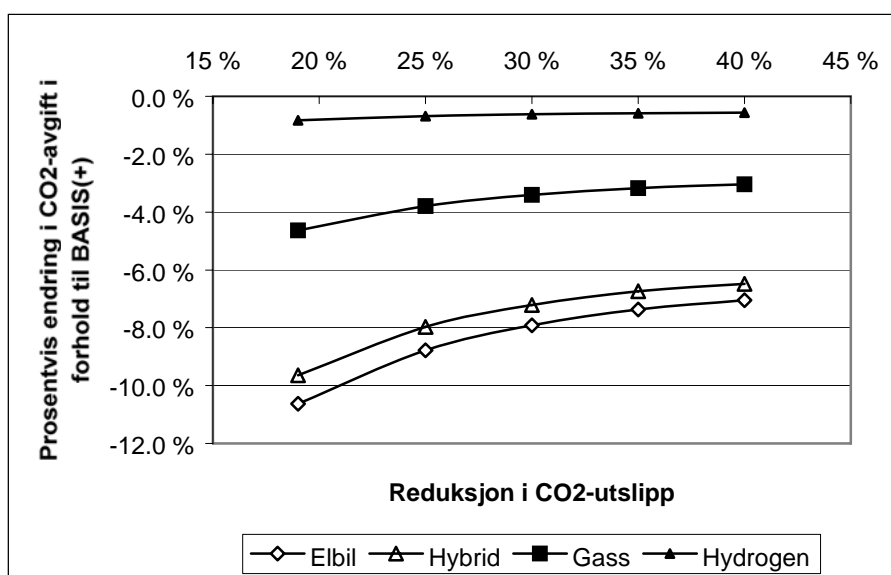
Beregningene for 2010 viser at batteridrevne elektriske biler fortsatt er av de beste alternativene til å redusere CO<sub>2</sub>-utslipp og CO<sub>2</sub>-avgift i forhold til BASIS(+). På den andre siden av skalaen finner vi hydrogenbilene, som har et relativt dårlig utgangspunkt i 2010, siden teknologien ikke når markedet i særlig omfang før mot 2020.

Personbiler drevet på gass, som ved hurtigere teknologiutvikling er et kostnadseffektivt alternativ til tradisjonell teknologi, plasserer seg mellom hybrid- og hydrogenteknologien i potensiale for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene fra personbilparken, og dermed CO<sub>2</sub>-avgiften.

Forskjellen i CO<sub>2</sub>-avgiftsnivå for elbil- og hybridteknologi blir i beregningene for 2010 små i forhold til tidligere beregninger. Dette skyldes at en stimulert teknologiutvikling medfører en ytterligere reduksjon i energiforbruk for hybridbilen i forhold til en ikke-stimulert utvikling. Det samme er ikke tilfelle for de elektriske bilene, som allerede i dag er så effektive i energisammenheng at potensialet for å redusere energiforbruket ytterligere er lite.

Hybridteknologien har dermed et relativt stort potensiale for å redusere utslippet fra personbilparken, faktisk større enn de batteridrevne elektriske bilene. Vi får likevel noe høyere CO<sub>2</sub>-avgifter for hybridteknologien enn elbilteknologien. Dette skyldes at hybridteknologien gjennom effekter på produksjonsnivå i raffineringsindustrien og oljesektoren gir høyere innenlandsk produksjon/aktivitetsnivå enn elbilteknologien. Det tilsier høyere utslipp totalt, og derfor behov for høyere avgiftsnivå for å dempe energiforbruket. Den prosentvise reduksjonen i CO<sub>2</sub>-avgift i forhold til BASIS(+) ved introduksjon av alternativ transportteknologi er vist i figur 17.

Figur 17. Prosentvis endring i CO<sub>2</sub>-avgift i år 2010 i forhold til BASIS(+).



Utslippsfordelingen etter kilde ved  $Kyoto_{min}$  for de ulike teknologiperspektivene er vist i tabell 18. Tabell 19 viser den samme fordelingen etter kilde ved  $Kyoto_{max}$ .

Tabell 18.  $CO_2$ -utslipp etter kilde i år 2010, optimistisk teknologianslag,  $Kyoto_{min}$

	BASIS(+)	Elbil	Hybrid	Gass	Hydrogen
<b>Personbil</b>	14,6 %	12,5 %	12,4 %	13,6 %	14,4 %
<b>Annen transport</b>	12,6 %	12,8 %	12,7 %	12,7 %	12,6 %
<b>Drift og oppvarming</b>	29,5 %	29,9 %	29,8 %	29,7 %	29,5 %
<b>Prosess</b>	43,3 %	44,8 %	45,0 %	44,1 %	43,4 %
	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tabell 19.  $CO_2$ -utslipp etter kilde i år 2010, optimistisk teknologianslag,  $Kyoto_{max}$

	BASIS(+)	Elbil	Hybrid	Gass	Hydrogen
<b>Personbil</b>	17,5 %	13,7 %	14,8 %	16,2 %	17,3 %
<b>Annen transport</b>	13,7 %	13,3 %	13,9 %	13,8 %	13,7 %
<b>Drift og oppvarming</b>	33,0 %	31,6 %	33,4 %	33,2 %	33,0 %
<b>Prosess</b>	35,8 %	41,4 %	37,8 %	36,7 %	36,0 %
	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

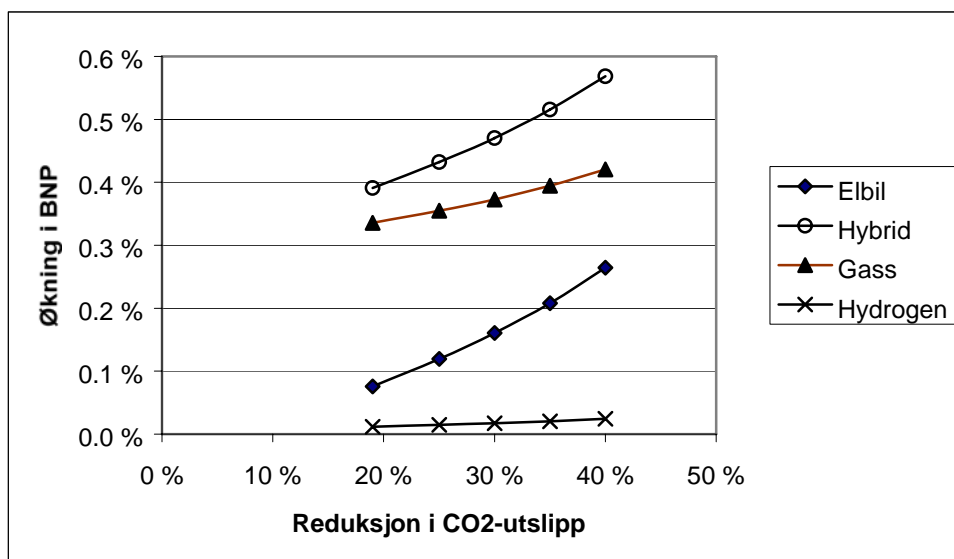
Som vi ser av tabell 18, skjer det en økning i utslippene fra prosessindustrien når alternativ teknologi reduserer utslipp fra personbilparken. Dette skyldes at prosessutslippene synes å være de minst lønnsomme  $CO_2$ -utslippene, og vil derfor være de første til å bli konkurrert ut av kvotemarkedet.

Utslippene fra annen transport (hovedsakelig godstransport) er lite påvirket av utslippsreduksjoner fra personbiler. Dette er fordi hele næringslivet er avhengig av å opprettholde aktiviteten innen godstransport, noe som medfører at utslippene herifra er av de mest lønnsomme. Dette er de utslippene som i utgangspunktet blir minst redusert ved en  $CO_2$ -politikk. Vi får også noe høyere utslipp fra drift og oppvarming.

På grunn av at hybridbilene og gassbilene opprettholder etterspørselen etter norsk olje, er det disse to teknologiene som gir den mest gunstige inntektsutviklingen i forhold til BASIS(+). Ved  $Kyoto_{min}$  får vi en forbedring i BNP på 0,4% ved hybridteknologien og 0,3% ved gassteknologien i forhold til BASIS(+). Elbilene gir en BNP-forbedring på 0,1%, og hydrogenbilene gir ingen merkbar forskjell i BNP fra BASIS(+).

Ved  $Kyoto_{max}$  får vi en forbedring i BNP på 0,6% ved hybridteknologien og 0,4% ved gassteknologien i forhold til BASIS(+). Elbilene gir en BNP-forbedring på 0,3%, og hydrogenbilene gir fremdeles ingen merkbar forskjell i BNP fra BASIS(+). Den prosentvise forbedringen i BNP ved introduksjon av alternativ transportteknologi i forhold til BASIS(+) i 2010 er vist i figur 18.

Figur 18. Prosentvis endring i BNP i år 2010 ved introduksjon av alternativ transportteknologi i forhold til BASIS(+).



Tabell 20 viser andelen av trafikkarbeidet i personbilmarkedet som utføres med alternativ transportteknologi ved  $Kyoto_{min}$  og  $Kyoto_{max}$ , sammen med den totale trafikkveksten for personbiler i de samme beregningene.

Tabell 20. Trafikkvekst for personbiler og utført andel av trafikkarbeid utført med alternativ transportteknologi i 2010 i forhold til BASIS(+).

	Elbil	Hybrid	Gass	Hydrogen
<b>Andel trafikkarbeid</b>				
<b>Kyoto<sub>min</sub></b>	15,5 %	28,0 %	17,8 %	1,3 %
<b>Kyoto<sub>max</sub></b>	16,9 %	29,7 %	18,7 %	1,4 %
<b>Total trafikkvekst for personbiler</b>				
<b>Kyoto<sub>min</sub></b>	1,1 %	3,3 %	2,1 %	0,1 %
<b>Kyoto<sub>max</sub></b>	2,0 %	4,1 %	2,5 %	0,2 %

Den samlede trafikkveksten er størst for hybridteknologien fordi denne teknologien er mest anvendbar til å erstatte dagens biler, men også delvis fordi den har en gunstig virkning på aktivitetsnivå og inntektsskaping.

#### 8.4.2 Resultater for 2020

Som for beregningene for 2010, viser det seg også i 2020-beregningene at alle teknologialternativene innen personbilparken blir kostnadseffektive i forhold til tradisjonell teknologi ved  $Kyoto_{min}$ . For tunge kjøretøyer finner vi ut at det fremdeles ikke finnes kostnadseffektive alternativer blant de med alternativ teknologi.



På grunn av forutsetningene om infasingsmuligheter for ulike teknologier, gir beregningene våre høyest transportandel for hybridteknologien. Det er også denne teknologien som gir den høyeste trafikkveksten relativt til BASIS(+). Derneft får vi noe mer transport med elektriske biler enn med gassbiler, noe som også gjelder trafikkvekst. Hydrogenbilene kommer i liten grad inn i markedet, og gir lavest tall for trafikkvekst og trafikkandel innen personbilparken. Resultater for andel trafikkarbeid og trafikkvekst for alternative teknologier er vist i tabell 21.

Tabell 21. Trafikkvekst for personbiler og andel av trafikkarbeid utført med alternativ transportteknologi i 2020 i forhold til BASIS(+)

	Elbil	Hybrid	Gass	Hydrogen
<b>Andel trafikkarbeid</b>				
<b>Kyoto<sub>min</sub></b>	58,2 %	81,8 %	57,6 %	8,0 %
<b>Kyoto<sub>max</sub></b>	61,2 %	83,9 %	59,0 %	8,8 %
<b>Total trafikkvekst for personbiler</b>				
<b>Kyoto<sub>min</sub></b>	8,4 %	20,9 %	7,1 %	1,5 %
<b>Kyoto<sub>max</sub></b>	11,7 %	23,4 %	8,2 %	1,8 %

Utslippsfordelingen etter kilde er vist i tabellene 22 og 23 for Kyoto<sub>min</sub>, og Kyoto<sub>max</sub>. Som vi ser er det de elektriske bilene som gir den største utslippsreduksjonen fra personbilparken i begge alternativene. Deretter er hybridbilen den nest beste løsningen, mens gassbilen bare gir en litt bedre utslippsforbedring enn hydrogen-teknologien, selv om gassbilens andel av trafikkarbeidet er 5 ganger så stor.

