

# Transportsektorens CO<sub>2</sub>-udfordring

Temanummer: Klimakrisen – de næste skridt

CO<sub>2</sub>-udledningen fra transportsektoren i Danmark er steget siden 1990, og forventningen er, at udledningen fra denne sektor vil stå for den største andel i de kommende år i Danmark. Umiddelbart er det vanskeligt at pege på lette løsninger for transportsektoren. Dels fordi de tekniske løsninger endnu ikke har nået samme gennembrud som i mange andre sektorer, og dels fordi der også fremover kan forventes en stigning i transportarbejdet. Transport påvirker alle dele af samfundet og effektiv mobilitet er afgørende for et velfungerende samfund med udviklingsmuligheder, og det er derfor vigtigt fortsat at sikre denne mobilitet. Håndtering af transportsektorens CO<sub>2</sub>-udledning vil derfor forventeligt skulle bestå af en række løsninger, som giver en kombination af efterspørgselsregulering og fortsat tekniske fremskridt. I denne artikel gives et overblik over transportsektorens CO<sub>2</sub>-udfordring og beskriver mulige konkrete løsninger.

Transportsektoren er den eneste større sektor i Danmark, hvor CO<sub>2</sub>-udledningen er steget siden 1990 og ligefrem fortsat er stigende (Energistyrelsen, 2017). Sektoren har i 2017 overhalet energisektoren som den mest CO<sub>2</sub>-udledende sektor (Drivkraft Danmark, 2019). Fortsætter denne trend, vil CO<sub>2</sub>-udledningen fra transportsektoren i 2030 udgøre 40 % af Danmarks nuværende CO<sub>2</sub>-udledning, og mens forskellige planer for reduktion af CO<sub>2</sub> sandsynliggør store reduktioner i andre sektorer, er det vanskeligere at pege på løsninger for transportsektoren, f.eks. vil sektoren i Dansk Industris nylige plan (2019) bidrage med en endnu større andel af CO<sub>2</sub>-udledningen i 2030.

## Hvorfor stiger transportsektorens CO<sub>2</sub>-udledninger?

Der har historisk været en tæt sammenhæng mellem økonomisk vækst og vækst i transport, og denne sammenhæng ses stadig (se f.eks. Transportministerens Ekspertgruppe Mobilitet for fremtiden, 2018). Vi forbruger mere, når vi får bedre råd; både af varer, som kræver transport i produktion og distribution, og af fritidsaktiviteter, som også ofte kræver transport. Denne øgede efterspørgsel efter transport giver sig også udslag i øget trængsel, i Danmark for vejtransport primært i de store byer såvel som på det overordnede vejnet mellem disse (Trængselskommissionen 2013, Transportministerens Ekspertgruppe, 2018), i takt med at en større andel af befolkningen bor i byerne.

Hvad angår personbiltrafik er bilejerskabet steget, og omvendt proportionalt dermed er antallet af personer per bil per tur faldet.<sup>1</sup> Der er ydermere sket et skred mod køb af større og mere komfortable biler, f.eks. med aircondition, der har modsvaret effektiviseringer i brændstoføkonomi.<sup>2</sup>



**OTTO ANKER  
NIELSEN**

Professor,  
DTU Management,  
Institut for Teknologi,  
Ledelse og Økonomi



**NINETTE  
PILEGAARD**

Seniorforsker,  
DTU Management,  
Institut for Teknologi,  
Ledelse og Økonomi

Den kollektive trafik har haft svagt faldende markedsandele (Christensen og Baeschu, 2019), og de fleste analyser viser, at store investeringer i kollektiv trafik alene kun har begrænset effekt på transportmiddelvalg, trængsel og CO<sub>2</sub>-udledning (Trængselskommissionens scenario analyser, 2013).

Flytrafikken har globalt set haft stor vækst, og denne overstiger langt energi-effektiviseringen af fly. Bl.a. for at dæmpe denne vækst har nogle lande som Frankrig, Kina og Japan har anlagt effektive net af (eldrevne) højhastighedsbaner, mens Tyskland og Sverige har ”semihurtige tog”, der har vundet store markedsandele for togtrafikken. Danmark har ikke tilsvarende mange store byer, og det er svært at få tilsvarende god drifts- og samfundsøkonomi i baneinvesteringer. Politiske beslutninger om mange lokale standsninger selv for såkaldte lyntog giver derudover en ringere driftsøkonomi og længere rejsetider for de store rejserelationer.

Inden for godstransport har den internationale arbejdsdeling og globalisering medført stigende transportarbejde. Godstransportsektoren er karakteriseret ved høj konkurrence, og transportomkostningerne udgør derfor for de fleste varer kun en lille del af de samlede omkostninger. I Danmark er godstransporten overvejende lastbilbaseret.

På EU-plan stammer 72 % af CO<sub>2</sub>-udledningen fra vejtransport, 14 % fra søfart og 13 % fra fly.<sup>3</sup>

### **Hvordan vendes udviklingen?**

Der er få lette løsninger i transportsektoren, idet tekniske løsninger ikke har nået samme gennembrud som i andre sektorer, samtidig med at der som nævnt er sket en kraftig stigning af transportarbejdet. Mobilitet og transport er afgørende for effektive arbejdsmarkeder og erhvervsliv, ligesom for fritidsaktiviteter, og hvis mobiliteten bliver for ringe, fordi transporten er for dyr og tidskrævende, har det negative konsekvenser for samfundets muligheder for udvikling.

