

MAJ 2015
KØBENHAVNS KOMMUNE

BUSTEKNOLOGI I KØBENHAVN FREM MOD 2025

RAPPORT



COWI

Maj 2015

KØBENHAVNS KOMMUNE

BUSTEKNOLOGI I KØBENHAVN FREM MOD 2025

RAPPORT

PROJEKTNR. A046192
DOKUMENTNR. 1
VERSION 7
UDGIVELSESDATO Rev. maj 2015
UDARBEJDET CANG/JJD
KONTROLLERET JGL
GODKENDT CANG

INDHOLD

1	Resumé	7
2	Baggrund og formål	10
2.1	Metode og resultat	11
2.2	Dataindsamling	12
2.3	Opbygning af rapporten	13
3	Problemstillingen	15
3.1	Emissioner	15
3.2	Alternative drivmidler	17
3.3	Ikke-relevante drivmidler	17
3.4	Hvad opnås med den nye EURO VI-norm	22
3.5	Movia og miljø	24
3.6	Forsøg i København	25
4	Scenarier	28
5	Busmateriel i København	31
5.1	Nøgletal for drift	34
6	Gennemgang af teknologier	37
6.1	Biodiesel	39
6.2	Naturgas/biogas	43
6.3	El	51
6.4	Hybridbusser	61
7	Vurdering af teknologier	67
7.1	Driftsøkonomiske betragtninger	70
7.2	Forventet prisudvikling frem til 2025	72
7.3	Miljøeffekter	75

7.4	I hvilket omfang kan teknologierne anvendes	76
8	Strategi og anbefalinger	79
8.1	Strategisk tilgang	80
	BILAG 1: Emissioner af NO _x og partikler i 2025	84

1 Resumé

Mål

Københavns Kommune ønsker at begrænse udledningen af NO_x og partikler med 60 % og gøre den kollektive busstrafik CO₂-neutral inden 2025.

I omstillingen frem mod 2025 er det vigtigt, at udviklingen sker på en omkostningseffektiv måde. Samtidig lægges vægt på, at løsningerne er pålidelige og robuste, så den kollektive trafik fortsat vil kunne fungere med høj regularitet og driftssikkerhed, som vi kender det i dag.

Alternative brændstofteknologier er i øjeblikket genstand for stor interesse fra mange sider. Det giver forventninger om, at nye muligheder bliver realistiske og rentable inden for en forholdsvis kort årrække. Derfor er det også vigtigt for kommunen, at den ikke binder sig til dyre investeringer i anlæg, som efterfølgende kan påvirke mulighederne for frit at vælge andre teknologier, som måtte vise sig attraktive.

For kommunen handler det ikke så meget om teknikken omkring selve produktionen af alternative drivmidler, eller om teknikken i de motorer, der er nødvendige i busserne. Det handler derimod om helt overordnet at begrænse de samlede miljømæssige effekter (emissionerne), om hvordan det kan ske i praksis, og hvad det vil kræve økonomisk.

Analyse

I denne rapport undersøges en række alternative drivmidler og teknologier, som hver især har fordele og ulemper, både hvad angår de miljømæssige og driftsøkonomiske perspektiver. Det omhandler:

- › Biodiesel
- › Syntetisk diesel
- › Bioethanol
- › Naturgas
- › Biogas
- › Hybridbusser
- › Elbusser med natopladning eller opladning på ruten (hér kaldet opportunity-charging)
- › Brintbusser.

Nødvendige investeringer i særlige anlæg, særlige rammebetingelser og ansvarsdeling, udbudsforhold og forventninger til teknologisk udvikling i de kommende år vurderes ligeledes oversigtsligt for de enkelte alternativer, dels på baggrund af en række kilder, dels på baggrund af interviews med udvalgte nøglepersoner.

Herudover beskrives en række tidligere forsøg i København med alternativ teknologi, og der sættes fokus på, hvor langt EURO-normerne og de krav, som nye busser skal overholde i den forbindelse, bringer os i forhold til den samlede målsætning.

Endelig beskrives de centrale karakteristika for den kollektive bustrafik i København, i form af nøgletal for drift og driftsøkonomi, bussammensætning og miljøprofil. En gennemsnitlig timepris for buskørslen nedbrydes i de bagvedliggende omkostningsposter hos operatøren, og danner baggrund for beregninger af, hvad en tilsvarende timepris må forventes at koste med alternative drivmidler. Det skal i den forbindelse bemærkes, at hvert enkelt udbud har sin særlige karakteristik, bl.a. i forhold til udbuddets omfang, effektiviteten i vogn- og køreplaner, valg af materiel og konkurrencesituation.

I rapporten opstilles tre scenarier, der kombinerer forskellige teknologier i en fremtidig situation. Scenarierne har fokus på biogas, biodiesel og eldrift, og er sammensat, så målene om reduktion i udledning af CO₂, NO_x og partikler nås i alle tre tilfælde. De tre scenarier anvendes dels til at diskutere forskellige teknologier, dels til at beregne, hvordan Københavns Kommune mest omkostningseffektivt når sine målsætninger.

Resultater

I forhold til indfrielse af målsætningerne viser rapporten bl.a.:

- › At den ønskede begrænsning i udledningen af NO_x og partikler vil ske automatisk gennem indførelse af EURO VI-normen for busser
- › At en samlet CO₂-udledning kan gå i 0, hvis
 - › Driften udelukkende gennemføres med eldrevne busser (på VE-strøm)
 - › Eller hvis dele af driften gennemføres med gasbusser og brug af biogas fra afgasset gylle (VE-certificeret). Biogas fra afgasset gylle medfører en negativ udledning af CO₂, og vil gøre det muligt at anvende CO₂-udledende drivmidler som diesel og fortsat have CO₂-neutral drift
- › At nettodriftsudgifterne med en række forudsætninger beregningsmæssigt vil øges med 3-5 % i forhold til den nuværende dieseldrift, svarende til årlige merudgifter på ca. 10-20 mio. kr.
- › At anvendelse af eldrevne busteknologier vil medføre højere nettodriftsudgifter end biogas og biodiesel
- › At 100 % eldrift ikke må anses for realistisk i 2025. Udskiftningsmønstret for kontraktbusser giver bindinger, der nødvendiggør løbende indfasning af biogas i driften

- › At udviklingen af busteknologi og drivmidler foregår i et meget hurtigt tempo i disse år. Dette gælder ikke mindst, hvad angår batteriteknologi
- › At Københavns Kommunes rolle og ansvar kan forblive uændret i forhold til i dag, og at kommunen ikke behøver binde sig til store investeringer i anlæg for at nå sine mål

Strategisk tilgang

For indførelse af ny teknologi over de kommende år, anbefaler vi på baggrund af de gennemførte analyser og beregninger følgende strategiske tilgang:

- › Skab fleksibilitet og handlefrihed med en stabil basisløsning
- › Følg flere teknologispor
- › Fokuser på energieffektivitet og CO₂-udledning
- › Brug lange kontrakter, hvor operatøren ikke afgør evt. forlængelse
- › Kontrollér emissioner systematisk
- › Opnå fordele allerede nu
- › Følg udviklingen af nye teknologier
- › Deltag i test af nye, lovende teknologier.

2 Baggrund og formål

I forhold til miljø- og klimaområdet har Københavns Kommune i rapporten "Ren luft til københavnere" fastsat konkrete mål for den kollektive busstrafik frem mod 2025. Bussernes udledning af partikler og NO_x skal reduceres med 60 % i forhold til det tilsvarende niveau i 2011. Herudover er det et mål, at busserne i 2025 skal være CO₂-neutrale. Det betyder, at udledningen af CO₂, der i 2011 svarer til ca. 29.000 tons årligt, skal nedbringes til nul, se Tabel 1.

I lyset af disse målsætninger ønsker kommunen analyseret, hvordan der kan indføres rene busteknologier i den kollektive trafik i København på en hensigtsmæssig og omkostningseffektiv måde.

Tabel 1 Udledning af CO₂, NO_x og partikler for den kollektive busstrafik i Københavns Kommune samt mål for reduktioner i Københavns Kommune. For NO_x og partikler er målet 60 % reduktion, for CO₂ en 100 % reduktion. Tallene er ekskl. havnebusser.

Årlig udledning	CO ₂ Ton	NO _x Ton	Partikler (PM) Ton
2011 - busdrift	28.928	167,9	0,72
Mål i 2025	<u>÷ 28.928</u>	<u>÷ 100,8</u>	<u>÷ 0,43</u>
Maksimal udledning fra busdriften i 2025	0	67,2	0,29

Kilde: Trafikselskabet Movia.

Kommunen ønsker samtidig en tilhørende vurdering af de fordele og ulemper, der må forventes at kendetegne de relevante busteknologier i perioden frem mod 2025, herunder hvad angår:

- › Miljøbelastning generelt
- › Forventet driftsøkonomi
- › Flexibilitet
- › Tilhørende rammebetingelser, herunder overordnet organisering, udbuds- og ejerforhold i den offentlige busstrafik
- › Infrastruktur og tilgængelighed i forhold til lokalisering af tankanlæg.

I rapporten beskrives de teknologier og drivmidler, der vil være mest oplagte at bringe i spil, herunder hybridbusser, eldrevne busser (traditionel med natoplading og opportunity-charged busser med opladning undervejs), samt busser på biodiesel eller biogas/naturgas. Herudover kommenteres busser, der anvender syntetisk diesel og ethanol samt brintbusser.

2.1 Metode og resultat

Indledningsvis beskrives en række forhold, som vurderes at være væsentlige for at forstå de miljømæssige sider af den samlede problemstilling. Tilgangen til opgaven omfatter herefter tre trin:

Udvælgelse af scenarier

Først en udvælgelse af tre relevante scenarier, der alle vil kunne opfylde målsætningerne i 2025. De tre scenarier består alle af en kombination af flere teknologier, hvor der primært er fokus på én af teknologierne frem for de øvrige, f.eks. eldrift.

Scenarierne anvendes først og fremmest som indgangsvinkel til at belyse projektets formål og til at få sat fokus på de teknologier, der må forventes at få størst betydning i de kommende år.

Analyse og vurdering af teknologier

Dernæst en grundig analyse af de teknologier, der indgår i de valgte scenarier. De væsentlige styrker og svagheder ved de forskellige teknologier analyseres og vurderes.

Bl.a. er det væsentligt at få belyst de samlede økonomiske forhold, driftsudgifter og nødvendige investeringer, og få beskrevet de øvrige rammebetingelser.

Hvor ligetil vil det være at indføre de forskellige teknologier, og hvor stabile må det forventes at være? Det er klart, at busdriften i København skal være robust, effektiv og sikker for passagererne, så de kan regne med den.



Anbefaling

Analyserne afsluttes med en opsamling af de fundne resultater, med en anbefaling til, hvilke teknologier eller sammensætninger af teknologier, der mest hensigtsmæssigt kan tages i anvendelse for at understøtte og opfylde målsætningerne. I vurderingen indgår bl.a. de forventede økonomiske konsekvenser af at opfylde de opstillede målsætninger.

Workshop

COWI har på baggrund af indledende overvejelser foreslået tre scenarier, som indledningsvist i projektet er præsenteret på en workshop, hvor indholdet blev drøftet og justeret. På workshoppen var deltagere fra Københavns Kommune, Trafikskabet Movia, Energistyrelsen, Fredericia Kommune og COWI.

Leverancer

Udover nærværende rapport udarbejdes et kortfattet, selvstændigt resumé samt en præsentation med de væsentlige forudsætninger og resultater fra projektføreløbet.

