CONCITO

# Klimascenarier for transportsektoren

6. juni 2014 RAPPORT

Der er mange veje til en transportsektor med en meget lavere CO2-udledning. Denne rapport præsenterer en række scenarieberegninger, hvor CO2-udledningen, efter indfasning af forskellige teknologier i transportsektoren, er beregnet. En hurtig introduktion af nye teknologier er afgørende for at opnå større reduktioner i CO2-udledningen i 2050. Dog kan en pakke af virkemidler, der reducerer efterspørgslen på transport, også have stor effekt, såfremt introduktionen af nye teknologier skulle gå langsomt. Særligt el-baserede køretøjer vurderes at have en stor effekt på omstillingen til en mindre klimabelastende transportsektor. Dette er fordi de allerede er introduceret på markedet, er energieffektive og kan drives af el produceret på vindenergi.

Forfatter:
**Susanne Krawack**

Rapporten er støttet af:
**VELUX FONDEN**

Fiolstræde 17B · 1171 København K
Tel: +45 29 89 67 00 · info@concito.dk · www.concito.dk

# Indhold

1. Indledning ..... 3
2. Sammenfatning ..... 4
3. Nye brændstoffer ..... 7
4. Projektets analyser ..... 10
5. STREAM-modellen og dens forudsætninger ..... 12
6. Enkeltinitiativer ..... 17
7. Scenarier for omstilling af transportsektoren ..... 27
8. Trafikale virkemidler ..... 30
9. Økonomi ..... 33
10. Energikilder og forsyningssikkerhed ..... 35
11. Konklusioner ..... 36
12. Kilder ..... 38
Bilag 1 Forudsætninger for modelberegninger ..... 39
Bilag 2 Biomasseressourcer til transportsektoren i 2020 og frem ..... 45

# 1. Indledning

Det er en stor udfordring, at få transportsektoren omstillet, så der udledes langt mindre CO2, end tilfældet er i dag. Der skal introduceres nye teknologier og brændstoffer. Der er her flere muligheder: El, gas, brint og biobrændstoffer. Brændstoffer og teknologier har forskellige styrker og svagheder, og kan ikke fuldt substituere hinanden. Omstillingen kan suppleres med trafikpolitiske virkemidler, der effektiviserer og reducerer transportens omfang. I denne rapport ser vi på begge typer af virkemidler.

Formålet med denne rapport er at se på, hvilken rolle forskellige teknologier bedst kan spille på forskellige tidspunkter i transportsektorens udvikling mod en langt lavere CO2-udledning. Det vil desuden blive undersøgt, hvilke initiativer der er afgørende i arbejdet for at omstille transportsektoren. Rapporten ser alene på klimaudfordringen og behandler ikke andre gener fra trafikken som luftforurening, trængsel, uheld mv.

I analysen af forskellige scenarier anvendes STREAM-modellen, der blev udviklet til Klimakommissionen og senere er blevet udbygget med et egentligt transportmodul af Teknologirådet. Modellen giver en overordnet beskrivelse af transportsektoren frem til 2050. Inputtet er udviklingen i transportomfang, teknologier og trafikpolitiske initiativer, og outputtet er samlet transportomfang fordelt på forskellige transportmidler, CO2-udledning og en grov samfundsøkonomisk vurdering. Transportmodulet spiller sammen med hele energisystemet i modellen, således at for eksempel et stort el-forbrug kræver udbygning af vindenergi, hvilket har nogle samfundsøkonomiske effekter, som indgår i vurderingen.

Stud.cand.merc.(pol.) Tobias Johan Sørensen har gennemført modelberegningerne. Ph.d. studerende Per Skougaard Kaspersen, DTU, har bidraget med faglige input til projektet.

Tak til medlemmerne af CONCITOs transportgruppe samt andre relevante aktører fra branchen, som har givet værdifulde kommentarer og input til rapporten. Rapporten er udtryk for CONCITO-sekretariatets faglige vurdering på grundlag af denne dialog, og da medlemmerne i en så bred organisation som CONCITO ikke altid vil være fagligt eller politisk enige, kan de ikke tages til indtægt for rapportens endelige konklusioner og anbefalinger.

Projektet er finansieret af VELUX FONDEN.

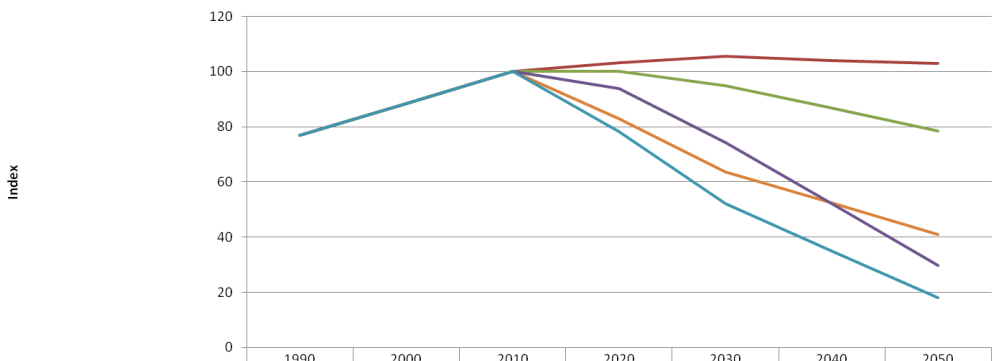
## 2. Sammenfatning

En klimavenlig transportsektor kommer ikke af sig selv. Omstillingen til en klimavenlig transportsektor kræver langsigtet planlægning og politiske initiativer. Omstillingen kan ske gennem en hurtig introduktion af nye teknologier og brændstoffer eller gennem reduktion af transportarbejdet og en langsommere introduktion af nye teknologier og brændstoffer. Derfor anbefales det at lave en langsigtet plan med konkrete delmål fra nu og frem til 2050. Udviklingen skal monitoreres løbende, og hvis ikke de fastlagte delmål holdes, må der sættes nye initiativer i gang. Dette kunne være en opgave for det kommende Klimaråd.

Den danske regulering har begrænset indflydelse på, hvilke teknologier der slår igennem i transportsektoren, da dette i højere grad påvirkes af EU regulering og den globale efterspørgsel. Til gengæld kan den danske regulering påvirke, hvilke af de kendte teknologier, der skal indfases i den danske transportsektor og med hvilken hastighed.

Hvis klimavenlige teknologier kommer på markedet hurtigt, er der ikke markant behov for at reducere efterspørgslen på f.eks. privatbilisme gennem trafikale virkemidler, da de nye drivmidler vil give tilstrækkelig CO2 reduktion. Der vil for eksempel være begrænsede klimaeffekter ved at reducere en elbaseret privatbilisme, når elproduktionen er baseret på VE. Hvis teknologiudbredelsen derimod går langsomt, kan de trafikale virkemidler i en periode være nødvendige for at reducere transportsektorens CO2-udledning. De trafikale virkemidler omfatter bl.a. tiltag som roadpricing og brændstofafgift. Med en langsom teknologiudvikling forstås, at de klimavenlige drivmidler ikke effektiviseres og kommercialiseres i sådan et tempo, at de inden for de næste årtier bliver et reelt alternativ til de konventionelle benzin- og dieselkøretøjer.

I figuren nedenfor ses effekten af forskellige scenarier for omstillingen til en klimavenlig transportsektor. Det første er et ”Business as usual” scenarie (BAU), der viser en udvikling, hvor der ikke satses på klimavenlige drivmidler. I dette scenarie forbliver CO2-udledningen fra transportsektoren omtrent som den er i dag. Det svarer til at stigningen i transportomfanget modsvares af energieffektivisering af køretøjerne. Dernæst ses et moderat scenarie, hvor især el- og hybrid-køretøjer fases langsomt ind, som erstatning for almindelige benzin- og diesel-køretøjer. Endeligt præsenteres et ambitiøst scenarie, hvor indfasningen af nye teknologier og brændstoffer sker meget hurtigt. Både det moderate og det ambitiøse scenarie er vist med og uden inklusion af en række af trafikale virkemidler.




| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BAU | 77 | 88 | 100 | 103 | 105 | 104 | 103 |
| Moderat scenarie | 77 | 88 | 100 | 100 | 95 | 87 | 78 |
| Moderat scenarie + virkemidler | 77 | 88 | 100 | 83 | 64 | 52 | 41 |
| Ambitiøst scenarie | 77 | 88 | 100 | 94 | 74 | 52 | 30 |
| Ambitiøst scenarie + virkemidler | 77 | 88 | 100 | 78 | 52 | 35 | 18 |

***Scenarier for transportsektorens CO2 udslip frem mod 2050 i indekstal***

En hurtig indfasning af el-baserede køretøjer (batteri og hybrid) er nøglen til at omstille transportsektoren i en mere klimavenlig retning. Dette er, fordi el-køretøjer er meget energieffektive, og fordi energiaftalen fra 2012 har fastlagt, at al el fra 2035 vil være CO2-neutral. En hurtig indfasning af el i transportsektoren forudsætter i analysen, at 10 % af nybilsalget i 2015 udgøres af elbiler, 50 % i 2030 og 85 % i 2050. Dette kombineres i det ambitiøse scenarie med hurtig indfasning af også 2. generations biobrændstoffer og brint. En sådan indfasning vil reducere CO2-udledningen fra transportsektoren med ca. 70 % i 2050 sammenlignet med BAU-scenariet. Dette er et ambitiøst scenarie, hvor der skal iværksættes en lang række tiltag for at fremme udviklingen og øge salget af CO2 venlige køretøjer og brændstoffer. Ved en langsommere og mindre ambitiøs indfasning, vil CO2-reduktionen være på godt 25 % i 2050 i forhold til BAU-scenariet. Indfasningshastigheden af nye drivmidler er således en afgørende faktor i omstillingen til en klimavenlig transportsektor.

I tillæg til scenarieberegningerne, er der også foretaget beregninger af de isolerede effekter ved indfasning af køretøjer på henholdsvis el-, brint-, og biobrændstoffer. Dette skaber et fundament for at udvikle scenarier, som kombinerer de mest effektive teknologier. På baggrund af disse beregninger konkluderes det, at brint og biomasse ikke har det samme potentiale som el-baserede drivmidler til at nedbringe CO2-udledningerne fra transportsektoren.

Brint i brændselsceller forventes først at blive en tilstrækkeligt attraktiv teknologi efter 2020 og vil således først at få en væsentlig effekt efter 2030. Derfor vil CO2-reduktionen frem mod 2050 være begrænset i et scenarie, hvor der satses på brintteknologier. Den opnåede reduktion af CO2-udledningen i et sådant

scenarie svarer til en langsom indfasning af el-køretøjer, og brint er derfor betydeligt mindre effektiv som middel til at reducere sektorens samlede udledning. Brint er desuden den dyreste måde at reducere CO2-belastningen på. Selv hvis brint slår igennem i 2030, som et konkurrencedygtigt drivmiddel, vil det tage mange år at indfase det fuldt ud i transportsektoren og erstatte den resterende flåde med brintdrevne køretøjer.

Der er stor tvivl om klimagevinsterne ved brug af biomasse i transportsektoren, både på nationalt og globalt plan. 1. generations biobrændsler, herunder biogas og bioethanol, vurderes at have en begrænset - eller ligefrem negativ effekt på CO2-udledningen og kan derfor ikke anbefales som et middel til en klimavenlig transportsektor.

Heller ikke 2. generations biomasse vurderes at kunne løse udfordringen alene. Selv i en meget optimistisk vurdering af biomassepotentialet på knap 50 PJ 2. generations biomasse i 2050, vil CO2-udledningen kun blive reduceret med 18 %. Dette skyldes bl.a., at energieffektiviteten i biomasse er lavere end i benzin og diesel og betydeligt lavere end i el-baserede motorer. Den tilgængelige 2. generationsbiomasse bør anvendes i flytrafik, hvor der på nuværende tidspunkt ikke er udsigt til andre løsninger, og dernæst i tung trafik, hvor man heller ikke har reelle CO2-neutrale alternativer.

Hvis man introducerer nye teknologier, der ikke bidrager til en grøn omstilling, risikerer man at blokere for de mere klimavenlige drivmidler, der kan skubbe udviklingen i den rigtige retning.

Udfordringerne ved at fremme en mere klimavenlig transportsektor er mange. Regeringen kan med afgifter og andre tiltag regulere, hvilke teknologier man ønsker at favorisere. Dette kan i sig selv spille en stor rolle. Dog har de seneste mange år har vist, at effektviseringer af de benzin- og dieseldrevne personbiler ganske vist sænker hver enkelt køretøjs CO2 udledning pr. km, men når prisen samtidig falder, stiger forbruget. Vi har derfor ikke set nogen reel reduktion af CO2, som følge af mere effektive personbiler. Foretager man ingen yderligere tiltag, må det forventes, at denne udvikling fortsætter. Det er derfor særlig vigtigt at promovere alternative klimavenlige drivmidler, som el-baserede køretøjer, hvis man ønsker, at transportsektoren skal bidrage til en reel reduktion af Danmarks CO2-udledning.

Man kan regne på mange andre scenarier, men modelberegninger og konklusionerne i denne rapport kan danne grundlaget for en debat om, hvordan man skal klare klimaudfordringen i transportsektoren. Skal transportsektoren bidrage til en reel reduktion af Danmarks CO2-udledning, skal der handles nu.

## 3. Nye brændstoffer

Transportsektoren har indtil nu næsten udelukkende været baseret på olieprodukter fra raffinaderier, der med råolien som input producerer en række forskellige brændstoffer: Jet-fuel, benzin, diesel og fuelolie, som hver især anvendes i forskellige typer af motorer.

