

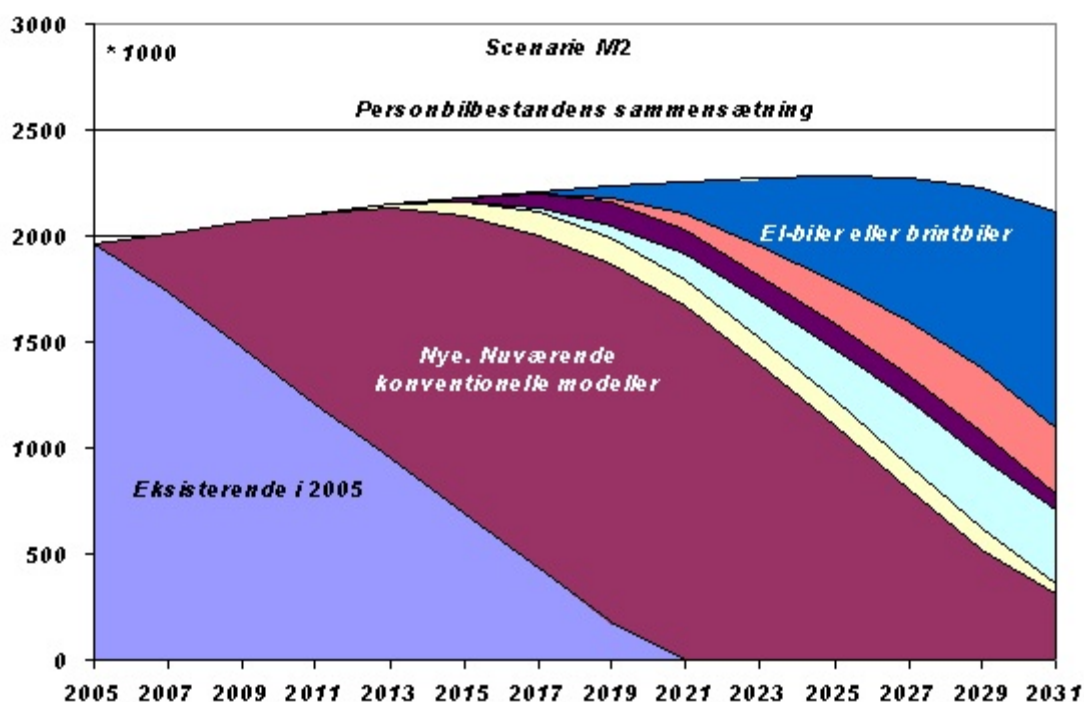
Personbiltransporten i Danmark - ved vendepunktet

Analyse og diskussion af udviklingsmuligheder

Et oplæg til en kvalificeret transportpolitisk debat

Klaus Illum

Maj 2007



Indhold:

Lettere sagt ...

Kort om indhold og formål

1. Forestillinger, visioner og virkelighed
2. Vendepunktet
3. Efter vendepunktet
4. Hybridbiler, brintbiler og el-biler
5. Konkurrence mellem hybridbiler, brintbiler og el-biler
6. Regulering af el-produktion og -forbrug i det samlede energisystem
7. De betragtede scenarie-eksempler
8. Transport-infrastrukturer og biltransportmængder
9. Bilbestandens udvikling 2005 - 2030
10. Brændstof- og el-forbrug

Lettere sagt ...

Hvis det skulle lykkes at forøge den globale olieproduktion og dermed forbruget med 1,5 - 2% om året i 10 eller 20 år endnu, er det altovervejende sandsynligt, at stigningen vil blive afløst af et fald, der bliver stejlere jo længere tid, der går, før det indtræder. Og da forbrugsstigningen betyder, at verdensøkonomien bliver stadigt mere afhængig af olie, forværres situationen for hvert år der går, før faldet indtræder. Det er den anden "ubehagelige sandhed" - Inconvenient Truth - parallellen til klimaforandringerne. Det kan gå galt, fordi vi er kommet for sent i gang.

Det er let at udstikke målsætninger om vedvarende energi, mindre CO₂-udslip og mindre olieforbrug med en tidshorisont på 20 eller 25 år. Og det er en taknemmelig opgave at finde ud af, hvordan et fremtidigt energisystem, hvori alt er bedre, kan indrettes. I en fremtid, der er tilstrækkeligt langt væk, kan alle visioner virkeliggøres på tegnebrættet. Men i virkeligheden er det lettere sagt end gjort.

Det er også en taknemmelig opgave at fremskrive uendelig vækst ud fra historiske og aktuelle økonomiske vækstparametre under den grundlæggende forudsætning, at ingen ressourcemæssige og miljømæssige restriktioner vil begrænse væksten.

Der tegner sig imidlertid en modstrid mellem de energipolitiske fremtidsvisioner og de gængse økonomiske vækstfremskrivninger. I Teknologirådets projekt *Det fremtidige danske energisystem*¹ indgik høringsrunder med et panel sammensat af de politiske partiers energipolitiske ordførere. Herunder nåede man frem til bred enighed om, at olieforbruget skal formindskes med 50% frem til 2025. Dette ønske er begrundet i forventningen om, at den globale olieproduktion snart begynder at falde med kraftige olieprisstigninger til følge. Samtidigt arbejdede Danmarks TransportForskning med fremskrivninger af det samlede trafikarbejde (mia. kørte km per år) for personbiler og varevogne. Her indgår ingen forudsætninger om nedbringelse af olieforbruget. Fremskrivningerne frem til 2030 resulterer i en vækst på 57%, hvis olieprisen falder, og på 34%, hvis olieprisen forbliver på 2006-niveauet².

Opfyldelse af målsætningen om frem til 2025 at opnå en formindskelse af olieforbruget til transport med 50%³, samtidigt med at trafikarbejdet stiger med 34% - for slet ikke at tale om 57% - indebærer, at bilparken hurtigt fornyes, sådan som vist i de nedenstående figurer (side 5). Allerede om et par år skal nye mere energieffektive

¹ Rapportens fulde titel er *Det fremtidige danske energisystem - Teknologiscenarier* (Teknologirådet, februar 2007). Der er imidlertid ikke tale om scenarier i sædvanlig forstand - som en fremstilling af udviklingsforløb. Kun om en beskrivelse af, hvordan energisystemet kunne være indrettet i 2025.

² *Langsigtet fremskrivning af vejtrafik*. Rapport fra Danmarks TransportForskning, DTU, 2007.

³ Det forudsættes, at olieforbruget i andre transportmidler og i stationære anlæg formindskes tilsvarende.

konventionelle modeller og hybridbiler begynde at trænge ind på markedet, og om 6-7 år skal el-biler eller brintbiler og endnu mere energieffektive konventionelle biler og hybridbiler (2. generation) gøre deres indtog.⁴ I mellemtiden vil olieforbruget i biler være vokset, så faldet til en 50% formindskelse i 2025 bliver meget stejlt.

Der er ingen tegn på, at denne hurtige fornyelse bliver til noget. Der er derimod tegn på, at olieforbruget vil blive nedtrappet. Fordi der er udsigt til, at den globale olieproduktion snart topper og derpå begynder at falde. Spørgsmålet er, hvorvidt det er muligt at forberede vores transportinfrastrukturer og transportteknologier til det kommende fald i olieforbruget, sådan at de økonomiske og sociale følgevirkninger så vidt muligt afbødes.

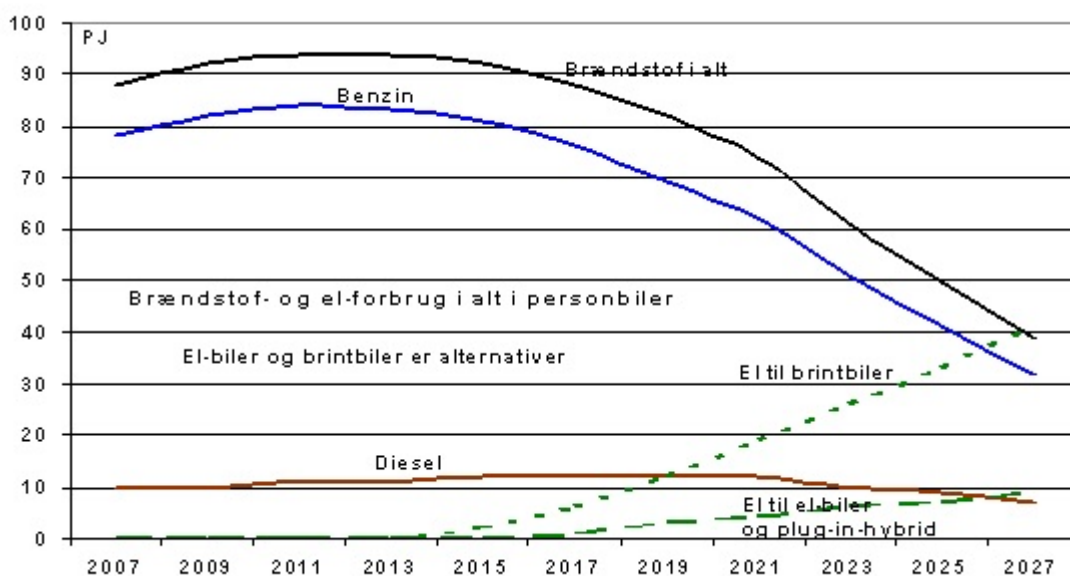
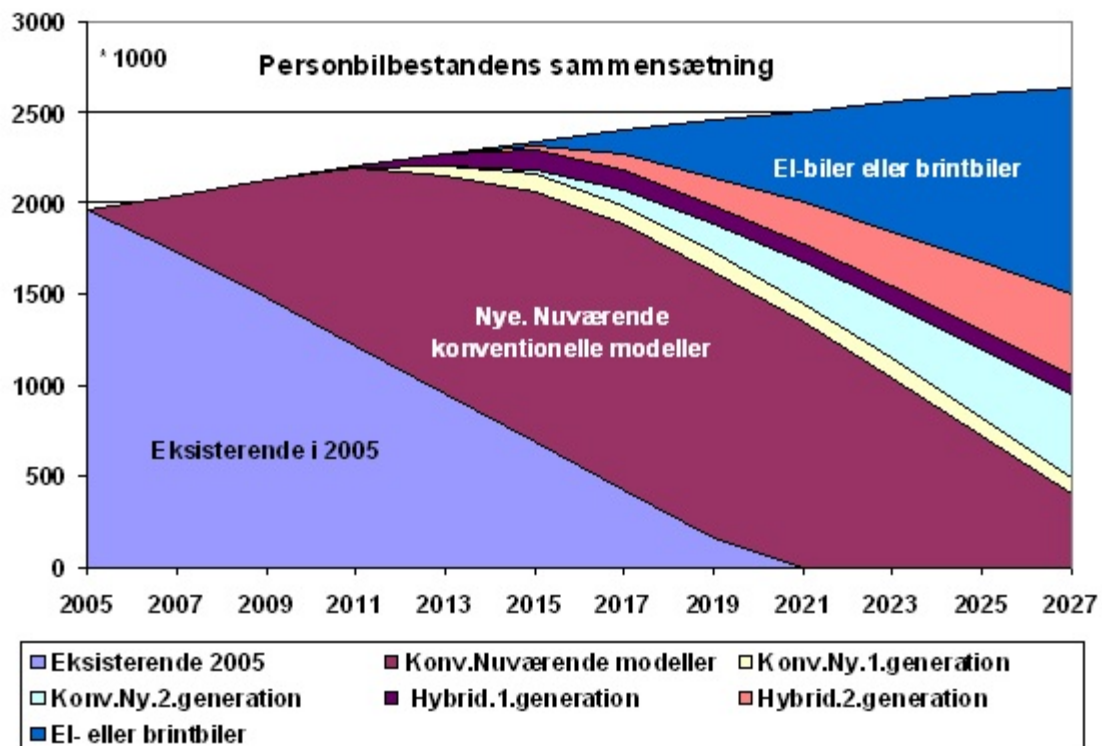
Ved fortsat udbygning af vejnettene for at skaffe plads til endnu flere biler gøres samfundets økonomi stadigt mere afhængigt af billig olie. Det er en udvikling, der fører til fald, når olieproduktionen ikke længere kan følge med forbruget, så priserne stiger til det niveau, hvor der bliver balance mellem produktion og forbrug. Og jo længere det lykkes at udskyde faldet, jo værre bliver situationen, når det indtræder. Dels fordi samfundets olieafhængighed vil være blevet endnu større, dels fordi nedgangen i olieproduktionen bliver stejlere jo længere det lykkes at udskyde faldet.