2.2 Dataindsamling

I forbindelse med afdækning, beskrivelse og vurdering af de væsentligste fordele og ulemper ved forskellige teknologier er der indsamlet data om den nuværende buskørsel i Københavns Kommune med hensyn til drift og miljøforhold.

Da Københavns Kommunes målsætninger tager afsæt i 2011, er der primært indsamlet data for netop 2011.

COPERT

Centrale nøgletal der angives i rapporten, hvad angår miljø og udledning af skadelige stoffer, er fundet hos forskellige kilder. Helt overvejende er udgangspunktet et datasæt, som stammer fra COPERT 4, som er den seneste version af et officielt modelværktøj, udviklet under 'The European Environment Agency'.

Modellen anvendes til at beregne luftforurening og udledning af drivhusgasser fra vejtrafik, og data herfra er baseret på standardiserede, konsistente og sammenlignelige procedurer, der efterlever kravene i de internationale konventioner og protokoller.

En af de centrale parametre i COPERT er køretøjshastighed. Det gør det muligt at beregne realistiske emissionsværdier, som tager højde for bybussers generelt lave hastigheder.

De beregnede emissionsværdier er efterfølgende korrigeret ved hjælp af data om gennemsnitlige hastigheder for de aktuelle linjer i København, og desuden vægtes i forhold til det samlede kørselsomfang fra linje til linje. Trafikselskabet Movia har leveret de nødvendige baggrundsdata hertil.

AD-model

Den såkaldte AD-model (Alternative Drivmidler) er i rapporten blevet anvendt til at beregne forventede CO₂-emissioner fra forskellige, alternative drivmidler. COPERT har ikke tilstrækkelige informationer om alternative drivmidler, hvilket derimod særligt er AD-modellens styrke.

Prisniveau

I forhold til de aktuelle driftsudgifter er der taget udgangspunkt i regnskabstallene for 2011.

I de sammenlignelige opgørelser af den forventede driftsøkonomi med forskellige teknologier er set nærmere på de typiske omkostningslementer hos operatøren, der alle er med til at udgøre en typisk timepris, svarende til den Movia finder ved gennemførelse af udbud. Vi har i sammenligningen ligeledes vurderet prisforskellene i forhold til Københavns Kommunes samlede udgifter til den kollektive busstrafik.

I rapporten er angivet en række skønnede priser for forskellige teknologier, herunder indkøbspriser for busser og priser for drivmidler. Udgangspunktet er her de priser, vi kender i dag. En fremskrivning af disse priser til 2025-niveau skønnes at være forbundet med store usikkerheder. AD-modellen og andre kilder indeholder spredte bud på, hvordan prisudviklingen kan gå, men overordnet set må vurderes, at meget kan ændre disse forudsigelser.

Aktuelle energipriser er bl.a. fundet hos:

- › Energi- og olieforums hjemmeside¹
- › AD-modellen.

Interviews

Udover indhentning af information i arbejdsgruppen har COWI interviewet følgende personer:

- › Annette Vognbjerg, Holstebro Kommune
- › Thomas Dalgaard, Midttrafik
- › Ole Schleemann, Nordjyllands Trafikselskab
- › Bo Christiansen, Fredericia Kommune
- › Henrik Duer, Energistyrelsen
- › Arne Hedevang, DONG Energy
- › Thomas Munch Laursen, Bionaturgas Danmark
- › Henrik Rousing, HMN
- › Per Lavmand, Lavmands.dk
- › Troels Andersen, Odense Kommune
- › Tore Sylvester Jeppesen, Haldor Topsøe A/S
- › Svend Brandstup Hansen, Hveiti
- › Jonas Ericson, Stockholm Stad
- › Martin Agdal, Biofuels Express
- › Bruno Sander Nielsen, Brancheforeningen for biogas.

2.3 Opbygning af rapporten

Rapporten indledes med en overordnet beskrivelse af den aktuelle problemstilling i afsnit 3. Det omhandler en kort redegørelse for de væsentligste ulemper ved den kollektive bustrafik i forhold til klimaforandringer og sundhedsskader, forårsaget af lokal luftforurening. Herudover gives en kort beskrivelse af relevante, alternative drivmidler, som behandles mere indgående i afsnit 6, samt en beskrivelse af en række drivmidler, som ikke vurderes relevante i perioden frem mod 2025, og som derfor ikke behandles yderligere i rapporten. I afsnittet beskrives desuden, hvad den nye EURO VI-norm må forventes at betyde for den samlede emission af skadelige stoffer og endelig, hvordan Movia håndterer miljø og hvilke forsøg, der er aktuelle i øjeblikket og som kan bidrage til at forbedre forholdene.

I afsnit 4 gennemgås de tre scenarier til indfrielse af Københavns Kommune målsætninger for den kollektive bustrafik.

I afsnit 5 beskrives busmateriellet, der betjener linjerne i København. Her er fokus på miljømæssige egenskaber, bustype og -størrelse, alder og forventet udskiftningstakt. Herudover præsenteres relevante økonomiske nøgletal for bustrafikken, og der redegøres for en typisk, gennemsnitlig timepris for en standard dieselbus, som efterfølgende bruges til sammenligning med alternative teknologier.

¹ Energi og olieforum (EOF) er brancheorganisation for virksomheder, der udvikler og markedsfører energiprodukter til forbrugere og erhvervsliv i Danmark som benzin, dieselolie, biobrændstoffer, gas, fyringsolie og træpiller. Hovedparten af de danske olieselskaber og tankstationer er medlemmer

I afsnit 6 ses nærmere på de forskellige alternative teknologier med fokus på de miljømæssige og økonomiske aspekter. Det omfatter blandt andet forventede driftsomkostninger, nødvendige investeringer, lokalisering af evt. anlæg, særlige rammebetingelser, udbudsforhold samt forventninger til teknologisk udvikling.

På baggrund af de foregående afsnit vurderes de tre scenarier i afsnit 7 med hensyn til miljøeffekter, forventet driftsøkonomi samt øvrige væsentlige kriterier. Hvilken eller hvilke teknologier må forventes at være mest fordelagtige at prioritere i perioden frem til 2025, og hvordan kan de sikres implementeret?

Disse elementer indgår efterfølgende som baggrund for et forslag til en samlet strategi og anbefalinger i afsnit 8 for implementering af ny teknologi, der kan sikre målopfyldelse for Københavns Kommune.

3 Problemstillingen

Målet om et renere miljø sætter fokus på en problemstilling, der i denne sammenhæng omfatter produktion af alternative drivmidler, distribution af drivmidler, forbrænding af drivmidlerne i motorerne og endelig emission af restprodukter fra forbrændingen.

For Københavns Kommune handler det ikke så meget om teknikken omkring selve produktionen af alternative drivmidler, eller om teknikken i de motorer, der er nødvendige i busserne. Det handler derimod om helt overordnet at begrænse de samlede miljømæssige effekter (emissionerne), om hvordan det kan ske i praksis, og hvad det vil kræve økonomisk.

Med i den vurdering hører dog også overvejelser om, hvordan produktionen af drivmidlerne sker, hvad det betyder for den samlede udledning af miljøskadelige stoffer, og om den samlede proces etisk betragtet er hensigtsmæssig.

Hvad angår biobrændsler som alternative drivmidler, fokuseres i denne rapport udelukkende på såkaldte 2. generations biobrændsler (2G), hvor drivmidler ikke produceres på basis af fødevarer (1G) men derimod på af diverse restprodukter, som ikke vil kunne finde anvendelse andre steder.

3.1 Emissioner

Der er to vigtige miljøproblemer i Københavns Kommunes miljømålsætning. Det ene er klimaforandringer forårsaget af global opvarmning, det andet handler om sundhedsskader, forårsaget af lokal luftforurening.

Global opvarmning

Den globale opvarmning som hovedsagelig skyldes CO₂-udledningen er en generel problemstilling, hvor udledningen af CO₂ er lige skadeligt, uanset om det sker i landområder eller i tætte byområder.

CO₂-emissioner kan ikke reduceres ved at rense udstødningsrøgen. Løsningen er i stedet at anvende vedvarende energi eller fossilfri drivmidler, der for nogles vedkommende er CO₂-neutrale, fordi der forbruges CO₂ i den proces, hvor drivmidlet bliver dannet.

Biobrændsler er her oplagte løsninger, afhængigt af, hvordan det biologiske indhold bliver til og håndteres. Hvis der er tale om en produktion, der udelukkende er baseret på restprodukter, og restprodukterne alternativt ikke ville indgå i en anden produktion, så kan der opnås betydelige reduktioner med hensyn til CO₂. Tilsvarende gode resultater kan opnås med el til eldrevne busser, hvis produktionen af el vel og mærke baseres på vedvarende energi.

Der er tidligere blevet argumenteret for, at de tilgængelige biobrændsler ikke udnyttes optimalt i transportsektoren, men at de i stedet skal udnyttes i energisektoren til at producere el og varme. Teknologirådet har senere påpeget, at det også er fornuftigt at anvende tilgængelige biobrændsler i netop transportsektoren, da det er en sektor, hvor der ikke er mange alternative muligheder. Samtidig er der gennemført en del tiltag for at gøre biobrændslerne attraktive som drivmidler til biler og busser, især i udlandet, men også i Danmark. Det virker derfor hensigtsmæssigt at belyse perspektiverne ved at bringe biobrændslerne i spil også til den kollektive busstrafik.

Lokal forurening

Forurening af luften fra bussernes udstødning har også direkte negative helbredsmæssige virkninger på mennesker og dyr, især på grund af emissioner af NO_x og partikler. Disse skadevirkninger har mere lokal karakter og er derfor større i byområder, hvor befolkningstætheden er langt større end i landområder.

Der er primært to muligheder for at reducere forureningen: For det første kan de skadelige stoffer renses væk fra udstødningsrøgen ved brug af katalysatorer og filtre. På den måde kan man anvende stort set de samme typer af busser og motorer, som kendes i dag.

Der kan også anvendes helt andre typer af motorer, f.eks. elmotorer, som anvendes i el- og brintbusser, og som – lidt afhængigt af hvor og hvordan strømmen produceres – slet ikke har nogen skadelige emissioner fra udstødningen, dér hvor busserne kører. Set fra Københavns synsvinkel behøver strømmen strengt taget ikke produceres som vedvarende energi, da kvoteordninger betyder, at øget efterspørgsel efter el automatisk vil være CO₂-neutral. Omvendt kan det virke moralsk forkert, hvis produktionen af den strøm, der skal gøre busserne miljøvenlige i København, ”sviner” et andet sted.

Store eldrevne busser fungerer endnu ikke som kommercielle løsninger i stor skala i Vesteuropa på samme betingelser som eksempelvis dieselbusser. Elbusserne indgår i den kollektive trafik i mindre antal forskellige steder, men fortsat til priser, der ikke gør dem fuldt konkurrencedygtige.

Brintbusser fungerer endnu kun i forbindelse med forskellige forsøgsordninger, hvor teknologien fortsat testes. Antallet af brintbusser er fortsat så lavt, at den nødvendige udvikling af teknologien formentlig vil gøre busserne relativt dyre i mindst 10-15 år frem, alt andet lige.

På den korte bane vil det derfor være økonomisk mest hensigtsmæssigt at rense de skadelige stoffer fra udstødningen.