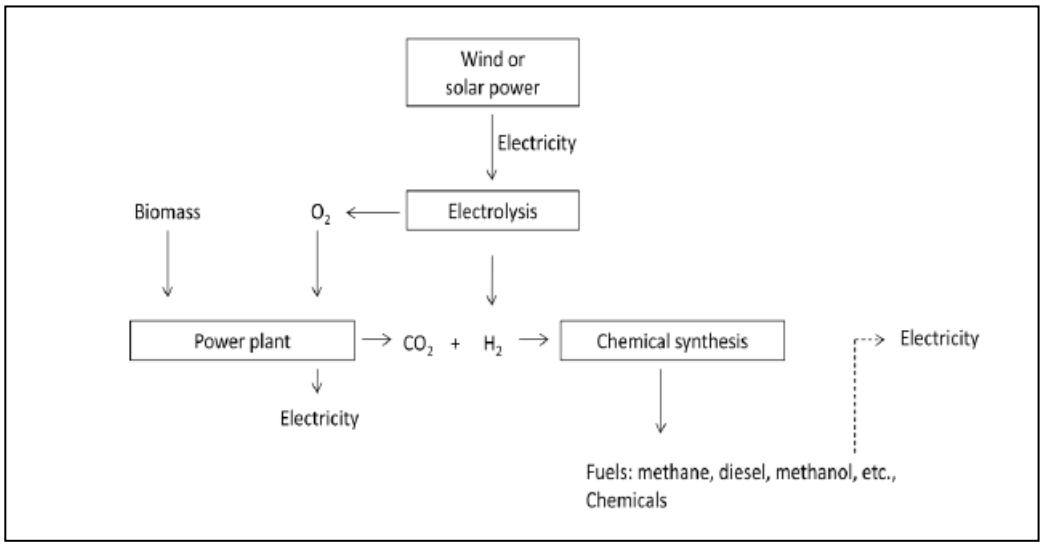
I diskussionen af fremtidens brændstoffer er der en tendens til at se det som et enten/eller valg, når man skal prioritere i mellem el, gas, brint, biobrændsler mv. Men de forskellige muligheder udelukker ikke hinanden , man kan i stedet anskue fremtidens brændstofproduktion som et raffinaderi, der ikke er baseret på olie, men derimod på en kombination af input, herunder vedvarende energi som vindkraft, 2. generation biomasse samt biogas, eventuelt suppleret med naturgas.

Traditionelt fremstilles biobrændsler til transportsektoren ved at producere metan i traditionelle biogasanlæg, biodiesel gennem omdannelse af traditionelle planteolier (f.eks. fra raps eller palmeolie) eller ethanol gennem en traditionel gæring af f. eks. korn eller sukkerrør, på samme måde som man producerer alkohol til konsum.

Outputtet fra et mere avanceret bioraffinaderi, baseret på affaldsprodukter, vil være brændstoffer af forskellig kvalitet, som anvendes i forskellige motorer. Hovedprodukterne kan være følgende:

- Brint, produceret direkte ved hydrolyse via el fra bl.a. vind og vandkraft.
- 2. generations ethanol fremstillet af halm eller andre restprodukter.
- Metan fremstillet ved bakteriologisk omdannelse af ren $CO_2$ og brint.
- Metan fremstillet ved hydrogenering: $C_6(H_2O)_5 + 12\ H_2 \rightarrow 6\ CH_4 + 5\ H_2O$.
- Methanol fremstillet ved hydrogenering: $CO_2 + 3\ H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$.
- Diesel fremstillet ved hydrogenering: $C_6(H_2O)_5 + 5{,}75\ H_2 \rightarrow \frac{1}{2}\ C_{12}H_{23} + 5\ H_2O$.

Princippet om at supplere den traditionelle produktion af biomasse med VE, i form af el, er vist nedenfor.




*Figur 1: Produktion og opgradering af biomasse i et bioraffinaderi (Wenzel, 2010)*

Begrundelsen for at tilføre brint via VE-el er dels at kunne øge energiudbyttet fra den anvendte biomasse og dels at kunne lagre el. Energibalancerne i at supplere den traditionelle produktion med brint er vist i tabel 1:

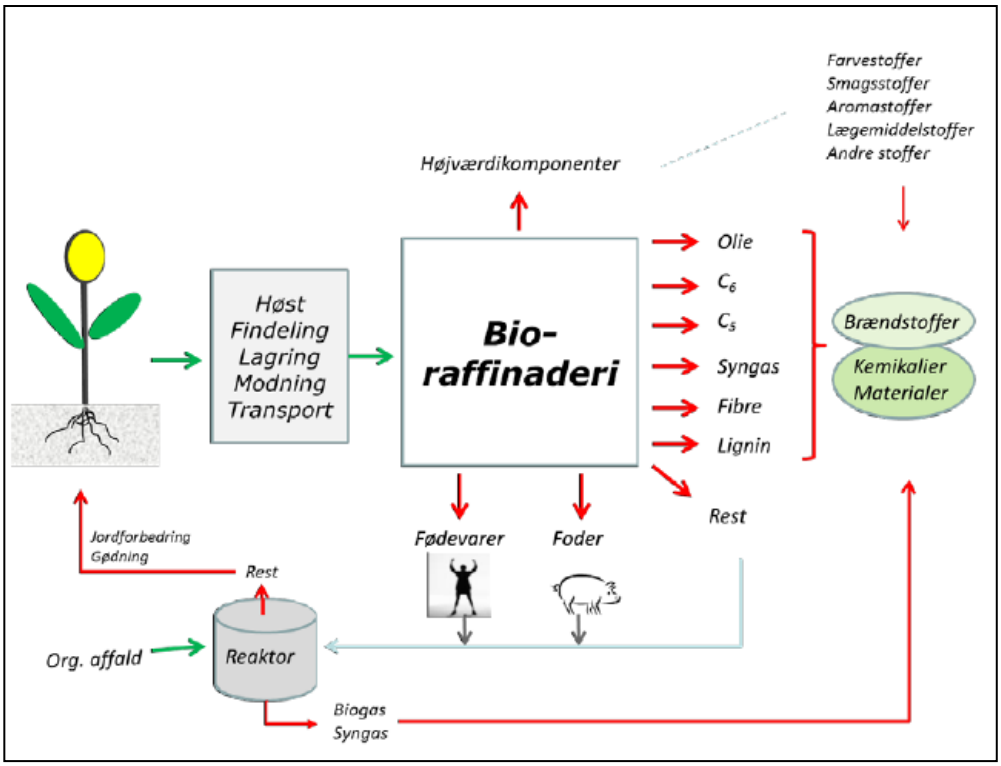
| Conversion process | Inputs (PJ) | | Outputs (PJ) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | biomass | hydrogen | solid fuel | liquid fuel road | liquid fuel road and air | methane |
| Fermentation | 100 | | 20 | 50 | | |
| Hydrogenation to methane | 100 | 100 | | | | 170 |
| Hydrogenation to diesel | 100 | 50 | | | 130 | |
| CCR to methane | 100 | 200 | 100 | | | 170 |
| CCR to diesel | 100 | 150 | 100 | | 130 | |
| Hydrogenation & CCR to methane | 100 | 300 | | | | 340 |
| Hydrogenation & CCR to diesel | 100 | 200 | | | 260 | |

*Tabel 1: Energibalancer ved forskellige former for produktion i et bioraffinaderi. (Wenzel, 2010)*

Udnyttelsen af biomassen kan således øges væsentligt ved hydrogenering, med brint produceret via hydrolyse fra VE-el, og der kan produceres energi til en række forskellige anvendelser. Procesvarme og el er ikke inkluderet i tabel 1.

Et bioraffinaderi kan producere en række forskellige brændstoffer, men det er naturligvis ikke muligt at få mere energi ud af processen, end der kommer ind. Man må derfor prioritere til hvilke formål, man skal anvende de relativt sparsomme naturressourcer, der findes. En prioritering, der må baseres på en række politiske valg og en økonomisk ramme.

De mulige produkter, der kan udnytte biomasse, er vist på figur 2:




*Figur 2: Illustration af produkter fra en Bioraffinaderi (DCA, 2013).*

Som det fremgår, kan produkterne være af meget forskellig karakter, og man kan f.eks. vælge næsten udelukkende at producere foder eller at omdanne det meste af biomassen/affaldet til energi til energisektoren. Man kan derfor ikke på forhånd forudsætte, at al den tilgængelige biomasse bedst bruges til biobrændsler til transportsektoren, hvis miljø og klimafordelen reelt er størst ved at omdanne biomassen til foderproduktion. Det vigtige er, at man ikke kan producere mere energi, end der kommer ind i systemet, og at der altid vil være et konverteringstab i form af varme.

# 4. Projektets analyser

I første del af projektet ser vi på indfasning af en række forskellige teknologier og brændstoffer enkeltvis. Det gør vi for at se effekten af hver enkelt teknologi. Vi ser på indfasning af brint, el samt biobrændstoffer. I beregningerne forudsætter vi, at den øvrige del af sektoren fortsætter på benzin og diesel, og at væksten i transporten vil være den samme uanset teknologi/ brændstof. Alle andre forudsætninger holdes lige. Man kan således sige, at disse første beregninger illustrerer effekten af indfasning af forskellige teknologier og giver nogle byggesten til de egentlige scenarier, som senere præsenteres.

Der sker en løbende teknologiudvikling, der bidrager til at reducere energiforbruget i benzin- og dieselkøretøjer. Sammen med udviklingen i transportarbejdet, har dette stor indflydelse på, hvordan sektoren kommer til at udvikle sig i klimamæssig sammenhæng. Her forudsætter vi at energieffektviseringen modsvarer stigningen i trafikarbejdet, således at CO2 udledningen fastholdes. Til gengæld varierer vi på hvor hurtigt de nye kan indfases, og på hvor store potentialer, der er for særligt klimavenlige brændstoffer.

I anden del af projektet kombinerer vi indfasning af forskellige teknologier til egentlige scenarier
Det første scenarie viser en situation, hvor der både i Danmark og i EU arbejdes seriøst med at omstille transportsektoren til en mere klimavenlig sektor. Det forudsættes, at der stilles krav om lav CO2-udledning fra nye transportmidler af alle slags i EU, og at der i Danmark arbejdes med at give prissignaler, der hurtigt indfaser de teknologier med lavest CO2-udledning. Der introduceres også på nationalt plan en række trafikpolitiske virkemidler, der yderligere medvirker til at effektivisere transportsektoren.

Et andet scenarie beskriver en fremtid, hvor der arbejdes mindre seriøst med at omstille transportsektoren. I dette scenarium vil der fra EU og international side ikke blive taget væsentlige nye initiativer, og teknologiudviklingen samt indfasningen af nye lavemissionstransportformer vil derfor gå langsomt. Også i dette scenarie indfases en række trafikpolitiske virkemidler på nationalt plan.

For hver beregning vil modellen beregne transportsektorens fordeling på forskellige brændstoffer, den samlede CO2-udledningen samt en grov vurdering af den forventede samfundsøkonomiske effekt. Alle resultater beregnes for årene 2020, 2030 og 2050.

Det er oplagt, at beregninger af denne type er forbundet med meget stor usikkerhed. Hvis man alene ser på forskellene i resultaterne, vil en del af usikkerheden dog begrænses. Ser man projektets resultater som nogle bud på, hvad

der kunne ske under forskellige forudsætninger, kan scenarieberegningerne bidrage til at skabe klarhed om, hvilke initiativer, der bør iværksættes for at reducere transportsektorens samlede CO2-udledning.

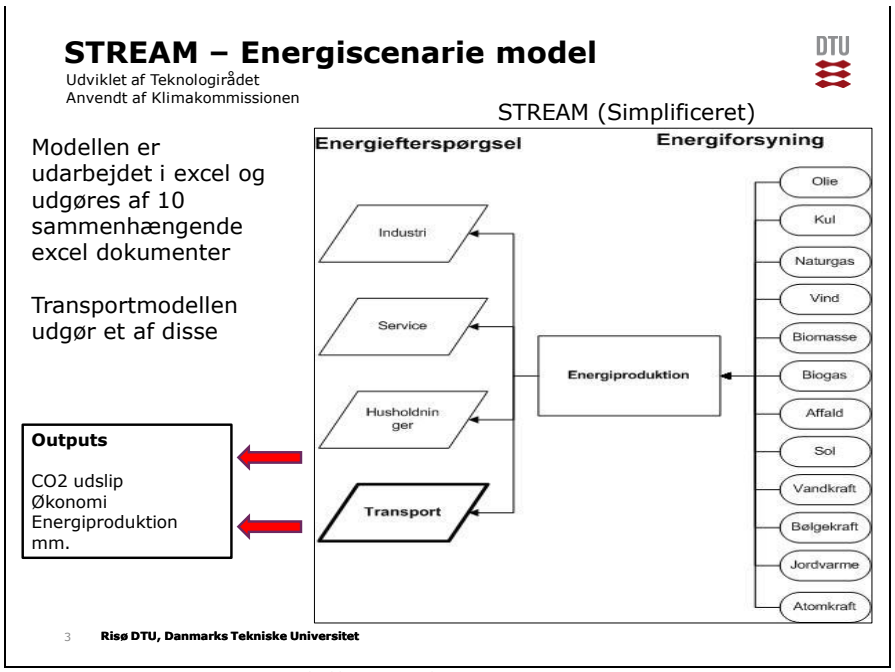
## 5. STREAM-modellen og dens forudsætninger

Den model der er anvendt i projektet bygger på STREAM-modellen, der er udviklet af en række parter indenfor energisektoren. STREAM-modellen omfatter hele energisektoren og har været anvendt til en række forskellige formål, herunder i Klimakommissionen. Teknologirådet har senere udbygget modellen med et modul, der beskriver transportsektoren specifikt.

Modellen er en regnearksmodel, der omfatter hele transportsektoren med et link til energisektorens energiproduktion. Der er desuden en fremskrivning til 2050 samt en mulighed for at introducere teknologier og trafikale virkemidler med forskellig indflydelse på transportsektoren og dens energiforbrug.

Figur 3 illustrerer, hvordan selve energimodellen er bygget op, og hvordan transportmodulet indgår. Alle former for energiforsyning indgår i modellen, og hvis transportsektoren f.eks. øger efterspørgslen efter én type brændsler, vil den skulle produceres i det samlede energisystem. Omkostningerne ved dette vil indgå i de økonomiske vurderinger. Transportmodulet i STREAM-modellen spiller derfor ind i energisektoren i form af en efterspørgsel på forskellige former for energi.

Modellen fungerer således, at det energiforbrug, der anvendes til at producere brændstofferne indgår i energimodellen (well to tank). Energiforbruget til at drive køretøjer (tank to wheel) indgår i transportmodulet. Dette har stor indflydelse på den samlede energieffektivitet i de forskellige scenarier.