Skiftet fra en stigning på 1,5 - 2% om året i det globale olieforbrug til et fald på 1,5 - 2% vil have uoverskuelige virkninger for den globale økonomi, herunder den danske. Fordi faldet vil blive realiseret i kraft af olieprisstigninger, der er så store, at forbruget tvinges ned. De mest velhavende vil kunne fortsætte med et stort forbrug, så det bliver i første omgang de mindre velhavende, der kommer til at stå for skud. De økonomiske fordelingsproblemer vil blive forstærket af en voldsom omfordeling af huspriserne, når transportomkostningerne mellem hjem og arbejde og indkøbscentre stiger. Kommunalreformen, der har ført til mere bilkørsel mellem bopæl og arbejde, får alvorlige følgevirkninger. På det globale plan vil olieprisstigningerne medføre kolossale kapitaloverførsler til de tilbageværende olieeksporterende lande.

Der er en altovervejende sandsynlighed for - eller om man vil, risiko for - at disse omvæltninger vil indtræde før 2030, hvis det lykkes at forøge den globale olieproduktion og dermed forbruget med 1,5 - 2% om året i 10 eller 20 år endnu. Og det er sandsynligt, at de vil indtræde indenfor et kortere åremål. Det er den anden "ubehagelige sandhed" - Inconvenient Truth - og ligesom med klimaet kan det gå galt, fordi vi er kommet for sent i gang. Robert L. Hirsch et al., Science Applications International Corporation, skrev i en rapport til US Department of Energy (februar 2005):

Kulminationen af verdens olieproduktion stiller USA og hele verden overfor et risiko-håndteringsproblem uden fortilfælde. Når kulminationen nærmer sig vil priserne på flydende brændsler og prisudsvingene vokse dramatisk, og hvis der ikke i tide tages forholdsregler til at imødegå problemerne, vil de økonomiske, sociale og politiske omkostninger få et omfang uden fortilfælde. Der eksisterer bæredygtige og gennemførlige valgmuligheder både på forsynings- og efterspørgselssiden, men hvis de skal have væsentlige virkninger, skal de igangsættes mere end et årti før olieproduktionen topper.

⁴ De her antagne energitekniske data for nuværende og nye biltyper er vist i tabel 1, side 18.



Et næppe realistisk scenarie:

Den øverste figur illustrerer den udvikling i personbilbestandens sammensætning, der skal til for at opfylde det politiske ønske om frem til 2025 at halvere olieforbruget til biltransport (Teknologirådet) samtidigt med, at trafikarbejdet i biler vokser med 34% (Danmarks TransportForskning). Forudsat at det gennemsnitlige årlige kilometertal per bil er uændret (17.000 km/år) frem til 2025.

El-biler og brintbiler er alternativer. For hvis el-biler bliver konkurrencedygtige, vil de udkonkurrere brintbilerne og overflødiggøre brintinfrastrukturen, se afsnit 5.

Kort om indhold og formål

Hvis de forhold, der fremdrages i denne udredning, også inspirerer til refleksioner over det værdiladede kulturelle fænomen, hestekræfternes udfoldelse i store tunge biler på trængte veje i virkeligheden er, og til genopfriskning af den kendsgerning, at denne kultur er resultatet af symbiosen mellem olieindustrien og bilindustrien i en kortvarig, historisk specifik epoke i menneskehedens historie, er endnu et formål blevet nået.

Denne udredning handler om en del af problemet, nemlig personbiltransporten eller bilismen, om man vil. De muligheder, der tegner sig, når hele transportsektoren inddrages som en integreret del af det samlede energisystem, og mulighederne for udbygning af den kollektive transport med moderne elektriske transportmidler (tog, sporvogne, trolleybusser o.a.) tages i betragtning, analyseres i en efterfølgende udredning.

Problemstillingen opsummeres i afsnit 1, 2 og 3. Derpå gives en kort indføring i de nye biltyper tekniske egenskaber og de forhold, der er bestemmende for hvilke typer, der først vinder indpas på markedet (afsnit 4 og 5). Den nøjere analyse af indpasningen af el-drevne biler (herunder brintbiler) i det danske energisystem indgår ikke i denne udredning, men emnet introduceres kort i afsnit 6.

På de bageste sider findes en række grafer, der viser tre forskellige scenarier for udviklingen frem til 2030. Disse scenarier er nøjere beskrevet i de foregående afsnit 7 - 9.

Scenarierne skal betragtes som eksempler. Andre eksempler kan hurtigt fremstilles ved ændre værdierne af de kvantitative og kvalitative variabler, der indgår i scenariospecifikationerne. Formålet med sådanne scenarieberegninger er at tilvejebringe et kvantificeret grundlag for den transportpolitiske diskussion og planlægning. Sådan at de faktiske implikationer af de visioner og forestillinger, der fremføres i den politiske debat, kan fremdrages.

Specielt har afsnit 5: *Konkurrence mellem hybridbiler, brintbiler og el-biler* til formål at påpege den særlige problemstilling, visionerne om brintbiler indebærer.

1. Forestillinger, visioner og virkelighed

Danmarks 5,4 mio. indbyggere udgør i alt 2,9 mio. familier. Et stort mindretal på 1,3 mio. familier, har ingen bil, medens et flertal på 1,6 mio. familier råder over i alt 1,85 mio. biler. Dertil kommer firmabiler, taxaer m.fl., så den samlede personbilbestand er knap 2 mio. Disse bilers årlige energiforbrug i form af benzin og diesel er ca. 4 gange så stort som den energi, befolkningen indtager ved måltiderne - men dog kun ca. halvdelen af den energi i form af foderstoffer, de danske køer og svin sætter til livs.

De 2 mio. biler dominerer i den grad det offentlige rum i byerne og deres omgivelser og udgør en sådan gene for cyklister, fodgængere og de, der kører med bus, at det er tankevækkende, at det store mindretal af familier, der ikke belaster miljøet med én eller flere biler, ikke gør sig trafikpolitisk gældende. Dette være sagt for at understrege, at de scenarier for bilismens udvikling i de kommende år, der optegnes i dette skrift, ikke er udtryk for transportpolitiske anbefalinger. De kan imidlertid tjene til at belyse de måske uoverstigelige teknologiske problemer, der tegner sig for videreførelsen af bilismen i dens nuværende form og omfang.

Teknologirådets rapport "Det fremtidige danske energisystem - Teknologiscenarier" (februar 2007) beskriver nogle forestillinger om, hvordan energisystemet kunne være indrettet i om 18 år - i 2025. Om transport står der (side 33-34): *"I transportsektoren forudsættes en effektivisering på 25% i bilparken, samt begrænsede omlægninger fra bil til cykel og kollektiv transport. Elbiler og såkaldte plug-in hybridbiler vil udføre i alt 25% af transportarbejdet for biler og busser. Andre 10% af bilerne kører på ethanol. 5% af busserne kører desuden på biodiesel. For lastbiler antages at 10% går over til biodiesel"*. Hvordan det udviklingsforløb, der på 18 år fører frem til denne situation, i praksis kunne være, beskrives ikke i rapporten. Heller ikke Ingeniørforeningens (IDA's) "Energiplan 2030" beskriver, hvad det i praksis indebærer at nå frem til "at 20% af vejtransporten i 2030 er baseret på elbiler" (side 45).

Både Teknologirådet og IDA antager, at der vil være tilstrækkelige mængder af billig olie (\$ 50/tønde råolie) til rådighed frem til 2030. Uanset, at de to institutioner i fællesskab i 2003 gennemførte projektet "Når den billige olie slipper op", der i december 2003 afsluttedes med en stor international konference om udsigterne til olieforsyningsproblemer længe før 2030. Konferencen blev fulgt op af en orientering fra Teknologirådet til Folketinget om udsigten til forsyningsproblemer og en nøjere dokumentation i udredningen "Oil-based Technology and Economy - Prospects for the Future" (Teknologirådet og IDA, Marts 2004). Teknologirådet har ikke i mellemtiden tilbagekaldt denne orientering til Folketinget, selvom rådet tilsyneladende ikke længere anser den for retvisende.

Regeringens energiplan "En visionær dansk energipolitik 2025", der angiveligt beskriver "regeringens energipolitiske mål frem år 2025 og de initiativer, som skal iværksættes for at nå målene", indeholder heller ikke nogen nøjere analyse af de virkelige omstændigheder på transportområdet. Det samme gælder de visionære energiplaner, der er indenfor det sidste år er blevet udarbejdet af politiske partiers folketingsmedlemmer og sekretariater.

Når den afgørende rolle, transporten spiller i vores samfund, betænkes, er det bemærkelsesværdigt, at der således ikke er blevet afsat midler til nøjere analyser af de fremtidige udviklingsmuligheder for biltransporten og andre transportformer.

Nærværende skrift viser, hvordan sådanne nøjere analyser af de praktiske implikationer af specifikke målsætninger på transportområdet kan gennemføres. Der indgår mange historiske og variable faktorer, så beregningsforudsætninger og resultater kan ikke fremstilles i nogle få procenttal, sådan som i de gængse, simplistiske fremstillinger. Det tager lidt tid at danne sig et overblik over de mange indbyrdes sammenhængende faktorer, der fremstilles i figurerne 2 - 9 nedenfor (side 19-24). Resultaterne i figur 7 og 10 er imidlertid overskuelige.

Der er, som sagt, ikke tale om transportpolitiske anbefalinger, kun om fremstilling af et analyseapparat, der inddrager de væsentligste parametre i de teknologiske forandringsforløb, og om et oplæg til en objektiv diskussion af de muligheder, der tegner sig. Det fremgår imidlertid tydeligt af de viste scenarie-eksempler, at en tidshorisont på ca. 20 år for fornyelse af transportteknologier er meget kort. Fordi de biler, der købes i de kommende år har en gennemsnitlig levetid på omkring 15 år. Bl.a. derfor er de viste scenarie-eksempler næppe realistiske. Spørgsmålet er, hvordan et realistisk scenarie tegner sig.