I det følgende vil vi ikke desto mindre gennemgå mulige konkrete løsninger, der vil være en kombination af efterspørgselsregulering og tekniske fremskridt. Disse ligger inden for de overordnede hovedstrategier som det internationale energiagentur har peget på (IEA, 2018), som udfoldet i DTU (2019);

- Undgå og reducer transportaktiviteter
- Skift til mere effektive transportmidler
- Forbedre transportteknologier, brændstofeffektivitet og infrastrukturen

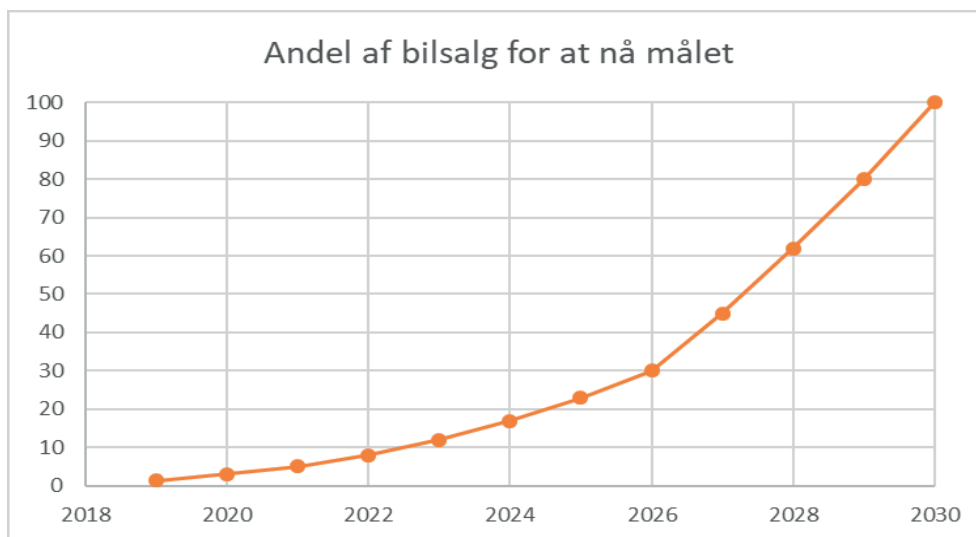
### **Elbiler**

Den tidligere Regering nedsatte en kommission for grøn omstilling af personbiler (Finansministeriet, 2019), der har det ambitiøse kommissorium, at levere en strategi for, hvordan man kan nå målet om stop for salg af biler med konventionelle forbrændingsmotorer fra 2030 (fra 2035 hybridbiler), samt at

der er 1 million elbiler på vejene i 2030. Dette skal ses i lyset af, at der hidtil i 2019 blot har været et salg på ca. 4.500 elbiler,<sup>4</sup> hvilket svarer til lidt over 2 % af det samlede bilsalg. Selvom salget af elbiler de seneste år udviser en markant stigende tendens, og således udgør knap 2,5 % af det samlede bilsalg i 2. halvår af 2019 mod knap 1 % i 2. halvår af 2018,<sup>5</sup> er der behov for en radikal ændring af bilmarkedet og hurtig omstilling, såfremt denne målsætning skal nås, som skitseret i figur 1.

En særlig problemstilling knytter sig til det høje bilbeskatningsniveau i Danmark. Da elbiler før skat indtil videre er væsentligt dyrere end biler med konventionelle forbrændingsmotorer, vil det alt andet lige påføre billister større udgifter og risikere at medføre ret store afledte effekter for velfærd og fordeling, hvis det samme provenu skal opretholdes. Samtidigt vil der skulle ske store samfundsinvesteringer i elnet og ladeinfrastruktur, der afhængigt af hvor smart det prissættes og styres kan have meget forskellige omkostninger (Danske Energi, 2019, Frost m.fl. 2019).

Figur 1 Eksempel på markedsudvikling, der når målet om 1 mio. elbiler i 2030 og 100 % markedsandel af bilsalget i 2030.