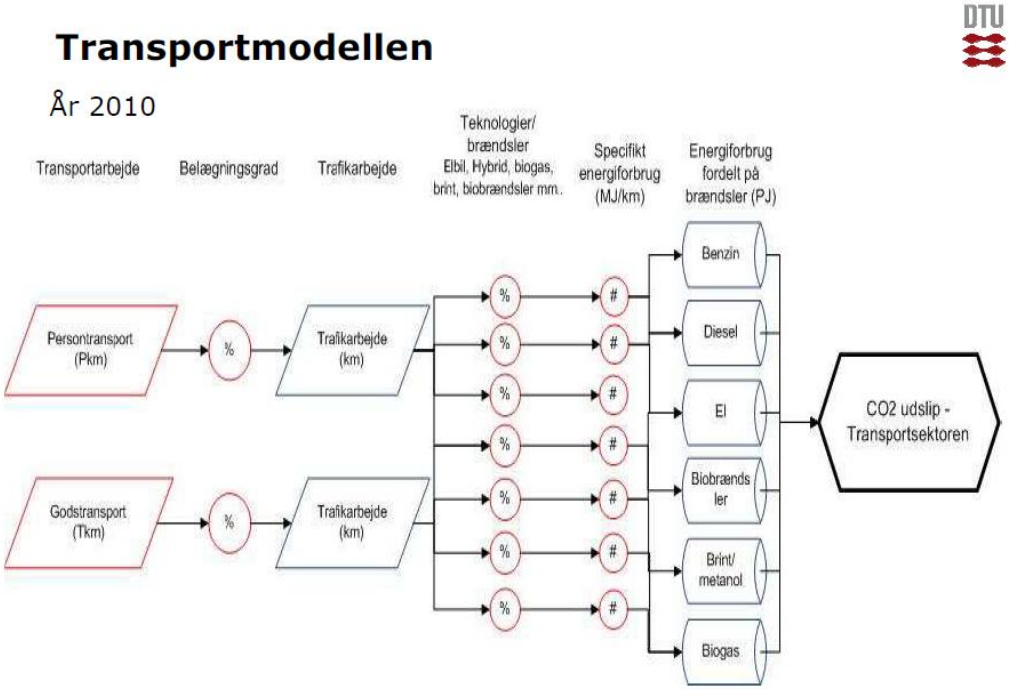



*Figur 3: STREAM-modellens opbygning*

Figur 4 viser beregningsgangen i transportmodulet. Figuren illustrerer, hvilke parametre transportsektoren beskrives med.

Der er en godstransportsektor, og en persontransportsektor med de relevante transportformer og transportmidler. I dette projekt er kapacitetsudnyttelse af transportmidlerne holdt fast, svarende til dagens situation. Vi varierer først og fremmest på de teknologier, der anvendes i transportsektoren. Dette giver en ny efterspørgsel af forskellige former for energi, hvilket resulterer i en samlet CO2-udledning fra transportsektoren.

Ud over at ændre i teknologierne, introducerer projektet en pakke af trafikpolitiske virkemidler, der er nærmere beskrevet i afsnit 8.




*Figur 4: Opbygning af STREAM-modellens transportmodul.*

## Forudsætninger

*Transportsektoren*I projektet og modellen er transportsektoren afgrænset som ***danskernes transport.*** For persontransporten på land er den nationale transport taget med, da udlændinges transport i Danmark forudsættes nogenlunde at opveje danskeres transport i udlandet.

Danskernes flytransport er ikke særligt godt dokumenteret, da statistikkerne beskriver den samlede flytrafik til og fra lufthavne og altså ikke er inddelt efter passagerernes nationalitet. Man kender desuden kun passagertal til den første destination til og fra danske lufthavne. Derfor undervurderes flytrafikken betydeligt, da det således kun er det første ben i en interkontinental flyrejse, der medregnes. Desuden er der usikkerhed med hensyn til hvor mange udlændinge, der flyver til og fra danske lufthavne. I modellen er det forudsat, at 40 % af passagererne er danske.

I godstransporten medtages den nationale transport og 50% af den internationale transport. Det svarer groft taget til, at transporten i forbindelse med import af varer til danskernes forbrug medtages i modellen.

Det er ikke en traditionel afgrænsning af transportsektoren, og den valgte afgrænsning er derfor forbundet med en række usikkerheder. Det vurderes imidlertid at være en mere interessant afgrænsning end alene at se på, hvad der sker indenfor Danmarks grænser. En yderligere uddybning af datakilder og afgrænsninger kan ses i Teknologirådets rapport, "Dansk Transport uden kul og olie" 2011, Bilagsdelen.

Det skal bemærkes, at der med denne afgrænsning af transportsektoren i udgangsåret 2010 er en CO2-udledning på 16 mio. tons fra sektoren. Dette er forskelligt fra Energistatistikken, der er baseret på transport i Danmark, hvor CO2-udledningen for samme år er på 15 mio. tons.

*Trafikvækst og energieffektivisering*
For basisberegningen har vi valgt at forudsætte, at CO2-udledningen fra transportsektoren - hvis der ikke introduceres alternative brændstof-teknologier - vil være fastholdt på 2010-niveauet. Baggrunden for dette er, at det på den ene side må forventes, at transportomfanget stiger gennem de næste knap 40 år, men at der samtidig vil ske en energieffektivisering af det enkelte køretøj, hvilket bevirker en nettostabilisering af CO2-udledningen.

På så lang sigt er det naturligvis vanskeligt at forudsige balancen mellem disse to udviklinger. Den officielle prognose for trafikudviklingen er på 1,7 % per år og stammer fra Infrastrukturkommissionen, 2008. I de sidste 5 år er der imidlertid ikke sket en sådan vækst, og det er dermed usikkert i hvilken grad, det er et realistisk bud også fremover.

I perioden siden 2007 er der sket en energieffektivisering på ca. 20 % i nye personbiler, men samtidigt en stigning i transportarbejdet, og det betyder, at CO2-udledningen fra persontransporten ikke har ændret sig væsentligt. Hvis der sker en tilsvarende regulering af last- og varebiler kan man forestille sig en ud-

vikling i basissituationen, hvor der godt nok sker en effektivisering, men at der samtidig sker en udvidelse af kørselsomfanget, således at CO2–udledningen ikke ændres.

Hvis væksten i trafikarbejdet imidlertid bliver større end energieffektiviseringen i den aktuelle køretøjspark, vil der ske en stigning i CO2-udledningen. På tilsvarende vis vil der ske et fald, hvis transportarbejdet stiger mindre end energieffektiviseringen.

Forudsætningen, om at samspillet mellem trafikvækst og energieffektivisering modsvarer hinanden, er ganske ambitiøs, fordi det indebærer, at der sker en regulering af lastbilers energiforbrug og CO2-udledning, f.eks. i EU, på samme måde som det i dag er tilfældet for vare- og personbiler. Ved at koble de to forudsætninger begrænser vi den samlede usikkerhed i modellen.

*Brændstoffers energieffektitvitet*
En vigtig faktor for resultaterne af beregningerne er den meget store forskel på forskellige brændstoffers energieffektivitet. I tabellen nedenfor ses de forudsætninger modellen anvender for en række brændsler i henholdsvis person- og lastbiler i 2020 og 2050.

| | Brændstoftype | MJ/pkm og tkm i 2020 | MJ/pkm og tkm i 2050 |
|---|---|---|---|
| Personbiler | Benzin | 1,30 | 0,77 |
| | Diesel | 1,0 | 0,74 |
| | El –batteri | 0,24 | 0,24 |
| | Hybrid | 0,30 | 0,30 |
| | Brændselscelle/Brint | 0,37 | 0,37 |
| | Bioethanol | 1,30 | 0,77 |
| | Biogas | 1,37 | 0,81 |
| Lastbiler | Diesel | 2,2 | 1,5 |
| | Naturgas | 2,2 | 1,5 |
| | Biogas | 2,2 | 1,7 |
| | Brint | 1,1 | 0,8 |

*Tabel 2: Anvendt energieffektivitet i modellen for forskellige brændstoffer.*

Disse data er anvendt på samme vis som i den oprindelige model fra Teknologirådet. Teknologirådets model omfatter langt flere køretøjs- og brændstoftyper, så ovennævnte data er kun et udpluk for at give et indtryk af forudsætningerne. Det er oplagt, at modellen er baseret på en række specifikke teknologier. Bl.a. findes der en lang række forskellige hybridbiler, mens der i modellen er regnet en konkret model, der kører på el og biodiesel.

*Teknologiudvikling*
Der sker i basissituationen ikke noget med hensyn til at indfase nye teknologier og brændstoffer i transportsektoren. Dette er valgt for at få en klar snitflade til scenarierne og er dermed ikke udtryk for, at der ikke sker en langsom indfasning af elbiler. Det er forudsat, at der sker en iblanding af biobrændstof i benzin og diesel for persontransport efter de aktuelle regler i EU, men der forventes en gradvis udfasning i scenarierne.

# 6. Enkeltinitiativer

Som nævnt tidligere, indleder vi med at anvende modellen, til at se effekten af at introducere teknologier enkeltvis. Dette er regneøvelser, som skal give en ide om effekten af at introducere teknologierne én for én. Der regnes på følgende teknologier:

**Brint** i brændselsceller i person, vare- og lastbiler og busser.
**El i** både batteri og hybrider i personbiler, varevogne og busser. Der bliver både regnet på en hurtig indfasning og en langsommere indfasning af elbiler i bilflåden.
**Biogas/ethanol** i tung trafik og personbiler. Der regnes på et optimistisk scenarie, hvor man anvender alle potentielle 2. generations ressourcer til henholdsvis biogas eller bioethanol. Der regnes også på en pessimistisk situation, hvor forskellige barrierer betyder, at der kun udnyttes dobbelt så meget 2. generations biomasse som i dagens transportsektor.

Grundlæggende set skal man ikke betragte de forskellige teknologier som alternativer, der udelukker hinanden. Den fremtidige brændstofproduktion vil bestå af en kombination af el, brint, biogas mv. Som beskrevet i afsnit 3, kan man forestille sig en slags raffinaderier, hvor man for eksempel opgraderer biogas og biomasse ved hjælp af bl.a. brint til brændstoffer, der kan anvendes i transportsektoren.

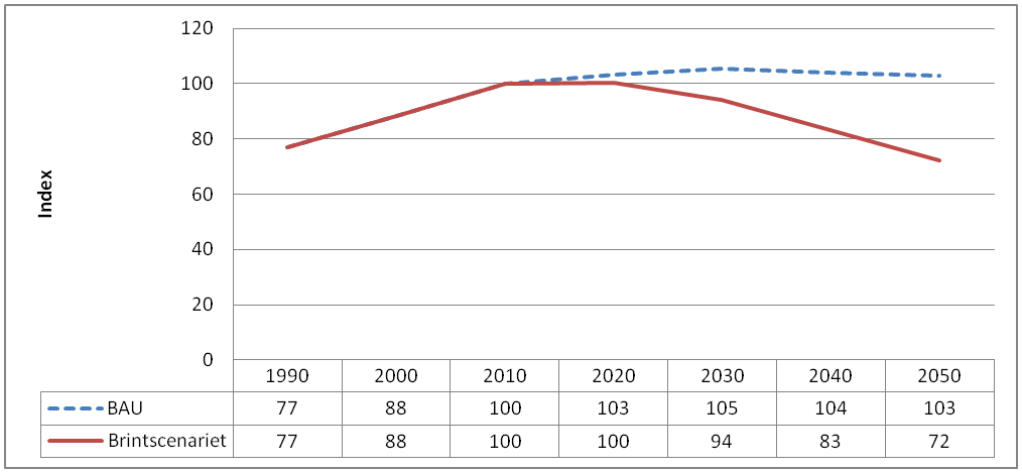
I det følgende beskrives forudsætninger og resultater af at introducere disse enkeltteknologier i transportsektoren. Beregninger anvendes efterfølgende til at sammensætte to scenarier for omstilling af transportsektoren. De detaljerede forudsætninger findes i bilag 1.

## Brint

I den første beregning introduceres brint både i personbiler og i tunge køretøjer. Brintteknologien forventes at få sit egentlige gennembrud efter 2020, hvorefter der forventes en kraftig stigning i anvendelsen. Der er tale om en optimistisk vurdering af, hvor meget man kan anvende brint i brændselsceller til. Der eksisterer ikke i dag lastbiler, som kører på brint, men det forventes, at der frem mod 2050 vil der ske en teknologiudvikling, så dette bliver muligt i hvert fald i den del af lastbilparken, der anvendes til regional og lokal distribution.

Det forudsættes, at brintbiler udgør 10 % af personbilbestanden i 2030 og 40 % i 2050.

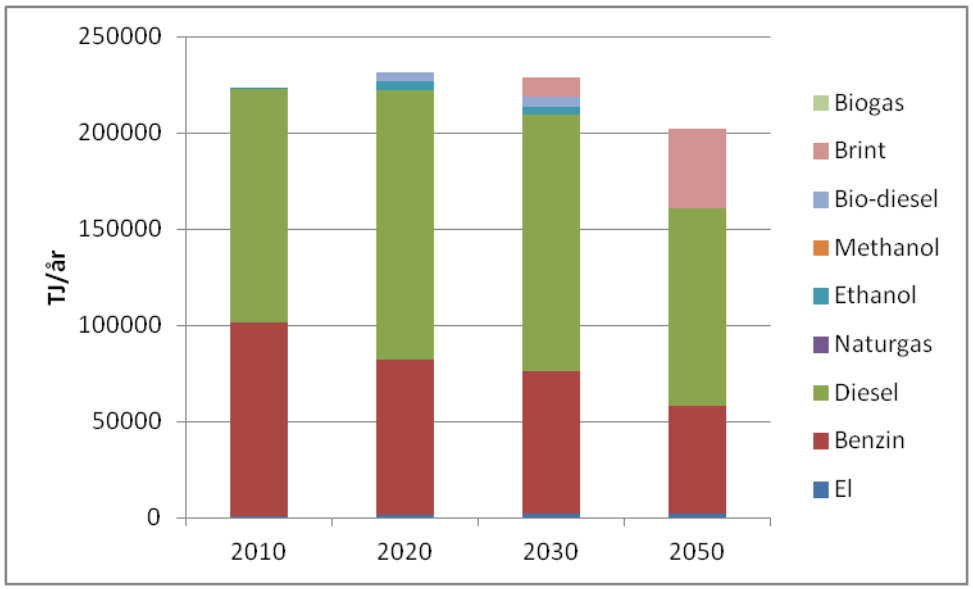
Resultatet af indfasning af brint ses i figur 5. Frem mod 2050 sker der en reduktion af CO2-udledningen på ca. 25 % af transportsektorens samlede CO2-udledning.




| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BAU | 77 | 88 | 100 | 103 | 105 | 104 | 103 |
| Brintscenariet | 77 | 88 | 100 | 100 | 94 | 83 | 72 |

*Figur 5: CO2-udledningen ved indfasning af brint i transportsektoren.*

I figur 6 ses det energimiks, der anvendes i transportsektoren frem mod 2050. Det fremgår, at brint først rigtigt får en rolle i 2050. Her falder det samlede energiforbrug, da brint via brændselsceller giver en højere energieffektivitet end benzin og diesel. Med 40 % af personbilerne kørende på brint i 2050, er der dog stadig ca. 150 PJ benzin og diesel i sektoren jf. denne beregning, hvilket også afspejles i CO2-udledningen.