3.2 Alternative drivmidler

En række alternative drivmidler og teknologier dukker i øjeblikket op i den offentlige debat. Det omhandler:

- › Biodiesel
- › Syntetisk diesel
- › Bioethanol
- › Naturgas
- › Biogas
- › Hybridbusser (bl.a. diesel-, gas-, eller ethanol-elektriske)
- › Elbusser med natopladning eller opladning på ruten (hér kaldet opportunity-charging)
- › Brintbusser.

Vurderet i forhold til Københavns Kommunes målsætninger og krav til de råvarer, der indgår i produktionen af alternative drivmidler, er nogle mere relevante og realistiske i perioden frem mod 2025, end andre. Biogas virker som et ret oplagt alternativ i de kommende år, mens der er forskellige udfordringer – praktiske og driftsøkonomiske – forbundet med brug af biodiesel og bioethanol. Biodiesel vurderes dog at være mere oplagt end bioethanol.

Syntetisk diesel produceres endnu ikke i en ren 2G variant i Danmark, og det er foreløbig usikkert, hvilke priser det vil kunne købes til fra anlæg, der ikke støttes markant. Hybridbusser kan evt. komme til at spille en mindre rolle i perioden frem mod 2025, men aktuelle forsøg og erfaringer tegner ikke alt for lovende. Eldrevne busser er et forholdsvis dyrt alternativ, og teknologierne er endnu ikke gennemprøvede. Forsyningsikkerheden og lokal nul-emission gør dog denne teknologi interessant. Priserne på elbusser og batterier vil falde i de kommende år, men problemer med holdbarheden kan vise sig. Det vurderes ikke realistisk, at brintbusser vil få stor betydning inden 2025.

I afsnit 6 gennemgås de realistiske alternativer mere indgående.

3.3 Ikke-relevante drivmidler

Der er i øjeblikket mange udmeldinger om kommende produktioner af biobrændstoffer og opførelse af forskellige anlæg, og det kan være ganske vanskeligt at vurdere, hvad der vil vise sig realiserbart. I det følgende præsenteres de alternative drivmidler, som COWI vurderer, ikke er realistiske for Københavns Kommune i de kommende år. Fælles for dem er, at der ikke er nogen produktion af drivmidlerne i øjeblikket, og at en kommerciel produktion inden 2025 ikke virker sandsynlig. De behandles herefter ikke detaljeret i rapporten.

Københavns Kommune bør fremadrettet følge udviklingen nøje og inddrage de omtalte teknologier i konkrete overvejelser, hvis der viser sig en tilstrækkeligt produktion inden for en rimelig afstand og hvis priser og leveringsforhold bliver konkurrencedygtige med andre alternativer.

Syntetisk diesel

Syntetisk diesel – Biomass-To-Liquid (BtL) i varianten Renewable biodiesel – produceret på forskellige former for affaldsprodukter har også – teoretisk set – et stort potentiale som alternativt brændstof².

Det er bl.a. eftervist i Helsinki, hvor ca. 300 af byens busser hos fire busoperatører i en forsøgsperiode på mere end tre år har kørt på Hydrotreated Vegetable Oil (HVO), dels i ren form, dels iblandet almindelig fossil diesel³. Forsøget har blandt andet vist, at BtL har gode egenskaber som drivmiddel, og kan erstatte fossil diesel fuldstændigt uden modifikationer af motorer eller tankanlæg.

Forbruget af diesel er uændret både sommer og vinter, og i bedste fald reduceres forbruget ved anvendelse af 100 % syntetisk diesel ganske svagt sammenholdt med almindeligt fossilt diesel. Med nyere common-rail motorer er trækraften uændret, og de tilhørende test af emissionerne dokumenterer, at der er permanente og signifikante fordele.

Udledningen fra en typisk common-rail EURO V bus uden katalysator eller partikelfilter vil ved anvendelse af 100 % syntetisk diesel medføre ca. 10 % lavere udledning af NO_x og ca. 30 % lavere udledning af partikler. Flere kilder peger endvidere på, at CO₂-udledningen ved BtL kan reduceres med 40-70 % i forhold til fossil diesel.

Udover de nævnte fordele ved biodiesel, kan den syntetiske diesel produceres, så den uden yderligere foranstaltninger kan anvendes i frostvejr. Det betyder, at der kan anvendes 100 % ”bio”-diesel året rundt, og at den syntetiske diesel er lige så let at håndtere som traditionel diesel i dag, både hvad angår oplagning og distribution.

Endnu produceres syntetisk diesel ikke i Danmark, hverken i 1G eller 2G kvalitet. I Finland produceres syntetisk diesel nu i en ren 2G variant hos Neste Oil. Generelt er omkostningerne til at etablere produktionsanlæggene til syntetisk diesel forholdsvist høje, og samtidig er selve produktionsprocessen omkostningskrævende. Det betyder højere priser sammenlignet med almindelig diesel⁴.

Biofuels Express kan levere syntetisk diesel (kombination af 1G og 2G) til en merpris på ca. 2,50-3,00 kr. pr. liter. Movia har for nylig modtaget et konkret tilbud på anvendelse af syntetisk diesel (en kombination af 1G og 2G) fra en af de nuværende operatører, hvor merprisen kan omregnes til ca. 5 kr. pr. liter.

Prisudviklingen for syntetisk diesel 2G over de kommende år er vanskelig at vurdere, når det første anlæg endnu ikke er etableret. Prisen vil formentlig ikke følge

² Syntetisk diesel produceres ved en katalytisk omdannelse af brint og kulmonoxid i form af olier/fedtstoffer af vegetabilsk eller animalsk oprindelse. Metoden minder om processen i et olieraffineri

³ Projektet er det hidtil mest omfattende af sin art, og er blevet gennemført som et samarbejde mellem blandt andre Helsinkis regionale trafiksselskab, Neste Oil, VTT (teknisk research center), Aalto universitet og Scania som busproducent. Projektet er bl.a. evalueret i VTT – Research Notes 2604: Optimized usage of NExBTL, renewable diesel fuel, 2011

⁴ Interview med Martin Agdal, Biofuel Express, februar 2014

oliepriserne, men i stedet priserne på de råvarer, som anvendes. Iblanding af syntetisk 1G diesel i den almindelige diesel på markedet i stedet for biodiesel sker allerede i dag, og vil sikkert blive mere udbredt i fremtiden, fordi det samlet set er billigere end iblanding af biodiesel (der skal bruges mindre syntetisk diesel). Det vil alt andet lige bidrage til at øge produktionen af syntetisk diesel generelt. Om det vil påvirke produktionen og priser på 2G produkterne er til gengæld uklart.

Syntetisk diesel 2G er ikke et realistisk alternativ for nuværende. Det er dog ikke usandsynligt, at syntetisk diesel 2G kommer i spil inden 2025. I så fald vil en af fordelene være, at et skift til brug af syntetisk diesel hverken vil kræve særlige anlæg, særlig distribution eller specielle dieselmotorer. Syntetisk diesel vil kunne fases ind og ud uden større ændringer. Vi vil derfor anbefale, at udviklingen følges nøje, og at teknologien inddrages i konkrete overvejelser igen, hvis det kan konstateres, at:

- › Der opstår en 2G-produktion i Danmark eller i nabolandene i større målestok
- › Den samlede leveringspris bliver konkurrencedygtig eller tilnærmelsesvist konkurrencedygtig med andre alternativer.

Bioethanol

Bioethanol er et andet flydende biobrændstof. Bioethanol er alkohol, der fremstilles ved gæring af vegetabilsk affald, der indeholder stivelse og sukker. Bioethanol kan iblandes benzin i forskellige koncentrationer, typisk fra 10 % og højere. Bioethanol kan også anvendes i dieselmotorer efter mindre motormodifikationer.

Forholdsvist aktuelle forsøg i en række lande viser, at bioethanol er et pålideligt drivmiddel til busser, og at brug af bioethanol – anhängigt af iblandingen – vil reducere både udledningen af sundhedsskadelige stoffer og CO₂ fra trafikken⁵.

Omvendt er udgifterne til både indkøb af bioethanolbusser og især drift af dem væsentligt højere end for almindelige dieselmotorer. Indkøbsprisen for en bioethanol bus kan være op til omkring 10 % højere end for en tilsvarende diesel bus. Service- og vedligeholdelsesudgifterne vurderes at være ca. dobbelt så høje som for en almindelig dieselbus⁶.

Brændstofomkostningerne er desuden væsentligt højere for bioethanol busser. En vigtig årsag hertil er, at bioethanol har et langt lavere energihold pr. liter end benzin. Selvom de motorer, der anvendes i bioethanolbusser typisk er lige så energieffektive som dieselmotorer, så kan brændstofforbruget være op til 70 % højere sammenlignet med en typisk dieselbus.

Brændstofforbruget varierer desuden betydeligt afhængigt af trafikale og topografiske forhold. I Stockholm som kan sammenlignes med København, er forbruget blevet opgjort til ca. 0,59-0,74 l/km. Til sammenligning er i beregningerne i denne

⁵ Bl.a. dokumenteret gennem BEST (BioEthanol for Sustainable Transport), et EU-projekt fra 2006-09 med deltagelse af trafikselskabet i Tyskland, Storbritanien, Sverige, Spanien, Italien, Holland samt Kina og Brasilien. I Sverige er SL i Stockholm involveret

⁶ Der ses især øgede udgifter til hyppigere olieskift og hyppigere udskiftning af indsprøjtningssynder, jf. fodnote 6

rapport forudsat, at en diesel bus gennemsnitligt bruger ca. 0,47 l/km. Forskellen svarer til ca. 25-60 %.

Dertil kommer, at kun ganske få producerer bioethanolbusser i øjeblikket (måske reelt kun Scania), hvilket svækker den generelle konkurrencesituation på busområdet. Det lave antal producenter hæmmer udviklingen af standarder, hvilket begrænser mulighederne for at udvikle et konkurrencedygtigt marked og et marked for gensalg. Manglen på et brugtmarked vil betyde, at leasing af busser vil blive dyrere og at operatørerne i praksis vil blive nødt til at købe busserne i stedet. Dette vil fordyre timepriserne.

Bioethanol produceres ikke i større stil i Danmark i øjeblikket, og et ambitiøst demonstrationsanlæg, som DONG har opført i Kalundborg, er i 2011 blevet lukket ned og skal fremover fungere i forskningsøjemed. 2G bioethanol indgår ikke i regeringens Energistrategi 2050, og en væsentlig dansk produktion er tvivlsom i den nærmeste fremtid. I øjeblikket er literprisen for bioethanol ikke specielt konkurrencedygtig, bl.a. grundet de traditionelle energiskatter og -afgifter, som ikke er løftet af bioethanol.

I Sverige er bioethanol og andre biobrændstoffer afgiftsfritaget, og produktionen sker på baggrund af egne landbrugsafgrøder (1G). Brug af råvarer, der alternativt kan anvendes i fødevarer, bekymrer tilsyneladende ikke svenskerne, og bioethanol anvendes i dag i en lang række busser, bl.a. i Stockholm, med de fordele og ulemper, der er beskrevet ovenfor⁷.

Der er i øjeblikket planer om at påbegynde arbejdet med en fabrik i Grenaa til produktion af bioethanol, der kan betragtes som en mellemting mellem 1G og 2G. Det særlige ved produktionen er, at den tager udgangspunkt i råvarer, der i dag alene anvendes til dyrefoder (hvdebaseret produkt), og at restprodukterne ved produktionen af bioethanol netop kan anvendes til dyrefoder igen⁸. På baggrund af disse råvarer kan beregnes, at den samlede CO₂-udledning forventes reduceret med ca. 70 % i forhold til en situation, hvor der anvendes fossilt diesel. Dette tal bør dog eftervises nærmere.