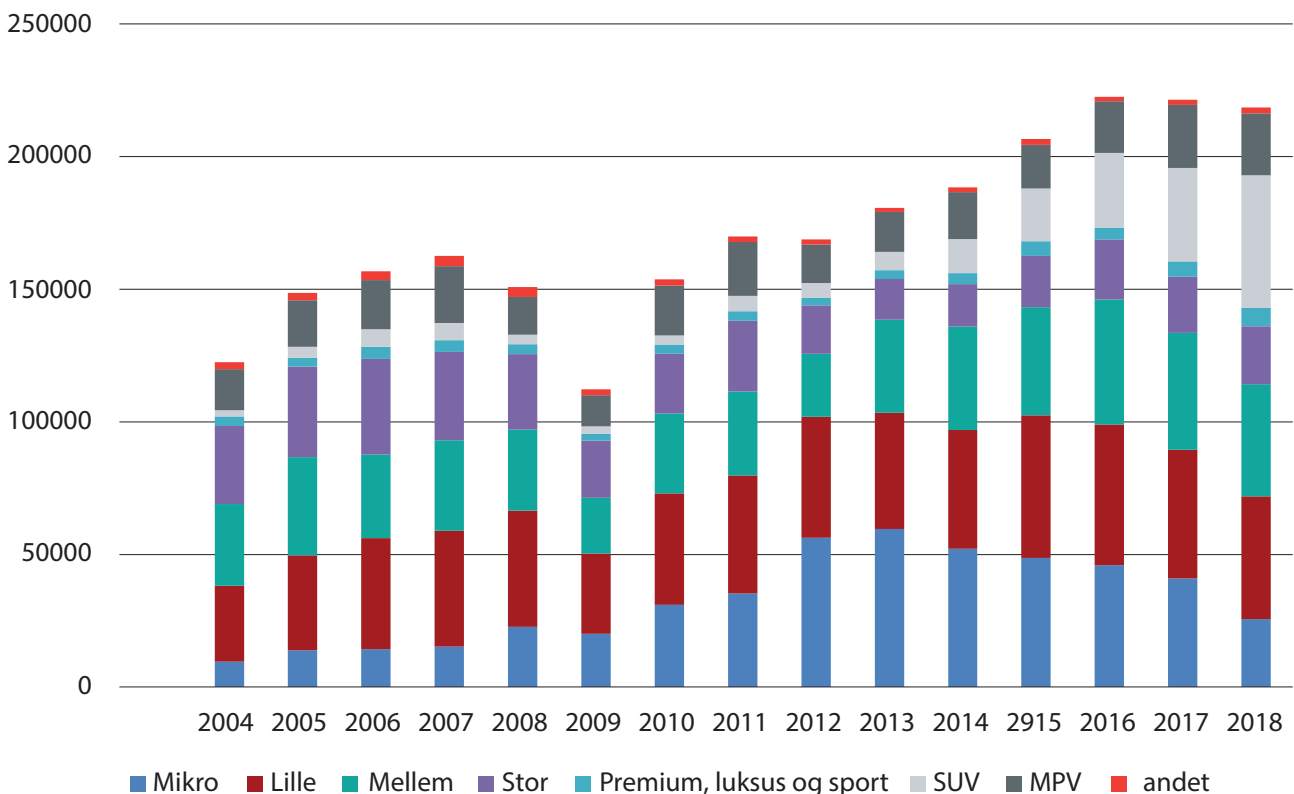


Der sker dog for øjeblikket en hurtig udvikling på elbilmarkedet for især personbiler. Denne udvikling er blandt andet skubbet fremad af Californiens Clean Car Program,<sup>6</sup> der først for alvor rykkede bilindustrien, Kinas politik for hurtig udrulning af elbiler og EU's nye Regulation (EU) 2019/631 om CO<sub>2</sub>-emissionskrav til bilindustrien og meget store bødestørrelser for overskridelser i 2021 target<sup>7</sup>. Udviklingen understøttes af udviklingen af batteriteknologien, der fra 2008 til 2019 har fulgt "Moore's lov" med halveret produktionspris ca. hvert 3,5 år og fordoblet lagerkapacitet hvert 3. år (IEA, 2019). Dette gør, at personbiler i mellemklassen og store biler nu er tæt på at være konkurrencedygtige i forhold til pris og rækkevidde med det nuværende danske skattesystem, hvor der gives væsentlige fordele for elbiler. Imidlertid

udgør biler i disse prisklasser kun omkring 25 % af det nuværende bilmarked (se figur 2).

Mikro- og minibiler (hhv. 10 og 20 % af markedet) er stadig meget dyrere i elversioner og rækkevidden er utilstrækkelig (batterikapaciteten begrænses både af prismæssige årsager og fordi vægt og plads udgør en begrænsning i dette segment). I den anden ende af markedet er der begrænsede alternativer for SUV (ca. 20 % af markedet) og MPV (ca. 10 % af markedet), formentlig pga. pris og rækkeviddeproblematik for disse biltyper.

Figur 2 Udvikling i antallet af nyregistrerede personbiler opdelt på bilsegmenter



Kilde: Danmarks Statistik, Statistikbanken

Som det fremgår af figur 2, er der historisk set ret store udsving i bilsalget, ligesom der er sket ret store forskydninger mellem segmenter i bilmarkedet. Dette er bl.a. affødt af ændringer i bilbeskatning samt den generelle økonomiske udvikling. F.eks. ses effekten af den økonomiske krise tydeligt i faldet i bilsalget i 2008 og 2009, ligesom de senere års lettelser i registreringsafgiften har medført en stigning i salget af de større biler. En regulering, der fremmer flere elbiler, vil formentlig skulle spille på flere tangenter, inkl. omlægning af afgifter for køb, ejerskab og brug af biler og evt. indførelse af nye afgifter såsom vejafgifter.

For at kunne forudse effekterne af ændret bilbeskatning og regulering er der behov for mere viden om og nye prognosemodeller for bilejerskab og -brug, der både forudser effekter på segmenter i markedet, drivmiddel og total efterspørgsel. I den sammenhæng er både rækkevidde og tid for hurtigladning vigtige for at forudse forbrugeradfærd i forhold til elbiler. En positiv ”sideeffekt” af ændrede afgifter på bilmarkedet kan i overgangsperioden være overflytning fra mindre til mere energiøkonomiske biler med forbrændingsmotorer.

En yderligere klima-problemstilling opstår i forbindelse med produktionen af biler. El-bilers daglige kørsel er CO<sub>2</sub>-neutral løsning, såfremt energimikset i strømforsyningen er CO<sub>2</sub>-neutralt, dermed også i det danske klimaregnskab. Set globalt er der dog stadig et betydeligt CO<sub>2</sub>-udslip forbundet med produktion af batterier og biler set i et livscyklusperspektiv (Hauschild, m.fl. 2019), der dog opgøres i producentlandene. Jf. Miotti m.fl. (2016) udleder de små/billige elbiler klart mindst CO<sub>2</sub>, men de små benzinbiler har set i et livscyklusperspektiv og afhængigt af energimikset i elproduktionen samme udledning som de store elbiler.