*Figur 6: Energiformerne i beregningen af brintindfasning.*

**El**

El anvendes i batteribiler, men batteriet kan også kombineres med en lille brændstofmotor i hybridbiler. Hvad der bliver mest udbredt på det fremtidige marked vil afhænge af, om batteriteknologien udvikles og billiggøres, så batteribilernes rækkevidde ikke forbliver en udfordring, eller om små brændselsceller bliver tilstrækkeligt billige, at hybridbilerne tager over.

I denne beregning introduceres eldrevne køretøjer både i personbiler, varebiler lastbiler og busser. Personbiler og busser vil være en blanding af batteribiler og hybridbiler, mens vare- og lastbiler vil være hybridbiler. Vi regner på en meget hurtig introduktion af elektriske køretøjer, som klart vil kræve både teknologiudvikling, hvilket vil billiggøre køretøjerne, samt en aktiv politik for at få dem introduceret i køretøjsparken. Der regnes også på en langsommere indfasning, som dog vil kræve både teknologiudvikling og incitamenter, men i et langsommere tempo. I tabellerne nedenfor ses den forventede introduktion af de elektriske køretøjer ved henholdsvis hurtig og langsom indfasning.

| | 2020 | 2030 | 2050 |
|---|---|---|---|
| Personbiler | 11 | 50 | 100 |
| Varebiler | 8 | 25 | 63 |
| Lastbiler | 8 | 25 | 63 |
| Busser | 8 | 25 | 83 |

*Tabel 3: Andel af transportarbejdet på el (både batteri og hybrid) i forskellige år ved hurtig indfasning af elektriske køretøjer.*

| | 2020 | 2030 | 2050 |
|---|---|---|---|
| Personbiler | 4 | 20 | 58 |
| Varebiler | 2 | 10 | 29 |
| Busser | 2 | 10 | 39 |

*Tabel 4: Andel af transportarbejdet på el (både batteri og hybrid) ved langsom indfasning af elektriske køretøjer.*

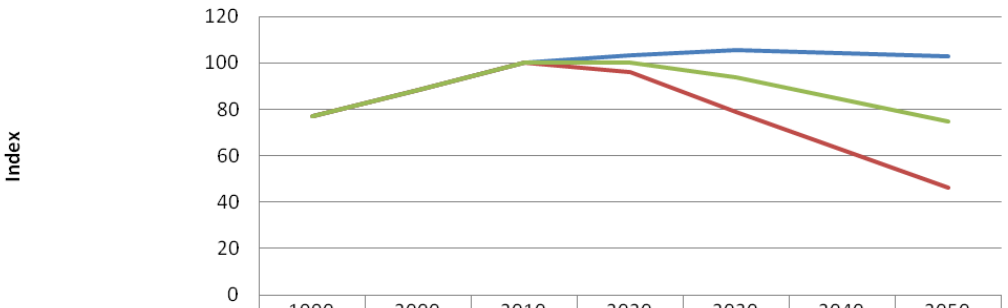
Selv med en langsom indfasning af elbiler vil de komme til at udgøre 58 % af transportarbejdet i personbiler i 2050. Den langsomme indfasning forudsætter, at batteribiler vil udgøre 9 % af nybilsalget i 2020, 20 % i 2030 og 40 % i 2050 for personbiler. Der skal ske en tilsvarende indfasning af hybridbiler, både som person-, vare- og lastbiler. I modelberegningerne indgår ikke brændselsceller som den anden motor i hybridbiler, selvom de også forventes at komme på

markedet inden for et par årtier. Hybridbilerne har, som tidligere nævnt en motor på biodiesel.

Den hurtige indfasning vil betyde, at batteribiler skal udgøre 10 % af salget af nye privatbiler allerede i 2015, 30 % i 2020, 50 % i 2030 og 85 % i 2050. Hybridbiler indfases tilsvarende hurtigt som vare- og lastbiler, men lidt langsommere som personbiler, hvor de forudsættes indfaset indtil alle personbiler er på el.

Til sammenligning er elbilsalget i Danmark i dag på ca. 0,2 % af nybilssalget, og i Norge har det i de bedste måneder i 2013 været på 12-13 %.

Figur 7 viser effekten af en henholdsvis hurtig og langsom indfasning af elektriske køretøjer.

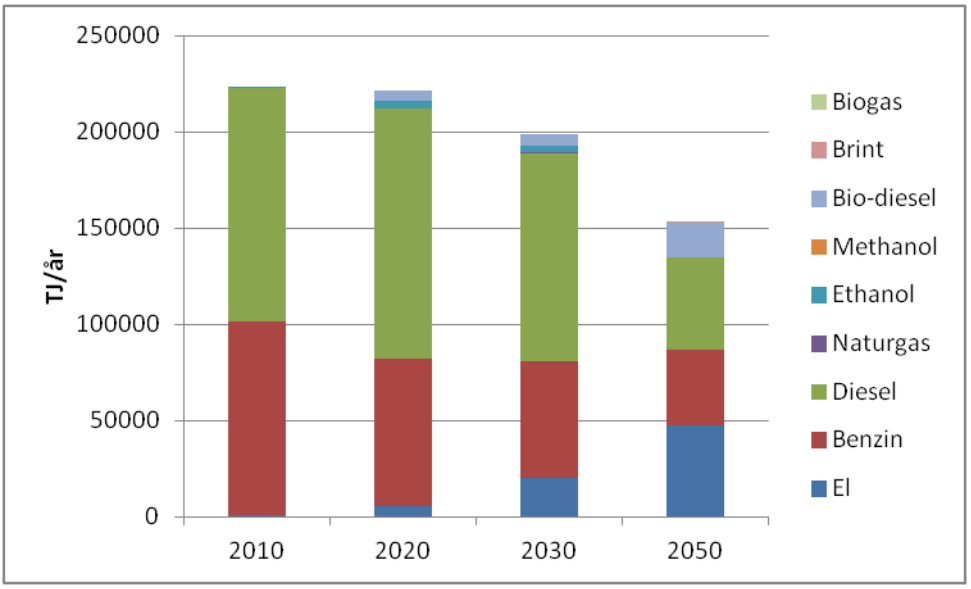



| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BAU | 77 | 88 | 100 | 103 | 105 | 104 | 103 |
| Hurtig elindfasning | 77 | 88 | 100 | 96 | 79 | 63 | 46 |
| Langsom elindfasning | 77 | 88 | 100 | 100 | 94 | 84 | 75 |

*Figur 7: CO2-udledningen fra transportsektoren ved henholdsvis langsom og hurtig indfasning af el, både som batteri- og hybridkøretøjer.*

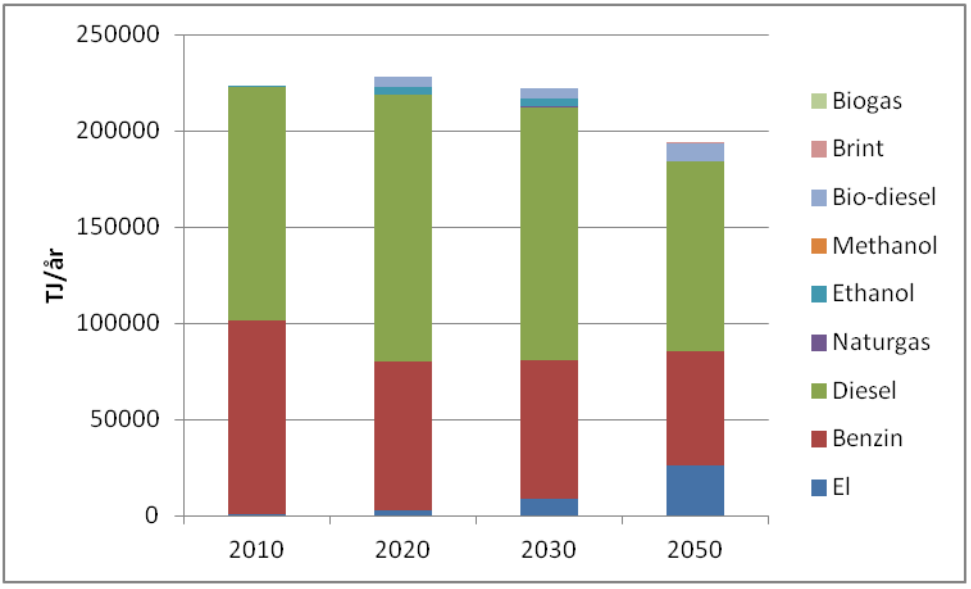
Det fremgår, at der er en meget stor forskel på effekten af den langsomme og hurtige indfasning. CO2-udledningen fra hele transportsektoren reduceres i 2050 med 25 % ved en langsom indfasning og godt 50 % ved en hurtig indfasning. Det er således oplagt, at jo længere tid, der går før elkøretøjer for alvor indfases i transportsektoren – jo sværere bliver det at gennemføre en omstilling inden 2050.

I figur 8 og 9 ses det energimiks, der forudsættes i de forskellige år i disse to beregninger.




*Figur 8: Energisammensætningen for hurtig indfasning af el.*

I dette eksempel ses det, at el udgør ca. 1/3 af det samlede energiforbrug i 2050[1]. Da el er en meget effektiv energiform er det samlede energiforbrug på ca. 150 PJ, mens benzin og diesel udgør under 100 PJ.




*Figur 9: Energisammensætningen for langsom indfasning af el.*

I den langsomme indfasning udgør el ca. 20 PJ i 2050, og benzin og diesel udgør mere end 150 PJ. Det samlede energiforbrug bliver større end ved hurtigt

[1] Derudover er der angiveligt en stigning i biodiesel forbruget, da hybridteknologierne i modelberegninger forudsætter en omtrent 50/50 fordeling mellem el og biodiesel.

indfasning af el, fordi benzin- og dieselbiler anvender 4-5 gange så meget energi for at køre 1 km i 2020, og omtrent 3 gange så meget i 2050, hvor der er forudsat en betydelig effektivitetsudvikling.

**Biobrændstoffer**

Det er til en vis grad de samme 2. generations biomasseressourcer, der indgår i de forskellige former for biobrændstoffer, så det afgørende er at sikre, at man i potentialevurderingerne ikke regner de samme ressourcer med flere gange.

Vi ser på, hvor meget biomasse man kan forvente, at der kan anvendes i en transportsektor, som er baseret fuldt ud på 2. generationsprodukter. Dette potentiale bliver betragtet som CO2-neutralt i beregningerne. Biobrændsler, som biogas eller biodiesel, som er produceret på dyrket majs eller raps og således er 1. generations biomasse, kan sagtens indgå i transportsektoren, men vil i beregningerne få en tillagt en CO2-udledning, der svarer til den faktiske klimaeffekt fra produktion af dette brændstof. 1. generations biomasse vurderes at have en CO2-udledning på linje med naturgas. Med den faktiske klimaeffekt menes der fra well-to-wheel.

Der er mange opfattelser af, hvor store mængder 2. generation biomasse man kan producere: Nogle mener, at man kun kan tale om reel 2. generation, hvis biomasseressourcen er reelt additionel, idet al anden biomasse har en rolle i det økologiske kredsløb. Som konsekvens af dette synspunkt, skal man også se på, hvilken alternativ anvendelse biomasseressourcen har. Hvis det for eksempel er husholdningsaffald, der i dag afbrændes, som man vil anvende til biogasproduktion, vil der skulle andre brændsler ind og erstatte dette i f.eks. fjernvarmen. Denne alternative opvarmningsform vil ofte udlede mere CO2, end anvendelsen af f.eks. husholdningsaffald i biogas begrænser CO2-udledningen, og nettoændringen i udledningen vil dermed være positiv. Med denne tilgang er det yderst begrænset, hvor meget 2. generations biomassepotentiale, der er til rådighed.

På den anden side er det synspunkt, at man kan lægge landbrugsproduktionen om, så man dyrker andre kornsorter med længere strå og bjærger mere marginale halmressourcer. Og i en fremtid med meget el fra vind, vil det måske være bedre at anvende den halm som i dag brændes til biogas.

Endeligt er der de, der mener, at man blot kan importere store mængder 2. generations biomasse til Danmark. Det er oplagt, at biomasse, som al anden energi, vil blive handlet over grænser, men der skal være tale om, at der gennem en øget efterspørgsel reelt skabes mere 2. generations biobrændstof på markedet, før det har en positiv klimaeffekt. Hvis andre lande som alternativ blot skifter til andre energiformer er der ikke tale om en reel CO2-reduktion.

Pointen her er derfor, at der er begrænsede mængder af 2. generation biobrændsler både i Danmark og andre steder, så man kun i en meget ekstrem markedssituation kan satse på, at der er tilstrækkeligt 2. generation biomasse til brug i Danmark.

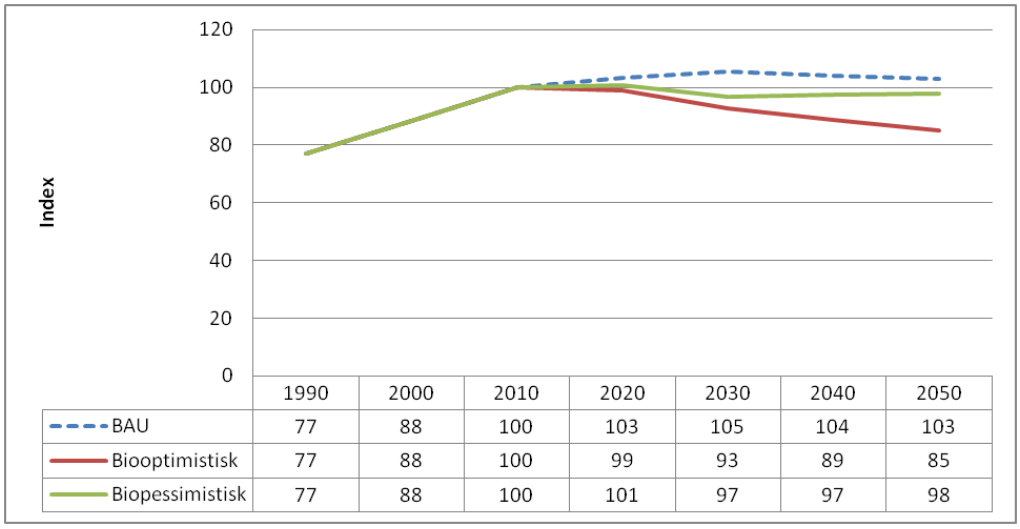
Vi skal ikke her gå nærmere ind i denne problemstilling, men blot referere til bilag 2, hvor problemstillingen diskuteres og en række opgørelser af det relevante potentiale præsenteres.