Planerne er, at egentlig produktion vil finde sted fra 2017, til et forventet prisniveau på omkring 11,50-12,00 kr. pr. liter. Der skal i den pris tages højde for et merforbrug på i størrelsesordenen 40 % sammenlignet med diesel. Dette merforbrug kan evt. nedbringes til 20 % med en særlig teknologi (Obate), som dog endnu ikke er færdigudviklet.⁹

Set i forhold til biodiesel og syntetisk diesel vurderes bioethanol samlet set at have flere svagheder og få fordele. Vi betragter derfor ikke bioethanol som et oplagt eller realistisk alternativ i øjeblikket.

⁷ Interview med Jonas Ericson, Stockholm Stad, februar 2014

⁸ Interview med Svend Brandstup Hansen, Hveiti, februar 2014

⁹ Interview med Tore Sylvester Jeppesen, februar 2014: Haldor Topsøe arbejder på at udvikle en særlig Obate-teknologi, som kan gøre ethanol direkte anvendelig i dieselmotorer uden tilsætning af særlige additiver. De kan ikke oplyse, hvornår teknologien ventes færdigudviklet

Vi vil dog anbefale, at udviklingen følges nøje¹⁰, og at teknologien inddrages i konkrete overvejelser igen, hvis det kan konstateres, at:

- › Der startes en produktion af 2G bioethanol i stor skala
- › Der sker en nødvendig teknologiforbedring
- › Der sker en efterspørgsel af busser i større målestok (indkøb af mange busser på én gang som presser prisen ned, formentlig flere end 100 busser)
- › Rammebetingelserne for øvrige alternativer ændres til fordel for bioethanol.

Brint

En brintbus drives grundlæggende set af elmotorer, som får strøm fra et eller flere batterier, der lades op af en brændselscellemotor.

Brint er en universel energibærer, der kan produceres fra alle primære energikilder. Sker produktionen på baggrund af overskudsstrøm eller vedvarende energikilder medfører brint positive miljømæssige gevinster, men som udgangspunkt sker der et stort konverteringstab af energi ved produktionen af brint. Andre fordele handler om støjsvag drift og ingen udledninger overhovedet.

Der er i en årrække gennemført flere større og mindre forsøgsprojekter i blandt andet Europa med det formål at afdække positive og negative perspektiver ved brint-busser. Overordnet set må brint- og brændselscelleteknologien vurderes fortsat at være i modningsfasen. Forskellige kilder¹¹ peger på, at der fortsat er behov for udvikling og forbedring af en lang række forhold, blandt andet:

- › Driftssikkerheden – færre nedbrud¹², færre tilfælde af kontaminering
- › Optankningsteknologien – hurtigere opfyldning, manglende net
- › Brændstofforbruget – mindre forbrug
- › CO₂-udledning under brintproduktion – lavere udledning
- › Styringsenheder – forbedring af energistyring mv.
- › Standardiseringer – lovgivningsmæssigt, bedre adgang til reservedele og ikke mindst lavere anskaffelsesomkostninger på busser og brændselsceller.

Der mangler fortsat en stor efterspørgsel efter brintbusser, som kan gøre priserne tilnærmelsesvist konkurrencedygtige med traditionelle busser. Af EU's strategi for alternative drivmidler fra januar 2013¹³ fremgår, at priserne med en fortsat udvikling af teknologien og en fortsat efterspørgsel, vil falde til et sammenligneligt niveau i 2025-30. Herudover skal de øvrige, nævnte forhold også forbedres for at gøre teknologien tilstrækkelig konkurrencedygtig. Ændrede oliepriser kan dog sætte yderligere skub i udviklingen.

¹⁰ Maabjerg Bioenergy har planer om at etablere et bioraffinaderi, som skal omdanne halm til bioethanol (altså 2G), men projektet er fortsat kun på tegnebrættet

¹¹ Blandt andre det EU-finansierede CUTE-projekt (Clean Urban Transport for Europe) fra 2001, det opfølgende projekt HyFleet-Cute fra 2006-2009 samt NextHyLight-studiet fra 2011

¹² I Oslo er tilgængeligheden til brintbusserne under 70 %, andre steder har den været oppe på omkring 90 %

¹³ Clean Power for Transport: A European alternative fuels strategy, 24. januar 2013

I 2010 var priserne på brintbusser en faktor fire højere end typiske dieslbusser. Nu ligger priserne formentlig på mellem faktor to og tre. Prisen for hydrogen varierer meget, især afhængigt af, hvordan det produceres. EU kræver, at prisen ikke overstiger 10 Euro pr. kg. I Oslo svarer dette til ca. 7,5 kr. pr. kørt km. Herudover er udgifterne til service- og vedligehold markant højere end for dieslbusser, værkstederne skal være udstyret med kraner til batterier og personalet skal være specialuddannet.

På den baggrund anser vi det ikke for realistisk, at brint vil komme til at spille en større rolle inden 2025. Vi vil anbefale, at udviklingen følges nøje, og at teknologien inddrages i konkrete overvejelser igen, hvis det kan konstateres, at:

- › Den nødvendige teknologiforbedring sker
- › Der sker en efterspørgsel af busser i større målestok (indkøb af mange busser på én gang som presser prisen ned, formentlig flere end 100 busser)
- › Hvis udviklingen ændrer rammebetingelserne for øvrige alternativer.

3.4 Hvad opnås med den nye EURO VI-norm

Som led i at reducere luftforureningen fra vejtrafikken er der på EU-niveau vedtaget et sæt af emissionsnormer, som køretøjerne skal overholde. Normerne indeholder maksimumgrænser for hvor meget køretøjerne må forurene med forskellige stoffer, bl.a. NO_x og partikler. Normerne gælder også for Danmark og betragtes som en veletableret standard.

1. januar 2015 trådte den nye EURO VI norm i kraft. Hverken den tidligere EURO V eller den nye EURO VI norm forholder sig til udledningen af CO₂ og energiforbruget. Men i forhold til målene om reduktioner for NO_x og PM, må det forventes, at den nye norm vil få stor betydning. Med EURO VI-normen er der dels indført strengere krav til de allerede regulerede emissioner, dels indført en række nye testkrav, herunder Off-cyklus test og test under brug, som skal give et mere retvisende billede af de reelle emissioner.

Konkret er grænseværdierne blevet skærpet med EURO VI for NO_x-emissionerne fra 2,0 g til 0,4 g NO_x pr. kWh og partikel emissionerne fra 0,02 til 0,01 g pr. kWh¹⁴. Sidstnævnte er faktisk endnu strengere, fordi det ikke kun er partiklernes vægt, men også antallet, som tæller.

De skrappe krav betyder som noget nyt, at busproducenterne er nødt til at montere katalysator¹⁵ og dieselpartikelfilter (DPF) inden levering af busser for alle typer af teknologi, undtagen elbusser. Funktionen af dette udstyr vil løbende blive tjekket af elektroniske systemer i busserne, der vil melde fejl, hvis udstyret ikke fungerer ef-

¹⁴ I den forbindelse kan det være problematisk, at EURO-normerne har fokus på emission pr. kWh. Det medfører, at motorer med høj ydelse må forurene mere end mindre motorer, og at der kan være en tendens til at anvende større motorer end strengt nødvendigt af hensyn til emissionsværdierne

¹⁵ Brug af katalysatorer med Selective Catalytic Reduction –teknologi vil gøre det muligt at reducere emissioner af NO_x markant

ter hensigten. Hidtil er katalysatorer og partikelfiltre blevet eftermontreret i større stil på EURO II- og –III-busser med systemer, der fungerer uafhængigt af motorstyring og kontrolsystemer.

Ifølge en af de største danske montører af den type udstyr vil netop denne ændring betyde, at bussernes reelle miljøprofil forbedres markant¹⁶. Han understreger desuden, at partikelfiltre vil opsamle alle typer af partikler (herunder de ultrafine partikler), såfremt katalysatorerne fungerer som de skal. Indfrielse af miljømål handler således også om tilstrækkelig kontrol af det anvendte miljøudstyr.

Samlet set reduceres den lokale luftforurening betydeligt med EURO VI i forhold til EURO V, uanset hvilket drivmiddel, der anvendes.

I København kører en del busser, der efterlever EEV-emissionsstandard. Det er en mellemting mellem EURO V og EURO VI. EEV kræver ingen reduktion i NO_x-udledning ud over de 2 g/kWh der er EURO V-normens grænseværdi, men den kræver en tredjedel lavere partikelemissioner, målt på den europæiske stationære testcyklus i forhold til EURO V.

Situationen i København

Indførslen af EURO VI vil sammen med den regelmæssige udskiftning af busser i København i takt med nye udbud af kørslen automatisk betyde, at den samlede emission af NO_x og partikler (PM) vil blive reduceret.

I 2025 vil det være realistisk at antage, at alle busser mindst opfylder EURO VI-normen, da de nuværende kontrakter, der omfatter busser i København, enten vil være med EURO VI busser eller vil være udløbet inden 2025. Med udgangspunkt i de maksimale emissionsværdier for EURO VI og et samlet kørselsomfang svarende til niveauet i 2011 i København (ca. 22,3 mio. km) kan beregnes, at målene for udledning af NO_x og partikler indfries automatisk, se Tabel 2.

Tabel 2 Udledning af NO_x og partikler i Københavns Kommune i 2011 med den aktuelle busbestand. Sammenholdt med konsekvenserne af at indføre EURO VI med skærpede krav til udledningen.

Årlig udledning	NO _x	Partikler (PM)
	Ton	Ton
Mål for maksimal udledning 2025	67,2	0,29
EURO VI: Maksimal udledning ved uændret drift ift. 2011	24,0	0,16

Beregningsforudsætning: Samlet kørsel ca. 22,3 mio. km årligt, som i 2011.

Det er altså ikke nødvendigt at sætte ind med særskilte tiltag for at nå disse mål. Til gengæld skal der ske en CO₂-reduktion svarende til ca. 29.000 ton årligt, som ikke sikres med indførelsen af EURO VI.

¹⁶ Ifølge Lavmands.dk fungerer en stor del af det eftermonterede udstyr ikke efter hensigten i dag, fordi udstyret hverken serviceres, vedligeholdes eller kontrolleres i tilstrækkelig grad af ejere eller synsvirksomheder. Systemerne fungerer uafhængigt af motorstyring og elektroniske kontrolsystemer i busserne i dag

Usikkerheder

Forskellige kilder påpeger, at busser i bybusstrafik ikke kan efterleve de mål for emissioner, som de i testopstillinger er målt til at kunne opfylde i forbindelse med typegodkendelser inden indsættelse i driften.

Blandt andet kan det være et problem, at der på grund af køremønstre med hyppige start-og-stop og generelt lave hastigheder ikke opnås tilstrækkeligt høje temperaturer i filtrene, til at de fungerer efter hensigten. Disse forhold afspejles muligvis ikke optimalt i de standardiserede, fælleseuropæiske testopstillinger, der anvendes til emissionsmålinger.

I praksis kan det betyde, at grænseværdierne i EURO-normerne ikke opfyldes, selv om de såkaldte SORT-værdier fra busleverandørerne¹⁷ er tilfredsstillende. Udgangsniveauet for emissioner kan således være højere end antaget (værdierne fra Tabel 1).