Tabell 22. CO<sub>2</sub>-utslipp etter kilde i år 2020, optimistisk teknologianslag, Kyoto<sub>min</sub>

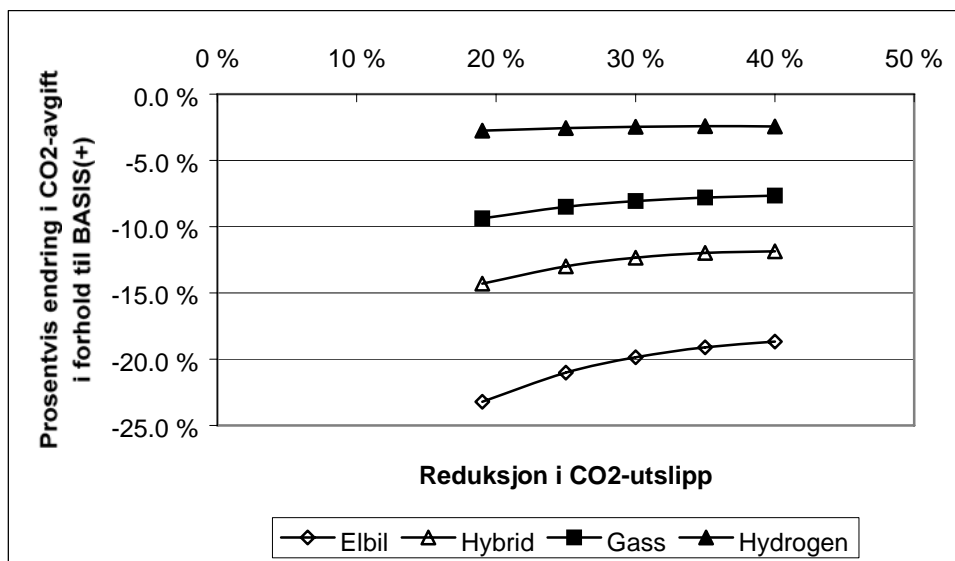
	BASIS(+)	Elbil	Hybrid	Gass	Hydrogen
<b>Personbil</b>	13,8 %	6,3 %	8,0 %	10,4 %	12,8 %
<b>Annen transport</b>	12,2 %	12,8 %	12,6 %	12,4 %	12,3 %
<b>Drift og oppvarming</b>	30,9 %	32,3 %	31,8 %	31,5 %	31,1 %
<b>Prosess</b>	43,1 %	48,7 %	47,6 %	45,7 %	43,8 %
	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Tabell 23. CO<sub>2</sub>-utslipp etter kilde i år 2020, optimistisk teknologianslag, Kyoto<sub>max</sub>

	BASIS(+)	Elbil	Hybrid	Gass	Hydrogen
<b>Personbil</b>	16,4 %	7,1 %	9,3 %	12,3 %	15,2 %
<b>Annen transport</b>	13,5 %	14,3 %	14,1 %	13,9 %	13,6 %
<b>Drift og oppvarming</b>	34,7 %	36,6 %	36,0 %	35,5 %	34,9 %
<b>Prosess</b>	35,4 %	42,0 %	40,6 %	38,3 %	36,2 %
	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Endringer i energiforbruk og energipriser og utslippfordeling påvirker CO<sub>2</sub>-avgiften slik at denne reduseres. Figur 19 viser den prosentvise reduksjonen i CO<sub>2</sub> avgift ved ulike utslippsnivåer for alternative teknologier i 2020 målt i forhold til BASIS(+).

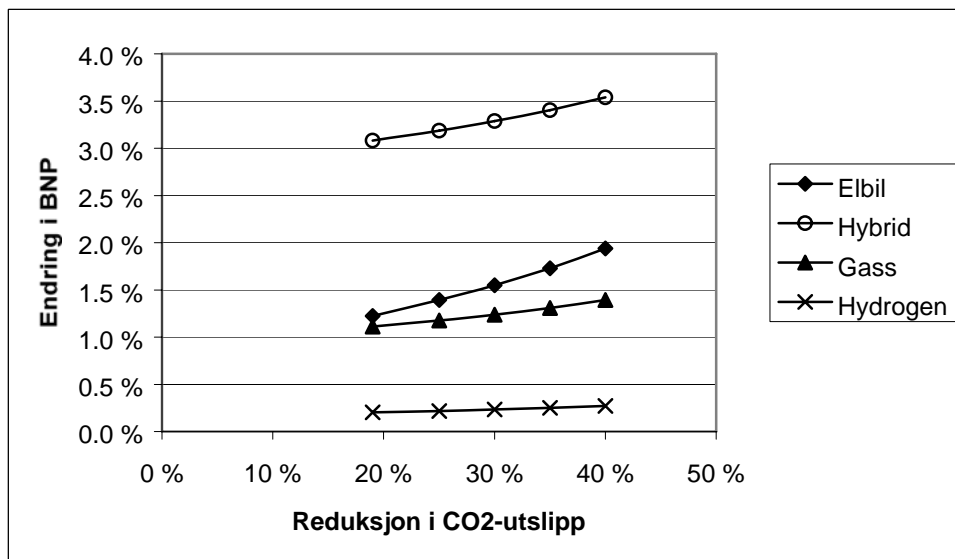
Figur 19. Prosentvis endring i CO<sub>2</sub>-avgift i år 2020 i forhold til BASIS(+).



Vi ser her at det nå blir større forskjeller i avgiftsreduksjonene enn i 2010, spesielt med hensyn på elektriske biler og hybridbiler. Dette skyldes at alternative teknologier i større grad vil kunne være dominerende innen personbilparken i 2020, siden teknologiene da er mer utviklet og akseptert, og dette er til fordel for de elektriske bilene som har 0 CO<sub>2</sub>-utslipp.

Konsekvensene for BNP blir større enn i 2010 fordi kostnadsinnsparingen gjennom lavere CO<sub>2</sub>-avgifter nå er gunstigere. BNP øker derfor relativt til BASIS(+) i alle beregningene. Den relative endringen i BNP i forhold til BASIS(+), er vist i figur 20.

Figur 20. Endring i BNP i forhold i år 2020 i til BASIS(+).



## 9 Konklusjon

Det utvikles og videreutvikles stadig nye teknologiske løsninger innen transportsektoren med både gode miljøegenskaper og utviklingsmuligheter. De vil i fremtiden vil kunne bidra til å redusere de norske CO<sub>2</sub>-utslippene. Videreutvikling av tradisjonelle løsninger peker også i retning av lavere energiforbruk og bedre miljøegenskaper, og utgjør dermed i seg selv et slikt alternativ.

I dette prosjektet har vi vurdert potensialet til en del transportteknologier med sikte på å finne ut innen hvilken del av transportsektoren de er aktuelle, og hvilken teknologi som synes å ha det beste potensialet for å redusere de norske CO<sub>2</sub>-utslippene, både totalt og innen transportsektoren spesielt.

Vi har imidlertid sett at det er flere kriterier enn miljøegenskaper alene en bør ta hensyn til ved valg av teknologi for å redusere de norske CO<sub>2</sub>-utslippene. De viktigste av disse er:

- Utslipp av CO<sub>2</sub>
- Anvendbarhet
- Alternativ energianvendelse
- Direkte anvendelseskostnader
- Samfunnsøkonomiske kostnader

Det første kriteriet er at teknologien i seg selv bidrar til reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp i transportsektoren. Det vil si at teknologien i alle fall bør gi lavere CO<sub>2</sub>-utslipp enn tradisjonell teknologi.

En teknologi med de beste miljøegenskaper er ikke til mer nytte enn det anvendbarheten tilsier. Skal en ny transportteknologi overta etter de tradisjonelle typene, må den også kunne benyttes til alt det tradisjonell teknologi kan. Det er med andre ord viktig at rekkevidden er tilstrekkelig stor, ladetiden ikke for lang og at lasteegenskapene er tilstrekkelige.

Kostnaden ved en teknologi kan deles i direkte og indirekte kostnader. Den direkte kostnaden er kostnaden ved kjøp og drift av kjøretøyet, og spiller egentlig bare en rolle fordi det er den enkelte transportbruker som velger å anvende en gitt teknologi eller ikke. De samfunnsøkonomiske kostnadene, som også omfatter anvendelseskostnadene, er det mest interessante målet. Dette målet tar hensyn til hvor omfattende anvendelsen av teknologien blir, og hvilke virkninger det får i energimarkedene, for handelsbalansen og ellers i økonomien. Eksempler er virkningen på energipriser gjennom olje- og kraftetterspørsel, og i et større perspektiv gjennom handelsbalansen, som er diskutert i kapittel 8. De samfunnsøkonomiske kostnadene kan snu fra minus til pluss når vi tar hensyn til miljøvirkninger, for eksempel gjennom introduksjon av en klimapolitikk.

Kostnadene ved å anvende transportteknologi kan ikke være for høy. Kostnaden er strengt tatt for høy dersom det finnes alternative muligheter i transportsektoren eller i andre sektorer til å oppnå samme miljøfordel til lavere samfunnsøkonomisk kostnad.

Til sist er det viktig at teknologien bidrar til lavere *totalt* utslipp av CO<sub>2</sub>. Reduserte utslipp av CO<sub>2</sub> i transportsektoren er uvesentlig dersom dette medfører at utslippet økes tilsvarende i andre sektorer.

Det arbeidet vårt har vist, er kanskje først og fremst at de transportteknologiene vi har sett på har store fordeler innen ett eller flere kriterier, men ulemper innen andre. Dette gjør det svært vanskelig å trekke bastante konklusjoner på bakgrunn av det vi nå vet. Vi skal likevel prøve å trekke noen hovedlinjer, men gjør oppmerksom på at vi bare tar hensyn til CO<sub>2</sub>-utslipp og ikke utslipp av NO<sub>x</sub>, CO, VOC eller PM<sub>10</sub>.

Innen jernbanedrift, luftfart og skipsfart synes videreutvikling av tradisjonell teknologi å være det beste alternativet for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene. Alternativene i disse sektorene er enten for kostbare eller har små utslippsfordeler.

Innen veitransport må vi skille mellom store kjøretøy og personbiler. Store kjøretøy omfatter lastebiler, godsbiler og busser. Ifølge våre beregninger er det lite å hente fra alternativ transportteknologi innen denne delen av veitransport. Utslippsfordelene er små i forhold til dieselskjøretøyer, og dessuten dyrekjøpte, selv med de mest optimistiske anslagene på teknologiutvikling.

For personbiler finnes det alternative teknologier som imøtekommer kriteriene som er skissert over. Spesielt har vi sett at det i lys av de mest optimistiske anslagene for teknologipotensialet finnes flere muligheter. Tabell 24 er et forsøk på å systematisere de teknologiene dette gjelder i lys av kriteriene over. Vi har benyttet fra 1 til 3 plusser i hver kategori for å klassifisere teknologiene. Tre plusser er best, og ett pluss er dårligst. Det er ikke sikkert alle vil være enige med våre vurderinger. En må innse at både beregningene og materialet vårt kan gi grunnlag for andre synspunkter.

Figur 24. Fordeler og ulemper med alternativ transportteknologi.

	Batteri/Elektrisk	Hybrid	Hydrogen	Gass
<b>Utslipp av CO<sub>2</sub></b>	+++	++	+++	+
<b>Direkte kostnader</b>	+++	+	+	++
<b>Indirekte kostnader</b>	++	+++	+	+++
<b>Anvendbarhet</b>	+	+++	+++	++
<b>Alternativ energianvendelse</b>	+	+++	+	++

De batteridrevne elektriske bilene har sterkest effekt på CO<sub>2</sub>-utslippet både i transportsektoren og totalt. Dette vises tydelig i at denne teknologien gir de laveste CO<sub>2</sub>-avgiftene i alle beregninger. Kostnadmessig er teknologien gunstig både med hensyn til direkte og samfunnsøkonomiske kostnader. Batteridrevne elektriske biler gir både lavere CO<sub>2</sub>-avgift og høyere BNP ved introduksjonen av en klimapolitikk. Vi er imidlertid ikke særlig fornøyd med hensyn til anvendelsesmuligheten for denne teknologien. Ladetiden er høy og rekkevidden kort, noe som kan bety at batteridrevne elektriske biler bare vil forbli nisjeprodukter. Skal teknologien, som har et bra potensiale for å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene, fungere, må batteriteknologien forbedres vesentlig. På den andre siden er gevinsten av å forbedre batteriene utvilsomt stor.