Dette skrift omfatter kun personbiler. Tilsvarende analyser kan foretages for varebiler og lastbiler, hvis de nødvendige statistiske data kan tilvejebringes.

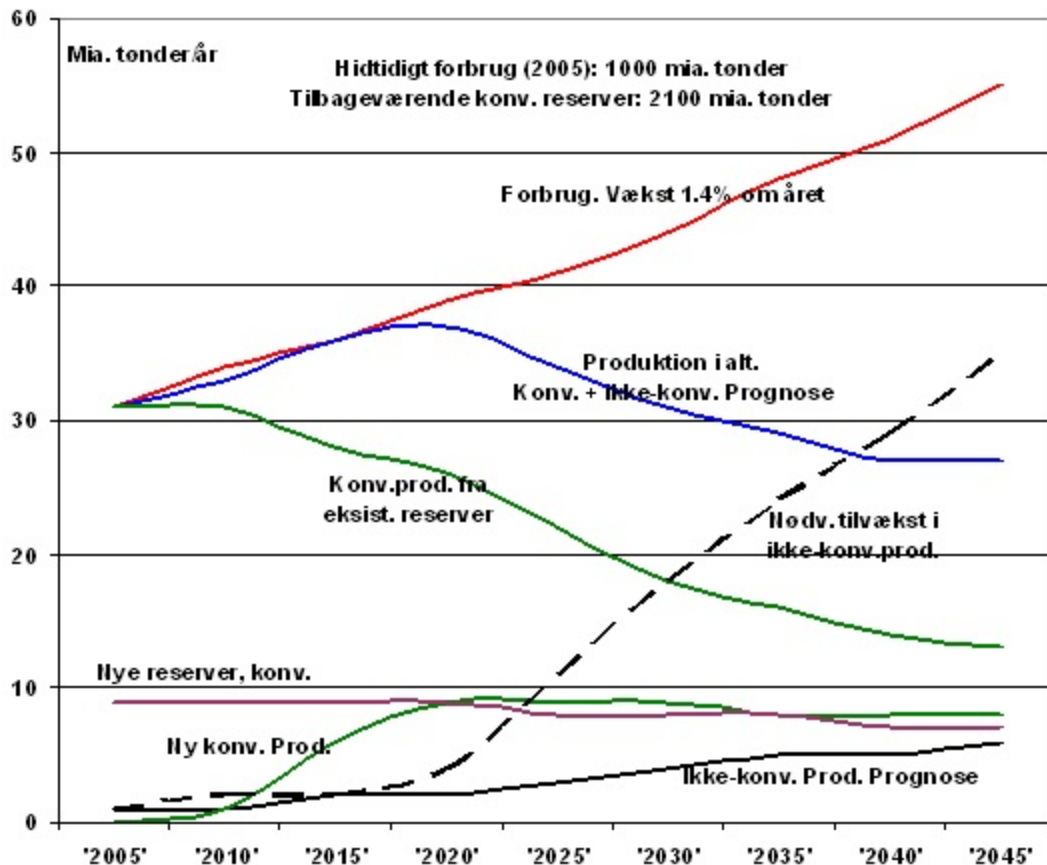
Transportsektorens integration i det samlede energisystem, herunder anvendelse af biobrændsler og indflydelse på det fossile brændselsforbrug af øget el-forbrug til transport, beskrives i en efterfølgende udredning.

2. Vendepunktet

Det er overvejende sandsynligt, at udviklingen i person-, vare- og godstransport er tæt ved det vendepunkt, hvor den hidtidige vækst i transport med benzin- og dieseldrevne personbiler, varebiler, lastbiler og fly ophører, og at der derefter år for år vil ske et fald i transporten med disse konventionelle transportmidler.

Vendepunktet indtræder, fordi olieproduktionen fra verdens oliefelter ikke længere kan dække den stadigst stigende efterspørgsel efter olie, der især skyldes væksten i transport med oliedrevne transportmidler. Væksten i den nuværende verdensøkonomi, der i alle henseender er afhængig af oliedrevne transportmidler, når derfor et vendepunkt, når olieproduktionen stagnerer og derefter begynder at falde.

Som figur 1 viser, må det forventes, at stigningen i det globale olieforbrug ophører indenfor de næste ti år - tidligere hvis de tilbageværende reserver viser sig at være mindre end antaget, eller hvis krige i olieproducerende lande formindsker den årlige produktion. De daglige udsving i olieprisen viser, at markedet allerede er anstrengt.



Figur 1. Olieproduktion og -forbrug globalt.

Under de i figuren viste antagelser om forbrugsvækst og reserver vil produktionen af konventionel olie+ikke-konventionel olie toppe før 2020. Hvis de tilbageværende reserver er mindre end de her antagne 2100 mia. tønder (som er højt sat) topper produktionen tidligere. Væksten på 1.4% om året er den af US Energy Information Administration (EIA, 2007) og den af International Energy Agency (IEA, 2006) forventede gennemsnitlige vækst frem til 2030.

Konventionel olie er olie fra oliefelter+kondensater fra naturgasudvinding og raffinaderier. Ikke-konventionel olie er ekstra tung olie, olie udvundet af bitumen fra tjæresand og olie fremstillet af naturgas (GTL, Gas to Liquids). Den viste prognose for den ikke-konventionelle olieproduktion er opstillet af det Internationale Energiagentur (IEA, *World Energy Outlook 2005*).

En fortsat forbrugsstigning efter 2020 vil skulle dækkes af en kraftig stigning i den ikke-konventionelle produktion - eventuelt med et bidrag fra biobrændstoffer - som vist ved den stiplede kurve.

Det er her antaget, at de tilbageværende konventionelle reserver (incl. nye fund i de kommende år) udgør 2100 mia. tønder. Dette er nok højt sat. I ASPO Newsletter February 2007 skønnes, at der er 1400 mia. tønder tilbage (ASPO: The Association for the Study of Peak Oil). Men selv hvis det antages, at der er 3000 mia. tønder tilbage, dvs. at arealet under produktionskurven forøges fra 2100 til 3000 mia. tønder, når toppen før 2030. Skulle det lykkes at udskyde den yderligere, bliver produktionsfaldet endnu stejlere - fordi arealet under kurven er lig den samlede produktion, indtil der ikke er mere tilbage.

Den viste stigning i den ikke-konventionelle produktion, der ville være nødvendig for at dække en fortsat forbrugsstigning på 1.4% om året, er urealistisk.

Det uheldssvangre er, at den fortsatte forbrugsstigning betyder, at nye, ikke-oliedrevne transportmidler ikke kommer på bane, før olieproduktionen begynder at falde.

Spørgsmålet er, hvilke muligheder vi har for at forberede os på dette vendepunkt, som vi sandsynligvis når indenfor det kommende årti. Hvilke muligheder har vi for at gøre samfundets funktioner og infrastrukturer - først og fremmest transport - mindre afhængige af olie? Kan vi overhovedet nå at indrette os på vilkårene efter vendepunktet, før det indtræder? Tiden er kort.

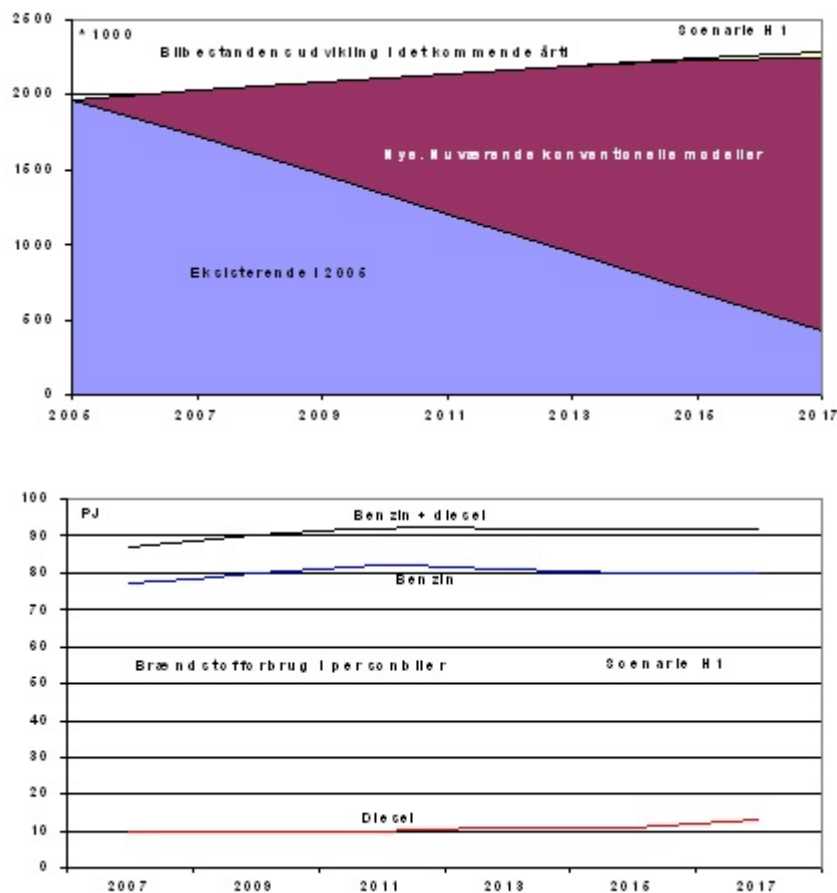
Man skal gøre sig klart, at det under alle omstændigheder gælder om at bremse stigningen i olieforbruget, sådan at forbruget topper før produktionen topper. Det er farligt at lade forbruget stige frem til det tidspunkt, hvor produktionen ikke længere kan følge med. Og man skal ikke ønske, at det lykkes at udskyde tidspunktet, hvor produktionen topper, helt frem til 2025 eller 2030. For en udskydelse på ti år ville betyde, at der kom endnu flere biler og lastbiler på endnu flere veje overalt på kloden og endnu flere fly i luften fra endnu flere og endnu større lufthavne. Det vil sige, at verdensøkonomien ville være endnu mere afhængig af en stigende olieproduktion på det tidspunkt, hvor olieproduktionen topper og begynder at falde. Og jo længere det lykkes at udskyde olieproduktionstoppen, jo stejlere bliver faldet.

Bilfabrikkerne rundt omkring i verden producerer nu ca. 50 mio. biler om året, og de forventer at produktionen kommer op på 100 mio. om året indenfor det kommende årti. Det betyder, at der snart vil være 1200 mio. biler på vejene mod de nuværende ca. 700 mio. Antallet af lastbiler og fly forventes at vokse tilsvarende. Det er en stigning, der fører til fald.

3. Efter vendepunktet

Hvis der var tre eller fire årtier til at omstille transportsektoren til energieffektive, ikke-olie eller naturgasbaserede transportmidler ville der endnu være et årti til planlægning og påbegyndelse af denne omstilling. Men den kommende nedgang i den globale olieproduktion, må som vist i figur 1 forventes at indtræde indenfor det kommende årti. Den vil medføre stadigt højere benzin- og dieselpriiser, for kun højere priser kan bringe forbruget i balance med produktionskapaciteten. Dermed følger omfattende økonomiske og dermed sociale forskydninger i den globale økonomi og selvfølgelig også her i landet. Dertil kommer, at tidshorisonten for en betydelig formindskelse af CO₂-udslippet kun er 10 - 15 år.