### Deleøkonomi

Deleøkonomiske koncepter (Haustein og Nielsen, 2015), kombineret med bl.a. smartphone-baserede teknologier kan være med til at udnytte bilparken bedre og reducere biltransportarbejdet (Deloitte, 2014). Men selvom mange ”fremtidsforskere” hævder, at der er en megatrend mod øget deleøkonomi, så er megatrenden i Danmark faktisk stadig øget bilejerskab og færre personer per bil per tur ifølge transportvaneundersøgelsen.

Der er grundlæggende to typer deleøkonomiske koncepter, 1) samkørsel (som i GoMore og FDM’s samkørselsapp) og 2) fleksible måder at leje biler på (f.eks. bybiler som GreenMobility og DriveNow eller privat billeje som GOMore).

Samkørsel kan reducere CO<sub>2</sub>-udslippet, hvis det reducerer antallet af bilture (Boston Consulting Group, 2017, Gate 21, 2014). Dette kræver dog samtidig, at man kan undgå for meget ekstra omkørsel for brugerne. Samkørsel vanskeliggøres af taxiloven og regler for mulig betaling, idet der for chaufføren/bilejeren inden for nuværende regler er begrænset incitament til at tilbyde samkørsel (bortset fra Øst-Vesttrafikken, hvor man kan bruge det som medfinansiering af broafgiften). Ekspertgruppen Mobilitet for Fremtiden (2018) pegede på ændret regulering som et middel til at fremme samkørsel, hvilket både kan give forbedret mobilitet for den del af befolkningen, der ikke har råd til bil (i særlig grad i landområder, der har ringe dækning af kollektiv trafik), og reduceret trængsel.

Delebilordninger og øget brug af billeje giver dog samlet set ikke nødvendigvis en trængsels- eller CO<sub>2</sub>-gevinst, blandt andet fordi det tilbyder billigere bilrådighed til personer, der ikke selv har bil. Hvad enten der er tale om billeje eller services med chauffør (som tidligere Uber), er der risiko for, at det øger

biltrafikken og dermed trængslen på vejnettet. CO<sub>2</sub>-effekten vil afhænge af bilernes drivmidler. Derimod kan færre biler, der udnyttes mere i løbet af dagen, reducere presset for parkering i byerne (Giesel og Nobis, 2016).

Både samkørsel, billeje og i byerne bycykler har dog også potentiale til at sikre en hurtig adgang til den højklassede kollektive transport, og dermed en højere markedsandel herfor. Modsat har det også potentialet til helt at erstatte rejser med den kollektive transport, hvis de ikke er effektive nok.

### **Bystruktur samt integreret planlægning og optimering af kollektiv transport**

Den kollektive trafik har stor markedsandel for rejser, der går mellem destinationer tæt ved en station, f.eks. hvis en pendler både bor og arbejder tæt ved en station. Dette gælder i særlig grad, hvis der er direkte hurtige tog- eller metroforbindelser. Der er således rejserelationer, hvor den kollektive trafik har 80 % markedsandel (ifølge transportvaneundersøgelsen). Til gengæld er markedsandelen lav for ture med destinationer langt fra stationer. I Hovedstadsområdet har den kollektive trafik en gennemsnitlig markedsandel på 31 % for stationsnære rejser mod blot 11 % for stationsfjerne rejser.

Et justeret stationsnærhedsprincip og mere fokuseret politisk styring af byudviklingen som i f.eks. Holland og Singapore vil på langt sigt kunne lede til øgede markedsandele i kollektiv transport og dermed mindre trængsel og CO<sub>2</sub>-udledning/energiforbrug for især Hovedstadsområdet end den nuværende ret spredte udbygning af boliger og arbejdspladser i Københavns forstæder. På makroniveau er der i Europa evidens for, at bystruktur kan understøtte anvendelsen af den kollektive trafik (Ingvardson & Nielsen, 2018), og på mikroniveau, hvordan lokal bystruktur kan fremme cyklisme (Prato m.fl., 2018) og adgangen til kollektiv trafik (Prato m.fl. 2017). Effektiv anvendelse af disse instrumenter kræver dog også mere viden om, hvordan dette påvirker lokaliseringadfærden blandt husholdninger og virksomheder.

Integreret planlægning og optimering af kollektiv transport har potentialet til at udnytte den givne infrastruktur og kørende materiel bedre, så rejsetiden og især skiftetiden reduceres for passagererne, og materiellet og køreplanen i højere grad allokeres efter efterspørgslen.<sup>8</sup>

Bedre planlægning og optimering af den kollektive trafik har således potentiale til at gøre den til et bedre alternativ til biltrafik, end den er i dag inden for eksisterende ressourcer (Parbo, m.fl., 2014 og 2016). Der er sågar eksempler på danske casestudier, der viser, at der både kan opnås tidsbesparelser for passagerer og reducerede driftsomkostninger (Fonseca, m.fl., 2018, Parbo, m.fl. 2018). Forskning i og øget fokus på årsager til banesektorens regularitetsproblemer vil derudover kunne lede til en mere punktlig og dermed attraktiv kollektiv transport, og bedre passagerinformation kan reducere genevirkningerne, når der er driftsforstyrrelser.



Sandsynligvis vil ændrede organisatoriske rammer med færre organisatoriske enheder og mere entydigt ansvar for driften af den kollektive trafik være nødvendige for at realisere ovenstående potentiale (Sørensen og Langva, 2011, Trængselskommissionen, 2013, Det Økonomiske Råd, 2014, Region Hovedstaden, 2017). Eksempler herpå er Ruter i Oslo, Skånetrafikken, Transport for London og Singapore Land Use Authority.