I de scenarier vi her arbejder med, opererer vi med en optimistisk vurdering, hvor hele 2. generations biomassepotentialet anvendes i transportsektoren. Det samlede optimistiske potentiale er opgjort til 37 PJ, idet dyrket majs og hvede ikke indgår. Det stammer fra Energistyrelsens foreløbige opgørelser. Der er desuden i det optimistiske potentiale tillagt yderligere 10 PJ fra halm, som man ikke længere afbrænder.

I den pessimistiske vurdering vil vi enten se biomassen anvendt andre steder, eller også er scenariet udtryk for, at det ikke lykkes at omlægge landbruget til at producere større mængder restprodukter, da det kan vise sig at have negative økonomiske konsekvenser for landbruget. Det kan også ske, at det ikke lykkes at klare nogle af de udfordringer, der er med at bioforgasse halm og dybstrøelse. Endeligt kan det være vanskeligt at få prisen ned på bioethanol baseret på halm, så man faktisk ikke kan skabe et marked for dette.

Hvis man ser pessimistisk på potentialet for 2. generation biogas til transport, kunne det begrænse sig til 7 PJ, hvilket er det dobbelte af den aktuelle biogasproduktion og meget langt over den aktuelle anvendelse af 2. generation biomasse i transportsektoren.

I figur 10 ses CO2-effekten af de to forskellige biomasseberegninger. Den resterende del af transporten kører på benzin og diesel som i de øvrige enkeltberegninger.

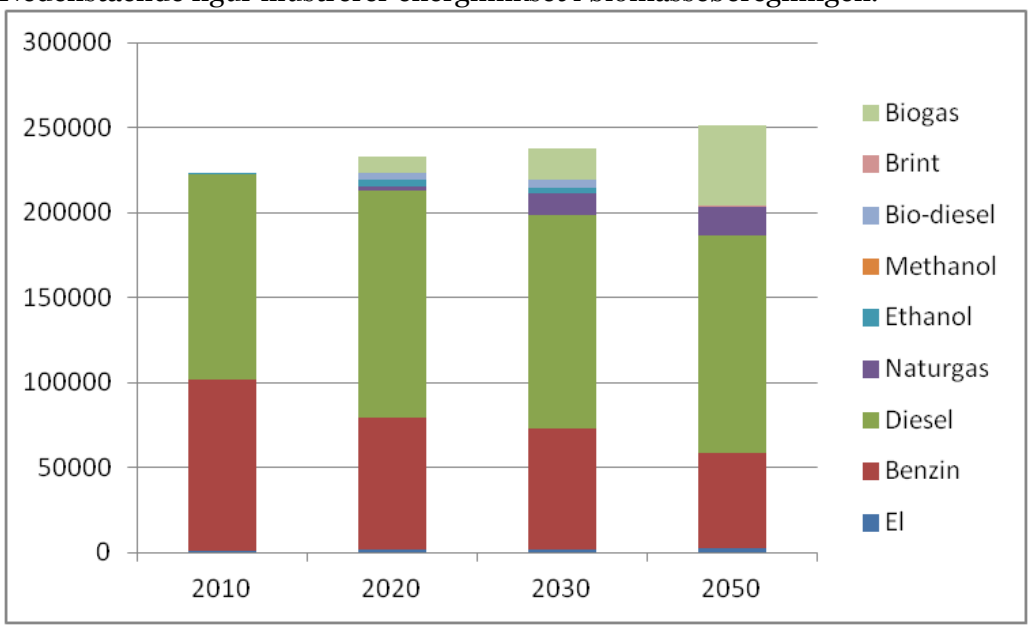



| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BAU | 77 | 88 | 100 | 103 | 105 | 104 | 103 |
| Biooptimistisk | 77 | 88 | 100 | 99 | 93 | 89 | 85 |
| Biopessimistisk | 77 | 88 | 100 | 101 | 97 | 97 | 98 |

*Figur 10: Transportsektorens CO2-udledning ved introduktion af 2. generations biomasse.*

Med den biooptimistiske vurdering reduceres CO2-udledningen fra transportsektoren i 2050 med 18 procentpoint. At reduktionen er begrænset så meget skyldes, at 47 PJ biomasse udnyttes dårligere i en bilmotor end diesel og langt dårligere end el. I den biopessimistiske beregning opbruges 2. generations biomassen til transportsektoren hurtigt og der forudsættes, at der derefter køres på 1. generations biomasse. Resultatet er en ca. 5 % reduktion i CO2-udledningen.

Nedenstående figur illustrerer energimikset i biomasseberegningen.

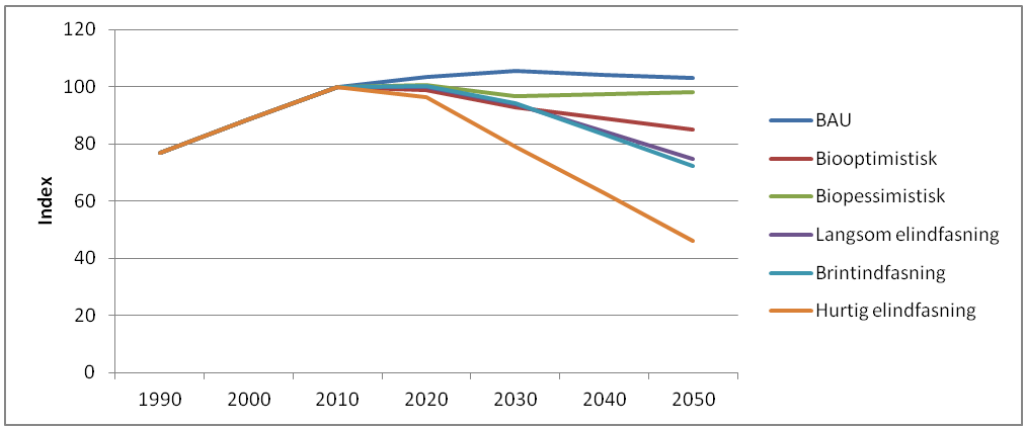



*Figur 11: Energisammensætningen i den biooptimistiske beregning.*

Her fremgår det, at det samlede energiforbrug stiger gennem perioden, fordi biomassen har en lav energieffektivitet, og selv om man indfaser næsten 50 PJ 2. generation biomasse, vil der fortsat være 200 PJ fra benzin og diesel.

**Sammenfatning af enkeltinitiativerne**

I figur 12 ses CO2-udledningen fra de fem beregninger, hvor hver teknologi enkeltvis er introduceret i transportsektoren. Den største reduktion i CO2 sker ved hurtig indfasning af el-køretøjer. Det skyldes, at potentialet er ubegrænset, samt at man kan starte hurtigt, da teknologierne allerede er på markedet. Den hurtige indfasning vil imidlertid kræve både regulering og teknologiudvikling, hvis det skal lykkes at reducere CO2-udledningen med næsten 50 % i 2050. En langsommere og mere realistisk indfasning af el-køretøjer vil kun give den halve reduktion. Det understreger, at ændringer i transportsektoren skal ses over en lang tidshorisont.



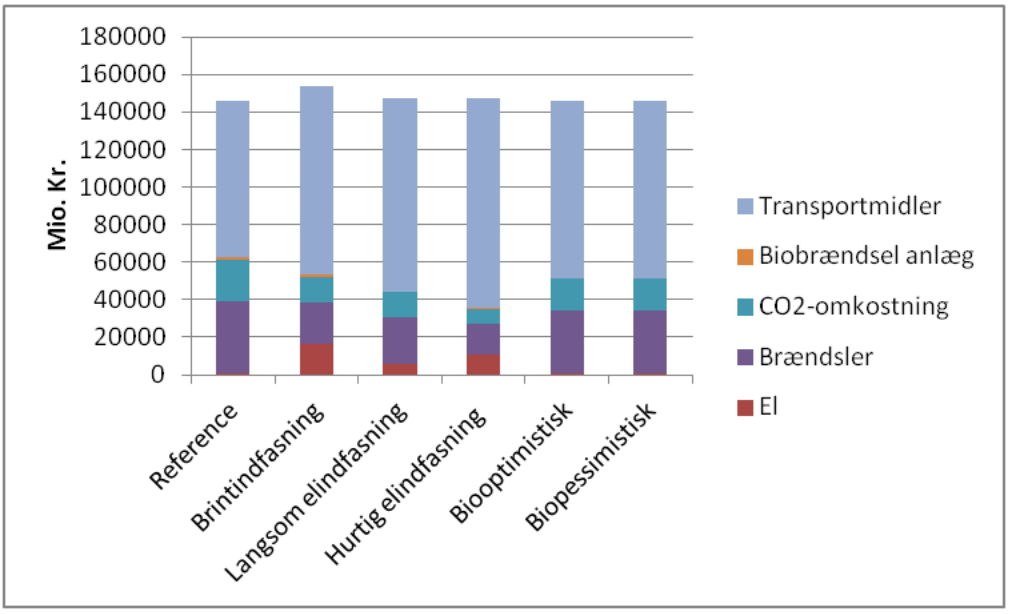

*Figur12: CO2-udledning fra introduktion af enkeltteknologier i transportsektoren.*

Biobrændselberegningerne giver en reduktion i CO2-udledningen på mellem 5 og 18 %, da potentialet er begrænset. Anvender man mere biomasse, end det potentiale, der eksisterer for 2. generation, vil CO2-emissionen herfra være næsten lige så høj som for benzin og diesel.

Brintberegningen vil betyde en reduktion på ca. 25 %, idet man starter senere med indfasningen. Det skyldes, at brint i transportsektoren først giver mening i en klimamæssig sammenhæng, når der er betydelige mængder vindkraft i elproduktionen.

I figuren nedenfor ses samfundsøkonomien for indfasning af de forskellige teknologier. Det ses, at der er meget begrænset forskel på hvilke brændsler og teknologier, der indfases. Det fremgår dog, at brint er dyrere end de øvrige teknologier. Den helt store omkostning ligger i transportmidlerne, mens omkostningerne til brændstoffer er mindre. Man kan se, at omkostningerne til transportmidler er højest i el- og brintindfasningerne, mens brændstofomkostningerne er højest i de beregninger, hvor der anvendes meget benzin og diesel.

En nærmere beskrivelse af grundlaget for de økonomiske vurderinger findes i kapitel 9.




*Figur 13: Omkostninger ved introduktion af forskellige enkelt teknologier i 2050.*

# 7. Scenarier for omstilling af transportsektoren

Vi regner i det følgende på to scenarier:
Ét hvor vilkårene er optimale for en omstilling af transportsektoren til et markant lavere $CO_2$-udledning. Det vil sige, at rammebetingelserne, både internationalt og nationalt, fører til, at der udvikles de nødvendige teknologier, og at de kommer på markedet til priser, der sikrer en hurtig indfasning. Det kalder vi for det ***ambitiøse scenarie.***

Udviklingen kan imidlertid også gå i en anden retning, hvor der fortsat sker en effektivisering i de konventionelle køretøjer, men nye teknologier introduceres langsomt og der sker kun en meget langsom teknologisk udvikling og billiggørelse af transportmidler og brændstoffer. Det scenarie kalder vi for det ***moderate scenarie.***

I begge scenarier ser vi alene på indfasning af klimavenlige teknologier og brændstoffer. Først til sidst introducerer vi en række trafikpolitiske virkemidler.

**Det ambitiøse scenarie**
I det ambitiøse scenarie forudsættes indfasning af nye teknologier at ske på følgende, og meget optimistiske, måde:

- Batterikøretøjer og hybrider med brændselsceller indfases hurtigt i personbiler, som det er beskrevet i beregningen af hurtig indfasning af el.
- Brændselsceller på brint indfases som i brintindfasning fra 2030.
- Hybridbiler med batteri og brændselsceller indfases i vare- og lastbiler, men da disse køretøjer ikke er på markedet endnu, bliver det en langsommere indfasning end for personbiler.
- 2. generations biobrændstof indgår med det optimistiske potentiale og anvendes først og fremmest til flytrafik, med en hurtig indfasning.
- Den øvrige vare- og lastbiltrafik kører på biogas i den udstrækning der er ressourcer til 2. generations biogasproduktion, og ellers kører de på naturgas.
- Resten af transportsektoren fortsætter på benzin og diesel.

I bilaget ses de præcise forudsætninger for beregningerne.

Med denne meget optimistiske indfasning af nye teknologier reduceres $CO_2$-udledningen med ca. 25 % i 2030, 50 % i 2040 og 70 % i 2050.
Det betyder, at en meget optimistisk indfasning af nye teknologier vil give en betydelig reduktion af transportsektorens $CO_2$-udledning, men ikke tilstrækkeligt til at nå det overordnede mål om en 80-90 % reduktion i 2050, jf. figur 14.

**Det moderate scenarie**
I det andet scenarie vil vi beskrive en virkelighed, hvor de nye teknologier udvikles og indfases i et langsommere, måske mere realistisk, tempo.

Det forudsættes, at indfasning af el-køretøjer i personbilparken sker efter den langsomme indfasning beskrevet tidligere. Der introduceres ikke brintkøretøjer i dette scenarie.

Vi regner med, at potentialet for 2. generations biobrændsler i transportsektoren ikke udvikler sig særligt meget, således at det samlede potentiale kun er på 7 PJ. Denne situation kan opstå, hvis man ikke får udviklet biogasproduktionen som forventet, eller hvis biogassen anvendes i kraftvarmeværker, som tilfældet er i dag. Det kan også være udtryk for, at bioethanol til personbiler og biobrændsler til fly ikke billiggøres og får de rammebetingelser på markedet, som er nødvendige for at udvikle denne teknologi.