Usikkerheden gælder i dag for busser, der opfylder den tidligere gældende EURO V-norm, men det kan på tilsvarende vis også komme til at gælde for den nye EURO VI-norm. Der er ikke umiddelbart undersøgelser, der peger på, at usikkerheden og gabet mellem test og virkelighed vil være større for EURO VI-normen end for de tidligere normer. Som nævnt tidligere snarere tværtimod.

Ifølge COWIs oplysninger er COPERT 4 en troværdig og officiel kilde til beskrivelse af emissioner fra vejtransporten, og suppleret med lokale data for kørslen i Movia må det antages at være et realistisk bud på, hvilke emissioner, der kan forventes fra den kollektive busstrafik fremover.

3.5 Movia og miljø

Movia har generelt mål om, at den kollektive trafik skal udføres med materiel, der belaster klima og miljø mindst muligt. Men sammenlignet med andre har Movia været forholdsvis tilbageholdende med at indsætte nye teknologier i større målestok - også selv når det kunne gavne miljøet.

En større satsning i perioden 1996-2009 på bybusser, der kørte på LPG (Liquefied Petroleum Gas)¹⁸, også kaldet flaskegas, gik ikke helt som forventet. Det viste sig, at busserne ikke var særligt driftssikre, og på grund af en fejlkonstruktion i brændstofanlægget udbrød der i flere tilfælde brand i busser. Forløbet har efterfølgende lagt en dæmper på at kaste sig ud i nye initiativer.

Den senere organisering af den kollektive busstrafik, hvor driften finansieres direkte af kommunerne i fællesskab, spiller ifølge Movia også en væsentlig rolle for mulige nye projekter og for hastigheden i omstillingen til mere miljøvenlige busser. Investeringer i bedre miljø kræver enighed og politisk opbakning blandt alle de

¹⁷ SORT-målinger: Standardized On-Road Test cycle, som omfatter tre standardiserede kørecykluser, der efterligner kørsel i tung-, let- og landtrafik. Movia kræver i dag en SORT-måling (certifikat) for de busmodeller, der vinder kørsel for trafikselskabet

¹⁸ EOF.dk

involverede kommuner. En enkelt kommune kan i princippet nedlægge veto mod de øvrige kommuner og derved bremse en beslutning, de øvrige bakker op om.

Movia råder desuden ikke selv over midler til at foretage miljømæssige satsninger i form af materiel eller særlige tankanlæg. Derfor er miljøspring vanskeligere at få gennemført end mange andre steder.

Operatørerne er på deres side optaget af at holde driftsudgifterne så lave som muligt. De er i høj grad fokuserede på driftssikkerhed og tilbageholdende med at investere i dyrere, uprøvet teknologi, hvor de løbende udgifter kan være svære at forudsige. Operatørerne betragter bussers levetid som maksimalt 12 år, men det må antages, at de tilrettelægger afskrivningen så den svarer til den kontraktperiode, de er garanteret med aftalen hos Movia. I øjeblikket svarer det til 6 år (med mulighed for forlængelser).

EURO-normer

I praksis har den overordnede tilgang direkte afsæt i, at busserne skal opfylde gældende EURO-normer ved udbud af kørsel. Movia betragter krav til miljøstandarder ved af de stærkeste virkemidler på dette område er at stille krav til miljøstandarderne ved de store udbudsrunder overordnede tilgang til miljø har afsæt i opfyldelse af de gældende EURO-normer. Selv om der ikke er blevet indført natur- og biogasbusser, hybridbusser eller brintbusser, har den teknologiske udvikling af dieselmotorerne og de strammere EU-krav til motorerne alene betydet, at forureningen fra bybusserne trods alt er faldet.

Miljø ved udbud

Ved udbud anvender Movia for tiden tildelingskriterier, hvor miljø indgår med en vægtning på samlet 15 %, når det økonomisk mest fordelagtige tilbud vælges. Dog vægter miljø 20 % i det seneste udbud vedrørende linje 5A.

Movia lægger i sin vurdering af dette delkriterium vægt på, at visse mindstekrav til bussernes emissioner skal overholdes, og herudover om tilbudsgiverne evt. kan tilbyde endnu lavere emissioner fra busserne. Herudover vil anvendelse af alternative brændstoffer indgå i vurderingen (CNG, ethanol, brint, DME, biodiesel, biogas, osv.) og vægtes positivt, i det omfang, det medfører en målbar miljøgevinst.

Anvendelse af busser med lavere brændstofforbrug indgår ligeledes i vurderingen, samt øvrige tiltag til begrænsning af energiforbruget og miljøbelastningen generelt (økokørekurser, certificering af værksteder mv.).

Bussernes emissioner udgør 60 % af den samlede vægtning, forholdene omkring drift og miljøhåndtering udgør de resterende 40 %.

3.6 Forsøg i København

Med det overordnede formål om at sikre renere luftmiljø samarbejder Københavns Kommune blandt andet med Movia om at gennemføre forskellige forsøg med ny teknologi, der kan reducere de skadelige udledninger fra den kollektive trafik.

De aktuelle projekter omfatter primært:

- › Forsøg med fire hybridbusser. Periode: 2011-2013
- › Forsøg med to 12 meter eldrevne busser. Periode: 2013-2015
- › Forsøg med to eldrevne busser, der oplades på ruten (opportunity-charging). Periode: 2016-2018.

Hybridbusser

Forsøget har omfattet to serielhybrider (med superkondensator) og to parallelhybrider, som er testet på flere linjetyper i Movia.

Projektets formål var overordnet set at afdække, hvor velegnede hybridbusserne er til den danske trafik. Det gælder dels spørgsmål om holdbarheden af teknikken, dels spørgsmål om den samlede driftsøkonomi. Økonomien er meget afgørende for, om den forventede brændstofbesparelse kan dække den højere indkøbspris på busserne.

Forsøget skulle også afdække andre fordele ved busserne, f.eks. støjreduktioner ved stoppestedsteder og i kryds, og hvad det betyder for de rejsende. Og om den ene teknologi må foretrakkes frem for den anden. Forsøget er netop afsluttet og afrapporteret.

Forsøget viser at hybridbusserne har et brændstofforbrug, der er i størrelsesordenen 0-17 % lavere end tilsvarende konventionelle busser, men at udgifterne til indkøb og batteriskift, gør dem betydeligt dyrere end traditionelle dieselbusser.

To eldrevne busser

I december 2013 blev der igangsat et to-årigt forsøg med indsættelse af to kinesiske 12 meter eldrevne busser på linjerne 12 og 40. Forsøget skal vise, om udviklingen af eldrevne busser til almindelig bybusdrift er nået så langt, at de kan erstatte driften med dieselbusser. Det omfatter blandt andet en vurdering af driftssikkerhed, generel anvendelighed hvad angår bussernes rækkevidde og kapacitet, miljøforhold samt reaktioner fra kunder.

Oprindeligt var det planen, at busserne skulle have været indsat i 2012, men typegodkendelsen af busserne er først kommet i løbet af 2013.

COWI har i forbindelse med nærværende projekt deltaget i en prøvekørsel med de to nye busser. Udvendigt ligner de to busser typiske moderne bybusser, som vi kender fra det øvrige gadebillede. Indvendigt er kvaliteten af apteringen lavere end vi normalt kender den. Desuden er der dukket støjproblemer op indvendigt i busserne, som evt. skal løses inden busserne sættes i almindelig drift. Det er tydeligt, at forventninger til komfort og kvalitet er forskellige i Kina og i Danmark.

Opportunity charging

Forsøg med indsættelse af to opportunity-charged busser på én af de passagertunge buslinjer i København er i øjeblikket aktuelt hos Københavns Kommune, Movia og Trafikstyrelsen.

Forsøget omfatter, at der etableres en række opladningsstationer ved endestationer (og evt. ved udvalgte stoppesteder) på den pågældende linje. En af fordelene ved opportunity-charging er, at løbende opladning kan holde batteristørrelse og –priser nede.

Dernæst skal der findes to nye elbusser, som kan anvendes til forsøget. De to busser tænkes at skulle supplere de øvrige busser, der anvendes på linjen i dag. De sættes ind på samme vilkår som de nuværende busser for at verificere, hvor godt el-busserne performer, blandt andet med hensyn til stabilitet i driften i det danske klima. Her ville et par kolde vintre være gode forudsætninger for at undersøge dette nærmere. Den korte forsøgsperiode gør det ikke muligt at teste langtidsperformance og evt. holdbarhed af batterier mv.

De nye busser vil blive dyrere i indkøb end traditionelle dieselbusser. Merprisen ønskes fordelt over en længere kontraktperiode, end de garanterede seks år, som ses i kontrakterne i dag. På den måde vil opportunity-charged busser kunne konkurrere på lige vilkår med andre bustyper.

Det er forventningen, at omstændighederne omkring forsøget kan afklares i løbet af 2015, da der på nuværende tidspunkt pågår udbud af busser og ladeudstyr. Opportunity-charged busser vil kunne indsættes i løbet af 2016. Forsøget vil dernæst skulle løbe frem til 2018.

Hvis resultaterne af forsøget er positive, er det lige nu hensigten, at busserne skal udbredes til større dele af det samlede net. Københavns Kommune vurderer selv, at en evt. idriftsætning af opportunity-charged busser i større omfang tidligst vil kunne ske fra ca. 2019/2020 og frem.

4 Scenarier

Udfordringen med at sammensætte relevante teknologier er primært, at den samlede CO₂-udledning skal gå i nul. Med EURO VI vil udledningen af NO_x og partikler reduceres så meget, at Københavns Kommunes mål automatisk opfyldes. I hvert fald hvis efterbehandlingsudstyret i busserne løbende fungerer efter hensigten. Det er der dog noget, der tyder på i højere grad vil blive tilfældet, end situationen i dag.

I Tabel 3 er vist udledningen af forskellige, alternative drivmidler, beregnet med udgangspunkt i busser, der opfylder EURO VI-normen, og beregnet på baggrund af typiske køremønstre i Movia. I Bilag 1 er tallene uddybet yderligere.

Tabel 3 Udledning af CO₂, NO_x og partikler med forskellige teknologier (gennemsnit/km). For hybridbusser er antaget, at fordelingen mellem diesel/el henholdsvis gas/el svarer til en faktor 80/20, se afsnit 6. For biodiesel er antaget, at der anvendes 100 % biodiesel i 9 måneder årligt og diesel med lavere bio-indhold i vintermånederne. Udgangspunktet er en 12 m standard dieselbus (EURO VI), med middel belastning, der kører 2,1 km/liter diesel.

Drivmidler i busser	CO ₂ g/km	NO _x g/km	Partikler(PM) g/km
EURO V:			
Diesel	1.406	10,56	0,078
EURO VI:			
Diesel	1.406	1,07	0,007
Diesel, hybrid	1.125	0,86	0,006
Biodiesel 2.G	961	1,07	0,007
Biodiesel 2G, hybrid	768	0,86	0,006
Naturgas	1.249	1,07	0,007
Naturgas, hybrid	999	0,86	0,006
Biogas 2G (fra afgasning af gylle)	-535	1,07	0,007
El (VE)	0	0,00	0,000

Kilde: AD-modellen for CO₂-værdier. Emissioner af NO_x og partikler beregnet med COPERT og på baggrund af bussernes reelle kørselsmønstre i København.

Ifølge modelberegningerne vil der med EURO VI ske en markant reduktion i udledningen af NO_x og partikler i forhold til EURO V.