Hybridbilene er også bra på CO<sub>2</sub>-utslipp. I forhold til batteridrevne elektriske biler har hybridteknologien et større direkte CO<sub>2</sub>-utslipp, men de indirekte virkningene på totalutslippet gjennom energimarkedet gir en ekstra gunstig effekt for denne teknologien. Dette skyldes at hybridteknologien gir små ”problemer” med alternativ anvendelse av fossil energi. Anvendbarheten er tilnærmet like bra som for tradisjonell transportteknologi, noe som er et stort pluss. Ulempen med hybridteknologi synes å være svært høy direkte teknologikostnad. Biler av denne typen koster bort imot det dobbelte av tradisjonelle biler. Teknologien medfører lavere CO<sub>2</sub>-avgift, og den samfunnsøkonomiske gevinsten av hybridteknologien ved introduksjon av en klimapolitikk er stor. Skal det fulle potensialet for hybridteknologien tas ut, må teknologikostnadene ned. Dersom en kan klare å redusere produksjonskostnaden, tror vi denne teknologien på de fleste måter vil fungere bedre enn batteridrevne elektriske biler med hensyn til reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippene.

Gassdrift er et godt alternativ om en ser på kostnader. Teknologien er moderat god på samfunnsøkonomiske effekter, anvendbarhet og alternativ energianvendelse. Teknologien er imidlertid den dårligste på det viktigste elementet her, som er CO<sub>2</sub>-utslipp. Beregningene har i så måte bare forsterket vår tidlige antakelser om at gassteknologi ikke kan konkurrere med de øvrige alternativene i denne sammenheng.

Hydrogenteknologien er det mer vanskelig å si noe konkret om. For det første er det et alternativ som fortsatt ligger langt frem i tid. Vi er litt tvilende på grunn av høyt energiforbruk og høy energikostnad for denne teknologien. Energiforbruket er vesentlig høyere enn for batteridrevne biler, som tross alt ellers har mange av de samme egenskapene. Dette betyr at hydrogenteknologien vil gi mindre transport for samme energimengde. Dessuten gjenstår det å se om teknologien faktisk vil fungerer i personbiler, og om en klarer å frembringe et egnet lagringsmedium for hydrogen. Kostnadmessig er dette det dyreste alternativet. Anvendbarhet er imidlertid det som taler til hydrogenteknologiens fordel framfor en batteridrevet elektrisk bil.

Oppsummeringsvis vil vi si at det er de batteridrevne bilene og hybridbilene som på kort sikt best vil kunne bidra til lavere CO<sub>2</sub>-utslipp fra transportsektoren. Men det ser ut til at elektriske biler bare i begrenset grad vil fungere annet enn i spesielle nisjer på grunn av dårlig rekkevidde og lang ladetid. Hybridteknologien er tilgjengelig nå, men dessverre til høy kostnad. Det mest realistiske alternativet på kort sikt vil sannsynligvis være en miks av elektriske biler i de markedene disse

fungerer, hybridteknologi med redusert anskaffelseskostnad i betalingssterke deler av markedet, og tradisjonelle biler med bedre forbrenningssystem og kraftoverføring i resten. På langt sikt håper vi at hydrogenteknologien modnes, men som et langsiktig alternativ tror vi at elektriske biler med bedre rekkevidde og kortere ladetid vil utgjøre en like bra alternativ, kanskje til og med et bedre når en tar energiforbruk og energikostnad i betraktning.

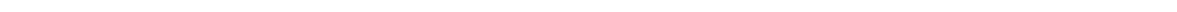
## 10 Litteraturliste

- Bil og vei (1997): *Bil og Vei – Statistikk 1997*. Opplysningsrådet for veitrafikken A/S, Oslo.
- DOE (1996): *Describing current and potential markets for alternative fuel vehicles*. Department of Energy, Energy Information Administration, Washington DC, March 1996.
- Eriksen K.S og Thune-Larsen H. (1992): *Analyse av bilparkens sammensetning*. Oslo, Transportøkonomisk institutt. Arbeidsdokument TØ/452/1992.
- Jensen T., Eriksen K.S., Katz A. og Larsen B. (1997): *Transport og Makroøkonomi – En samkjøring av MSG-6 og GODMOD-3*. Statistisk sentralbyrå, Forskningsavdelingen, Seksjon for ressurs- og miljøøkonomi.
- Jensen T. og Eidhammer O. (1998): *Reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp fra transportsektoren ved anvendelse av miljøeffektiv transportteknologi*. Oslo, Transportøkonomisk institutt. Arbeidsdokument TØ/1070/1998.
- Jensen T. og Eriksen K. S. (1997): *GODMOD-3 - En makroøkonomisk modell for transportanalyser*. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 345/1997. ISBN 82-7133-996-6.
- Jensen T. (1993): "GODMOD - En generell likevektsmodell for godstransportanalyser". Oslo, Transportøkonomisk institutt. Rapport nr 163/1993.
- Jensen T. (1994): *GODMOD 2.0 - Ny versjon av TØI's nasjonale modell for godstransport*. Oslo, Transportøkonomisk institutt. Arbeidsdokument TØ/713/94.
- Jensen T. og Hop Ø. 1995: *Trender i godstransport*. Oslo, Transportøkonomisk institutt. Arbeidsdokument TØ/753/95.
- Johansen L. (1974): *A Multi-Sectoral Study of Economic Growth*. Contribution to economic analysis. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford.
- MacKenzie J. J. (1994): *The keys to the car – Electric and hydrogen vehicles for the 21<sup>st</sup> century*. World Resources institute.
- Madden (1986): *Concavity and Optimization in Microeconomics*. Basil Blackwell Inc.
- Mathiesen L. (1992): *Analyse av energibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp i norsk økonomi i år 2000*. SNF-rapport 54/91.
- Mathiesen L. (1997): *Virkemidler i miljøpolitikken, Kostnader og sektorvirkninger*. SNF-rapport 19/97.

- Mathiesen L. og Moxnes E. 1997: *Virkemidler i miljøpolitikken – Kostnader og sektorvirkninger*. SNF-rapport 19/97.
- NVVP, 1997-2007: *Norsk Vei og Veitrafikkplan 1998 – 2007*. Stortingsmelding nr 37 (1996-97), Samferdselsdepartementet.
- Ramjerdi F., Rand L., Sætermo I.A. og Ingebrigtsen S. (1996): *Car ownership, car use and demand for alternative fuel vehicles*. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI rapport 342/1996. ISBN 82-7133-992-3.
- Rutherford T. (1989): *General Equilibrium Modelling With MPS-GE*. April 1989 Department of Economics, University of Western Ontario, London, Canada N6A 5C2.
- SSB (1992A): *Naturressurser og miljø 1991*. Statistisk sentralbyrå, Oslo.
- SSB (1992B): *KLØKT - Klima, Økonomi og Tiltak*. Bidrag til den interdepartementale klimagruppen. Statistisk sentralbyrå, Oslo.
- Stortingsmelding nr 4 (1996 – 97) *Langtidsprogrammet 1998 – 2001*. Finans- og tolldepartementet.
- Stortingsmelding nr 29 (1997 – 98) *Norges oppfølging av Kyoto-protokollen*. Det Kongelige Miljøverndepartementet.
- Sæther A. (1978): *Økonomisk effektivitet og velferd*, 2.rev. utg. Skrifter 1972:2 Agder distriktshøyskole, Økonomisk fagseksjon.
- Skedsmoe og Hagman (1998): *Energiforbruk og avgassutslipp fra transportmidler med tradisjonelle og alternative drivstoffer*. Teknologisk Institutt, Oslo.
- Thune-Larsen, H. et al (1997): *Energieffektivitet og utslipp i transport*. Oslo, Transportøkonomisk institutt. TØI notat 1078/1997.



# **Vedlegg**





# Vedlegg 1

## Referansebanen (BAU) og basisalternativet (BASIS-alternativet)

Til grunn for analysene i denne rapporten ligger en *referansebane* (BAU= business as usual) som beskriver utviklingstrekk for norsk økonomi frem til 2020 under forutsetning av at dagens politikk videreføres uten endringer i for eksempel skatte- eller avgiftssystemet. BAU er basert på fremskrivninger i "Basisalternativet uten CO<sub>2</sub>-avgift" fra Regjeringens langtidsprogram for 1998 – 2001 (Stortingsmelding nr 4, 1996 – 97). BAU, som i vårt arbeid er representert ved beregninger for enkeltårene 2001, 2010 og 2020, gir et "business as usual" perspektiv på den makroøkonomiske utviklingen, og forutsetter derfor at det ikke innføres ytterligere restriksjoner eller avgifter på det norske CO<sub>2</sub>-utslippet.

Vi har benyttet BAU som utgangspunkt for å beregne et *basisalternativ* (BASIS-alternativet). BASIS-alternativet bygger dermed på BAUs makroøkonomiske forutsetninger, men forutsetter i tillegg det at det innføres en særnorsk forpliktelse til å redusere det nasjonale utslippet av CO<sub>2</sub>. Vi har beregnet de økonomiske konsekvensene av å redusere det norske CO<sub>2</sub>-utslippet fra 19% opp til 55% i forhold til BAU. Reduksjonene iverksettes gjennom like avgifter på alle utslipp av CO<sub>2</sub> (utenom utenriks sjøfart).

Det høres kanskje underlig ut at vi har valgt å benytte et basisalternativ med særnorske CO<sub>2</sub>-restriksjoner fremfor et basisalternativ med en internasjonal avtale, hvilket i dag synes mer sannsynlig. Vi vil derfor understreke at dette ikke skyldes vår oppfatning om hva som blir fremtidig norsk klimapolitikk. Den er for så vidt allerede skissert gjennom Kyoto-protokollen. Vi tar utgangspunkt i en særnorsk CO<sub>2</sub>-reduksjon fordi en basisberegning med en internasjonal avtale i alle fall burde vært basert på Kyoto-protokollen, og per i dag finnes det ikke beregninger som kan gi oss den nødvendige inputen til å etablere et slikt basisalternativ. I stedet for å velge en basisberegning basert på en vilkårlig gjetning om virkningene av en internasjonal CO<sub>2</sub>-avtale, benytter vi altså en nasjonal forpliktelse.

## V1. Makroøkonomiske forutsetninger i BAU

De eksogene forutsetninger for vekstperspektivene i BAU er beregnet med den økonomiske planleggingsmodellen MSG (Johansen, 1974). Resultatene fra disse beregningene kan en finne i Stortingsmelding nr 4, 1996 – 97. Vi gjentar ikke alle resultatene her, bare de som er spesielt viktige for oss.

I fremskrivning av arbeidsstokken øker arbeidstilbudet totalt med *en halv prosent* mellom 1995 og år 2010 målt i utførte timeverk. Etter 2010 *slutter* veksten slik at sysselsetningen er konstant til 2020. I våre analyser oppfattes størrelsen på arbeidsstokken i 2001, 2010 og i 2020 som eksogen. Veksten i arbeidsstokken er forøvrig også eksogen i de omtalte MSG beregningene.

Kapitalbeholdningen målt i faste priser vokser med 2,6% per år mellom 1992 og 2010, og deretter med 1,7% fram til 2020. Kapitalbeholdningens størrelse blir *ikke* påvirket i våre beregninger, bare avlønningen (eller kapitalavkastingen) av kapital påvirkes. Vi oppfatter kapitalbeholdningen i år 2001, 2010 og 2020 som eksogent gitt.

Vi har lagt bindinger på kapitalfordelingen til vannkraft, produksjon av olje og gass, produksjon av metaller og raffinering av jordolje. I disse sektorene er kapital sektorspesifikk i årene 2001 og 2010. De øvrige produksjonssektorene konkurrerer om tilgangen på en felles kapitalbeholdning i 2010. I 2020 er det bare olje og gassektoren som har sektorspesifikk kapital.

Offentlig konsum ventes i BASIS-alternativet å øke fra 173 mrd kroner i 1992 til 226 mrd i 2010 og 242 mrd i år 2020, målt i faste 1992 kroner. Bruttorealinvesteringer øker fra 156 mrd kroner i 1992 til 217 mrd i 2010 og 243 mrd i år 2020, også målt i 1992 kroner. Offentlig konsum og bruttorealinvesteringer oppfattes som eksogene størrelser i alle beregningstidspunkter i GODMOD.

Nivået for investeringer (derigjennom kapitalbeholdning) og offentlig konsum vil sannsynligvis ikke være uendret ved en politikk som tar sikte på å oppfylle CO<sub>2</sub>-restriksjoner. Men det er vanskelig å fastslå på teoretisk grunnlag i hvilke retning og til hvilket nivå disse størrelsene eventuelt vil tilpasses i en statisk modell. For å forenkle sammenligningen mellom ulike løsninger, har vi derfor valgt å holde på en så pass urealistisk antakelse.