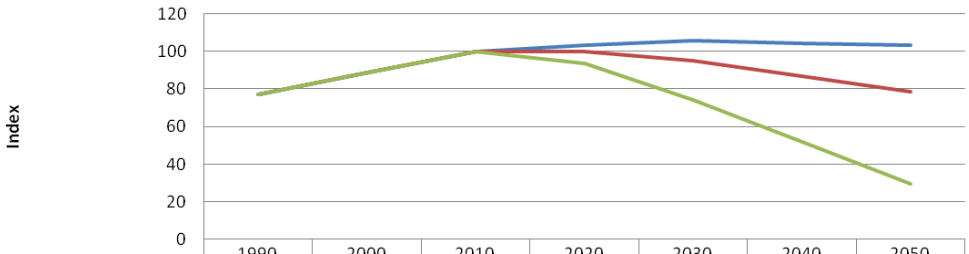
Samlet set kan man sige, at hvis man ikke lovgivningsmæssigt i EU får gennemført en reel sondring mellem 1. og 2. generations biomasse og får sikret et marked for at udvikle 2. generationsprodukterne, så vil den billigere 1. generations biomasse fylde markedet, og man vil kun opnå en beskeden reduktion af drivhusgasemissioner.

I beregningerne har vi forudsat, at de køretøjer, der ikke kører på el eller på 2. generations biobrændsler, fortsætter med at køre på benzin og diesel, men den meget kraftige energieffektivisering, der er forudsat i disse køretøjstyper. Hvis man erstatter med 1. generations biomasse i denne del af sektoren vil det betyde en reduktion af CO2-udledningen, men ikke mere end 5 %.

Forudsætningerne i scenariet er følgende:

- Langsom indfasning af batteribiler og plug in hybrider.
- Langsom indfasning af biogas i lastbiler med det pessimistiske 2. generations biomassepotentiale.
- Langsom indfasning af plug-in hybrider i varebilsflåden.
- Resten af transportmidlerne fortsætter på benzin og diesel med den effektivisering, som ligger i basisforudsætningerne.

Den resulterende CO2-udledning fra transportsektoren i dette scenarie kan ses i figur 8. Det fremgår, at den samlede reduktion i CO2-udledningen er på knap 20 % frem til 2050. Effekten begynder først for alvor i 2030 med 5 % reduktion, mens den i 2040 når 15 %.




| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BAU | 77 | 88 | 100 | 103 | 105 | 104 | 103 |
| Moderat scenarie | 77 | 88 | 100 | 100 | 95 | 87 | 78 |
| Ambitiøst scenarie | 77 | 88 | 100 | 94 | 74 | 52 | 30 |

*Figur 14: CO2-udledning fra transportsektoren i de to scenarier.*

Det svarer til, at det moderate scenarie kun vil betyde en reduktion i transportsektorens samlede CO2-udledning fra 16 mio. tons til ca. 13 mio. tons, hvilket er langt fra de politiske reduktionsmål for transportsektoren.

## 8. Trafikale virkemidler

I indsatsen mod at reducere transportsektorens drivhusgasudledninger kan man også anvende trafikale virkemidler. Man kan skabe incitamenter til at øge kapacitetsudnyttelsen i transportmidlerne samt at skifte fra bil til kollektiv trafik og cykel. Endelig kan man styre efterspørgslen af transport og ved at nedbringe transportens omfang vil CO2-udledningen også blive reduceret.

Der er gennemført en del vurderinger af effekterne af forskellige trafikale virkemidler på transportsektoren og på dens CO2-udledninger. Udfordringen er ofte, at virkemidlerne gennemføres på forskelligt grundlag og derfor ikke kan sammenlignes og anvendes samlet.

I Teknologirådets udbygning af modellen valgte man at anvende et EU-studie, hvor der var en række trafikale virkemidler beskrevet, baseret på ekspertvurderinger af effekten på transportsektoren. Ved en nærmere gennemgang af disse effektvurderinger er det imidlertid klart, at det er ret afgørende, hvordan udgangspunktet er. For eksempel vil man med høj sandsynlighed overvurdere effekten af at bygge cykelinfrastruktur i en dansk kontekst, hvor der allerede er en rimelig veludbygget cykelinfrastruktur.

Transportministeriet udgav i 2008 en intern rapport, baseret på et større analysearbejde fra COWI. I vores beregninger har vi erstattet de trafikale effekter for de virkemidler, der oprindelig var i Teknologirådets model med vurderingerne fra COWI og Transportministeriet, da vi vurderer, at de i højere grad tager udgangspunkt i danske forhold.

Vi har i dette projekt alene introduceret den samlede pakke af virkemidler og ikke gået meget detaljeret til værks med hensyn til at anvende de enkelte virkemidler i tid og sted Vi har heller ikke set nærmere på de regionale effekter af at introducere disse virkemidler
Det skal desuden bemærkes, at en række af disse virkemidler er vurderet ganske anderledes i forbindelse med Klimaplanen. Vi har imidlertid anvendt denne lidt ældre kilde, fordi den vurderer en bredere vifte af virkemidler end i Klimaplanen.

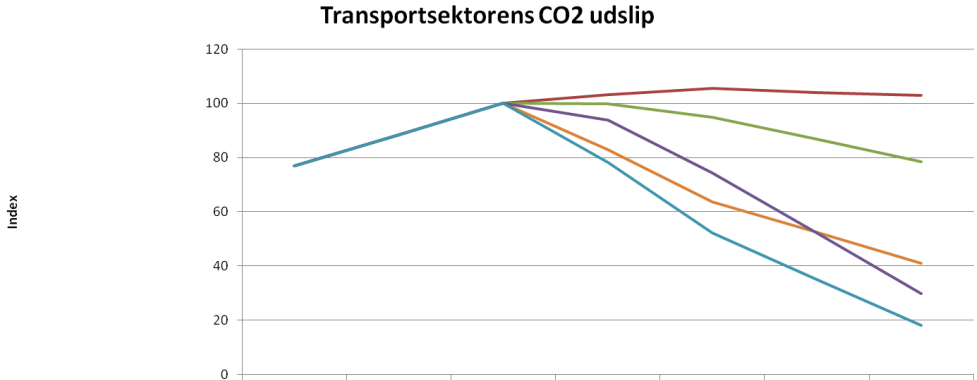
| Virkemiddel | CO2-reduktion i 1000 tons i 2020 |
|---|---|
| Brændstofafgift 40 øre/l | 360 |
| Roadpricing | 1930 |
| Afskaffe befordringsfradrag | 560 |
| Hastighedsbegrænsning på 110 km/t på motorveje | 135 |
| Energirigtig kørsel | 83 |
| Grønne offentlig indkøb af transport og køretøjer | 85 |
| Cykelinfrastruktur | 50 |
| Fysisk planlægning | 190 |
| Afskaffe skattefordele for firmabiler | 262 |
| Styrke intermodalitet i godstransport | 21 |

*Tabel 5: Anvendte virkemidler og deres potentiale for reduktion af CO2-udlediningen. (7)*

Med udgangspunkt i det angivne reduktionspotentiale er det vurderet, hvor stor den procentvise reduktion i trafikarbejdet er i de forskellige år, både for persontransport og godstransport. Der er store usikkerheder med hensyn til disse potentialer, da effekten vil afhænge meget af, hvordan man konkret implementerer disse tiltag. I dette projekt skal pakken af virkemidler primært opfattes som en række nationale initiativer, der kan gennemføres for at reducere transportsektorens CO2-udledning som supplement til introduktionen af renere teknologier.

I det følgende er det vurderet, hvordan denne kombination af virkemidler påvirker de to scenarier, vi allerede har regnet på.

I figur 15 ses CO2-udledningen fra det moderate og det ambitiøse scenarie, hvor der i begge tilfælde er introduceret den samme virkemiddelpakke, der omfatter alle ovenstående virkemidler.




| | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BAU | 77 | 88 | 100 | 103 | 105 | 104 | 103 |
| Moderat scenarie | 77 | 88 | 100 | 100 | 95 | 87 | 78 |
| Moderat scenarie + virkemidler | 77 | 88 | 100 | 83 | 64 | 52 | 41 |
| Ambitiøst scenarie | 77 | 88 | 100 | 94 | 74 | 52 | 30 |
| Ambitiøst scenarie + virkemidler | 77 | 88 | 100 | 78 | 52 | 35 | 18 |

*Figur 15 : CO2-udledningen fra transportsektoren i de to scenarier med og uden introduktion af en pakke af trafikale virkemidler.*

I det ambitiøse scenarie med de trafikale virkemidler vil den samlede CO2-reduktion blive på over 80 %. Virkemidlerne bidrager her med ca. 10 procentpoint. I det moderate scenarie med de trafikale virkemidler bliver den samlede CO2-reduktion på ca. 60 %, og virkemidlerne bidrager med næsten 40 % af denne reduktion. Det skyldes, at de fleste af de trafikale virkemidler har den effekt, at de begrænser personbiltrafikken, effektiviserer transporten og giver incitamenter til at vælge de transportmidler med mindst CO2-udledning. I det ambitiøse scenarie, hvor en stor del af trafikken allerede er baseret på CO2-neutrale teknologier, vil der derfor ikke være den store CO2-effekt af at begrænse trafikarbejdet, eller påvirke bilkøb i en retning mod mindre og grønnere biler. I det moderate scenarie, hvor en større del af trafikken kører på benzin og diesel, vil disse virkemidlers effekt på transportarbejdet have en større effekt på CO2-udledningen.

Man kan derfor sige, at hvis lavemissionsteknologier og brændstoffer ikke kommer på markedet, vil der være en væsentlig effekt på CO2-udledningen af at introducere trafikale virkemidler, der både reducerer efterspørgslen efter transport samt effektiviserer og påvirker valget af transportmiddel. Denne type af virkemidler vil have betydelig mindre effekt på CO2-udledningen, hvis de introduceres som supplement til en effektiv indfasning af teknologier med lav CO2-emission. Den hastighed hvormed omstillingen af transportsektoren vil ske viser sig i scenarierne at være afgørende, og det er derfor relevant at overveje både indfasning og udfasning af trafikale virkemidler. Der kan imidlertid være perioder, hvor de trafikale virkemidler vil have en nødvendig midlertidig effekt på transportsektorens CO2-udledning.

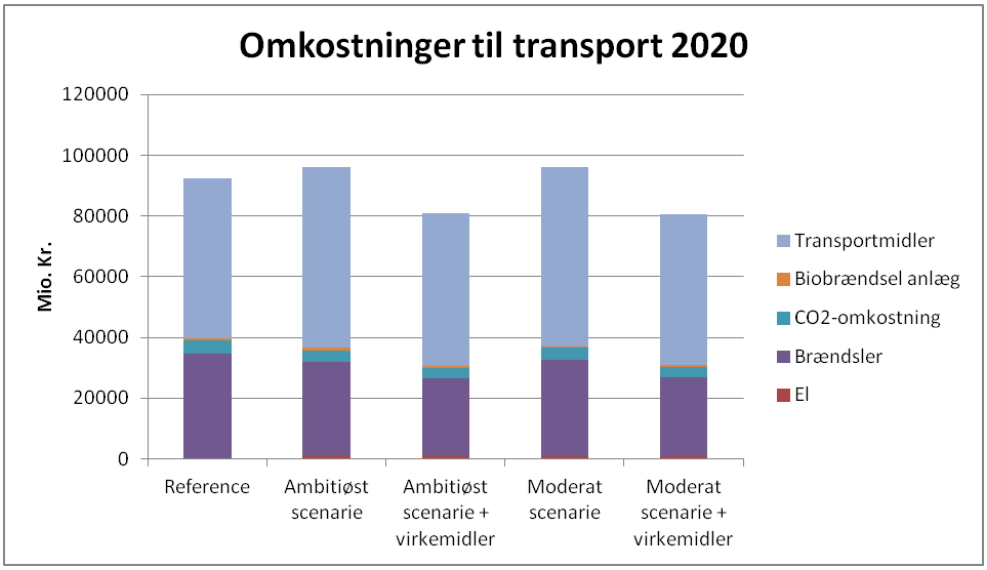
# 9. Økonomi

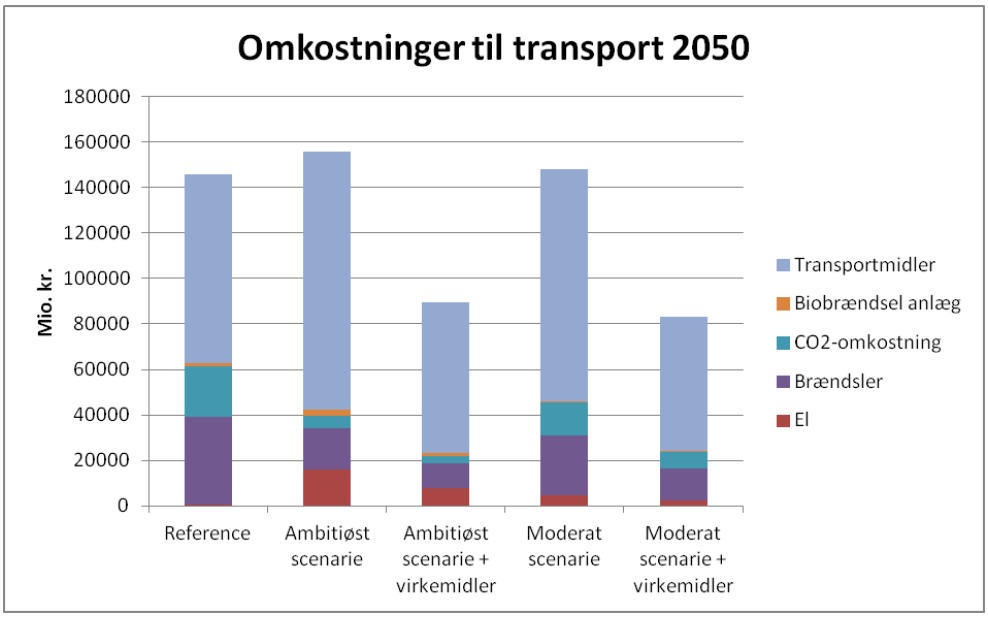
I modellen indgår en overordnet vurdering af nogle af de samfundsøkonomiske effekter af de forskellige scenarier. Der indgår følgende elementer i vurderingerne:

*Brændstoffer:* Benzin, diesel, naturgas mv.
*Transportmidler:* Biler, toge, fly mv.
*El:* Vindmøller mv.
*CO2-omkostninger:* En CO2-pris, der pålægges fossile brændsler i klimakommissionens arbejde.
*Biobrændsler:* Anlæg til at producere biobrændsler.