Som det ligeledes fremgår, vil biogas, produceret ved afgangning af gylle (metanbaseret) reelt bidrage positivt til det samlede CO₂-regnskab, da alternativet i stedet vil medføre øget udledning af CO₂.

Netop det forhold vil gøre det muligt at kombinere brugen af biogas til busdriften i København med enten mere traditionelle drivmidler eller nye drivmidler og alligevel opnå en samlet CO₂-udledning, der svarer til nul. I det omfang produktionen af biogas baseres på andre produkter, f.eks. slagteriaffald eller andet affald, kan CO₂-balancen rykkes, og det miljømæssige argument for at vælge biogassen svækkes.

Tre scenarier

Der er sammensat tre scenarier, som kombinerer forskellige teknologier i en fremtidig situation, se Tabel 4.

De tre scenarier adskiller sig primært fra hinanden ved at have fokus på biogas, henholdsvis biodiesel og eldrift. Scenarierne er sammensat, så målene om reduktion af CO₂-udledning, NO_x og partikler nås i alle tre tilfælde, men herudover indgår også en vurdering af den samlede, bagvedliggende driftsøkonomi.

Medmindre der udelukkende sættes på ren eldrift på alle linjer, så er det nødvendigt at anvende biogasbusser i et vist omfang for at indfri CO₂-målet. I Scenarie 1 er beregnet, hvordan biogas kan anvendes, så miljømålene indfries med lavest mulige samlede driftsomkostninger. Resultatet er, at 73 % af busdriften skal udføres med biogasbusser, og de resterende 27 % skal udføres med traditionelle EURO VI dieselbusser.

I Scenarie 2 er beregnet, hvordan biodiesel mest omkostningseffektivt kan anvendes til at indfri miljømålene. Det sker ved, at 35 % af driften udføres med biodieselbusser, mens de resterende 65 % af driften udføres med biogasbusser.

Og endelig er der i Scenarie 3 vist, hvordan den mest omkostningseffektive løsning ser ud, hvis 50 % af den samlede busdrift som forudsætning skal udføres med eldrevne busser. De 50 % er valgt som udtryk for en markant satsning på eldrift. Resultatet er en kombination, hvor også traditionelle dieselbusser og biogasbusser indgår.

I alle tre scenarier er beregningsmæssigt antaget, at eldriften baserer sig ligeligt på eldrevne busser med natopladning og opportunity-charged busser.

I afsnit 6 gennemgås de forskellige teknologier mere detaljeret, og forventninger til gennemsnitlige timepriser beregnes. I afsnit 7 vises den samlede, beregnede driftsøkonomi for de tre scenarier.

I Tabel 4 er vist de samlede emissioner fra de tre scenarier. Som det ses, vil Scenarierne 1 og 2 medføre dobbelt så stor udledning af NO_x og partikler som Scenarie 3 (12 ton ekstra NO_x henholdsvis 80 kg ekstra partikler).

Tabel 4 Tre scenarier med forskelligt fokus. Alle tre sikrer, at Københavns Kommunes mål for reduktioner i udledningen af NO_x og partikler samt CO₂ nås¹⁹.

Scenarie (sammensætninger)	1. Biogas	2. Biodiesel	3. El	Mål i 2025
Diesel	27 %		13 %	
Biodiesel (2G)		35 %		
Biogas (2G fra afgang af gylle)	73 %	65 %	37 %	
El (VE)			50 %	
Udledning CO ₂ ton pr. år	- 244	- 259	- 339	0
Udledning NO _x ton pr. år	24,0	24,0	12,0	< 67
Udledning Partikler ton pr. år	0,16	0,16	0,08	< 0,29

Kilde: AD-modellen for CO₂-værdier. Emissioner af NO_x og partikler beregnet med COPERT og på baggrund af bussernes reelle kørselsmønstre i København. Samlet kørselsomfang som i 2011, og øvrige forudsætninger som for Tabel 3.

¹⁹ I det omfang der indgår el ved fremstilling af brændstoffer kan der forekomme en mindre overvurdering af CO₂-bidraget fra disse brændstoffer

5 Busmateriel i København

Fordeling på EURO-normer

Ca. 650 busser betjener i dag linjer, der kører i eller gennem København. I 2011 var det tilsvarende til ca. 690. I 2011 opfyldte knap halvdelen af busserne de ældre EURO-II,- III eller IV-normer, mens den de øvrige opfyldte strengere miljøkrav. I dag opfylder ca. 70 % mindst EURO V-normen, og godt 60 % EEV-normen.

I løbet af 2013 blev de første tre busser, der opfylder den nye EURO VI-norm indsat. Desuden er der anskaffet to nye eldrevne 12 m busser, som er indsat på linjerne 12 og 40, se Tabel 5.

Tabel 5 Fordelingen af driftsbusser i KK i forhold til EURO-normerne. Desuden er antallet af elbusser angivet.

Driftsbusser i KK	2011	%	2013	%
EURO II	50	7 %	4	1 %
EURO III	197	29 %	135	21 %
EURO IV	77	11 %	53	8 %
EURO V	47	7 %	48	7 %
EEV	309	45 %	400	61 %
EURO VI			3	0 %
El	11	2 %	11	2 %
Sum	691	100 %	654	100 %

I 2011 var 677 af busserne dieseldrevne, tre af busserne var hybrid-dieseldrevne og de resterende 11 eldrevne (minibusserne på linje 11A). Ca. 45 % af busserne var 12 m busser, mens ca. 48 % var 13,7 m busser. De resterende knap 7 % af busserne var dobbeltdækkere (udfaset i dag), midibusser og minibusser.

Eftermontering af filtre

Københavns Kommune samarbejder med Miljøstyrelsen om at mindske udledningen af skadelige stoffer fra de ældste busser ved hjælp af eftermontering af filtre. Det sker som led i et udviklingsprojekt, hvor også Movia samt en række private aktører deltager og på den måde bidrager til at sikre udvikling og godkendelse af nye filtre til busserne, som løfter dem til EURO VI-niveau.

I 2011 var godt 40 % af busserne således udstyret med CRT-filtre eller andre særlige katalysatorer, næsten alle eftermonteret, og overvejende eftermonteret på EURO II og -III busser.

Indførelse af miljøzonen i København og Frederiksberg i 2008 og kravet i 2010 om partikelfiltre på tunge dieseldrevne køretøjer (EURO III og lavere) har været stærkt medvirkende til at begrænse forureningen fra blandt andet busserne. Således er både den gennemsnitlige udledning af NO_x og partikler fra busserne i København forholdsvis lav sammenholdt med de krav, som busserne mindst skal opfylde, se Tabel 6. Den gennemsnitlige udledning fra busserne svarer til EURO V-normen.

Tabel 6 Udledning af CO₂, NO_x og partikler for en gennemsnitlig bus i Københavns Kommune i 2011. Ekskl. havnebusser.

Udledning fra busdriften i KK, 2011	CO ₂ g/km	NO _x g/km	Partikler (PM) g/km
Busserne i gennemsnit	1.293	7,5	0,03

Kilde: Trafikselskabet Movia.

Nødvendig kapacitet

En gennemgang af linjer og tilknyttede busser viser, at det nuværende materiel i høj grad er målrettet og tilpasset passagerunderlaget på de forskellige linjer. Således er 13,7 m busser med stor kapacitet overvejende indsat på de linjer, hvor der er mange rejsende, og hvor der sker hyppig udskiftning af passagerer, f.eks. i A- og S-busnettet. Der eksperimenteres desuden med 18 meter-busser.

Samtidig er der indsat 12 m busser og mindre busser med lavere kapacitet på underliggende linjer, hvor den samlede passagerbelastning og –udveksling er væsentlig lavere.

Spørgsmålet om tilstrækkelig kapacitet skal ses i sammenhæng med, at kapacitetsgrænsen i busserne ofte nås i spidsbelastningsperioder morgen/eftermiddag trods tilpasningen af busser.

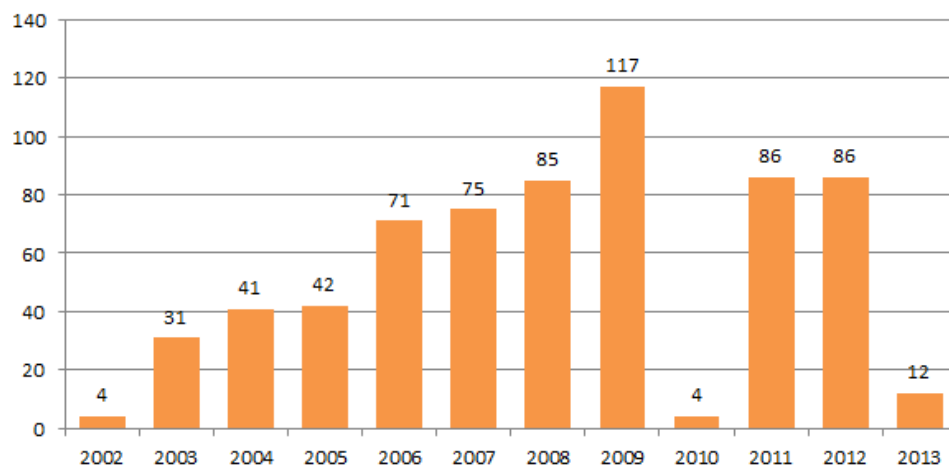
Kontraktforløb

De nuværende busser, der betjener linjerne i Københavns Kommune, indgår i en lang række forskellige kontrakter, hvor der også kan være kørsel på andre linjer. Kontrakterne har forskellige starttidspunkter, og tidspunkterne for, hvornår busserne udgår af drift vil ligeledes være vidt forskellig.

De nuværende busser er gennemsnitligt ca. 6 år gamle i dag. I Figur 1 er vist årstallet for første indregistrering af busserne.

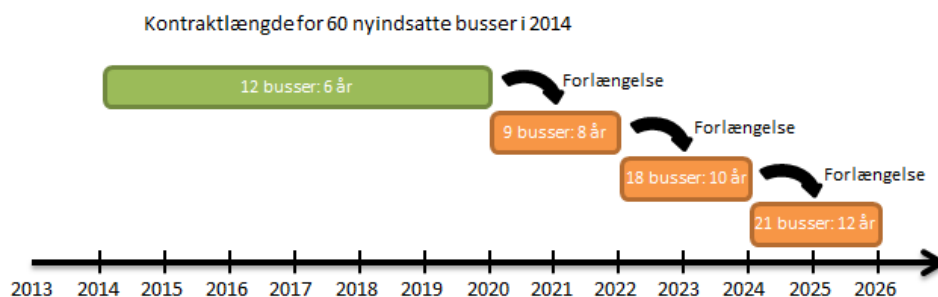
Årstal for 1. indregistrering af busser

I alt 654 busser



Figur 1 Årstal for 1. indregistrering af busser i København. Kilde: Trafikselskabet Movia.

Movia forventer som groft gennemsnit, at 20 % af alle kontrakter varer seks år, 15 % varer otte år, 30 % ti år og de sidste 35 % det maksimale antal år – 12. Operatørerne er garanteret seks år i kontrakt, og en evt. forlængelse afhænger af, hvorvidt operatørerne performer tilstrækkeligt godt i forhold til en række service og kvalitetsparametre, se Figur 2.



Figur 2 Eksempel på forventet kontraktlængde for 60 tilfældige busser, der nyindsættes i drift i 2014.