I bunn av beregningene legger vi eksogene anslag på faktorproduktivitet. Vi benytter forskjellige produktivitetskoeffisienter for arbeidskraft, kapital, elektrisitet, fyringsolje, transportolje og vareinnsats i ulike sektorer. Anslagene for de vanlige produksjonssektorene er beregnet av SSB, og er de samme som benyttes i MSG. Anslag på eksogen faktorproduktivitet i transportsektorene har vi fått fra Teknologisk Institutt (1998).

Vi har benyttet eksogene anslag på utviklingen i relative eksport- og importpriser. Disse er hentet fra MSG-kjøringene til langtidsprogrammet.

CO<sub>2</sub>-avgiften i BASIS-alternativet vil forutsetningsvis ikke endre det offentlige budsjett, og avgiftsprovenyet går tilbake til husholdningene gjennom "lump sum" (ikke-vridende) overføringer.

## V2. Håndtering av CO<sub>2</sub> restriksjonen

En forsterkning i klimaeffekten som skyldes menneskeskapt utslipp av CO<sub>2</sub>, kan oppfattes som en *ekstern effekt*. Dette betyr at det CO<sub>2</sub>-utslippet noen produserer, ufrivillig antas å påvirker andres velvære. Dersom det menneskeskapt utslippet av CO<sub>2</sub> fører til verre forhold enn det de ellers ville hatt, er det snakk om en negativ ekstern effekt.

Velferdsteori forteller hvordan (positive og negative) eksternaliteter kan *internaliseres* slik at økonomien når et paretooptimum (se for eksempel Sæther (1978)). En mulig metode for å internalisere negative eksternaliteter er at den som forårsaker eksternaliteten, betaler for den marginale ulempen han påfører andre, for dermed å skaffe seg en tillatelse til å fortsette.

For å fullt ut internalisere en ekstern effekt, må en dermed kjenne effektens størrelse og marginale skadevirkning. I tilfellet med CO<sub>2</sub>-utslipp gjør vi ikke det, og det er lite realistisk å anta at det er mulig å fullt ut internalisere den eksterne effekten fra det menneskeskapt CO<sub>2</sub>-utslippet.

På en annen side er det mulig å innta en "føre var" holdning. Det vil si å ikke ta noen sjanser, og forsøke å redusere utslippet mest mulig. Et politisk betinget krav til å redusere utslippet vil kunne oppfattes som en restriksjon på utslippet, og ved å innføre en slik restriksjon vil det oppstå et marked for utslippsrettigheter. Den kostnadseffektive metoden for å gjennomføre denne løsningen er å anvende prisen på utslippsrettigheter som avgift på CO<sub>2</sub>-utslippet. Det er imidlertid viktig at samme avgift benyttes på alle utslipp.

Med utgangspunkt i den siste løsningen betyr en CO<sub>2</sub>-avgift en kostnadseffektiv avgift som er beregnet som skyggeprisen på å overholde en utslippsrestriksjon av en viss størrelse. Størrelsen på avgiften avhenger av kravet til utslippsreduksjon, men generelt er det slik at avgiften øker tiltakende med krav til reduksjonen.

## V3. Generelle økonomiske resultater

De makroøkonomiske forutsetningene i BAU gir oss en årlig vekst i BNP på ca 2,7% mellom 1992 og 2010. Deretter flater veksten ut til ca 1,9% per år mellom 2010 og 2020. Privat konsum øker i perioden 1992 til 2010 med ca 3,2% per år og med ca 2,3% per år mellom 2010 og 2020. Vekstratene er målt i forhold til en indeks over privat konsum.

Som en sammenligning med offisielle prognoser fungerer det dårlig å se direkte på BNP og privat konsum, siden vi i GODMOD benytter andre prisindekser<sup>1</sup>. Det er lettere å ta utgangspunkt i fysiske volumer (CO<sub>2</sub>-utslipp) eller i ulike former for forholdstall.

Privat konsum er en økende andel av BNP i våre beregninger. I 1992 utgjorde privat konsum 51% av BNP. I 2010 er det samme forholdet 55% og i 2020 utgjør privat konsum 57% av BNP. Dette er i samme størrelsesorden som resultatene i Stortingsmelding nr 4, 1996 – 97 (side 75) som også har 55% i år 2010.

---

<sup>1</sup> Det er ikke mulig å benytte samme prisindekser fordi våre vareaggregerer er forskjellige fra de som benyttes i offisielle prognoser.

Vi får et CO<sub>2</sub>-utslipp på 47.2 millioner tonn i 2010. Dette er under forutsetning av at det ikke bygges gasskraftverk. Dersom gasskraftverk bygges vil CO<sub>2</sub>-utslippet i følge Stortingsmelding nr 29 øke med 2.1 millioner tonn. Utslippet blir da 49.3 millioner tonn. I de offisielle prognosene som inkluderer gasskraftverk, havner utslippet på 50,6 millioner tonn i 2010 (Stortingsmelding nr 29, 1997 – 98, side 30). Våre beregninger ligger dermed 3% under de offisielle beregningene.

I følge Kyoto-protokollen skal det samlede norske utslippet av klimagasser i 2010 ikke overstige utslippet i 1990 med mer enn 1%. Igjen ifølge Stortingsmelding nr 29 forventes det samlede utslippet av klimagasser bortsett fra CO<sub>2</sub> å reduseres med 11,2% mellom 1990 og 2010. Dette betyr at utslippet av CO<sub>2</sub> ikke må overstige 38,3 millioner tonn i 2010 dersom vi skal overholde Kyoto-protokollen. I forhold til det utslippet vi har beregnet i vår modell, betyr dette at CO<sub>2</sub>-utslippet i 2010 må reduseres med ca 19%.

To sektorer står i en spesielt betydningsfull/utsatt stilling i forhold til en nasjonal CO<sub>2</sub>-politikk. Vannkraft- og olje-/gassindustrien genererer inntekter til stat og kommune samtidig som de er primære alternative energileverandører. Olje-/gassindustrien produserer fossil energi som er uønsket ved reduksjonspolitikken. Vannkraftsektoren forsyner oss med alternativ utslippsfri energi.

Olje- og gasssektoren står overfor tre viktige konsekvenser av en klimapolitikk. For det første vil en restriksjon på CO<sub>2</sub>-utslipp øke den relative prisen på fossil energi, noe som stiller sektoren overfor en situasjon med redusert etterspørsel. Dernest vil høye prosessutslipp, som pålegges avgifter under en CO<sub>2</sub> politikk, fordyre produksjonsprosessen og ytterligere forsterke virkningen på etterspørselen. Til sist kan Norge potensielt tape eksportinntekter ved en nedbemanning i oljeindustrien.

Vannkraft er et substitutt til fossil energi uten utslipp av CO<sub>2</sub>. Redusert etterspørsel etter fossil energi vil gi mer etterspørsel etter alternativ energi. Denne kan enten importeres eller produseres ved norske vannkraftverk. Mengden kraft som leveres er imidlertid avhengig av produksjonskapasiteten, altså demningskapasiteten og nedbørmengden i det enkelte år. Dersom vannkraftsektoren ikke kan levere tilstrekkelig med energi for å erstatte fossil energi, vil dette få flere konsekvenser. For det første vil økningen i kraftetterspørselen gi en akselererende kraftpris når en møter kapasitetsbegrensningen. Import av kraft vil kunne øke, noe som vil gi CO<sub>2</sub>-utslipp i andre land. Dette medfører at norske produsenter tåler høyere priser på fossil energi uten å tape konkurransevne.

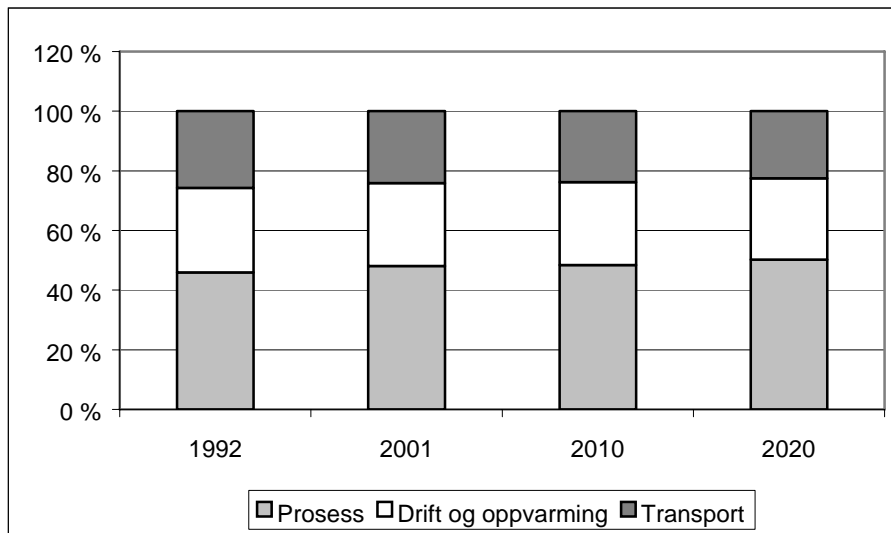
I BASIS-alternativet har vi som forutsetning antatt ”optimal” utbygging av kraftsektoren i 2020, men en begrenset kapasitet før dette tidspunktet. Det vil si at kraftsektoren er i stand til å møte øking i kraftetterspørselen med økt produksjon først fra og med år 2020.

### V3.1 Skyggepriser på CO<sub>2</sub>-restriksjoner

I BAU får vi et forventet utslipp av CO<sub>2</sub> i Norge som er 23% høyere enn det utslippet som tillates i følge Kyotoprotokollen i år 2010. Utslippet fordeler seg på prosessutslipp med 48%, andre forbrenningsutslipp (oppvarming, drift av industrimaskiner, mindre fiskebåter, småbåter, traktorer, motorsykler og lignende) med 28%, og utslipp fra vare- og persontransport med 24%.

Utslippet i år 2020, som fordeler seg med 50% på prosessutslipp, 22% på transport og 27% på drift og oppvarming, er ca 44% over det utslippet Kyoto-avtalen tillater for 2010. Siden Kyoto-avtalen ikke sier noe om utslippet for årene etter 2010, vil vi ta utgangspunkt i at utslippet skal fryses på Kyoto-nivået i 2010.

Figur v1.1 Fordeling av CO<sub>2</sub>-utslipp etter kilde, BAU.



I følge beregningene vil prosessutslippene få en økende andel av det totale utslippet i BAU. Utslippsandelen fra drift og oppvarming reduseres noe med tiden, mens utslippsandelen fra transportsektoren faller markant fra 26% i 1992 til 22% i 2020.

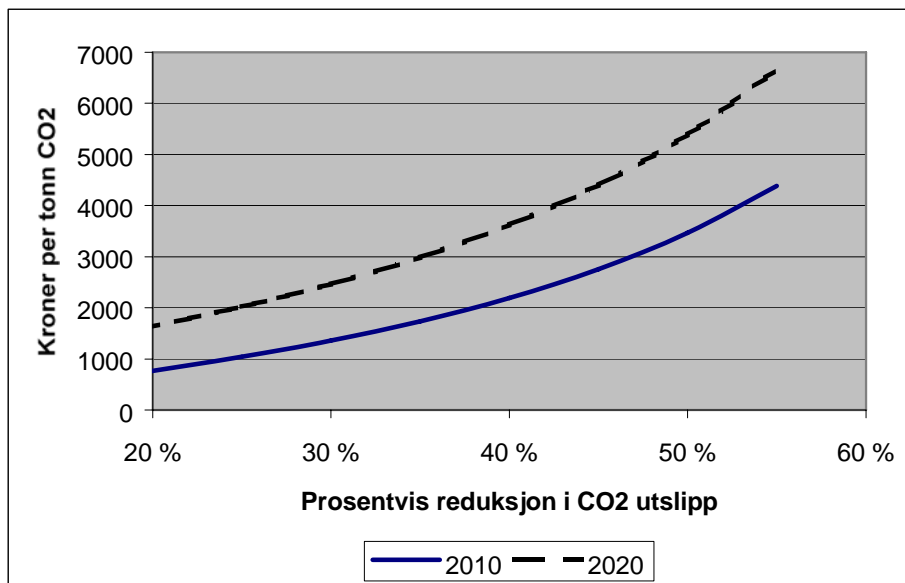
Figur v1.2 viser den nødvendige CO<sub>2</sub>-avgift ved ulike krav til reduksjon av CO<sub>2</sub> fra norsk økonomi i år 2010 og 2020 i BASIS-alternativet. Vi starter med et krav til reduksjon i forhold til det forventete utslippet i 2010 på 19%. Dette er den reduksjonen som samsvarer med Kyoto-protokollen. Deretter beregnes skyggepris på restriksjoner helt opp til 55% reduksjon i utslippet. Dette vil si at utslippsrestriksjonene i 2020 er strengere enn i 2010, siden utslippet i 2020 i utgangspunktet er en god del høyere enn i 2010. Dette gir høyere avgifter, noe som fremgår i figuren.