Der er således ikke tale om egentlige samfundsøkonomiske omkostninger, idet hverken eksterne omkostninger, i form af forurening, trængsel eller trafikanters tidsforbrug indgår. Der er alene tale om at sammenligne nogle overordnede økonomiske parametre ved en omstilling af energisystemet. Omkostninger til transportinfrastruktur indgår heller ikke i beregningen. I Teknologirådets analyse blev der gennemført en vurdering af, hvor meget ny jernbaneinfrastruktur, der var nødvendig for at etablere et rimeligt alternativ til vejtrafikken, der med de trafikale virkemidler bliver væsentligt reduceret. Resultatet var, at det aktuelle årlige investeringsniveau er tilstrækkeligt i alle tilfælde, idet der vil være mindre behov for nye vejinvesteringer, når der skal ske en markant satsning på jernbane. Det er derfor acceptabelt at udelade også denne effekt ved sammenligning af scenariernes omkostninger.

I figur 16 ses hovedeffekterne fra de to scenarier med og uden de trafikale virkemidler i 2020 og 2050.






*Figur 16: Omkostninger ved de to scenarier henholdsvis med og uden en pakke af trafikale virkemidler, henholdsvis i 2020 og 2050.*

Det ses, at den helt afgørende omkostning er transportmidlerne. I de scenarier, hvor transportefterspørgslen reduceres, bliver omkostningerne til transportmidler mindre. I 2020 vil der i alle scenarier være betydelige omkostninger til brændstoffer, og der er kun meget små forskelle på omkostninger til biobrændsler og el.

I 2050 er transportsektoren vokset, og derfor er også de økonomiske forskelle større. Omkostninger til brændstoffer i de to scenarier uden transportvirkemidler er stort set de samme, uanset om der satses på el og biobrændsler eller der fortsættes på benzin og diesel. Igen i 2050 ses, at den store forskel i omkostninger skyldes omkostningen til transportmidler, og at den alene bliver lavere i de scenarier, hvor transportomfanget begrænses.

Baseret på disse overordnede økonomiske vurderinger er det således ikke af hensyn til økonomi, at man skal undlade at gennemføre en hurtig omstilling af transportsektoren.

## 10. Energikilder og forsyningssikkerhed

I Klimakommissionens arbejde, samt i Teknologirådets rapport om en transportsektor uden kul og olie, var der meget fokus på, hvor meget biomasse man kunne anvende i den danske energisektor. I begge arbejder satte man et loft på 100 PJ ud fra en betragtning om, at hvis alle lande satser på den samme strategi, nemlig at importere meget store mængder biomasse, så kan der opstå mangel på biomasse. Dette vil få priserne til at gå op med negativ effekt på fødevareproduktion og natur.

Siden disse analysearbejder er gennemført, er der kommet langt mere fokus på, at det ikke er al biomasse der er CO2-neutral, og at man kan derfor ikke løse klimaudfordringen ved at anvende store mængder biomasse. Det er ikke en erkendelse, der er accepteret alle steder endnu, men flere og flere forskeres rapporter bakker op om den. Derfor har vi i denne rapport fokus på at inddele biomasse i 1. og 2. generations biomasse. 2. generation produceres på affald og restprodukter fra landbrug og skovbrug, mens 1. generations biomasse alene er dyrket for at producere biomasse. Biomasse dyrket med det formål at producere energi, som for eksempel majs eller hvede til biogas udleder lige så meget CO2 som naturgas. Det giver derfor ikke mening at dyrke store mængder afgrøder for derefter at producere energi til transportsektoren, med mindre udbyttet per ha øges betragteligt. En yderligere beskrivelse af disse beregninger findes i rapporten "Klimapåvirkning fra biomasse og andre energikilder" (CONCITO,2013).

Spørgsmålet om biomasse kommer derfor til at dreje sig om, hvor meget 2.generation biomasse, der findes, og hvor meget af det, der kan udnyttes i transportsektoren.

Elektrificering af transportsektoren baseret på vindkraft vil også bidrage til at øge forsyningssikkerheden, da man reducerer afhængigheden af importeret naturgas og olie fra steder, man ikke har politisk tillid til. Man skal dog være opmærksom på, at man, med den fluktuerende energiforsyning som vind er, vil sikre en større forsyningssikkerhed med et veludbygget transmissionsnet til alle nabolande.

# 11. Konklusioner

På baggrund af de gennemførte analyser, kan det konkluderes, at det er afgørende for omstillingen af transportsektoren, hvor hurtigt man indfaser teknologier med lave CO2-udledninger.

Effekten af at indfase el hurtigt eller langsomt, eller at indfase brint, giver en forskel i CO2-udledningen i 2050 på 25 procentpoint. Dette er, fordi brintindfasning og langsom el-indfasning begge giver en reduktion af CO2-udledningen på ca. 25 %, mens en hurtig indfasning af el-køretøjer giver en udledning på ca. 50 %. Det giver først mening at udnytte brint, når der er meget VE-el i systemet, og det er derfor først for alvor realistisk at indfase i løbet af 2020'erne.

Der er relativt begrænsede mængder af 2.generations biomasse tilgængelige for transportsektoren. Forskellen på et højt og et lavt potentiale vurderes at give en forskel på ca. 13 % af transportsektorens CO2-udledning. Et optimistisk potentiale vil reducere CO2-udledningen med 18 %, Det er hensigtsmæssigt at anvende den biomasse, der er tilgængelig for transportsektoren, i de dele af sektoren, hvor der ikke kan anvendes andre klimavenlige brændstoffer, som f.eks. fly.

I det ambitiøse scenarie, hvor alle forhold forbundet med at introducere nye teknologier med lave CO2-udledninger er til stede, kan man opnå en reduktion af transportsektorens samlede CO2-udledning på ca. 70 % frem til 2050. Det skal understreges, at denne reduktion kun opnås med meget fordelagtige rammebetingelser. Indførelse af trafikale virkemidler, der yderligere reducerer transportens CO2-udledning, har begrænset effekt i dette scenarie. Dette er fordi de i høj grad begrænser personbiltrafiken, som i 2050 stort set er drevet af VE-el og derfor ikke vil have nogen væsentlig effekt på CO2-udledningen.

En mere realistisk indfasningstakt er vurderet i det moderate scenarie. Det fører til en reduktion af transportsektorens CO2-udledning på godt 20 % ved alene at indfase klimavenlige teknologier. I dette scenarie, hvor der stadig i 2030 og 2050 kører en del køretøjer på benzin og diesel, vil introduktionen af en række trafikale virkemidler have stor effekt på CO2-udledningen gennem at reducere efterspørgslen på transport og give incitament til at skifte transportmiddel.

Helt overordnede vurderinger af økonomien i de opstillede scenarier viser, at den afgørende faktor er omkostninger til køretøjer. I scenarierne, hvor der ikke gennemføres trafikale virkemidler, er denne omkostning høj, mens den er lavere, hvis transportefterspørgslen reduceres. Omkostningen til brændstoffer er nogenlunde den samme, uanset om man kører på benzin og diesel og betaler en CO2-afgift, eller kører på el og biomasse, der kræver investeringer i vindmøller mv.

Hovedkonklusionen er, at det vil være hensigtsmæssigt at definere en række $CO_2$-mål på vejen mod den klimavenlige transportsektor. Hvis teknologiudviklingen og indfasningen af de klimavenlige teknologier sker så hurtigt, at de overordnede mål kan nås, er der ikke ud fra en klimamæssig synsvinkel grund til at begrænse transportefterspørgslen. Hvis indfasning af $CO_2$-neutrale teknologier derimod går langsomt, kan det være nødvendigt at reducere efterspørgslen på transport og øge incitamenterne til at skifte transportmidler i perioder, indtil indfasning af klimavenlige teknologier tager fart.

## 12. Kilder


1. Biomasseudnyttelse i Danmark - potentielle ressourcer og bæredygtighed, DCA-Nationalt center for fødevare og jordbrug, December 2013

2. Breaking the biomass bottleneck of the fossil free society, CONCITO, Henrik Wenzel, 23. September 2010

3. Dansk transport uden kul og olie, Teknologirådet, januar 2011, samt bilag

4. Grøn energi – vejen til et dansk energisystem uden fossile brændsler, Klimakommissionen 28. september 2010

5. Hurtigere indfasning af grønne køretøjsteknologier, CONCITO, 23. januar 2012
6. http://www.streammodel.org/

7. Internt notat fra Transportministeriet om CO2 effekter af trafikale virkemidler, 2008

8. Klimapåvirkningen fra biomasse og andre energikilder, CONCITO 1. juli 2013

# Bilag 1 Forudsætninger for modelberegninger

Dette bilag indeholder forudsætninger for følgende beregninger:

- Brintscenarie
- Elbilsscenarie med hurtigt indfasning
- Elbilsscenarie med langsom indfasning
- Biomasseoptimistisk scenarie med 47 PJ 2. generations biomasse
- Biomassepessimistisk scenarie med 7 PJ 2. generations biomasse
- Et ambitiøst scenarie
- Et moderat scenarie

| | Brintscenarie | | | Hurtig elindfasning | | | Langsom elindfasning | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Persontransport** | Andel af transportarbejde | | | Andel af transportarbejde | | | Andel af transportarbejde | | |
| **Personbil** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** |
| Elbil | 0% | 0% | 0% | 8% | 25% | 63% | 2% | 10% | 29% |
| Brændselscelle | 0% | 10% | 40% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Plugin hybrid | 0% | 0% | 0% | 3% | 25% | 37% | 2% | 10% | 29% |
| Bioethanol | 4% | 4% | 0% | 4% | 4% | 0% | 4% | 4% | 0% |
| Biodiesel | 4% | 4% | 0% | 4% | 4% | 0% | 4% | 4% | 0% |
| Biogas | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Benzin | 37% | 34% | 24% | 34% | 17% | 0% | 35% | 29% | 19% |
| Diesel | 55% | 48% | 36% | 47% | 25% | 0% | 53% | 43% | 23% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Bus** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** |
| Elbus | 0% | 0% | 0% | 8% | 25% | 63% | 2% | 10% | 29% |
| Brændselscelle | 0% | 10% | 40% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Hybrid | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 20% | 0% | 0% | 10% |
| Biobrændsler | 4% | 4% | 0% | 4% | 4% | 0% | 4% | 4% | 0% |
| Biogas | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Naturgas | 3% | 7% | 0% | 3% | 7% | 0% | 3% | 7% | 0% |
| Diesel | 93% | 79% | 60% | 85% | 64% | 17% | 91% | 79% | 61% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Tog** | | | | | | | | | |
| EL | 64% | 78% | 100% | 64% | 78% | 100% | 64% | 78% | 100% |
| Biodiesel | 5% | 10% | 0% | 5% | 10% | 0% | 5% | 10% | 0% |
| Diesel | 31% | 12% | 0% | 31% | 12% | 0% | 31% | 12% | 0% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Fly** | | | | | | | | | |
| Biobrændsler | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Brint | 0% | 5% | 25% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| JP1 | 100% | 95% | 75% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Skib** | | | | | | | | | |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

| Godstransport | Andel af transportarbejde | | | Andel af transportarbejde | | | Andel af transportarbejde | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Lastbil** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** |
| Brændselscelle | 0% | 10% | 40% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 1% |
| Hybrid | 0% | 0% | 0% | 8% | 25% | 63% | 2% | 10% | 29% |
| Biobrændsler | 2% | 2% | 0% | 2% | 2% | 0% | 2% | 2% | 0% |
| Biogas | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Naturgas | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 98% | 88% | 60% | 90% | 73% | 36% | 96% | 88% | 70% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Varebil** | | | | | | | | | |
| Brændselscelle | 0% | 10% | 40% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Hybrid | 0% | 0% | 0% | 8% | 25% | 63% | 2% | 10% | 29% |
| Bioethanol | 2% | 2% | 0% | 2% | 2% | 0% | 2% | 2% | 0% |
| Biodiesel | 2% | 2% | 0% | 2% | 2% | 0% | 2% | 2% | 0% |
| Benzin | 21% | 19% | 13% | 17% | 11% | 7% | 19% | 16% | 11% |
| Diesel | 75% | 67% | 47% | 71% | 60% | 30% | 75% | 70% | 60% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Tog** | | | | | | | | | |
| EL | 95% | 95% | 99% | 95% | 95% | 99% | 95% | 95% | 99% |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 5% | 5% | 1% | 5% | 5% | 1% | 5% | 5% | 1% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Fly** | | | | | | | | | |
| Biobrændsler | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| JP1 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Skib** | | | | | | | | | |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Fiskeri, landbrug og militær** | | | | | | | | | |
| El | 0% | 0% | 0% | 5% | 20% | 35% | 2% | 5% | 15% |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Bioethanol | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 88% | 88% | 88% | 88% | 74% | 61% | 91% | 84% | 76% |
| Benzin | 12% | 12% | 12% | 7% | 6% | 4% | 7% | 11% | 9% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

| | Biooptimistisk | | | Biopessimistisk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Persontransport** | Andel af transportarbejde | | | Andel af transportarbejde | | |
| **Personbil** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** |
| Elbil | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Brændselscelle | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Plugin hybrid | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Bioethanol | 4% | 4% | 0% | 4% | 4% | 0% |
| Biodiesel | 4% | 4% | 0% | 4% | 4% | 0% |
| Biogas | 5% | 12% | 17% | 5% | 12% | 17% |
| Benzin | 35% | 27% | 12% | 35% | 27% | 12% |
| Diesel | 52% | 53% | 71% | 52% | 53% | 71% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Bus** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** |
| Elbus | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Brændselscelle | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Hybrid | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Biobrændsler | 4% | 4% | 0% | 4% | 4% | 0% |
| Biogas | 8% | 25% | 60% | 8% | 25% | 60% |
| Naturgas | 4% | 25% | 37% | 4% | 25% | 37% |
| Diesel | 84% | 46% | 3% | 84% | 46% | 3% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Tog** | | | | | | |
| EL | 64% | 78% | 100% | 64% | 78% | 100% |
| Biodiesel | 5% | 10% | 0% | 5% | 10% | 0% |
| Diesel | 31% | 12% | 0% | 31% | 12% | 0% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Fly** | | | | | | |
| Biobrændsler | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Brint | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| JP1 | 100% | 100% | 50% | 100% | 100% | 50% |
| Total | 100% | 100% | 50% | 100% | 100% | 50% |
| **Skib** | | | | | | |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

| Godstransport | Andel af transportarbejde | | | | Andel af transportarbejde | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Lastbil** | **2020** | **2030** | **2050** | | **2020** | **2030** | **2050** |
| Brændselscelle | 0% | 0% | 1% | | 0% | 0% | 1% |
| Hybrid | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| Biobrændsler | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| Biogas | 8% | 25% | 60% | | 8% | 25% | 60% |
| Naturgas | 4% | 25% | 36% | | 4% | 25% | 36% |
| Diesel | 88% | 50% | 3% | | 88% | 50% | 3% |
| Total | 100% | 100% | 100% | | 100% | 100% | 100% |
| **Varebil** | | | | | | | |
| Brændselscelle | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| Hybrid | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| Bioethanol | 2% | 2% | 0% | | 2% | 2% | 0% |
| Biodiesel | 2% | 2% | 0% | | 2% | 2% | 0% |
| Benzin | 21% | 21% | 23% | | 21% | 21% | 23% |
| Diesel | 75% | 75% | 77% | | 75% | 75% | 77% |
| Total | 100% | 100% | 100% | | 100% | 100% | 100% |
| **Tog** | | | | | | | |
| EL | 95% | 95% | 99% | | 95% | 95% | 99% |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 5% | 5% | 1% | | 5% | 5% | 1% |
| Total | 100% | 100% | 100% | | 100% | 100% | 100% |
| **Fly** | | | | | | | |
| Biobrændsler | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| JP1 | 100% | 100% | 100% | | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | | 100% | 100% | 100% |
| **Skib** | | | | | | | |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 100% | 100% | 100% | | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | | 100% | 100% | 100% |
| **Fiskeri, landbrug og militær** | | | | | | | |
| El | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| Bioethanol | 0% | 0% | 0% | | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 91% | 91% | 91% | | 91% | 91% | 91% |
| Benzin | 9% | 9% | 9% | | 9% | 9% | 9% |
| Total | 100% | 100% | 100% | | 100% | 100% | 100% |