Sådan som udviklingen i bilmarkedet tegner sig i dag, kan man forestille sig, at det her i landet kommer til at gå som vist i scenarieeksemplet H1 frem til det tidspunkt, hvor olieproduktionen topper og benzin- og dieselpriiserne stiger voldsomt.



Træghedens pris:

Der er en almindelig tendens til at skyde tidshorisonten for visionerne 20-30 år ud i fremtiden. Derved beroliger man sig med, at der endnu er god tid. Men det er udviklingen i det kommende årti, der er afgørende for, om det lykkes at nedtrappe olieforbruget på en konstruktiv måde. Hvis udviklingen fortsætter i det nuværende spor 10 år endnu, kan fortsættelsen blive en barsk nedtur.

I Asien og Sydamerika tegner der sig en meget kraftigere vækst i bestanden af konventionelle billige og ikke særligt energiøkonomiske biler. Det vil sige, at bilfabrikkerne fortsat vil basere deres indtjening på produktion af disse konventionelle biler i et antal på snart 100 mio. biler om året.

Det er vanskeligt at forestille sig, at bilfabrikkerne, når vendepunktet nås, i løbet af nogle få år kan omstille deres samlebandsfabrikker, der udgør langsigtede milliard-investeringer, til produktion af nye biltyper, sådan at markedet kan udvikle sig som vist i figur 6, side 22. Også selvom de skulle have udviklet prototyper af hybridbiler og el-biler eller brintbiler, der kan sælges til en pris, som folk under økonomisk pres på grund af høje oliepriser kan betale.

En storstilet produktion af el-biler forudsætter, at der er udviklet batterier med tilstrækkelig kapacitet i forhold til volumen, vægt og pris. Der sker fortsat en videreudvikling af Lithium-ion-batterier, der i en årrække har været brugt i mobiltelefoner og små computere og nu også bruges i tungere elektrisk håndværktøj (boremaskiner m.fl.). Det er imidlertid et spørgsmål, om store lithium-ion-batterier til biler i fremtiden vil kunne produceres og sælges i et antal på mange millioner om året. Lithium-reserverne i Chile og Argentina, der producerer hovedparten af den lithium, der sælges på verdensmarkedet, er begrænsede.

Biler med brint-brændselsceller er et alternativ til el-biler. Men tabene ved overførslen af elektrisk kraft fra el-nettet til bilernes hjul via produktion, lagring og distribution af brint og efterfølgende omsætning af brint til elektrisk kraft i brændselsceller er meget større, end når overførslen sker via batterier, se tabel 1, side 19. Dertil kommer, at det er tvivlsomt om der hvert år i fremtiden vil kunne fremstilles mange hundrede millioner brændselsceller til en pris, der vil kunne betales af folk, der har indrettet deres økonomi på billig transport i billige biler, der kører på billig benzin eller diesel.

Det essentielle er, at verdensøkonomien er blevet indrettet på billig transport baseret på billig olie til drift af billige biler med en temmelig simpel stempelmotorteknologi.

Da udvindingen af fossil olie begyndte for ca. 150 år siden - i Rumænien i 1857, i USA (i Pennsylvania) i 1859 og lidt senere Rusland i nærheden af Baku ved det Kaspiske hav - varede det ikke længe før benzinmotoren og dieselmotoren blev opfundet. I 1876 konstruerede den tyske ingeniør Nikolaus Otto (1832 - 1891) firetakts-benzinmotoren. Allerede i 1885 kørte en anden tysk ingeniør Karl Benz (1844 - 1929) sin første tur i en benzinmotordrevet vogn. En tredje tysk ingeniør Rudolf Diesel (1858 - 1913) tog i 1892 patent på dieselmotoren, og i 1912 sejlede verdens første dieselmotordrevne skib, ØK's Selandia, ud på sin jomfrurejse fra København.

Det gik stærkt, fordi de nødvendige teknikker til fremstilling af de nye motorer allerede var til rådighed. Når man kunne lave cylindre, plejlstænger og lejer til kulfyrede dampmaskiner i lokomotiver, skibe og fabrikker, kunne man også lave dem til benzin- og dieselmotorerne. De teknikker, der skulle bruges i industrialiseringens nye olietid, var blevet udviklet i kultiden. Der kun skulle to personers - Otto's og

Diesel's - praktiske snilde til hurtigt at konstruere de billige og temmelig simple motorer, der med olien kom til at forandre verden. Ingen forudgående langvarige forsknings- og udviklingsprojekter. Mennesker kom let og billigt afsted med at tilegne sig de milliarder af hestekræfter, der har forandret verden. Det er ikke så let at opfinde alternativer til den simple stempelmotor og at finde energikilder, der kan erstatte det unikke brændstof, olien er.

Det bliver el-motorer, der kommer til at afløse benzin- og dieselmotorer i køretøjerne. Direkte elektrisk kraftoverførsel fra el-nettet gennem køreledninger eller -skinner som i sporvogne, trolleybusser og elektriske tog er imidlertid langt mere energieffektivt og ressourceøkonomisk og langt billigere end overførsel via batterier eller brint og brændselsceller. I byer kan el-biler og el-minibusser, der kan køre både hver for sig i gaderne og på monorails med køreskinner, hvorfra deres batterier, oplades under kørslen - sådan som i RUF-konceptet⁵ - være en mulighed. Men planlægning og udvikling af sådanne levedygtige kollektive elektriske transportsystemer indgår endnu ikke i de energipolitiske fremtidsvisioner.

4. Hybridbiler, brintbiler og el-biler

Der er forventninger om, at biler med el-motorer - nemlig de såkaldte *hybridbiler* og *brintbiler* med brændselsceller og/eller *el-biler* - kommer på markedet i større antal i de kommende år og efterhånden helt eller delvist fortrænger de konventionelle benzin- og dieslbiler med mekanisk kraftoverførsel til hjulene.

I en *hybridbil* omsættes benzin eller diesel i en forbrændingsmotor til mekanisk kraft. I nogle hybridbiler - med såkaldt *paralleldrift* - kan kraften enten overføres direkte til hjulene eller via en el-generator overføres til et batteri (opladning). Elektrisk kraft fra batteriet (afladning) overføres til hjulene via én eller flere el-motorer. I andre hybridbiler - med såkaldt *seriedrift* - overføres al mekanisk kraft fra benzin- eller dieselmotoren via el-generatoren til batteriet, sådan at drivkraften til hjulene udelukkende kommer fra el-motorer, der drives med elektrisk kraft fra batteriet. I begge tilfælde kan el-motoren/motorerne også fungere som el-generator/er, idet den/de ved opbremsning genererer elektrisk kraft til opladning af batteriet.

Hybridbiler med seriedrift - altså hvor forbrændingsmotoren udelukkende bruges til opladning af batteriet - er i princippet en el-bil, der kører rundt med sit eget kraftværk (forbrændingsmotoren). Fordelen i forhold til konventionelle biler og hybridbiler med paralleldrift er, at forbrændingsmotoren hele tiden kan køre med optimalt omdrejningstal og optimal belastning (svarende til den gennemsnitlige kraftoverførsel til hjulene).

En hybridbils batterier kan selvfølgelig også oplades fra el-nettet, medens bilen er parkeret. Hybridbiler med mulighed for tilkobling til el-nettet kaldes *plug-in-hybridbiler*. Det er biler, der noget af tiden kan køre som el-biler.

⁵ Se www.ruf.dk

Ligesom en hybridbil med seriedrift, er en *brintbil* en el-bil, der kører rundt med sit eget kraftværk. Forskellen er

- 1) at brintbilen ikke drives af en forbrændingsmotor, men af en brændselscelle, der omsætter brændstoffet (brinten) direkte til elektrisk kraft, sådan at el-generatoren undgås, og
- 2) at en del af den elektriske kraft fra brændselscellen kan overføres direkte til el-motoren/motorerne udenom batteriet. Batteriet udgør et bufferlager, der sikrer at brændselscellen kan drives med nogenlunde konstant belastning.

El-biler adskiller sig fra hybridbiler og brintbiler derved, at de ikke kører rundt med deres eget kraftværk til opladning af batterierne. Opladningen sker, når bilerne er parkeret, med elektrisk kraft fra el-nettet, dvs. fra kraft- og kraftvarmeværker, vindmøller, vandkraftværker og andre kraftkilder tilkoblet el-nettet. Det betyder, at el-biler skal have større batterikapacitet for at kunne køre tilstrækkeligt langt mellem ophold ved en stikkontakt.

Det skal bemærkes, at både *el-biler* og *brintbiler* henter deres drivkraft fra *el-nettet*. Den principielle forskel er, at med el-biler sker kraftoverførslen til bilernes hjul via batterier og el-motorer, medens den med brintbiler sker via brintproduktion ved elektrolyse, brintlagring og distribution, brændselsceller, batterier og el-motorer. I hvert af disse led i den elektrokemiske kraftoverførsel fra el-nettet til brintbilernes hjul sker der betydelige tab. (se tabell, side 19).

5. Konkurrencen mellem hybridbiler, brintbiler og el-biler

Nedtrapningen af olieforbruget til transport kommer til at ske i kraft af høje forbrugerpriser på benzin- og diesel, hvis der ikke ligefrem indføres en brændstofrationering. Høje råoliepriser vil endvidere medføre højere priser på naturgas, kul og biobrændsler og dermed højere el-priser. Derved bliver bilernes brændstof- og/eller el-forbrug en vægtig konkurrenceparameter. Dyrere biler med et lavere driftsudgifter kommer til at udkonkurrere billigere biler med højere driftsudgifter.

Forholdet mellem forbrugernes variable driftudgifter og deres faste udgifter til forrentning og afskrivning af købesummen kan reguleres ved at regulere henholdsvis afgifter på brændstoffer og el og afgifter ved bilkøb (registreringsafgifter). Samfundsøkonomisk - herunder miljømæssigt - forfølges de energipolitiske målsætninger om forsyningssikkerhed og nedtrapning af CO₂-udslippet bedst ved at formindske registreringsafgifterne og forøge afgifterne på brændstoffer og el, sådan at afgifterne kommer til at afspejle de reelle samfundsøkonomiske/miljømæssige omkostninger ved henholdsvis bilkøb og brændstof- og el-forbrug⁶. (Afgifterne på brændstoffer kan nedtrappes, når olieprisen bliver så høj, at den i sig selv afspejler de reelle omkostninger).

Her diskuteres spørgsmålet om, hvilke biltyper, der trænger ind på markedet i de

⁶ Det skal bemærkes, at mindre registreringsafgifter også vil medføre lavere kaskoforsikringspræmier. I dag fremkommer en stor del af forsikringsselskabernes omsætning ved forsikring af de store registreringsafgifter.

kommende år, under den forudsætning, at de fremtidige afgifter således kommer til at afspejle de reelle samfundsøkonomiske/miljømæssige omkostninger, sådan at opfyldelsen af de energipolitiske målsætninger ikke modvirkes af ikke-formålstjenlige afgifter.