Målt i 1992 kroner vil det i følge våre beregninger bli nødvendig med en avgift på 710 kroner per tonn CO<sub>2</sub> i år 2010 dersom en skal begrense utslippet av CO<sub>2</sub> med 19% av det forventete utslippet i BAU. Avgiften øker til 1562 kroner i 2020 for å holde utslippet på samme nivå.

Ved et reduksjonskrav på 55% blir avgiften 4387 kroner per tonn CO<sub>2</sub> i 2010 og 6660 kroner i 2020. Avgiften er tenkt pålagt alle utslipp av CO<sub>2</sub>, eksklusive utenriks sjøfart. Andre beregninger vi har gjennomført har vist at avgiften blir vesentlig lavere dersom vi også pålegger utenriks sjøfart CO<sub>2</sub>-avgift.

For å gi en illustrasjon av størrelsen for avgiften som er lettere å forholde seg til, kan vi regne den om til kroner per liter bensin. Vi tar utgangspunkt i at bensin har en egenvekt på 0,75 kg per liter, og at utslippskoeffisienten for bensin er 3,15 kg CO<sub>2</sub> per kilo bensin. Ved omregningen finner vi at avgiften i Kyoto-tilfellet svarer til 1,7 kroner per liter bensin i 2010. Avgiften kommer i tillegg til dagens bensinavgifter. Ved 55% reduksjon i utslippet er det behov for en avgift på 10,4 kroner per liter bensin.

Figur v1.2. Sammenheng mellom CO<sub>2</sub>-avgift og reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet i forhold til år 2010, BASIS-alternativet, 1992 kroner.



Vi har vært inne på at det at utenriks sjøfart ikke er med i CO<sub>2</sub>-regnskapet, nødvendiggjør en høyere CO<sub>2</sub>-avgift enn det vi ellers ville fått. Men også det at vi her beregner en særnorsk CO<sub>2</sub>-målsetting, er med på å gi en relativt høy CO<sub>2</sub>-avgift. Andre lignende beregninger (for eksempel Mathiesen, 1992), indikerer at den nødvendige avgiften ved en internasjonal avtale sannsynligvis vil bli noe lavere enn det vi beregner her.

Også andre har gjennomført tilsvarende beregninger i Norge. For eksempel har Mathiesen (1992) konkludert med at en CO<sub>2</sub>-avgift på ca 690 1992 kroner er tilstrekkelig for å få til en ensidig norsk stabilisering av CO<sub>2</sub>-utslippet på 1988 nivå i år 2000 (ca 20% reduksjon i forhold til det forventete utslippet i 2000). Det er kanskje litt vanskelig å sammenligne dette resultatet med vårt, fordi utgangspunktet både er en annen CO<sub>2</sub> målsetting, at restriksjonen innføres på et tidligere tidspunkt, og at utslippsreduksjonen i utgangspunktet er mindre enn vår. I beregningene i KLØKT (SSB, 1992B) la man til grunn en avgift på 920 1992 kroner for den samme målsettingen som hos Mathiesen.

Introduksjon av CO<sub>2</sub>-forpliktelser har en rekke implikasjoner for ulike deler av norsk økonomi. Vi skal se nærmere på følgende punkter:

- Produksjon og inntektsskaping
- Privat konsum

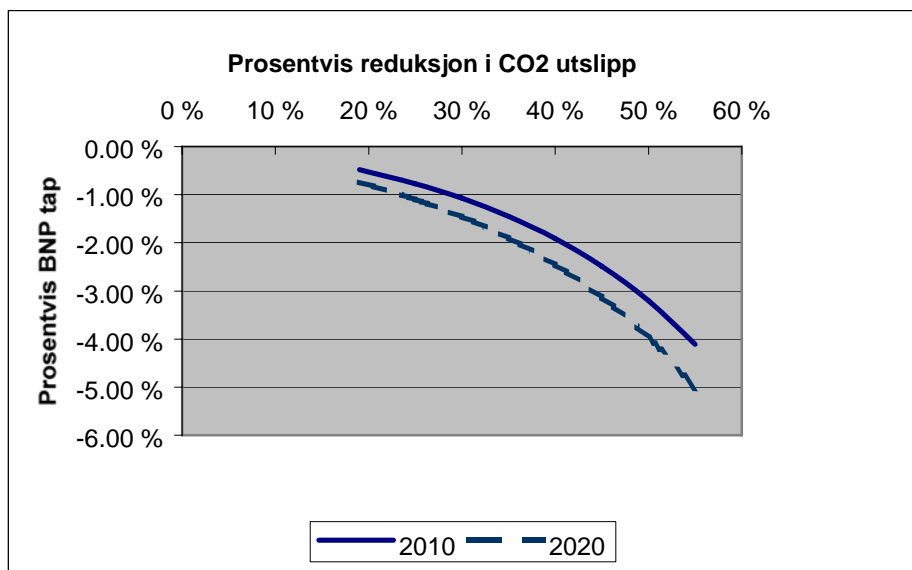


- Næringsstruktur
- Transport

#### 4.3.3 Makroøkonomiske konsekvenser av CO<sub>2</sub>-reduksjon i BASIS-alternativet

Restriksjonen på det norske CO<sub>2</sub>-utslippet øker den relative kostnaden for energi for hushold og næringsliv i Norge. Verdien av olje og gass reduseres, avgiften gir endringer i effektivitetsbetingelsene, og vi får økt energiimport, både som en følge av at norsk energiproduksjon ilegges høye CO<sub>2</sub>-avgifter, og fordi det er begrenset produksjonskapasitet innen norsk elektrisitetsproduksjon. Dette skaper et inntektstap som kan måles som reduksjon i bruttonasjonalprodukt (BNP). Sammenhengen mellom størrelsen på CO<sub>2</sub>-restriksjonen og BNP-tapet i GODMOD er vist i figur v1.3.

Figur v1.3. Sammenheng mellom CO<sub>2</sub>-restriksjonen for 2010 og prosentvis endring i BNP i år 2010 og 2020, BASIS-alternativet.



En målsetning om å overholde utslippsgrensen på 1% over 1990-nivå, gir et BNP-tap på 0,5% i 2010 og 0,7% i 2020. BNP-tapet øker tiltakende, og kommer opp i 4,1% ved 55% reduksjon i utslippet i år 2010, og tilsvarende 5,0% i 2020, målt i forhold til BAU.

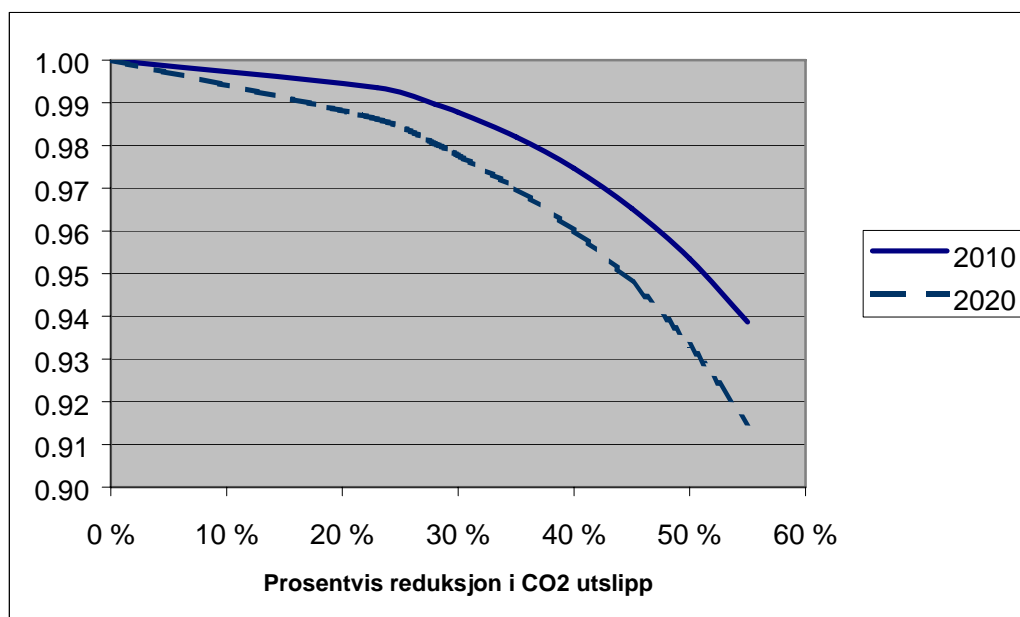
Figur v1.4 viser sammenhengen mellom privat konsum og CO<sub>2</sub>-reduksjoner ved forskjellige målsetninger for CO<sub>2</sub>. Privat konsum er vist som en indeks der det forventete konsumet i BAU for 2010 og 2020 er satt til 1.00.

Reduksjonen i nasjonalinntekt gir lavere disponibel realinntekt som slår ut i privat konsum. Reduksjonen i privat konsum får et noe annet forløp enn BNP-tapet i våre beregninger. Ved 19% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet reduseres privat konsum med 0,4% i år 2010 mens BNP reduseres med 0,5%. Ved 55% reduksjon i CO<sub>2</sub>-

utslippet er det motsatt. Privat konsum reduseres med ca 6% og BNP-tapet er 4,1%.

I 2020 ser vi at reduksjonen i privat konsum som følge av CO<sub>2</sub>-restriksjonen er sterkere enn virkningen på BNP. Ved en utslippsreduksjon tilsvarende utslippet i Kyoto-avtalen får vi redusert privat konsum med 0,9%.

Figur v1.4. Sammenheng mellom redusert CO<sub>2</sub>-utslipp i forhold til BAU og en indeks for privat konsum i år 2010 og 2020, 2010 = 2020 = 1,00, BASIS-alternativet.



Virkningen på privat konsum må sees i sammenheng med vareanvendelse i GODMOD. I følge ligningen under går samlet produksjon Y til privat konsum C<sub>p</sub>, offentlig konsum C<sub>o</sub>, brutto realinvesteringer I og til nettoeksport (A-B).

$$Y = C_p + C_o + I + (A-B)$$

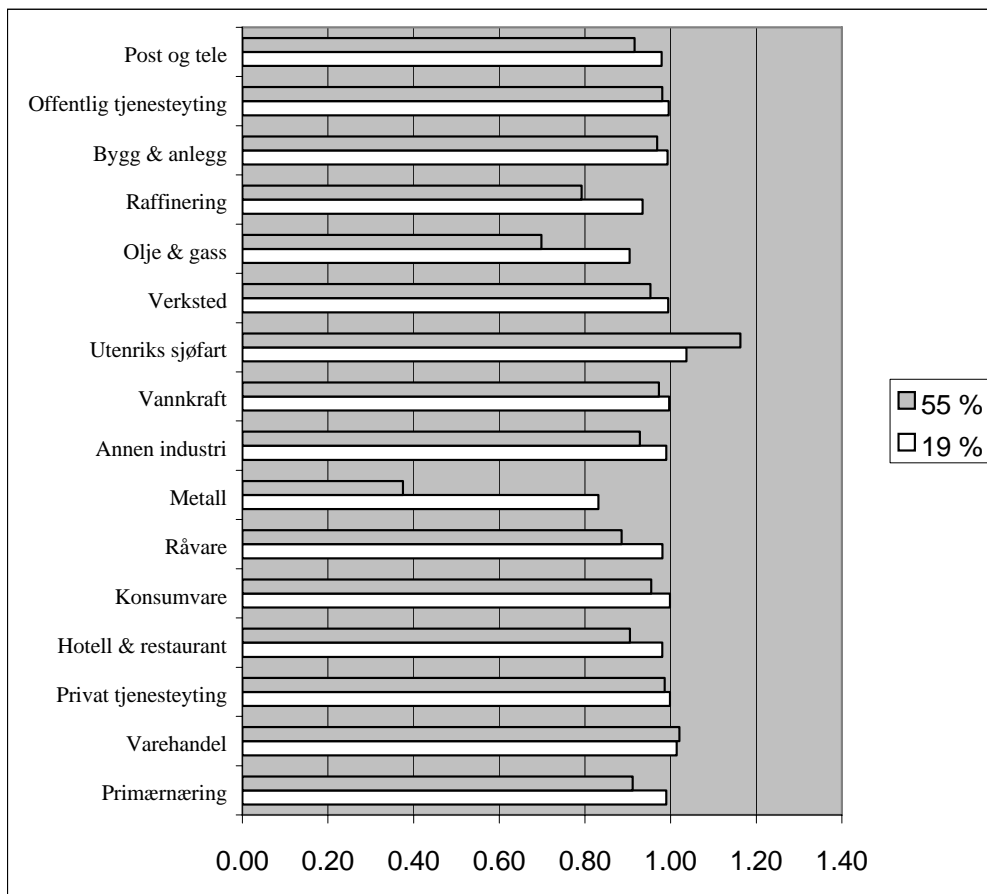
C<sub>o</sub>, I og (A-B) er eksogene i GODMOD, slik at en produksjonsendringen vil i sin helhet slå ut i privat konsum. Vi har dermed privat konsum som et slags velferdsmål i modellen.