### **Optimeret logistik i godsbranchen og den maritime sektor**

En stor del af transportsektorens CO<sub>2</sub>-udledning kommer fra godstransportbranchen, hvor hovedparten af det (nationale) transportarbejde foregår med lastbiler. Optimering af turmønstre, returlogistik, og multimodale transportkæder er alle efterspørgselsregulerende tiltag, der på relativt kort sigt kan nedbringe sektorens CO<sub>2</sub>-udledning (Larsen & van Woensel, 2019). Citylogistik rummer optimeringspotentiale og kan omlægges til mindre elektriske vare- eller lastbiler, på længere sigt sågar omlægges til selvkørende autonome systemer (van Heeswijk m.fl., 2019). I ”Samarbejdende logistik” samarbejder forskellige transportvirksomheder for at øge udnyttelsesgraden og undgå tomkørsel retur.

I den maritime sektor kan ruteoptimering reducere CO<sub>2</sub>-udledningen både i form af det overordnede netværk, optimering af specifikke ruter ved brug af satellitdata og optimering af sejlhastigheder (Venturini m.fl., 2017). Effektive logistik-kæder og havneoperationer kan gøre maritim transport mere konkurrencedygtig i forhold til dør til dør-lastbiltransport. Forskning i nye drivmidler, herunder elektrofuels, kan på sigt reducere CO<sub>2</sub>-aftrykket fra sektoren.

### **Cykeltrafik**

Danmark er et af de lande med mest cykeltrafik i byerne, og der investeres en del i tiltag til fremme af cyklisme, dog uden at beslutningsgrundlaget er understøttet af velfunderede trafikmodeller og beslutningsstøtteværktøjer (Prato, m.fl. 2018). Cyklisme har stor positiv signalværdi, men potentialet for CO<sub>2</sub>-reduktion er begrænset, da overførslen typisk er for korte ture (under 10 km), der ofte kommer fra kollektiv trafik. Cykeltrafik har derimod stor betydning for folkesundheden, udleder ingen lokale emissioner og støj, og udnyttelsen af gaderummet er meget mere effektivt end for privatbilismen, og dermed er der store fordele i forhold til trængsel. Fremkomsten af el-cykler muliggør dog flere lidt længere ture og kan dermed tænkes at have et større potentiale for overflytning også fra biler.

### **Road pricing og anden økonomisk regulering**

Road pricing nævnes ofte som et nyt gavnligt afgiftsinstrument, som generelt kan målrettes transportens eksternaliteter, og derfor kan virke mere retfærdigt og samfundsøkonomisk optimalt. Road pricing er dog mere effektivt til løsning af trængselsproblemer end til reduktion af CO<sub>2</sub>, hvor der findes andre mere effektive fiskale virkemidler. Der er desuden andre økonomiske

virkemidler som f.eks. vignetordninger (ses f.eks. i Østrig), mere fokuseret parkeringspolitik (RAC, 2012) og områdebaserede afgifter baseret på stikprøvevis kontrol, der er billigere at implementere og har mindre teknologirisiko end et fuld-skala road pricingsystem, hvor der beskattes efter tid og sted og antal kørte km.

Analyser af Institut for Miljøvurdering fra 2006, Rich og Nielsen (2007) og Trængselskommissionen (2013) viser alle, at CO<sub>2</sub>-effekten af forskellige typer af bompenge eller roadpricingsystemer er yderst beskedne med de foreslåede afgiftsniveauer. Generelt er det – med det internationalt set trods alt lave trængselsniveau i Danmark og høje bilafgiftsniveau – vanskeligt at designe road pricingsystemer med en prisstruktur, hvor de samfundsøkonomiske fordele overstiger de relativt store driftsomkostninger (Rich og Nielsen, 2007). EU har dog indført ny regulering, der i princippet muliggør privat konkurrence og standardisering af tekniske løsninger til betaling af vejafgifter. Samtidig er der en hurtig teknologisk udvikling, der billiggør implementeringen, f.eks. ved software download til bilers indbyggede eksisterende navigationsudstyr i forhold til tidligere tiders behov for dyre installationer af On Board Units (OBU) eller dyre portalløsninger til bompengesystemer. Denne teknologiske og regulatoriske udvikling peger mod billigere driftsomkostninger, færre teknologirisici og mulighed for at overføre udviklingsrisikoen til private aktører, herunder adaption af systemer, der allerede er i drift i andre lande.

### Elektrofuels

Elektrofuels omdanner el til gasholdig eller flydende brændstof. I dag er det forbundet med et stort energitab. Elektrofuels kan bruges til at lagre og dermed udnytte overskud fra vind og solenergi samt vandkraft, der ellers går tabt. De høje omkostninger og energitab betyder, at det i dag må betragtes som niche til andre løsninger, og der er således et stykke vej endnu til, at det i stor skala kan benyttes i transport sektoren. Elektrofuels er imidlertid formentlig eneste alternative løsning for fly og skibsfart over længere afstande, da el og batterier formentlig kun vil være brugbare til kortere afstande, som mindre feeder fly og korte færgeruter. Derfor er der stor interesse i forskning i emnet. Netop pga. den ret varierende produktion af vindmøllestrøm i Danmark vil landet have mulighed for i en tidlig fase at bringe os i front i forhold til forskning i og brug af elektrofuels og integrationen af dette i det samlede energisystem. Hendriksen m.fl. (2019) diskuterer nærmere perspektiverne for alternative drivmidler.