Generelt må det forventes, at mindre, lettere biler vil fortrænge de unødigt store, tunge biler, der er på markedet i dag. Dette vil i sig selv formindske de specifikke brændstof- og el-forbrug (liter/100 km, kWh/100 km).

Hvilke biltyper der vinder frem, afhænger først og fremmest af de fremtidige brændstof- og el-priser (incl. afgifter) og de fremtidige batteripriser:

- Høje brændstofpriser og høje batteripriser vil gøre energieffektive konventionelle biler (som VW Lupo 3L, der kan køre 33 km/liter) og hybridbiler med beskeden batterikapacitet (især de mest energieffektive med seriedrift) konkurrencedygtige.
- Med høje brændstofpriser og lavere batteripriser i f.t. priserne på hybridbilernes forbrændingsmotorer og transmissionssystemer vil el-biler blive konkurrencedygtige overfor hybridbiler. El-prisen vil spille en mindre rolle, fordi el-bilernes el-forbrug er lavt.
- Brintbiler bliver kun konkurrencedygtige overfor hybridbiler og el-biler, hvis
 - brinten kan leveres til en pris, der er tilstrækkeligt lav i forhold til benzin- og dieselpriiserne. Brintbiler bruger godt 4 gange så meget el som el-biler, se tabel 1, side 19, og i brintprisen indgår afskrivning og forrentning af brintinfrastruktur-anlæg
 - prisen på brændselsceller ikke er for høj i f.t. priserne på forbrændingsmotorer og batterier.

Da det således ikke er givet, at brintbiler i fremtiden vil være konkurrencedygtige i forhold til hybridbiler (plug-in biler, der delvist kører som el-biler) og el-biler, er der en stor risiko forbundet med investeringer i den brint-infrastruktur (elektrolyseanlæg, lagre, distribution, tankningsanlæg), der er nødvendig for brintbilernes udbredelse. Bl.a. fordi omkostningerne ved udbygning af denne brint-infrastruktur skal dækkes af brintprisen, hvilket betyder, at brintprisen bliver højere jo mindre brint, der sælges. Der kan således fremkomme en alvorlig positiv pris-feed-back loop.

Hybridbilers og el-bilers driftomkostninger er ikke bundet til faste omkostninger ved forrentning og afskrivning af nye infrastrukturanlæg. Man kan således forestille sig den situation, at brint-infrastrukturen udbygges, fordi brintbiler med tilhørende infrastrukturanlæg tegner til at være samfundsøkonomisk og miljømæssigt fordelagtige - hvorpå prisen på batterier falder, så hele brintsystemet udkonkurreres af el-biler og hybridbiler.

6. Regulering af el-produktion og -forbrug i det samlede energisystem

El-biler og brintbiler og i mindre grad plug-in-hybridbiler kan indgå som et led i det elektriske reguleringssystem i et fremtidigt energisystem med stor el-produktion i vindmøller og solceller og en betydelig varmebundet el-produktion i kraftvarmeværker (selv efter at reguleringsmulighederne ved hjælp af varmepumpeanlæg i kraftvarmeværkerne er udnyttet). Når den samlede el-produktion

i kortere perioder overstiger det aktuelle el-forbrug, kan batterier i parkerede el-biler aftage el fra el-nettet. Alternativt kan der i længere perioder - afhængigt af den installerede elektrolyse-kapacitet og brintlager-kapacitet - bruges el til brintproduktion - hvis brintbiler med tilhørende brint-infrastruktur har vist sig at kunne konkurrere med el-biler og/eller hybridbiler. Uden brint kan der blive et større behov for store, stationære batterier (som vanadium-batterier), der kan oplades i perioder med overskydende el-produktion og aflades, når el-produktionen i vindmøller, solceller og kraftvarmeværker er mindre end forbruget.

Beregninger af de økonomisk og miljømæssigt hensigtsmæssige batterikapaciteter eller elektrolyse og brintlagringskapaciteter indgår ikke i denne udredning. Disse kapaciteter afhænger blandt andet af, i hvilket omfang de norske og svenske vandkraftværker kan indgå i el-reguleringen.

7. De betragtede scenarie-eksempler

I det følgende vises tre scenarie-eksempler med betegnelserne **H1**, **M2**, og **L3**. H, M og L står for Høj, Moderat og Lav vækst i bilbestande. Cifrene 1,2 og 3 betegner en langsommere (1), en relativt hurtigere (2) og en hurtig (3) omstilling til nye transportteknologier (se figur 6 og 7). H1, M2 og L3 scenarierne repræsenterer således de to yderpunkter (H1 og L3) og et midterpunkt (M2) i det spektrum, der udgøres af de 9 gennemregnede scenarie-eksempler H1 - H2 - H3, M1 - M2 - M3, L1 - L2 - L3.

Beregningerne er gennemført med SESAM-modellens programmodul til transportanalyser. Udgangspunktet for scenarieberegningerne er året 2005. Beregningen af bilbestandens sammensætning og brændstofforbrug i 2005 er baseret på historiske data hentet fra publikationen *Bilismen i Danmark 2006*, udarbejdet af De danske Bilimportører og fra Danmarks Statistik. Udviklingen fra slutningen af 1980'erne frem til 2005 er vist i

Figur 2. Udviklingen i personbilbestanden 1989 - 2005, og

Figur 3. Gennemsnitligt brændstofforbrug for nyregistrerede biler i perioden 1989 - 2005.

På grundlag af disse data og en levetid for bilerne på omkring 15 år⁷ beregnes den tilbageværende bestand af biler indregistreret før 2005 (se figur 7) samt disses brændstofforbrug år for år i perioden 2005 - 2030.

Den fremtidige udvikling i personbilbestanden og kørselsforbruget (km/år) i henholdsvis H-, M- og L-scenarierne er vist i

Figur 4. Udviklingen i personbilbestanden 1990 - 2030, og

Figur 5. Gennemsnitligt antal kørte km per år for biler med forbrændingsmotorer og el- eller brintbiler.

De nuværende og fremtidige biltypers specifikke energiforbrug og

⁷ Levetiden antages at være normal-fordelt med en middelværdi på 15 år og en spredning på 3 år.

markedsindtrængningen af nye biltyper i scenarierne H1, M2 og L3 er vist i
Tabel 1. Nuværende og fremtidige biltyper, og
Figur 6. Markedsindtrængning af nye biltyper.

Den resulterende udvikling i bilbestandens sammensætning er vist i
Figur 7. Udviklingen i bilbestandens sammensætning.

De i tabel 1 givne energiforbrugsdata sammen med den i figur 7 viste udvikling i sammensætning af bilbestanden bestemmer udviklingen i gennemsnitlige brændstofforbrug i biler med forbrændingsmotorer (konventionelle biltyper og hybridbiler), se

Figur 8. Udviklingen i bilparkens gennemsnitlige brændstofforbrug, Liter/100 km.

Det samlede bilforbrug (mia. kørte km per år) og det samlede brændstof- og el-forbrug i personbiler er herefter bestemt af, hvor mange km der årligt køres i biler af forskellige typer (se figur 5). Resultaterne er vist i

Figur 9. Mia. kørte km i personbiler 2005 - 2030, og

Figur 10. Årligt brændstof- og el-forbrug i alt i personbiler.

8. Transport-infrastrukturer og biltransportmængder

Her i landet bliver økonomi og infrastrukturer stadig mere afhængig af ubegrænset adgang til billig olie. De store indkomst- og formuestigninger i de velhavende befolkningsgrupper i de senere år har medført, at de 56% af landets husstande, der har bil, har anskaffet sig flere og større biler. Kommunalreformen har medført at flere offentligt ansatte hver dag skal køre længere til arbejde, og at borgerens vej til sygehuse og andre offentlige institutioner er blevet længere. Den manglende udbygning og vedligeholdelse af jernbanenettet har fået mange til at tage bilen i stedet for toget. Og flyrejser til fjerne lande er en stadig voksende oplevelsesindustri.

I H1-scenariet sker der ikke væsentlige ændringer af de nuværende infrastrukturer, og forholdet mellem persontransport i henholdsvis biler og kollektive transportmidler ændres ikke væsentligt. Bag L3-scenariet ligger derimod en forestilling om, at der i de kommende år sker en fornyelse af den kollektive transportinfrastruktur, så personbiltransporten formindskes, se figur 9.

I L-scenarierne, hvor væksten i bilbestanden stagnerer og efter 2015 begynder at falde, stagnerer det gennemsnitlige antal kørte km per år per bil ved 17.000 km/år, se figur 5. Det gennemsnitlige antal km for en el-bil eller en brintbil antages at være 20% mindre end kilometertallet for en bil med forbrændingsmotor

I M- og H-scenarierne, hvor væksten i bilbestanden fortsætter længere frem, antages det årlige kilometertal per bil at falde efter 2012, se fig 5. Begrundelsen for faldet er den antagelse, at der er en grænse for, hvor mange timer om dagen folk vil tilbringe bag rattet i en bil. Når der kommer endnu flere biler i garager og på parkeringspladser, er det derfor rimeligt at antage, at hver bil kommer til at køre færre kilometer om året. Også fordi trængslen på gader og veje yderligere forøger tidsforbruget til transport, hvis bilerne kører lige så mange kilometer om året som nu.

9. Bilbestandens udvikling 2005 - 2030

De nye biltyper, der indgår i de her betragtede scenarier, er oplistet til tabel 1. Figur 6 viser, hvordan antallet af nyregistrerede biler år for år fordeler sig på disse biltyper.

I H1-scenariet kommer nye biltyper - i første runde 1. generations hybridbiler - først på markedet efter 2014. I M2-scenariet sker markedsindtrængningen noget tidligere, og i L3-scenariet begynder 1. generations hybridbiler allerede i 2010 at trænge ind på markedet i større antal.

Til sidst i scenarieperioden sælges kun nye, energieffektive 2. generations konventionelle biler (se tabel 1), 2. generations hybridbiler og el-biler eller brintbiler.

Som resultat af den i figur 6 viste markedsindtrængning af nye biltyper fremkommer den i figur 7 viste udvikling af bilbestanden.⁸

El-biler og brintbiler er alternativer - enten eller. Da brintbiler har et meget større el-forbrug end el-biler (se tabel 1), og det er dyrt og besværligt at lagre og distribuere brint, kommer brintbiler kun på tale, hvis det ikke lykkes at udvikle el-biler med tilstrækkelig aktionsradius, der med de fremtidige oliepriser kan konkurrere med benzin- og dieslbiler.

Det danske bilmarked er for lille til, at dansk biltransportpolitik har indflydelse på bilfabrikanternes udvikling af energieffektive biler. Her må EU, USA og Japan sætte ind i forening. En dansk udvikling og produktionen af el-biler er imidlertid en mulighed.

10. Brændstof og el-forbrug

Med de i tabel 1 givne specifikke brændstofforbrug og den angivne fordeling på benzin- og dieslbiler og den i figur 8 viste i sammensætning af bilbestanden fås de i figur 9 viste udviklingsforløb for det gennemsnitlige brændstofforbrug (liter/100 km) i konventionelle biltyper og hybridbiler.