I en investeringsanalyse vil en normalt si at lønnsomheten av investeringer blir bestemt ut fra en nåverdibetraktning for all fremtidig avkastning på investeringen. Kapitalavkastningen kan tjene som en "proxy" for forventningen til avkastningen. I en en-periodisk statisk likevektsmodell gir en nåverdibetraktning på investeringsanalyse lite mening, siden "verden opphører" etter denne ene perioden. En har ingen anledning til å "høste" gevinsten.

Strengt tatt har vi dermed ikke behov for å ta særskilt hensyn til investeringer i GODMOD. Likevel har denne størrelsen sin berettigelse i at varesammensetningen i investeringssektoren er unik og skiller seg for eksempel fra varesammensetningen i privat konsum. Investeringene vil derfor ha en spesiell betydning for bestemmelse av CO<sub>2</sub>-utslippet. I våre beregninger er dermed brutto realinvesteringer med som en eksogen størrelse, og som tidligere nevnt bestemmes nivået fra MSG-beregningene til langtidsprogrammet.

Over- eller underskudd på handelsbalansen med utlandet kan betraktes som oppbygging av fordringer på utlandet. Oppbygging av fordringer vil som i investeringsanalyse kunne foretas ut ifra en forventning til den neddiskonterte avkastningen på slike fordringer. Overskudd på handelsbalansen står dermed i samme stilling som investeringer i GODMOD. Det er vanskelig å bestemme nivået på denne størrelsen i modellen. Av samme grunn som investeringene er med i GODMOD, har vi også med overskuddet på handelsbalansen i modellen, men nivået er eksogent og satt lik de eksogene anslagene i MSG-beregningene til langtidsprogrammet. Vi lar valutakursen balansere handelsbalanserestriksjonen.

Figur v1.5. Endring i produksjonsaktivitet ved CO<sub>2</sub>-restriksjoner i 2010, BAU i 2010 = 1.00, BASIS-alternativet.



Vi anser offentlig konsum som en politisk bestemt størrelse (bestemt av vedtak i Stortinget). Det gir derfor ikke mening å la noen form for nyttemaksimering be-

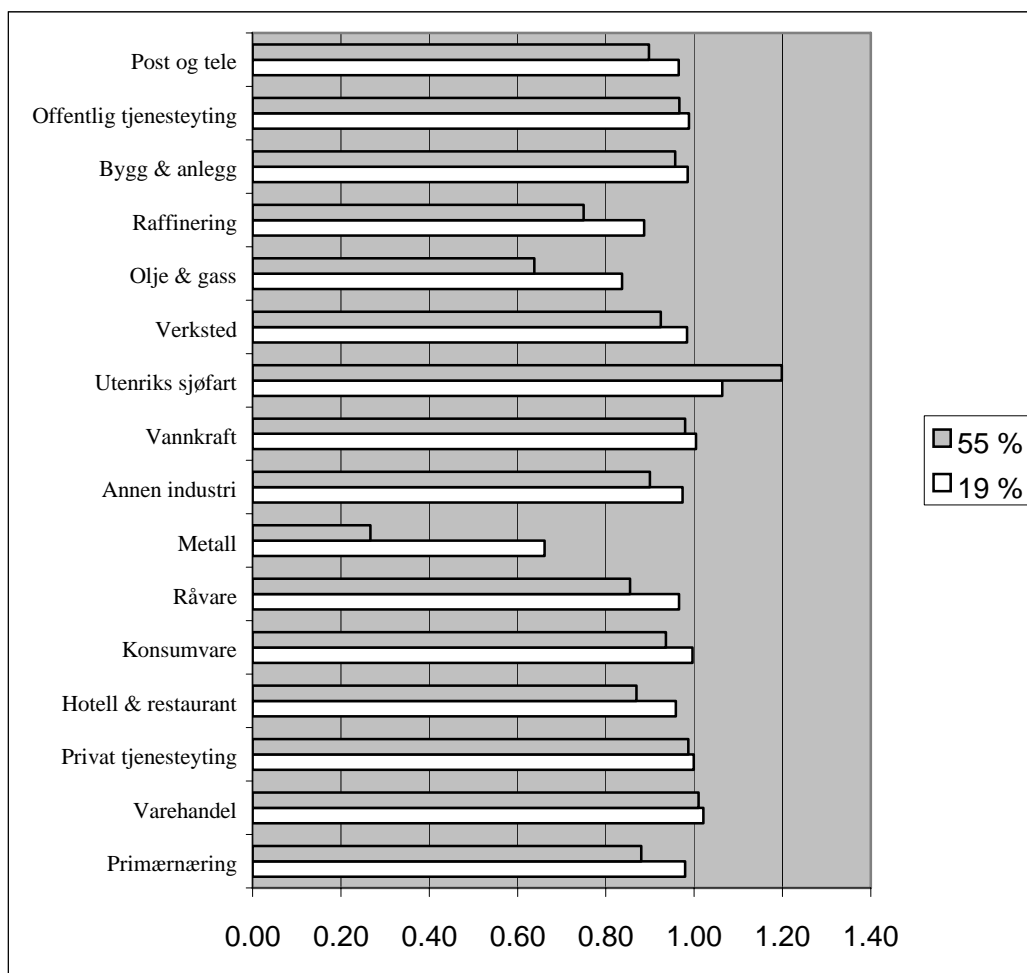
stemme størrelsen. Vi ser derfor på offentlig konsum som en eksogen størrelse, også tatt fra eksogene anslag i MSG-beregningene til langtidsprogrammet.

Vi står derfor igjen med privat konsum som eneste endogene størrelse i modellen. Nivået på privat konsum er residualt bestemt fra produksjonssiden i modellen.

Størrelsen på CO<sub>2</sub>-utslippet fra en aktivitet avgjør hvor stor kostnadsøkningen blir dersom det innføres restriksjoner på utslippet. Noen aktiviteter slipper lettere unna kostnadsøkningen enn andre dersom det finnes alternativer til CO<sub>2</sub>-utslipp gjennom energisubstitusjon. Prosessutslipp og forbrenningsutslipp der det ikke finnes substitutter, er det vanskelig å slippe unna. Aktiviteter der det finnes slike forhold vil rammes hardest.

Figur v1.5 viser endringen i produksjonsaktiviteten i våre produksjonssektorer for en reduksjon på 19% og 55% i det norske utslippet av CO<sub>2</sub> i år 2010. Figur v1.6 viser det samme for 2020.

Figur v1.6. Endring i produksjonsaktivitet ved CO<sub>2</sub>-restriksjoner i 2020, BAU i 2020 = 1.00, BASIS-alternativet.

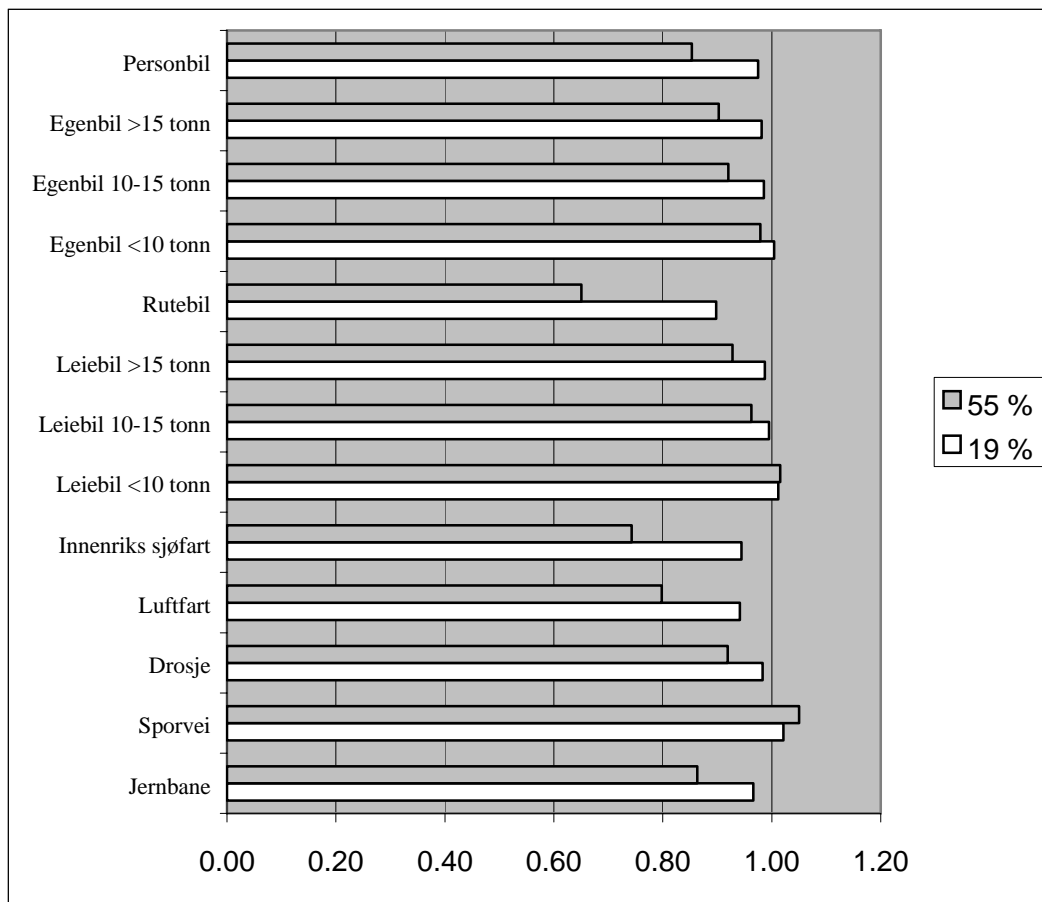


I figur v1.7 viser vi den tilsvarende utviklingen for *transportsektorene* ved henholdsvis 19% og 55% reduksjon i CO<sub>2</sub>-utslippet. Stolpene i figuren er basert på en

indeks for kjøretøykilometer, der BAUs volumer i 2010 og 2020 er satt til 1. Avviket fra 1 viser dermed endring i kjøretøykilometer.

Figur v1.7 skiller ikke mellom ulike delmarkeder innen transportsektoren, som eksempelvis gods- og persontransport. Transportvolumene i figuren er et uttrykk for *all transportaktivitet* innen en transportsektor. Det er derfor ikke en direkte logisk sammenheng mellom konkurranseflater og transportvolumer innen de enkelte transportsektorene i den figuren vi viser her. Dette skyldes følgende.