## Forudsætninger for det Ambitiøse og Moderate scenarie:

| | Ambitiøst | | | Moderat | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Persontransport** | **Andel af transportarbejde** | | | **Andel af transportarbejde** | | |
| **Personbil** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** |
| Elbil | 8% | 25% | 63% | 2% | 10% | 29% |
| Brændselscelle | 0% | 5% | 33% | 0% | 0% | 1% |
| Plugin hybrid | 4% | 20% | 4% | 2% | 10% | 28% |
| Bioethanol | 4% | 1% | 0% | 4% | 1% | 0% |
| Biodiesel | 4% | 1% | 0% | 4% | 1% | 0% |
| Biogas | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Benzin | 32% | 19% | 0% | 35% | 30% | 19% |
| Diesel | 48% | 29% | 0% | 53% | 48% | 23% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Bus** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** |
| Elbus | 4% | 10% | 25% | 2% | 10% | 29% |
| Brændselscelle | 0% | 2% | 12% | 0% | 0% | 0% |
| Hybrid | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 10% |
| Biobrændsler | 3% | 3% | 0% | 4% | 1% | 0% |
| Biogas | 4% | 25% | 63% | 0% | 0% | 0% |
| Naturgas | 3% | 7% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 86% | 53% | 0% | 94% | 86% | 61% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Tog** | | | | | | |
| EL | 64% | 78% | 100% | 64% | 78% | 100% |
| Biodiesel | 2% | 0% | 0% | 5% | 10% | 0% |
| Diesel | 34% | 22% | 0% | 31% | 12% | 0% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Fly** | | | | | | |
| Biobrændsler | 8% | 25% | 63% | 0% | 0% | 0% |
| Brint | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| JP1 | 92% | 75% | 37% | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Skib** | | | | | | |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

| Godstransport | Andel af transportarbejde | | | Andel af transportarbejde | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Lastbil** | **2020** | **2030** | **2050** | **2020** | **2030** | **2050** |
| Brændselscelle | 0% | 5% | 25% | 0% | 0% | 0% |
| Hybrid | 4% | 12% | 25% | 0% | 0% | 0% |
| Biobrændsler | 2% | 2% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Biogas | 4% | 12% | 25% | 4% | 10% | 12% |
| Naturgas | 4% | 12% | 25% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 86% | 57% | 0% | 96% | 90% | 88% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Varebil** | | | | | | |
| Brændselscelle | 0% | 5% | 25% | 0% | 0% | 0% |
| Hybrid | 4% | 12% | 25% | 4% | 12% | 25% |
| Bioethanol | 2% | 2% | 0% | 2% | 1% | 0% |
| Biodiesel | 3% | 3% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Benzin | 18% | 17% | 15% | 23% | 20% | 15% |
| Diesel | 73% | 61% | 35% | 71% | 67% | 60% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Tog** | | | | | | |
| EL | 95% | 95% | 99% | 95% | 95% | 99% |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% |
| Diesel | 5% | 5% | 1% | 5% | 5% | 0% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Fly** | | | | | | |
| Biobrændsler | 8% | 25% | 63% | 0% | 0% | 0% |
| JP1 | 92% | 75% | 37% | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Skib** | | | | | | |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| **Fiskeri, landbrug og militær** | | | | | | |
| El | 4% | 12% | 33% | 0% | 0% | 0% |
| Biodiesel | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Bioethanol | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Diesel | 89% | 82% | 63% | 93% | 93% | 93% |
| Benzin | 7% | 6% | 4% | 7% | 7% | 7% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

# Bilag 2 Biomasseressourcer til transportsektoren i 2020 og frem

Biomasse er en begrænset ressource, og der er mange forskellige aktører, der er interesseret i at bruge den. For transportsektoren er brug af biomasse især relevant i forhold til produktion af ethanol fra halm, og produktion af biogas fra bl.a. gylle. Der er en række publikationer om potentialet i Danmark, men også mange forskellige måder at opgøre ressourcen. I denne forbindelse er det vigtigt, at vurdere om en given biomasse, f.eks. til transportsektoren, reelt tages fra en anden sektor eller fra andet brug, så nettoresultatet måske ikke er en fordel ud fra et klimamæssigt synspunkt. Eksempel herpå er f.eks halm, der tages fra kraft-/varmeværker og i stedet bruges til ethanolproduktion eller til produktion af biogas, hvor den samlede udledning af drivhusgasser ikke nødvendigvis reduceres. Det er derfor vigtigt, at biomassen er additionel i forhold til det eksisterende forbrug.

Den seneste rapport om de danske biomasseressourcer er Biomasseudnyttelse i Danmark- potentielle ressourcer og bæredygtighed fra Århus Universitet. Opgørelsen af restbiomasse i Danmark ifølge denne fremgår tabel 1.

| **Biomasse** | **Total biomasse-ressource** | **Udnyttet til energi 2009** |
|---|---|---|
| Halm fra korn | 2,69 | 1,34 |
| Halm fra raps | 0,46 | 0,10 |
| Frøgræshalm | 0,59 | 0,15 |
| Energiskov (pil og poppel) | 0,04 | 0,04 |
| Rapsolie til energi | 0,13 | 0,13 |
| Husdyrgødning | 3,59 | 0,18 |
| Småskove, hegn og haver | 0,70 | 0,70 |
| Eksisterende skov (2010) | 0,93 | 0,93 |
| **Mio. tons tørstof i alt** | **9,02** | **3,56** |

*Tabel 1: Total biomasseressource til potentiel non-food-udnyttelse (mio. tons tørstof), samt biomasseudnyttelsen i 2009 under antagelse af, at der ikke gennemføres ændringer i dagens dyrkningssystemer, høstteknologi eller omfang af fødevareproduktion. Halm til foder og strøelse er fratrukket den potentielle halmressource. (Århus Universitet, 2013).*

Som det fremgår, er det især husdyrgødning og halm med de nuværende dyrkningssystemer, der udgør den ikke-udnyttede ressource, medens f.eks. skov-

bruget er fuldt udnyttet. Det kan udledes af tabellen, at den uudnyttede ressource, målt i tørstof, er ca. 2 mio. tons for halm og ca. 3,4 mio. tons for husdyrgødning.

Fuld udnyttelse af de resterende biomasseressourcer er imidlertid ikke nødvendigvis hensigtsmæssig ud fra forskellige hensyn, herunder klima.
Der er i de lerede danske jorde allerede problemer med jordens kulstofindhold og dermed frugtbarhed pga. en for stor fjernelse af organisk stof, herunder halm. Ifølge et notat fra Århus Universitet fra marts 2012 (”Muligheder for reduceret udledning af drivhusgasser fra dansk landbrug”) er det ikke hensigtsmæssigt at fjerne halm fra mere end yderligere 50-100.000 ha i Danmark. Notatet fremhæver også, at fjernelse af halm i sig selv giver anledning til en $CO_2$-udledning på grund af en lavere kulstoflagring i jorden. Notatet angiver en udledning på 210 kg $CO_2$ for hvert ton halm, der fjernes. Notatet skelner mellem et moderat og et ambitiøst scenarie for yderligere fjernelse af halm på henholdsvis 50.000 og 100.000 ha, svarende til en tørstofmængde på 0,15-0,3 mio. tons. Denne reelt tilgængelige ressource er altså væsentlig mindre end den teoretisk tilgængelige ressource (ca. 10 % af den teoretisk tilgængelige).

Ud fra dette kriterium, og under forudsætning af at der ikke må fjernes ressourcer fra eksisterende anvendelse, er den resterende halmressource altså relativt begrænset, hvad enten den skal anvendes til produktion af ethanol eller til biogas sammen med gylle.

Den anden ressource med relativt store reserver er husdyrgødningen. Her har Energistyrelsen i en foreløbig rapport publiceret en tabel (tabel 2) med de skønnede potentialer.

| | 2012 | 2020 | Revideret potentiale | Metan-udbytte (Nm³/ton) |
|---|---|---|---|---|
| Gylle | 14,4 | 13,7 | 13,7 | 12 |
| Dybstrøelse | 6,6 | 6,3 | 6,3 | 54 |
| Fast staldgødning | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 43 |
| Ajle | 0,0 | - | - | 4 |
| Halm | 11,5-26,3 | 14-31,3 | 11,5 | 222 |
| Efterafgrøder | 0,3-0,4 | 1-1,2 | 1,1 | 25 |
| Naturarealer | 2,2-3,2 | 2,2-3,2 | 2,7 | 144 |
| Randzoner | 0,5-1,3 | 0,5-1,3 | 0,9 | 60 |
| Grøftekanter | 0,1-0,6 | 0,1-0,6 | 0,3 | 55 |
| Have-parkaffald | 0,4-0,9 | 0,4-1 | 0,7 | 47 |
| Akvatiske biomasser | 0-0,1 | 0-0 | 0,0 | 25 |
| Husholdningsaffald | 2,6-3,5 | 2,6 – 3,5*- | 1,6 | 95 |
| Organisk industriaf-fald | 2,5**- | 2,5** | 2,0 | 121 |
| Energimajs | - | 3,6 | 1,8 | 100 |
| Energiroer | - | 3,1 | 1,5 | 76 |
| Kløvergræs | - | 2,5 | 1,2 | 41 |
| Roetopensilage | 1,3-2,1 | 2,2-3,6 | 2,9 | 34 |
| | | | | |
| **Total** | **43-62** | **55 - 78** | **48,3** | **31** |

Tabel 2: Foreløbig opgørelse fra Energistyrelsen over potentialer til biogasproduktion, målt i PJ.

I denne opgørelse ses en relativ stor ressource i gylle, som dog ikke kan udnyttes uden samtidig tilsætning af organisk stof. Rapporten peger her især på halm og dybstrøelse. I opgørelsen af halmressourcen antages at 40 % af den samlede halmressource i Danmark kan bruges til biogasproduktion. Dette svarer til de 40 %, der ikke indsamles i dag. I opgørelsen er der dog ikke taget hensyn til de ovenfor beskrevne jordtekniske forbehold, hvilket vil kunne reducere den tilgængelige mængde betydeligt.

Det er ligeledes usikkert, hvor stor en del af dybstrøelsen der reelt kan bruges til biogasproduktion, både ud fra kvalitetsmæssige, tekniske, logistiske og prismæssige kriterier, som peget på i rapporten fra Energistyrelsen.
Hvis dyrkningsmetoder ændres, vil halmressourcen imidlertid kunne forøges, men det er usikkert, hvilke prismæssige incitamenter der skal til for, at dette sker.

Man kan f.eks. ændre sortsvalg for hvede med højere halmudbytte, dog med en vis risiko for lejesæd (korn der lægger sig ned) eller ændre kornsorter fra hvede til tricitale og rug. Det er også muligt at forbedre selve bjærgningen af halmen. Samlet vil dette skønsmæssigt kunne give yderlige ca. 1 mio tons tørstof/år, som i form af biogas vil svare til ca. 7 PJ. Det vil samtidig give mulighed for yderligere forgasning af husdyrgødning på et tilsvarende niveau, hvis halvdelen af gassen antages at komme fra gyllen.

Det skal dog understreges, at en sådan transformation af sorter i landbruget ikke er særlig sandsynlig – og slet ikke inden 2020 - med mindre de økonomiske incitamenter styrkes betydeligt, og at støtten til biogas dermed øges. Det skal også understreges, at det er usikkert om så meget brug af halm i biogasproduktionen er realistisk, idet der er væsentlige logistiske og procesmæssige problemer forbundet med det.

På kortere sigt er det mest hensigtsmæssige derfor at bruge dybstrøelse, som i dag er en delvist ikke-anvendt ressource, og derfor kun konkurrerer delvis med andre anvendelser. Dybstrøelsen kan ifølge Energistyrelsen give godt 6 PJ (+ den deraf følgende merudnyttelse af gyllen), men det er usikkert hvor stor en andel af ressourcen, der i praksis kan anvendes.
Samlet set er det reelle potentiale for brug af biomasse i transportsektoren relativt begrænset med de eksisterende dyrkningsmetoder. Det vurderes til højest 10 PJ i perioden inden 2020. Dette forudsætter, at væksten i biogasproduktionen reserveres til transportsektoren, og at der dermed ikke vil være ressourcer tilbage til produktion af bioethanol eller til kraftvarmesektoren. Det forudsætter også en del teknologisk udvikling, og det kan derfor meget vel vise sig, at den reelle ressource, der kan reserveres til transport, i 2020 kun vil være omkring 5 PJ.