Udviklingen i det resulterende samlede brændstofforbrug i de tre scenarier samt i el-forbruget til el-biler eller - alternativt - brændselscelle-brintbiler er vist i figur 10.

I H1-scenariet, hvor væksten i bilbestanden fortsætter i hele scenarieperioden, begynder bilernes samlede brændstofforbrug først at falde i 2020. Faldet skyldes:

- udskiftningen af de nuværende konventionelle modeller med mere energieffektive konventionelle biler og hybridbiler (se tabel 1),
- indtrængningen af el-biler eller brintbiler i slutningen af perioden og delvis plug-in drift af hybridbiler (se tabel 1), og
- at antal kørte km i brændstofdrevne biler falder i årene efter 2020, se figur 9.

⁸ Der er for alle biltyper regnet med en levetid, der er normalt fordelt med middelværdi 15 år og spredning 3 år.

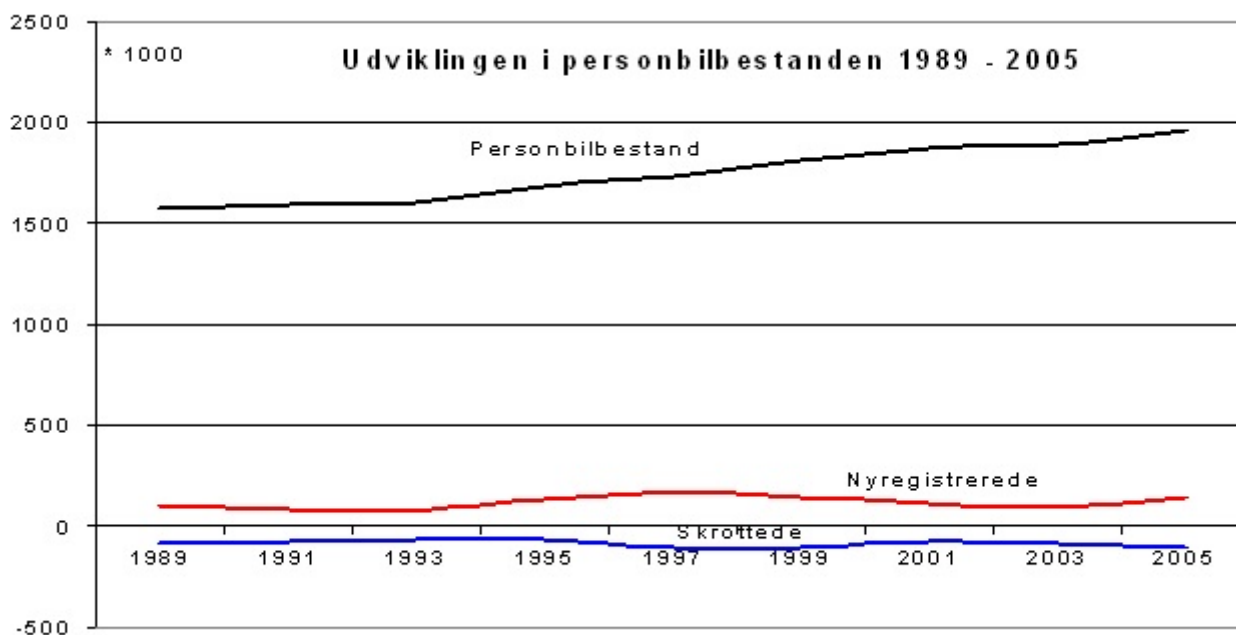
Også i M2-scenariet er brændstofforbruget i 2020 omtrent lige så stort som i 2005. Først derefter falder det kraftigt, så det i 2030 er nede på 30% af 2005-forbruget.

Kun i L3-scenariet er brændstofforbruget jævnt faldende i det meste af scenarieperioden - fra 2010 og fremover - så det i 2020 er nede på 77% af 2005-forbruget og i 2030 er nede på kun 16% af 2005-forbruget.

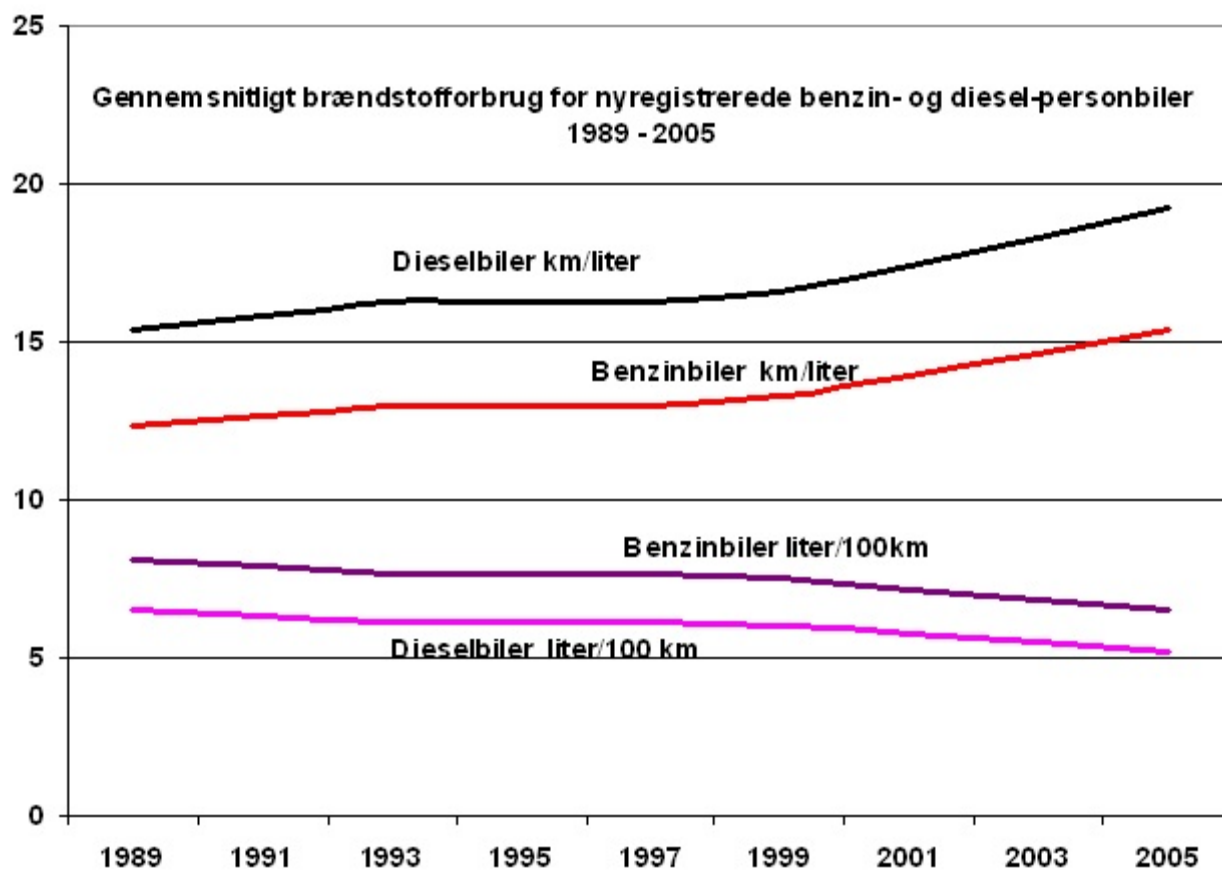
Tabel 1. Nuværende og fremtidige biltyper

Biltype	Specifikt brændstofforbrug				
	Benzinbiler			Dieselbiler	
	kWh/100 km Brændstof	liter/100 km	km/liter	Forbrug pct. af benzin- forbrug	Andel af bil- bestand
Indregistreret før 2005 (Eksisterende i 2005)	Afhænger af år for indregistrering, se fig. 3				1987 8% 2005 20%
Konventionelle nuværende (2005) modeller, indregistreret efter 2005	64	6,5	15,4	80%	20%
Nye, mere brændstoføkonomiske konventionelle modeller, 1. generation	51	5,2	19,3	82%	25%
Nye, mere brændstoføkonomiske konventionelle modeller, 2. generation	42	4,2	23,7	82%	25%
Hybridbiler (nogle plug-in), 1. generation El-plug-in drift 20%	46	4,6	22,0	82%	22%
Hybridbiler (nogle plug-in), 2. generation El-plug-in drift 50%	39	3,9	25,7	82%	25%
	Specifikt el-forbrug				
	kWh/100km	km/kWh			
El-biler, 1. generation 2. generation Incl. tab ved opladning og afladning af batterier og i el-motor.	15 13	6,7 7,7			
Brint-biler, 1. generation 2. generation Incl. el-forbrug til elektrolyse samt tab ved lagring/genvinding, i brændselsceller, ved transmission til el-motor og i el-motor	64 58	1,5 1,7			

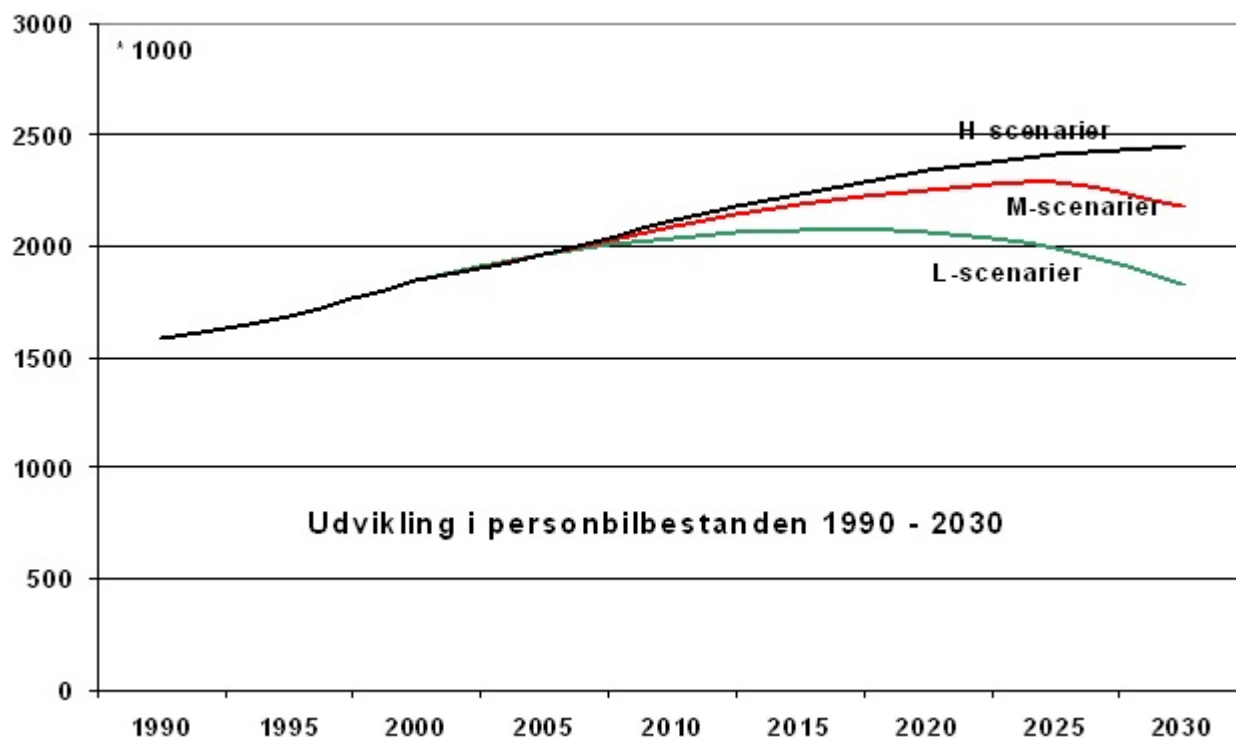
Figur 2. Udviklingen i personbilbestanden 1989 - 2005