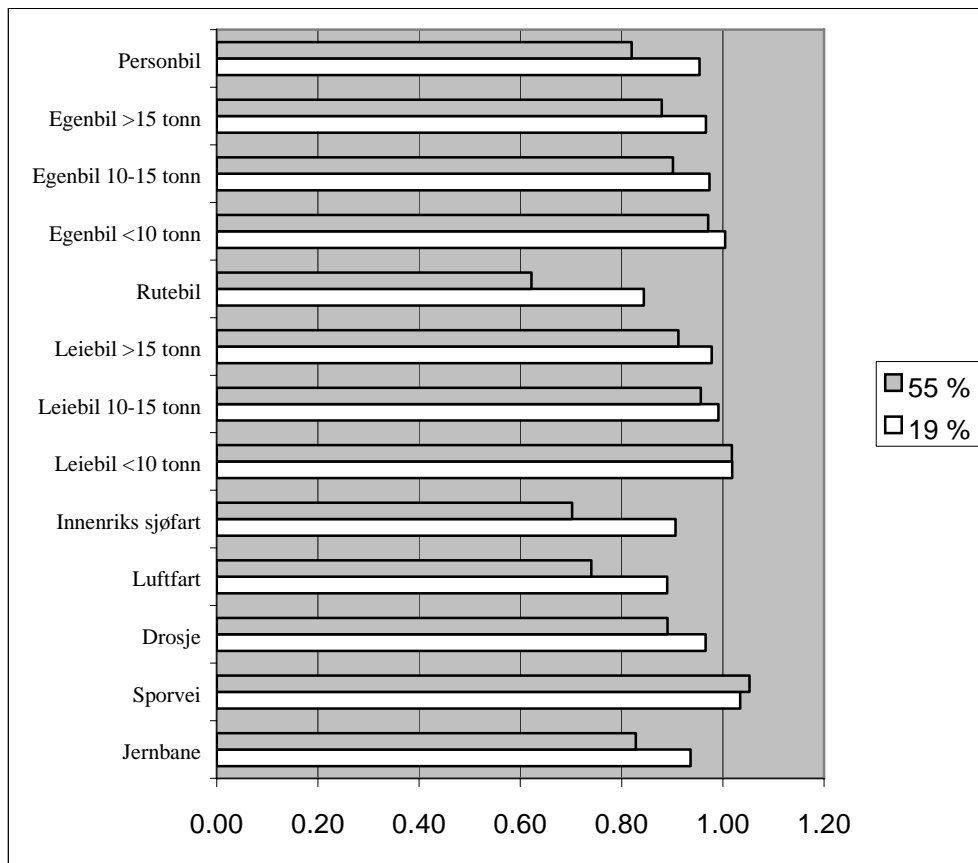
Figur v1.7. Endring i transportvolumer, kjøretøykilometer ved CO<sub>2</sub>-restriksjoner i 2010, BAU i 2010 = 1.00, BASIS-alternativet.



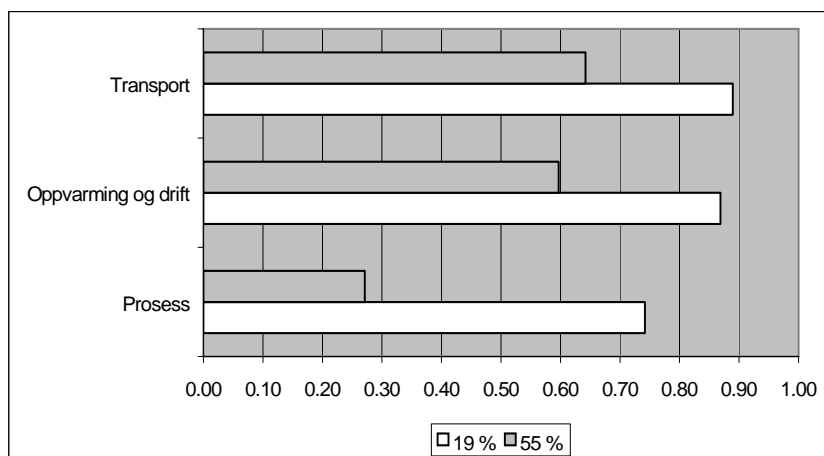
CO<sub>2</sub>-restriksjonenes virkning på transportvolum innen hver transportsektor er avhengig av endringen i konkurranseforhold mellom transportsektorene ved innføring av CO<sub>2</sub>-restriksjonen. Virkningen på konkurranseforholdet vil være forskjellig avhengig av hvilket delmarked vi ser på. For eksempel vil påvirkningen på konkurranseforholdet mellom jernbane og andre transportsektorer være avhengig av om vi ser på tilpasningen for hushold eller for bedrifter, hvilken næring vi ser på og ikke minst av om vi ser på person eller godstransport. Figur v1.7 viser en aggregert virkning over alle delmarkeder.

Til sist har vi tatt med figur v1.9 og v1.10, som illustrerer utslippsreduksjonene for forskjellige deler av økonomien. Vi har skilt mellom utslipp fra oppvarming og maskiner i industri, transport og prosessutslipp.

Figur v1.8. Endring i transportvolumer målt i kjøretøykilometer ved CO<sub>2</sub>-restriksjoner i 2020, BAU i 2020 = 1.00, BASIS-alternativet.

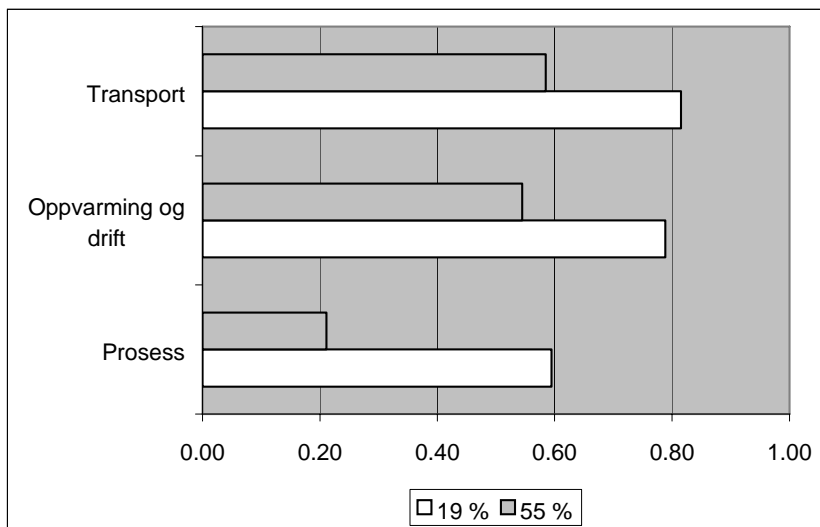


Figur v1.9. CO<sub>2</sub>-utslipp i 2010, BAU i 2010 = 1.00, BASIS-alternativet.



Sett i lys av figurene v1.5 og v1.6 er det ikke overraskende å finne at reduksjonen i prosessutslippene er større enn de tilsvarende reduksjoner i utslipp fra oppvarming og transport. Dette samsvarer godt med at sektorer med høye prosessutslipp får en relativt stor kostnadsøkning med små muligheter til å slippe unna. I figur v1.5 og v1.6 ser vi at metallindustri, olje/gassvirksomhet, raffinering, råvare- og annen industri svekkes relativt mer enn annen virksomhet. Reduksjonen i prosessutslipp skyldes ikke bare den direkte kostnadsøkningen. Både olje og gasssektoren og raffineringsindustrien rammes av bortfall av etterspørsel etter fossil energi. Dette svekker lønnsomheten i disse sektorene, som også har store prosessutslipp. Redusert aktivitet i disse sektorene vil derfor redusere prosessutslippet relativt mye.

Figur v1.10. CO<sub>2</sub>-utslipp i 2020, BAU i 2020 = 1.00, BASIS-alternativet.







## Vedlegg 2

### Produksjon av transport i GODMOD

Vi vil ikke gå gjennom alle detaljene omkring det mikroøkonomiske grunnlaget for den makroøkonomiske modellen GODMOD. Denne er dokumentert behørig i Jensen (1993), Jensen (1994) og i Jensen og Eriksen (1997). Formuleringer for transportteknologi, og mulighetene til å formulere alternativ transportteknologi, er imidlertid vesentlig i dette prosjektet, og vi synes det er nødvendig å bruke litt plass til å se på dette.

Alle enheter i GODMOD er enten produsenter eller konsumenter, og det er naturlig å oppfatte tilbud av transport som produksjon av transporttjenester, og tilbydere av alternative transporttyper som ulike produsenter.

Transportprodusentene tilbyr transporttjenester som innsatsfaktorer til andre produsenter og som sluttkonsum til konsumenter, som til en viss grad kan få tilfredsstilt samme transportbehov ved hjelp av alternative transporttyper. Tilbudssiden i transportmarkedet modelleres dermed ved produktfunksjoner i GODMOD. Tabell v2.1 viser transportinndelingen.

Tabell v2.1. Inndeling av transport i GODMOD

Godstransport	Persontransport
1. Egentransport med bil, totalvekt <10 tonn	1. Privatbil
2. Egentransport med bil, totalvekt 10-15 tonn	2. Fly
3. Egentransport med bil, totalvekt >15 tonn	3. Rutebil
4. Leietransport med bil, totalvekt <10 tonn	4. Drosje
5. Leietransport med bil, totalvekt 10-15 tonn	5. Sporvei
6. Leietransport med bil, totalvekt >15 tonn	6. Sjøfart
7. Sjøfart	7. Jernbane
8. Jernbane	

Produksjonsaktiviteter, som inkluderer transport, beskrives ved hjelp av CES-funksjoner (se for eksempel Madden 1986, s.123-126). Leontief- og Cobb-Douglasfunksjonen er spesialtilfeller av CES. Leontief-funksjonen har faste volumandeler, og Cobb-Douglasfunksjonen har faste budsjettandeler.

En enkel CES-funksjon ser i sin mest grunnleggende form ut som:

$$(1) \quad X = f(\mathbf{z}) = A \left[ \sum_{i=1}^n \beta_i z_i^\rho \right]^{\frac{v}{\rho}}$$

hvor  $X$  er produksjon,  $A$  er et skalaparameter,  $\beta_i$  er andelsparametre og  $z_i$  er uavhengige variable, eller innsatsfaktorer. For funksjonen  $f(\mathbf{z})$  har vi at  $\sum \beta_i = 1$  og at  $\rho < 1$ . Det siste er nødvendig for å sikre oss en positiv substitusjonselastisitet. Det kan vises at  $f(n\mathbf{z}) = n^v f(\mathbf{z})$ , hvilket innebærer at funksjonen er homogen av grad  $v$ .

En ulempe med den vanlige CES-funksjonen er at den har parvis lik substitusjonselastisitet mellom alle innsatsfaktorer. Dette omgås ved å "neste" funksjonene. For å forklare hva som menes med "å neste" en funksjon, tar vi utgangspunkt i at produksjon av "transporttjeneste  $m$ ",  $X_m$ , kan skrives som en funksjon av innsatsfaktorer  $\mathbf{z}$ , det vil si  $X_m = f(\mathbf{z})$ .  $\mathbf{z}$  er en vektor av  $n$  innsatsfaktorer  $\{z_1, \dots, z_n\}$ .

La oss ta utgangspunkt i at  $n = 3$ , noe som innebærer at det er 3 innsatsfaktorer i vektoren  $\mathbf{z}$ . Vi formulerer  $X_m = F(z_1, G(z_2, z_3))$ . Substitusjonselastisiteten i  $F$  kan da være en annen enn i  $G$ , slik at den indirekte substitusjonselastisiteten mellom  $(z_1, z_2)$  og mellom  $(z_1, z_3)$  kan være en annen enn mellom  $z_2$  og  $z_3$ . Til forskjell fra  $F$  er  $f$  et eksempel på en en-nivås CES-funksjon.  $F$  er en to-nivås funksjon, og vi kaller  $F$  en "nestet" funksjonen. I prinsippet kan CES-funksjonen ha så mange nest vi selv ønsker.

Neststrukturene for produktfunksjonene i GODMOD er estimert sammen med de tilhørende substitusjonselastisitetene (se Jensen og Eriksen 1997, s.29-32), og transportsektorene er i utgangspunktet formulert ved hjelp av de samme generelle "neststrukturer" som er benyttet for de øvrige produktfunksjonene i modellen. Vi opplever imidlertid den nåværende neststrukturen i transportfunksjonene som "tungvint". Det er etter vårt syn vanskelig å skille mellom ulike elementer i funksjonene når vi skal skille ut rene teknologiparametre. Dette gjør det vanskelig å ta stilling til de elementene vi anser som viktige for å skille mellom dagens transportteknologi og alternativ transportteknologi. Produksjonsaktiviteten i transportsektorene er dessuten målt i bruttoproduksjonsverdi, som er et mål for omsetning, og ikke fysisk transport. Begge disse forholdene er lite hensiktsmessig når vi skal formulere tradisjonell og alternativ teknologi som konkurrerende metoder for å utføre transport.