### Selvkørende og Autonome køretøjer

Internationalt investerer stater, IT-sektoren og bilindustrien milliarder i forskning i selvkørende og autonome køretøjer. Selvom der ikke er bilproduktion i Danmark, så er det relevant med forskning i flådestyring, behovsstyret transport og regulering, og Danmark er langt fremme med digitalisering, har udbredt kollektiv transport og flekstrafik, og vi kan derfor bringe os i front i forhold til systemløsninger. Landet er dog i dag bagud lovgivningsmæssigt og



investeringsmæssigt, og bl.a. USA, Singapore, Kina, Sverige, Holland, England er meget mere offensive på feltet. Visioner om selvkørende køretøjer præsenteres ofte samtidig med visioner om elektrificering og anden fossilfri fremtid for transport. Der er imidlertid ikke nødvendigvis noget link mellem disse udviklingsspor og de bør derfor vurderes separat.

Transportministerens Ekspertgruppe (2018) identificerede tre udviklingsveje inden for området; 1) Gradvis automatisering af personbiler, 2) helt selvkørende taxier og 3) selvkørende kollektiv trafik.

Udviklingen inden for selvkørende kollektiv trafik går relativt hurtigt, hvor der i dag er selvkørende metro i København og visioner om automatisering af S-banen (Transportministeriet, 2017), og Kina har selvkørende BRT (Bus Rapid Transit) i test. Forskellige steder i Europa og Verden, og nu i Aalborg, er der forsøg med selvkørende busser, der dog stadig er meget langsomme. Selvkørende busser har den fordel, at de kører i et fastlagt tracé, og styringen kan overtages fra en central. Udviklingen går derfor hurtigere end på personbilområdet. Man må forvente en udvikling på sigt, hvor busser og selvkørende taxier, deletaxier og minibusser alle indgår i Mobility-as-a-Service (MaaS), der kan supplere det højklassede kollektive trafikstern (Arbib og Seba, 2017, Goodall m.fl. 2017) og dermed fremme den kollektive transport (Transportministerens Ekspertgruppe, 2018, Metroselskabet og Region Hovedstaden, 2017). Fordelen ved den selvkørende løsning er, at chaufførlønnen, der udgør mellem  $\frac{2}{3}$  og  $\frac{3}{4}$  af de samlede omkostninger spares, og man dermed kan opnå en billigere, mere højfrekvent og mere kunde/passagerorienteret service (Bösch, m.fl., 2017, Danske Regioner, 2017).

Udviklingen af selvkørende personbiler, der skal kunne køre selv overalt, forventes at gå langsommere (Litman, 2015), og der vil være en langsom indfasning, hvor de vil starte i premium segmentet med stor ekstrabetaling og så først ad åre finde vej til massemarkedet (Transportministerens Ekspertgruppe, 2018). Samtidig er der en langsom udskiftning af bilparken. Når personbiler bliver helt selvkørende, må man forvente en massiv udvikling i efterspørgslen, idet biler kan bruges helt anderledes (som kørende kontor, mødelokale og hotelværelse), benyttes af nye brugergrupper (børn, handikappede, ældre, spirituspåvirkede), biler kan parkere selv (herunder køre rundt og vente, eller køre selv til steder langt væk med billigere/gratis parkering), og debiler kan køre tomme rundt og vente på kunder eller hente kunder langt væk. Alt dette risikerer at øge transportarbejdet og trængslen markant, medmindre der indføres regulering, f.eks. i form af roadpricing (transportministerens Ekspertgruppe, 2018, Fagnant & Kockelman, 2015). Således er det heller ikke oplagt, at øget grad af automatisering af køretøjer vil give bidrag i form af CO<sub>2</sub>-reduktioner.

### Sammenfatning og anbefalinger

Som nævnt i indledningen er udfordringerne i transportsektoren ganske omfattende hvad angår Regeringens CO<sub>2</sub>-mål, såvel som i forhold til fremtidens trængsel og mobilitet. Der er dog i denne artikel gennemgået en række mulige

løsningstiltag, og på figur 3 har vi skifteret hvor effektivt vi anser de forskellige løsninger. Skal udviklingen vendes, er det nødvendigt at benytte alle de nævnte virkemidler.

Optimering af kollektiv transport og godstransport har potentiale til at opnå CO<sub>2</sub> reduktioner samtidigt med at driftsomkostningerne reduceres. Dette vil dog kræve at gabet mellem forskning og drift reduceres, samt ændret regulering og i den kollektive trafik organisering. Dette er omkostningseffektive tiltag, men det samlede potentiale er beskedent.

Mere fokuseret byudvikling er i princippet tæt på gratis, effekterne er små på kort sigt, men på lang sigt kan det have store effekter for såvel CO<sub>2</sub>-udledning som trængsel. Det kræver dog markant ændret politisk fokus. Ligeledes er det afgørende, at det kobles med viden om, hvordan lokaliseringsadfærden blandt husholdninger og virksomheder påvirkes samt effekten af øget urbanisering.

Samkørsel har stort potentiale, men trods årtiers forskning og lovprisning af denne idé, er omfanget begrænset, og det kræver formentligt ret markante ændringer i regulering for at opnå kritisk masse. Samtidig er det afgørende, at øget samkørsel ikke medfører tilsvarende stigninger i omvejskørsel, hvilket ligeledes kræver en kritisk masse.