I løbet af perioden frem til 2025 kan beregnes, at der med en uændret praksis om kontraktlængder alt andet lige vil skulle indføres knap 750 nye busser til at betjene de linjer, der kører i København. Det skyldes dels, at nogle af busserne både vil blive indsat og udskiftet igen inden 2025, dels at den aldersmæssige fordeling af de nuværende busser er lidt skæv, forstået på den måde, at ca. 60 % af busserne er fra 2008 eller senere.

Ca. 360 busser vil blive indsat i 2020 eller senere. Det giver forholdsvist gode muligheder for at udnytte de teknologiske fremskridt inden da, og herunder afvente resultaterne af de planlagte forsøg med eldrevne busser.

Ikke planlagte forlængelser af både de allerede indgåede og evt. kommende kontrakter vil selvfølgelig kunne ændre dette billede.

5.1 Nøgletal for drift

I Tabel 7 er vist en række nøgletal for 2011 for driften på linjer, der enten betjener Københavns Kommune alene, eller som både betjener Københavns Kommune og andre nabokommuner.

Tabel 7 Nøgletal for driften i Regnskab2011.

R2011	Opgjort for hele linjer	Opgjort for andel i KK
Antal driftstimer i alt	2,08 mio.	1,35 mio.
Antal påstigere	135,1 mio.	
Udgifter til operatører	1.405 mio. kr.	
Indtægter	÷ 859 mio. kr.	
Finansiering	÷ 546 mio. kr.	÷ 330 mio. kr.
Gens. Timepris	675 kr.	
Antal driftsbusser	691	
Antal driftskm	38,7 mio.	22,4 mio.
Gens. Kørehastighed	20,3 km/t	18,9 km/t
Gens. antal timer pr. driftsbus	2.751	
Gens. antal km pr. driftsbus	55.949	

Kilde: Trafikselskabet Movia og COWIs beregninger

Movias udgifter til operatører opgøres ikke kommunevist for linjer, der betjener mere end én kommune. Operatører, der har vundet en kørselsopgave, afregnes efter den timepris, som de har tilbudt (inkl. evt. prisreguleringer), uanset om kørslen foregår i den ene eller anden kommune.

Operatørernes tilbudspriser vil afhænge af mange forhold, primært forhold, der knytter sig direkte til den konkrete kørsel og de krav, der skal opfyldes, sekundært forhold, der knytter sig til den enkelte virksomhed, og som også kan påvirke priserne i op- eller nedadgående retning²⁰.

For at kunne vurdere fordele og ulemper ved forskellige teknologier og beregne de marginale meromkostninger knyttet til en bestemt teknologi på et sammenligneligt grundlag, forudsættes i de følgende beregninger, at der overordnet set eksisterer en direkte sammenhæng mellem de reelle omkostninger hos operatørerne, og de tilbudspriser, de byder ind med. Ændrede driftsomkostninger, eksempelvis, slår altså direkte igennem på de beregnede, gennemsnitlige timepriser for de forskellige teknologier.

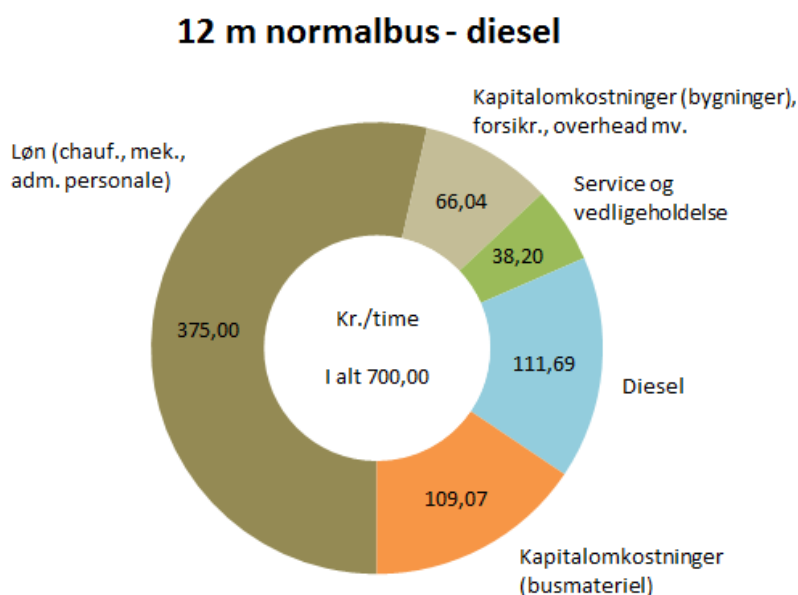
Som en anden vigtig forudsætning for at kunne vurdere alternativerne indbyrdes er dernæst fastlagt en typisk, gennemsnitlig timepris for kørsel med en 12 m dieselbus, samt de bagvedliggende investerings-, drifts- og vedligeholdelsesudgifter til

²⁰ F.eks. operatørens vurdering af markedssituationen, kvaliteten af hans indkøbsaftaler, organisatoriske og driftsmæssige forhold i virksomheden, tillæg til prisen for oplevelse af usikkerheder og det aktuelle behov for at vinde et udbud

denne bus. Beregningerne er bl.a. foretaget med baggrund i de tilbudspriser, Movia har modtaget i forbindelse med de seneste udbud, og der er herudover inddraget forskellige nøgletal fra andre kilder²¹.

Movia vurderer på baggrund af de senest indkomne tilbudspriser og den seneste tids udvikling i tilbudspriserne, at en typisk gennemsnitlig timepris i dag for en standardbus vil svare til ca. 700 kr. inkl. evt. incitament for god performance, som indgår i de nyeste kontrakter med operatørerne.

Omkostningselementer En dekomponering af den gennemsnitlige timepris i forskellige omkostningselementer ses i Figur 3. Det er forudsat, at bussen kører 2,1 km/l diesel (kilde: AD-modellen), at de gennemsnitlige service- og vedligeholdelsesudgifter svarer til 1,88 kr./km (kilde: TØI) og at literprisen for diesel svarer til 11,53 kr. (kilde: EOF). Herudover er forudsat, at bussens anskaffelsespris er 1,8 mio. kr. og at den afskrives over de seks år, der er garanteret i kontrakterne i Movia.



Figur 3 En gennemsnitlig pris for en bustime i København, nedbrudt i forskellige omkostningselementer, der tilsammen udgør grundlaget for en operatørs tilbudspris. Priserne er 2013-niveau.

Lønnen udgør ifølge flere kilder²² godt halvdelen af den samlede timebetaling.

De øvrige omkostninger kan herefter beregnes ud fra de nævnte forudsætninger, undtaget det element, der omfatter kapitalomkostninger til bygninger/anlæg, forsikringer, overhead og div. Dette element udgør restbeløbet op den samlede timepris på 700 kr.

²¹ Movia har inden for de seneste 5 år modtaget tilbud på 75 % af den samlede kørsel, hvor timeprisen inkl. incitamentsbetaling varierer fra 623 kr. til 759 kr. (opgjort i 2012-priser), med et gennemsnit på ca. 684 kr. Ved et stort udbud i 2011 blev prisen ca. 728 kr. pr. time. Siden 2010 har priser været svagt faldende

²² Bl.a. "Lokal og regional kollektiv trafik", Færdselsstyrelsen, 1998, samt resultater fra gennemførte udbud af kollektiv trafik i de senere år

Udgifter til service og vedligeholdelse varierer blandt forskellige kilder. Udgifterne vil typisk være lave i de første år mens bussen er ny, og de vil dernæst stige i takt med bussens alder. De 1,88 kr./km er angivet som et gennemsnit over bussens samlede driftscyklus.

Med dette udgangspunkt beregnes i Kapitel 6 relative driftsomkostninger opgjort pr. time for busser, der afviger fra denne standardbus. Priserne beregnes i 2013-niveau, hvilket gør det let at sammenligne med de nuværende priser.

Ændringer i forhold til standardbussen giver sig udslag i ændrede omkostninger til service og vedligeholdelse, til brændstof og afskrivning (kapitalomkostninger til materiellet), mens lønomkostningerne samt kapitalomkostninger til bygninger, forsikringer, overskud hos operatøren (overhead) må forventes at være nogenlunde stabile, nominelt set.

Herudover kan der være andre ændringer, som er afledte af, at der anvendes en bestemt teknologi. Det kan eksempelvis være en teknologi, som er særlig pladskrævende, og som betyder, at bussens samlede passagerkapacitet reduceres. Det kan være et minus ved nogle teknologier frem for andre. Kørselsomfanget og kontraktlængden betragtes derimod som omstændigheder ved et udbud, som kun i begrænset omfang har at gøre med selve materiellet. Investering i teknologier, hvor kontraktlængden må forventes at være kritisk for den samlede økonomi, beskrives senere.

Det skal i øvrigt bemærkes, at der generelt vil være en vis usikkerhed forbundet med beregning af timepriserne på alternative teknologier. Ønsker om at indtræde i markedet med en ny teknologi kan få både energileverandører og busoperatører til at sætte prisen lavt, omvendt kan usikkerhed om de løbende driftsudgifter øge priserne.

6 Gennemgang af teknologier

I det følgende ses nærmere på forskellige teknologier med fokus på de miljømæssige og driftsøkonomiske aspekter. Med det er også vigtigt at få vurderet, hvorvidt de forskellige teknologier vil fungere i praksis, og hvilket setup, der kan være hensigtsmæssigt. I den følgende gennemgang af teknologier beskrives og vurderes disse aspekter:

- › Driftsomkostninger
- › Nødvendige investeringer
- › Lokalisering af anlæg
- › Særlige rammebetingelser
- › Udbudsforhold
- › Forventninger til teknologisk udvikling.

Driftsomkostninger

I gennemgangen af alternative teknologier fokuseres på beregninger af forventede, gennemsnitlige timepriser samtidig med at de samlede nettodriftsomkostninger for Københavns Kommune opgøres og kommenteres. De samlede nettodriftsomkostninger afhænger også af en række administrative forhold, som i princippet er uafhængige af driften, og timeprisen udtrykker betydningen af teknologivalget ret direkte.

Det antages desuden, at driften i 2025 har samme omfang som i dag og at der skal anvendes det samme antal busser, som nu. Tilpasningen af linjenet og kørselsomfang til især Metroens Cityring og andre planer forventes at medføre markante driftsreduktioner, som ikke er antaget som en fast forudsætning i beregningerne i denne rapport. Følges disse planer og reduceres antallet af busser markant, vil omfanget af den resterende bustrafiks samlede udledninger blive lavere end her beskrevet.

Nødvendige investeringer

Der kan være væsentlige investeringer knyttet til ændret busteknologi og brug af alternative drivmidler. Det antages som en forudsætning, at investering og drift af de anlæg, der skal anvendes til at producere de pågældende drivmidler ikke indgår som del af dette projekt. Disse omkostninger antages indregnet i brændstofpriserne.

De øvrige investeringer vil have tilknytning til etablering af et netværk af tankanlæg, til etablering af særlige ladestationer til opladning/udskiftning af batterier, samt til indkøb af egnede busser.

For hver af de nævnte teknologier beskrives problemstillingen mere detaljeret, og der gennemføres overslagsberegninger af de nødvendige investeringer. Investeringerne sammenholdes efterfølgende med Københavns Kommunes øvrige omkostninger til busdriften i dag. Der anvendes gennemsnitlige betragtninger for den kørsel, der analyseres.