Med utgangspunkt i et fysisk mål for transport har vi formulert nye produktfunksjoner basert på en ny neststruktur for transportsektorene. Av to mulige volummål, transportarbeid uttrykt i person- eller tonnkilometer tkm og kjøretøykilometer ktkm, mener vi at kjøretøykilometer er det mest hensiktsmessige målet for å få fram forskjellene mellom ulike teknologier for transport. Dette skyldes en oppfatning om at det er en mer stabil sammenheng mellom faktorinnsats  $\mathbf{z}$  og vognkilometer enn mellom faktorinnsats og transportarbeid. Transportarbeidet kan nemlig endres både som følge av produksjonsnivå og ved å øke kapasitetsutnyttelsen.

Vi formulerer produktfunksjoner for kjøretøykilometer med ”transportmiddel m”  $k_{tkm_m}$ , som en funksjon av innsatsfaktorer  $\mathbf{z}$ . Elementene i  $\mathbf{z}$  deles i innsats av energi  $e$ , transportkapital  $kap$ , vare- og tjenesteinnsats ( $v$ ) slik at vi har en produktfunksjon  $k_{tkm_m} = f_m(e,v,kap)$ .

Energiaggregatet består av elektrisitet og/eller fossilt drivstoff  $d$  som står i et fast forhold til et  $CO_2$ -utslipp. Koeffisientene for  $CO_2$ -utslipp per kilo drivstoff er i følge SSB (1992) 3.15 for både bensin, diesel, mellom- og tunge destillater. Bensin og diesel har imidlertid ulik egenvekt, slik at utslippskoeffisientene per liter blir forskjellig. Utslippskoeffisientene for de fire ulike destillatene i GODMOD er oppgitt i tabell v2.2.

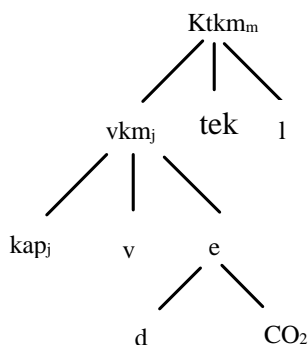
Tabell v2.2 Utslippskoeffisienter for  $CO_2$

	Kg/kg	Egenvekt	Kg/Liter
<b>Bensin</b>	3,15	0,75	2,4
<b>Destillat 1 (Diesel)</b>	3,15	0,84	2,7
<b>Destillat 2 (Mellomdestillater)</b>	3,15	0,84	2,7
<b>Destillat 3 (Tunge destillater)</b>	3,15	0,97	3,1

Vare- og tjenesteinnsats  $v$  omfatter forsikring, reparasjoner, avanse på drivstoff og reservedeler. For å formulere utnyttelse av et transportmiddel, forbinder produktfunksjonen kjøretøykilometer  $v_{km_m}$  med arbeidskraft  $l$  for å generere transportarbeid,  $K_{tkm_m} = g_m(v_{km_m}, l)$ .

Dette gir oss samtidig mulighet til å formulere funksjoner for ny transportorganisering. Vi utvider da  $K_{tkm_j}$  med en faktor  $tek$  slik at vi har  $K_{tkm_j} = g_j(v_{km_j}, tek, l)$ . Den todelte strukturen for produksjon av transporttjenester er vist i figur v2.1.

Figur v2.1. Produktfunksjoner for transport



På laveste nivå i funksjonen beskrives sammenhengen mellom kjøretøykilometer og de driftsavhengige kostnader for kjøretøyet. Driftsavhengige kostnadene utgjøres av utgifter til forsikring, reservedeler, reparasjoner, drivstoff og kapitalkostnader. På nivået over settes driftsavhengige kostnader sammen med arbeidskraft i form av sjåførtimer for å produsere en transporttjeneste.

Persontransport med privatbiler er spesiell fordi sjåføren også er passasjer/forbruker. Det vil si, til forskjell fra annen persontransport, er arbeidsinnsats ved bruk av privatbil brukernes egeninnsats av tid. Siden egeninnsats av tid vil fortrenge fritid, og fritid ikke er eksplisitt modellert i GODMOD, finnes det heller ikke noen grunn til å modellere egeninnsats av tid i produksjon av transporttjenester, verken med privatbil eller annen persontransport. Den eneste arbeidsinnsatsen til transport er bruk av profesjonelle sjåførere, og følgelig finnes det ikke arbeidsinnsats ved personbil.

Vi antar at sammenhengen mellom arbeid  $l$ , kjøretøykilometer  $k_{tkm}$  og tek er den samme for alternativ- og tradisjonell drivstoffteknologi. Forskjellen mellom tradisjonell og alternativ drivstoffteknologi er da utforming av produktfunksjoner for kjøretøykilometer.

For å formulere produktfunksjoner av CES-typen for kjøretøykilometer, trenger vi faktorpriser, volumandeler og substitusjonselastisiteter for alle innsatsfaktorer i hvert teknologialternativ (Se for eksempel Rutherford, 1989, s. 13–16). Til hver innsatsfaktor i produksjon av "transporttjeneste  $m$ " hører en volumandel  $\theta_i^m$  og en pris for innsatsfaktoren,  $p_i$ . Til hvert faktorpar  $(i, j)$  hører en substitusjonselastisitet  $\sigma_{ij}^m$ .

Vi regner som sagt aktiviteten i kjøretøykilometer. Volumandelen  $\theta_i^m$  for innsatsfaktor  $i$  i produksjon av transporttype  $m$  blir derfor:

$$(2) \quad \theta_i^m = z_i^m / K_{tkm}^m$$

og kostnadsandelen  $\beta_i^m$  for innsatsfaktor  $i$  er:

$$(3) \quad \beta_i^m = [z_i^m * P_i * (1 + t_i^m)] / [p^m * K_{tkm}^m]$$

der  $t_i^m$  er avgift på innsatsfaktor  $i$  og  $p^m$  er pris på transporttjeneste  $m$ .

*Substitusjonselastisitetene*  $\sigma_{ij}^m$  forteller hvor stor relativ volumendring vi får mellom to faktorer når de relative prisene på faktorene endres (Jensen og Eriksen 1997).

*Volumandelene*  $\theta_i^m$  viser hvor mye av hver faktor som benyttes i forhold til produksjon.

*Pris*  $p_i$  for vare  $i$  vil en frikonkurransøkonomi (som er det som forutsettes i GODMOD) være den samme for alle som kjøper vare  $i$ . Vi vil med andre ord bare kunne ha en *pris* per vare (vareavgiftene kan variere mellom ulike anvendelser). Det vil si at faktorinnsats avlønnes til relativ pris  $p_i$  i alle anvendelser. (Vi benytter relative priser, det vil si pris målt i forhold til et numeraire-gode, se Jensen og Eriksen (1997)).

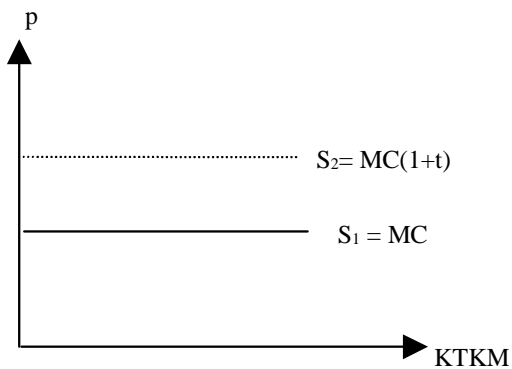
Vi vet dermed i utgangspunktet hvilke relative priser vi skal benytte på innsatsfaktorer til produksjon av alternativ transportteknologi, og prisen på å anvende den nye teknologien vil gis endogen av marginal produksjonskostnad. De ukjente faktorene våre er da volumandeler  $\theta_i^m$  og substitusjonselastisiteter  $\sigma_{ij}^m$  for alternativ teknologi.

Vi har ingen muligheter til å estimere eller kalibrere oss frem til substitusjonselastisiteter for alternativ teknologi, så vi ser oss nødt til å anvende de samme tallstørrelsene som for tradisjonell transportteknologi. Volumandelene er derimot kalibrert på bakgrunn av Skedsmoe & Hagman (1998).

Volumandeler, priser, substitusjonselastisiteter og neststrukturen definerer unike produktfunksjoner for hvert transportmiddel (selv om neststrukturen (vist i figur 3.1) generelt er den samme for alle teknologialternativene).

Produksjon i transportsektorene er representert med vanlige flernivå CES-funksjoner (to nivåer) karakterisert ved konstant skalaavkastning. Dette betyr at vi har konstant marginalkostnad  $MC$  og at gjennomsnittskostnaden  $AC$  er lik marginalkostnad ( $AC = MC$ ) i produksjon av transporttjenester. Dette gir oss horisontale tilbudskurver for transporttjenester.

Figur 3.2 Tilbud av transporttjenester i kjøretøykilometer (KTKM)



I figur 3.2 har vi illustrert to tilbudsfunksjoner for transport.  $S_1$  viser tilbudet av transport dersom ingen avgifter anvendes. I  $S_2$  er tilbudsfunksjonen skiftet opp som følge av en avgift  $t$  på transport.



# Vedlegg 3

## Sektorinndeling

### Produksjonssektorer

Nr.	GODMOD	KNR-SEKTOR	GODMOD-KODE
1.	PRIMÆRNÆRING	Jordbruk, skogbruk, fiske, fangst, fiskeoppdrett	PRIM
2.	VAREHANDEL	Varehandel	VARE
3.	PRIVAT TJENESTEYTING	Reparasjon kjøretøyer, vann&fjernv, bank&fors, bolig, forett.ms. tjen, forsvar, underv,helse, ann.privtj, 23900, Undervisning & helse i ideelle organisasjoner	PRTJ
4.	REISELIV	Hotell, restaurant, reisebyrå	REIS
5.	KONSUMVARE- INDUSTRI	Fisk, kjøtt, meieri, andre næringsmidler, drikke, tobakk, teko, sko	KONS
6.	TUNGINDUSTRI	Trevarer & treforedl, kjem råvarer, mineralske & grafiske produkter	TIND
7.	METALINDUSTRI	Produksjon av metall	METL
8.	ANNEN INDUSTRI	Bergverk & annen industri	AIND
9.	VANNKRAFT	Elektrisitetsproduksjon, kraft-transp & elektrisitets distribusjon	ELPR
10.	UTERIKS SJØFART	Utenriks sjøfart	UTSJ
11.	VERKSTEDS- INDUSTRI	Verksted, bygging av skip & oljeplattformer	VERK
12.	OLJE OG GASS	Utvinning av olje & gass samt tjenester ved utvinning & rørtransp	OLGA
13.	RAFFINERING	Raffinering av jordolje	RAFF
14.	BYGG & ANLEGG	Bygg & anlegg	BYAN
15.	OFFENTLIG TJENESTEYTING	Forsvar, undervisning, helse & omsorg, annen offentlig tjenesteyting, både statlig og kommunalt	OFTJ
16.	POST & TELE	Post.tele	POTE
17.	LANDTRANSPORT- TJENESTER	Tjenester i tilknytning til landtransport	TJLT
18.	SJØTRANSPORT- TJENESTER	Tjenester i tilknytning til sjøtransport	TJST

KNR-sektor = Kvarter/nasjonaltregnskaps-sektor

## Godstransportsektorer

nr. GODMOD	KNR-SEKTOR	GODMOD-KODE
1. JERBANE	Jernbanetransport	JBAN-G
2. INNENRIKS SJØFART	Innenriks sjøfart	INSJ-G
3. LEIEBIL1	Leiebiler, totalvekt under 10 tonn	LB11
4. LEIEBIL2	Leiebiler, totalvekt mellom 10 & 15 tonn	LB12
5. LEIEBIL3	Leiebiler, totalvekt over 15 tonn	LB13
6. EGENBIL1	Egne biler, totalvekt under 10 tonn	EB11
7. EGENBIL2	Egne biler, totalvekt mellom 10 & 15 tonn	EB12
8. EGENBIL3	Egne biler, totalvekt over 15 tonn	EB13

KNR-sektor = Kwarts/nasjonale regnskaps-sektor

## Persontransportsektorer

nr. GODMOD	KNR-SEKTOR	GODMOD-KODE
1. JERBANE	Jernbanetransport	JBAN-H
2. INNENRIKS SJØFART	Innenriks sjøfart	INSJ-H
3. SPORVEI	Sporvei & forstadsbane	SPOR
4. TAXI	Drosjenæringen	DROS
5. RUTEBIL	Persontransport med rute- & leiebiler	RUTE
6. LUFTFART	Luftfart	LUFT
7. PERSONBIL	NA PBIL	

KNR-sektor = Kwarts/nasjonale regnskaps-sektor