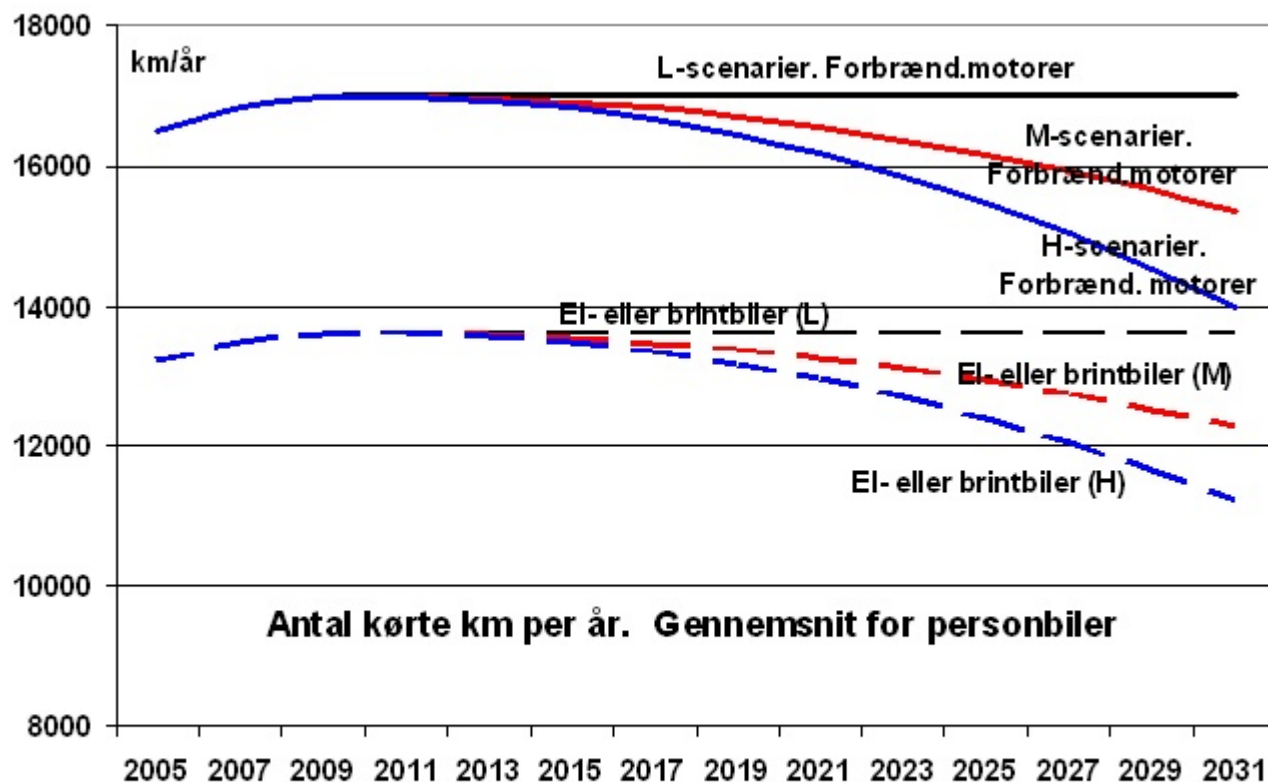
Figur 3. Gennemsnitligt brændstofforbrug for nyregistrerede biler i perioden 1989 - 2005



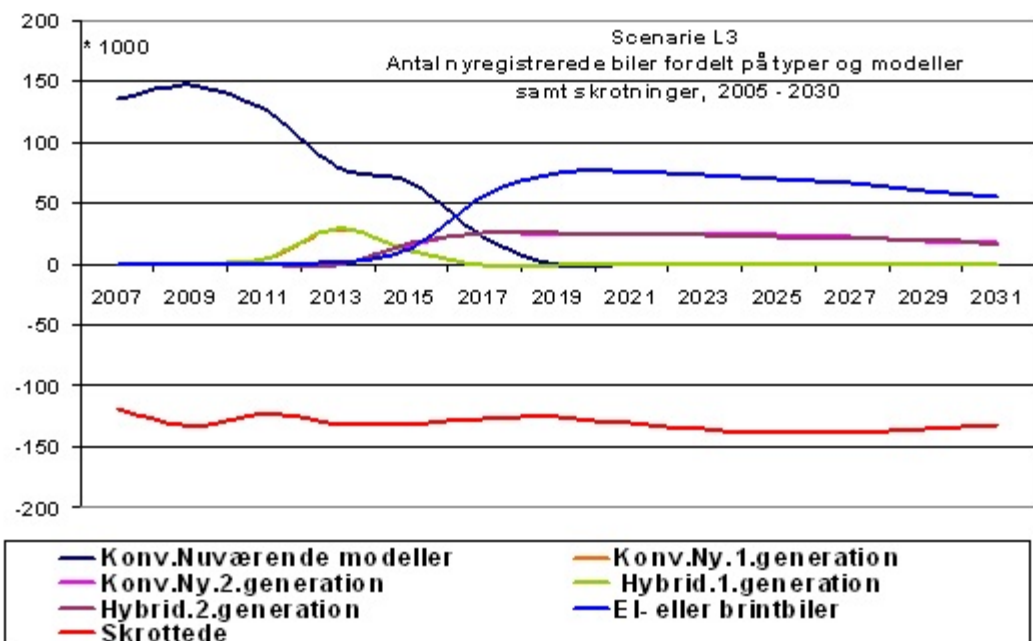
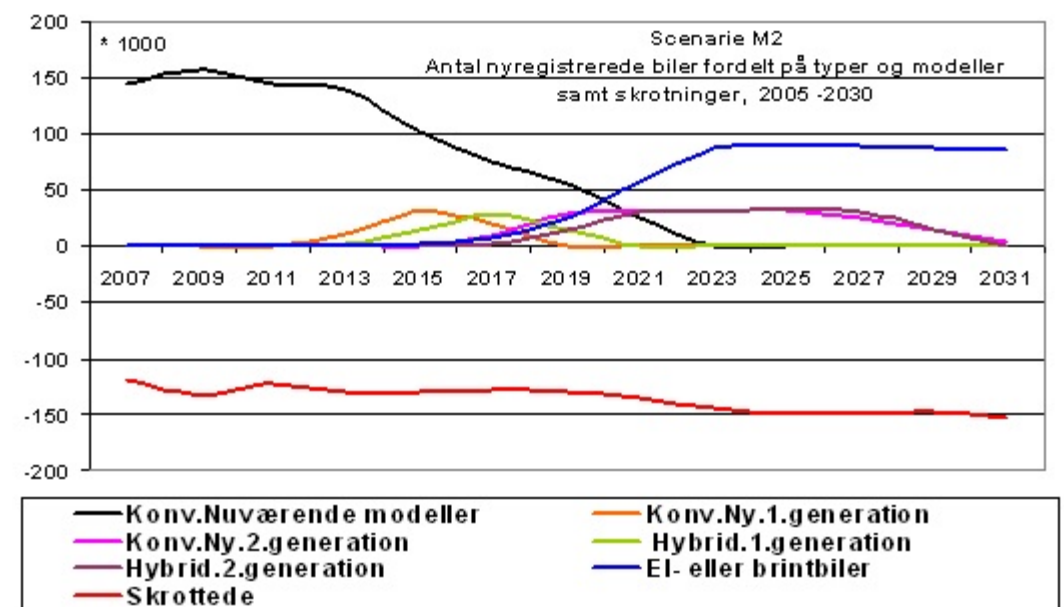
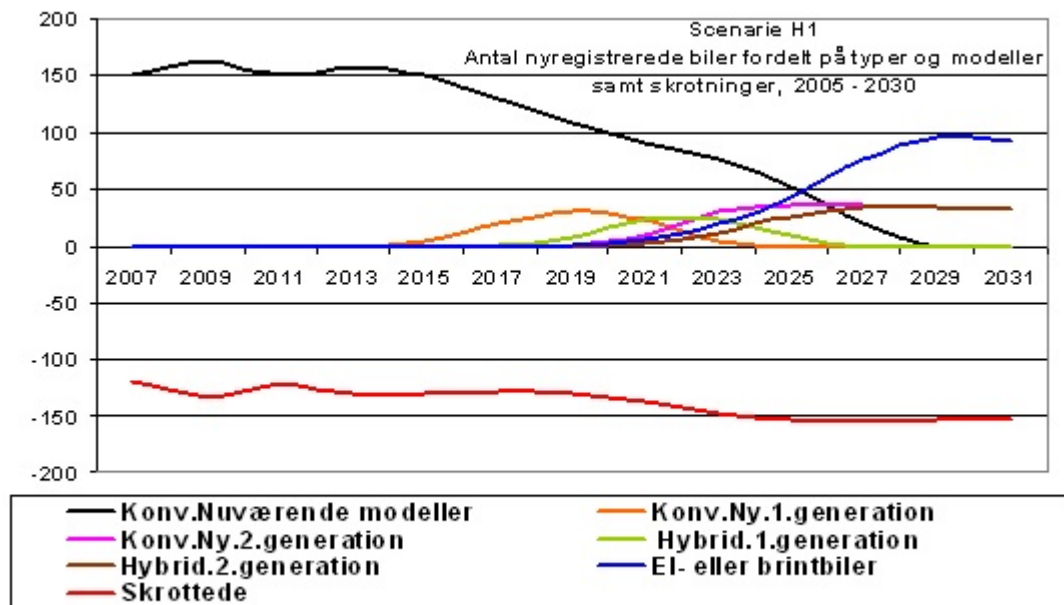
Figur 4. Udvikling i personbilbestanden 1990 - 2030