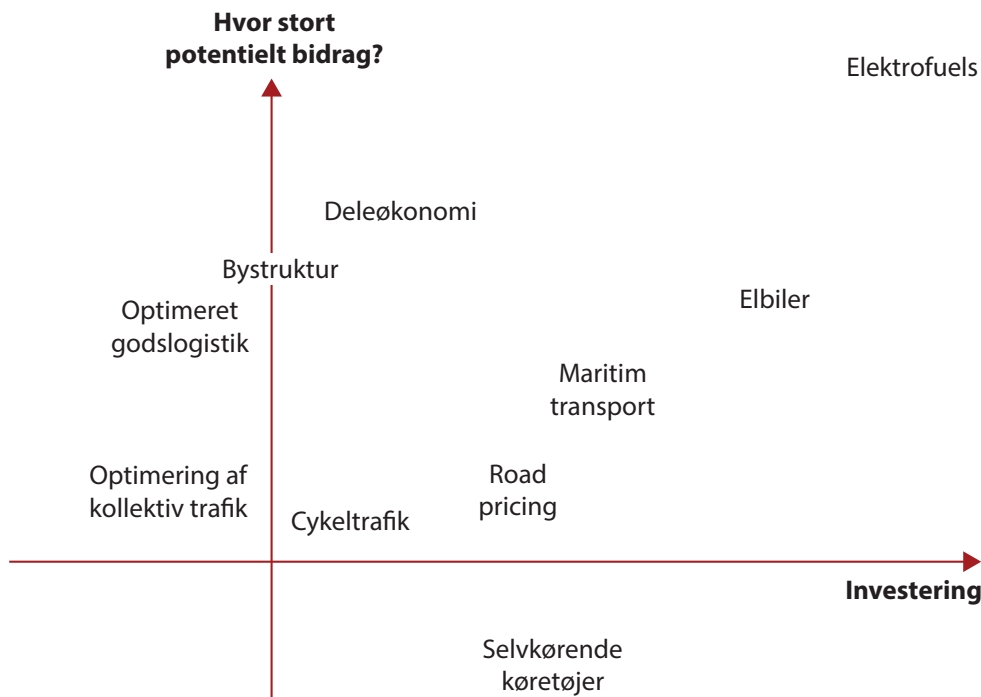
Elektrificering af sektoren har stort potentiale, men også store omkostninger og kræver markante ændringer af regulering for at kunne realiseres. Den igangværende kommission for grøn transport ser på dette potentiale for personbiler. Der er ikke tilsvarende analyser i gang for vare- og lastbiler, ligesom der er et vist potentiale for elektrificering af tog (både via kørestrøm og batterier), busser og færger, og på længere sigt kortdistance fly.

I forhold til CO<sub>2</sub> er road pricing næppe den mest effektive form for regulering, men kan være relevant i forhold til trængsel og af fiskale årsager, når skatteprovenuet fra fossile drivmidler falder bort. Når – ad åre – selvkørende biler bliver en realitet, vil road pricing og anden regulering være nødvendigt for at undgå en eksplosion i transportarbejdet.

Elektrofuels vil udgøre nødvendig langsigtet løsning for sø- og luftfart, men vi er langt fra et teknologisk og kommercielt gennembrud, sammenlignet med de andre løsninger, der principielt er teknologisk modne eller tæt ved gennembrud, som for eksempel elbiler.

Endelig vil vi pege på dilemmaet mellem hvad der minimerer den danske CO<sub>2</sub> udledning lokalt, og behovet for at se på globale løsninger, herunder livscyklus analyser for forskellige teknologiske løsninger (Hauchild, m.fl., 2019)

Figur 3 Sammenfattende grov vurdering af effekten af forskellige løsninger



## Noter

1. Jf. Transportvaneundersøgelsen, <https://www.cta.man.dtu.dk/Transportvaneundersogelsen>
2. Der har dog også været ringere brændstoføkonomi i praksis i forhold til de officielle målemetoder <https://www.eea.europa.eu/highlights/gap-between-real-world-and>
3. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-11>
4. Ifølge Statistikbanken, Danmarks Statistik.
5. Ifølge Statistikbanken, Danmarks Statistik.
6. <http://calcleancars.org/about/clean-cars-program/>
7. [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en)
8. <http://www.iptop.transport.dtu.dk/>

## Litteratur

- Arbib, J. og Seba, T. (2017). Rethinking Transportation 2020-2030, RethinkX.
- Boston Consulting Group (2017). By 2030, 25% of Miles Driven in US Could Be In Shared Self-Driving Electric Cars.
- Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., Axhausen, K. W. (2017). Cost-based analysis of autonomous mobility services, Transport Policy.
- Christensen, H og Baescu, O. (2019). TU Årsrapport for 2018. Center for Transport Analytics, DTU.
- DTU International Energy Report 2019. Edited by Birte Holst Jørgensen, Katrine Krogh Andersen and Otto Anker Nielsen. Transforming Urban Mobility.
- Dansk Energi (2019). Elbilerne kommer – det er et politisk valg, hvordan vi sikrer at elnettet bliver klart.
- Dansk Industri (2019). DI's 2030-plan – Sammen skaber vi grøn vækst.
- Danske regioner (2017), Økonomiske konsekvenser af førerløse busser.
- Deloitte: Digital Age Transportation, 2014
- Det økonomiske råd (2014). Økonomi og miljø, kapitel 5, Kollektiv trafik.
- Ekspertgruppen Mobilitet for Fremtiden (2018). Afrapportering, Transport-, Bygnings- og Boligministeriet.
- Fagnant, D. J. og Knockelman K. M. Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and po-