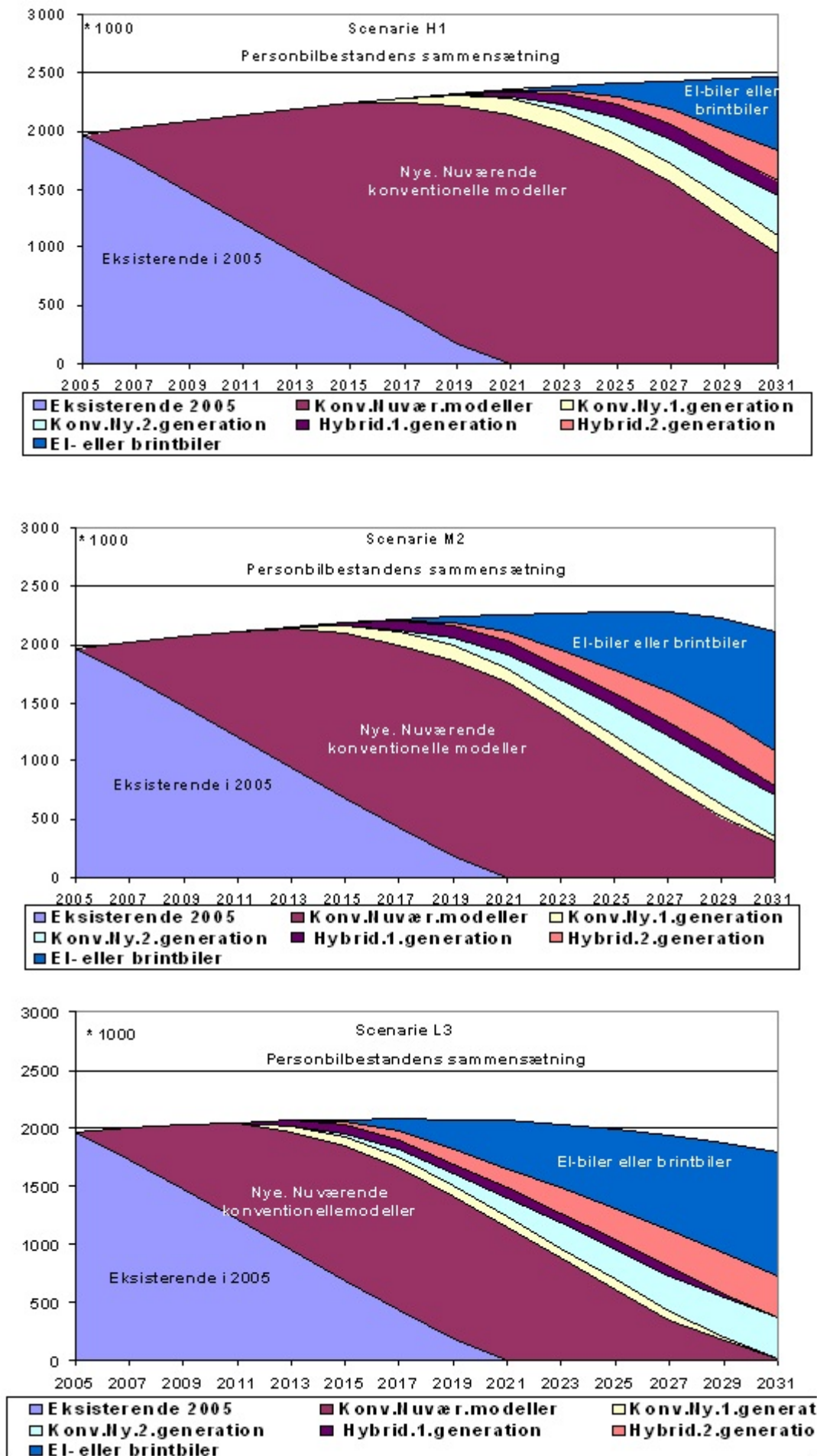
Figur 5. Gennemsnitligt antal kørte km per år for biler med forbrændingsmotorer og el- eller brintbiler



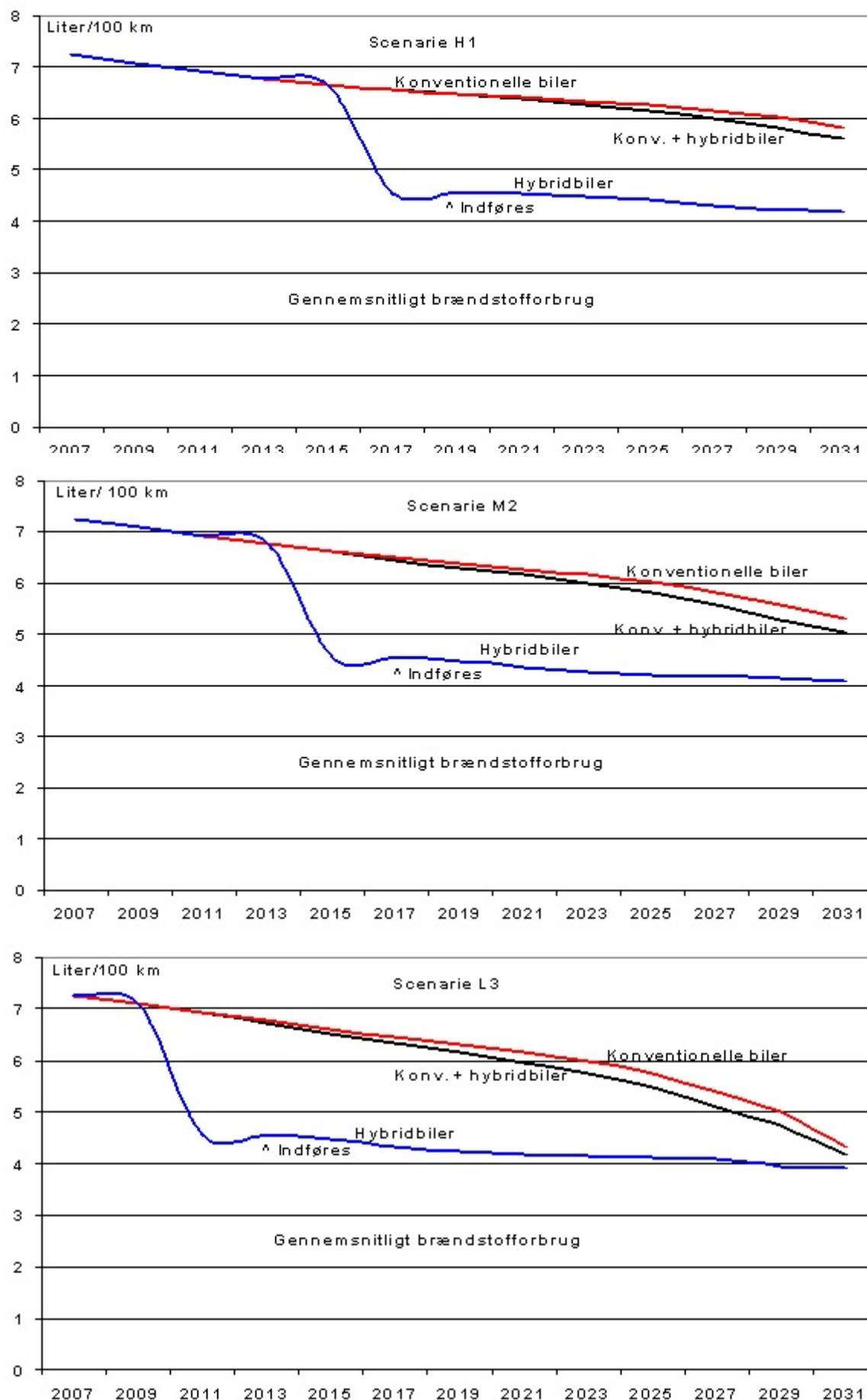
Figur 6. Markedsindtrængning af nye biltyper



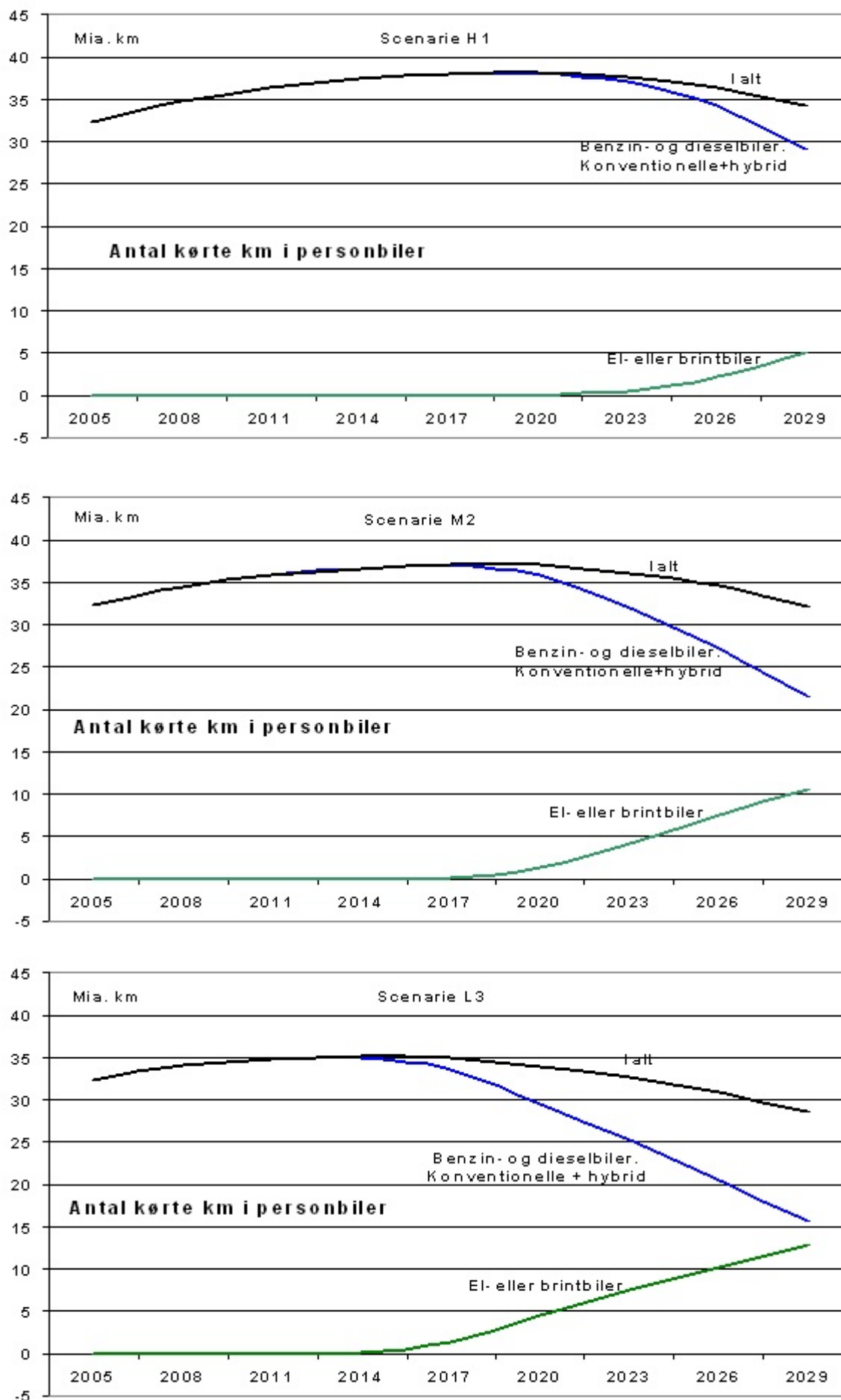
Figur 7. Udviklingen i bilbestandens sammensætning 2005 - 2030



**Figur 8. Udviklingen i bilparkens gennemsnitlige brændstofforbrug
Liter/100 km**



Figur 9. Mia. årligt kørte km i personbiler 2005 - 2030



Figur 10. Årligt brændstof- og el-forbrug i alt i personbiler 2005 - 2030