- licy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 77, pp. 167-181 (2015).
- Energistyrelsen (2017). *Energistatistik 2017*.
- Finansministeriet (2019). *Kommission for grøn omstilling af personbiler i Danmark*.
- Fonseca, J.P., van der Hurk, E., Roberti, R. og Larsen, A. (2018). A matheuristic for transfer synchronization through integrated timetabling and vehicle scheduling. *Transportation Research Part B: Methodological*, vol: 109, pages: 128-149.
- Frost, F., Marinelli, M., Andersen, P.B., Greisen, C og Træholt C (2019). *Integrated energy systems and transportation electrification. Kapitel 8 i DTU (2019)*.
- Gate 21 (2014), *Kør smart, kør sammen – Analyserapport juni 2014*.
- Giesel, F., Nobis, C. (2016), *The impact of Carsharing on car ownership in German cities, Transportation Research Procedia 19, 215-224*.
- Goodall, W., Fishman, T.D., Bornstein, J., Bonthron, B. (2017), *The rise of mobility as a service, Deloitte review 20, Deloitte Development LLC*.
- Haustein, S., Nielsen, T.A.S. (2015), *Deleøkonomi i transport: Udvikling, trends og potentiale, DTU Transport, Notat, vol. 19*.
- Hauschild, M, Bohnes, F og Laurent, A (2019). *Environmental sustainability of different transport modes. Kapitel 10 i DTU (2019)*.
- Hendriksen, P.V., Gadsbøll, R.Ø., Chatzichristodoulou, C, Gavala, H.N., Jensen, A.D og Høj, M. (2019). *Alternative Fuels. Kapitel 9 i DTU (2019)*.
- Ingvardson, JB & Nielsen, OA (2018). *How urban density, network topology and socio-economy influence public transport ridership: Empirical evidence from 48 European metropolitan areas. Journal of Transport Geography. Vol 72, pp. 50-63. Elsevier*.
- International Energy Agency (IEA). *Global EV Outlook. Paris, France: IEA Publications; 2019*.
- Institut for Miljøvurdering (2006). *Forfattere Jeppe Husted Rich og Otto Anker Nielsen. Kørselsafgifter i København – De trafikale effekter*.
- Institut for Miljøvurdering (2006). *Forfattere Kasper Wrang, Uffe Nielsen og Morten Kohl. Kørselsafgifter i København – En samfundsøkonomisk Analyse*.
- International Energy Agency (2017). *Global EV Outlook*.
- Larsen, A. og van Woensel, T. (2019). *Freight, logistics and the delivery of goods in cities. Kapitel 7 i DTU 2019*.
- Litman, T. (2015). *Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning. Transportation Research Board. Washington*.
- Metroselskabet & Region Hovedstaden; *Megatendenser – Fremtidens kollektive transport i Hovedstadsområdet, marts 2017*.
- Miotti, M.; Supran, G.J.; Kim, E.J. & Trancik, J.E. (2016). *Personal Vehicles Evaluated against Climate Change Mitigation Targets. Environmental Science and Technology*.
- Parbo, J.; Nielsen, OA. & Prato, C. (2018). *Reducing passengers' travel time by optimising stopping patterns in a large-scale network: A case-study in the Copenhagen Region. Transportation Research Part A: Policy and Practice. Vol 113, pp.197-212. Elsevier*
- Parbo, J., Nielsen, O.A., & Prato, C. G. (2016). *Passenger perspectives in railway timetabling: A literature review. Transport Reviews. Volume 36, Issue 4, pp. 500-526. Routledge, Taylor & Francis Group*.
- Parbo, J., Nielsen, O.A. & Prato, C. (2014). *User Perspectives in Public Transport Timetable Optimisation. Transportation Research C, Emerging Technologies, 48, pp. 269-284, Elsevier*.
- Prato, C.G., Halldórsdóttir, K. & Nielsen, O.A. (2018). *Evaluation of land-use and transport network effects on cyclists' route choices in the Copenhagen Region in value-of-distance space. International Journal of Sustainable Transportation. On-line. Taylor & Francis*.
- Prato, C.G., Halldórsdóttir, K. & Nielsen, O.A. (2017). *Home-end and activity-end preferences for access to and egress from train stations in the Copenhagen Region. International Journal of Sustainable Transportation. Vol 11, No. 10, 776-786. Taylor & Francis*.
- The RAC Foundation (2012). *“Spaced out: perspectives on parking policy”*.
- Region Hovedstaden (2017). *Per Als, Otto Anker Nielsen, Claus Hedegaard Sørensen og Per Homann Jespersen. Hvordan får vi mere og bedre kollektiv trafik for pengene?: Bud på fremtidens organisering af den kollektive trafik i Greater Copenhagen*.
- Rich, J. og Nielsen, O.A. (2007). *A socio-economic assessment of proposed road user charging schemes in Copenhagen. Transport Policy, No 14, pp.330-345, Elsevier*.
- Sørensen, C.H. & Longva, F. (2011). *Increased coordination in public transport – which mechanisms are available? Transport Policy. Voæ. 18, Issue 1, pp. 117-125, Elsevier*.
- Transport-, Bygnings- og Boligministeriet (2017). *Udredning om Omlægning af S-banen til Metrodrift*.
- Trængselskommissionen (2013). *Betænkning 1539 – Mobilitet og fremkommelighed i Hovedstaden. Transportministeriet*.
- van Heeswijk, W., Larsen, R. og Larsen, A. (2019). *An urban consolidation center in the city of Copenhagen: A simulation study. International Journal of Sustainable Transportation, vol: 13, issue: 9, pages: 675-691*.
- Venturini, G., Iris, C., Kontovas, C.A. og Larsen, A. (2017). *The multi-port berth allocation problem with speed optimization and emission considerations. Transportation Research. Part D: Transport & Environment, vol: 54, pages: 142-159*.