Lokalisering af anlæg I projektet belyses de væsentlige forhold omkring nødvendige tankanlæg til de forskellige drivmidler – f.eks. spørgsmål om nødvendig infrastruktur til distribution samt andre karakteristika og overordnede fordele/ulemper. Bl.a. beskrives:

- › Behovet for anlæg
- › Betydningen af lokalisering af anlæg for driften på de københavnske buslinjer
- › Udbud af anlæg, ejerskab og drift.

Overordnede rammebetingelser De nuværende roller for trafikbestillere, trafikselskaber og operatører og de indbyrdes kontrakter om kørsel betyder, at der blandt parterne er en tilbøjelighed til at vælge standardbusser og –teknologi. Movia råder ikke over anlægsmidler, og vil derfor ikke umiddelbart kunne etablere særlige tankanlæg. Den direkte finansiering vil derfor skulle ske hos trafikbestillerne, hos operatørerne eller brændstofleverandører.

Herudover kan manglende fælles mål generelt være en udfordring for at København kan lykkes med sine miljømål. Geografisk betjener langt de fleste offentlige busruter andre kommuner end København. Disse kommuner skal i princippet enes om driften på den pågældende rute, og altså også være enige om en evt. særlig indsats for miljøforbedringer. En enkelt part, der ikke ønsker at medvirke kan direkte bremse udviklingen for de øvrige. Det gør det generelt vanskeligt at gennemføre teknologispring inden for den kollektive busstrafik, som organiseringen er i dag. Øgede driftsudgifter må vurderes at være et af de væsentligste argumenter for at være tilbageholdende på området.

Udbudsforhold, kontraktforhold Den offentlige busstrafik i Movia udliciteres i dag på vilkår, hvor kravene til miljøbelastningen formuleres ved hjælp af de gængse EURO-normer, dvs. som funktionskrav frem for særlige detailkrav til valg af teknisk løsning. Ved brug af grænseværdier for udledning af forskellige stoffer og for maksimalt energiforbrug, er det således op til operatøren at vælge den eller de teknologier, han anser for mest fordelagtig i forhold til krav og muligheder.

Ved udbud med detailkrav til den teknologiske løsning – f.eks. krav om hybridbusser på biodiesel – bortfalder operatørens frihed til selv at vælge den teknologi, der passer hans organisering og muligheder bedst. Til gengæld hænger det bedre sammen med det forhold, at særlige teknologier kræver særlige tankanlæg, som skal etableres og drives.

For hver teknologi vurderes, hvordan implementering mest hensigtsmæssigt kan håndteres i de kommende udbud af buskørsel. Og hvilken rolle miljøincitamenter kan spille i forhold til kommunens målsætninger.

Teknologiudvikling

For de nævnte teknologier, beskrives overordnet, hvilke forventninger der er til videreudviklingen over de kommende år. Beskrivelsen vil bl.a. bygge på officielle kilder, indsamling af data i forbindelse med dette projekt, samt erfaringer og viden, som COWI har indsamlet gennem tidligere projekter.

Københavns Kommune har i første omgang rettet blikket mod at nå bestemte mål i 2025. Valget af teknologier i perioden frem til 2025 bør også tage højde for tiden efter 2025, i det omfang, der er interessante teknologier på vej, som først er teknisk og økonomisk fordelagtige umiddelbart efter 2025. Det vil således ikke hensigtsmæssigt, om kommunen til den tid har bundet sig til store anlægsinvesteringer, der ikke kan afskrives inden den ny teknologi kan tages i brug.

Så spørgsmålet er, hvordan en strategi kan sikre stabil målopfyldelse og samtidig rumme muligheden for at gøre brug af den udvikling, der løbende vil ske på området.

6.1 Biodiesel

Biodiesel bliver i 2. generation typisk produceret på basis af restprodukter fra slagterier og døde dyr fra landbruget. Andre restprodukter i form af fedt og olier, der er uegnet til fødevarerproduktion, vil også kunne indgå i produktionen²³. Biodiesel kan blandes i almindelig dieselolie i forskellige koncentrationer, og i dag tillades op til 7 % biodiesel i den diesel, der tankes og anvendes til almindelige dieselmotorer i biler og busser²⁴.

De biobaserede CO₂-reduktioner kan teoretisk set være ret høje, men vil i et dansk klima formentlig være mindre end 50 %. Undersøgelser dokumenterer, at partikelforureningen ved anvendelse af biodiesel reduceres markant, men at biodiesel omvendt giver anledning til øget udledning af kvælstofilter (NO_x). Anvendelse af biodiesel bør derfor ses i sammenhæng med mulighederne for effektiv efterbehandling i form af særlige katalysatorer og filtersystemer til reduktion af skadelige stoffer i udstødningsgassen.

Fordele

De umiddelbare fordele ved biodiesel er, at:

- › Det produceres i tilstrækkelige mængder
- › Det er forholdsvist let at håndtere i forhold til almindelig diesel
- › Det fungerer i kommerciel skala og er driftssikkert (koncentrationen skal tilpasses årstiden)
- › Det reducerer udledningen af CO₂ (samt HC og CO)
- › Emissionsbegrænsende udstyr påvirkes ikke.

²³ Biodiesel er fedtsyremethylestre (FAME) dannet ved en reaktion mellem en alkohol og olier/fedtsstoffer af vegetabilsk eller animalsk oprindelse.

²⁴ Ifølge den Europæiske Dieselnorm EN 590

Ulemper

Ulemperne handler primært om:

- › At biodiesel størkner ved lave temperaturer
- › Øgede udgifter til service- og vedligehold (primært olieskift og filtre samt evt. hyppigere udskiftning af pakninger og dyser ved dårlig basiskvalitet)
- › Øget udledning af NO_x
- › Priser, der ikke er konkurrencedygtige
- › Evt. øgede udgifter til forsikring/manglende fabriksgarantier.

I Danmark er der flere producenter af biodiesel. DAKA, Danmarks første 2G biodieselfabrik, blev sat i drift i 2008. Anlægget anvender slagteriaffald og producerer ca. 55 mio. liter biobrændstof om året. Fabrikken er forberedt for en senere udbygning til ca. 100 mio. liter/år. Andre fabrikker producerer tilsvarende mængder.

Brug af biodiesel til ca. 41 % af den samlede kollektive busstrafik i København som foreslået i scenarie 2 vil beregningsmæssigt kræve ca. 4,8 mio. liter biodiesel årligt. Den samlede produktion i Danmark overstiger således markant et sådant behov. Det er dog naturligvis en forudsætning, at biodieselen ikke anvendes til andre formål.

Hovedparten af den producerede biodiesel eksporteres i øjeblikket. Det skyldes, at den samlede pris for biodiesel inkl. afgifter gør den mindre konkurrencedygtig i forhold til almindelig diesel i Danmark.

Biodiesel kan iblandes almindelig dieselolie i forskellige koncentrationer. Jo større koncentration af biodiesel, des større CO₂-effekt. Flere kilder peger på, at udledningen af CO₂ med 100 % 2G biodiesel kan reduceres med op til 75 % i forhold til almindelig, fossil diesel²⁵.

Beregninger gennemført ved hjælp af AD-modellen viser, at det i Danmark vil være realistisk at nå en gennemsnitlig CO₂-reduktion på årsbasis svarende til godt 30 % i forhold til fossil diesel. Undersøgelser dokumenterer desuden, at partikelforureningen og udledningen af HC og CO reduceres ved anvendelse af biodiesel.

Omvendt kan biodiesel give anledning til en øget udledning af NO_x. Anvendelse af biodiesel bør derfor ses i sammenhæng med mulighederne for effektive filtersystemer til reduktion af skadelige stoffer i udstødningsgassen. Overholdelse af EURO VI-normen kan betyde, at der skal anvendes mere effektive katalysatorer.

Generelt giver biodiesel en ren forbrænding og sikrer en god smøring af motoren, som betyder, at de normalt anvendte additiver ikke er nødvendige.

Nødvendige investeringer

Anvendelse af biodiesel vil ikke medføre væsentlige ekstrainvesteringer i forhold til busmateriellet. For de fleste bussers vedkommende må forventes, at brug af biodiesel hverken vil kræve ombygninger eller modificeringer af motoren af nogen art. Omkostningerne til evt. nødvendige tilretninger vil under alle omstændigheder være begrænsede. Både nye og ældre busser vil således umiddelbart kunne benytte biodiesel.

²⁵ Bl.a. U.S. Department of Energy

I forhold til tankanlæg kræves mindre ændringer i forhold til i dag. Biodiesel kan i det daglige håndteres på samme måde som fossil diesel, men da der vil skulle ske en blanding mellem biodiesel og fossil diesel, vil det blive nødvendigt at opbygge blandingstanke hos de enkelte operatører. Disse oplagingsfaciliteter kræver myndighedsgodkendelse fra både kommune og Beredskabsstyrelsen.

Konkrete danske forsøg med biodiesel baseret på animalske restprodukter til tunge køretøjer²⁶ viser endvidere, at det vil være nødvendigt at bygge opvarmede tanke til oplagring. Tilsvarende gælder ikke for vegetabilsk biodiesel. Ombygninger af tankanlæg vurderes samlet set ikke at være særligt vanskelige eller omkostningskrævende.

Lokalisering af anlæg Oplagning af biodiesel vil skulle ske på tankanlæg hos de respektive operatører som i dag. Forsyningsmæssigt vil anvendelse af biodiesel generelt heller ikke byde på udfordringer, som må forventes at medføre meromkostninger for operatørerne eller for kommunen.

Rammebetingelser og udbud Det er en forudsætning for denne teknologi, at der er tilstrækkeligt affald til rådighed, som kan anvendes til produktion af biodiesel.

I øjeblikket er de samlede omkostninger til råvarer og fremstillingsprocessen stadig for høje til at gøre biodiesel konkurrencedygtigt i forhold til fossil diesel.

Udbudsteknisk vil brug af biodiesel kunne sikres ved at gøre det til et krav for at opnå kørsel, at operatørerne anvender 2G biodiesel til driften. Herudover kan der overvejes mindstekrav om iblandingen af biodiesel i den fossile diesel for at sikre de miljømæssige gevinster.

Det sidstnævnte kan i praksis vise sig vanskeligt at indfri, hvis de gennemsnitlige temperaturer er for lave. Her må sikres en fornuftig balance, så driften opretholdes uanset vejret og kravene til iblanding af biodiesel.

Vi mener, det vil være fordelagtigt at have flere indgangsvinkler til arbejdet med at reducere forbruget af energi og emissionerne af CO₂, og at det er vigtigt at adskille de forskellige indsats fra hinanden. En indsats rettet mod energirigtig kørsel og andre energibesparende foranstaltninger bør fortsætte og belønnes via bonusordninger i kontrakterne. Anvendelse af bestemte drivmidler med særlige egenskaber og specifikationer bør prioriteres særskilt. At stille funktionskrav om maksimal emission af CO₂ vurderes ikke at ville give yderligere positive effekter. I stedet vurderes det at medføre øget kontrolarbejde for Trafikselskabet.

Forventninger til teknologisk udvikling Produktion af biodiesel er en kendt og velafprøvet proces og der findes i Danmark et godt råvaregrundlag. En teknologisk videreudvikling af biodiesel kan bl.a. handle om at øge koncentration af biodiesel i blandingen med fossil diesel. Det er også vigtigt at sikre den nødvendige mængde råvarer til at producere 2G biodiesel på animalske restprodukter eller andre restprodukter, der ikke kan anvendes på anden måde.

²⁶ Trafikstyrelsen: Forsøg med biodiesel – sammenfattende rapport, Center for grøn transport, 2011

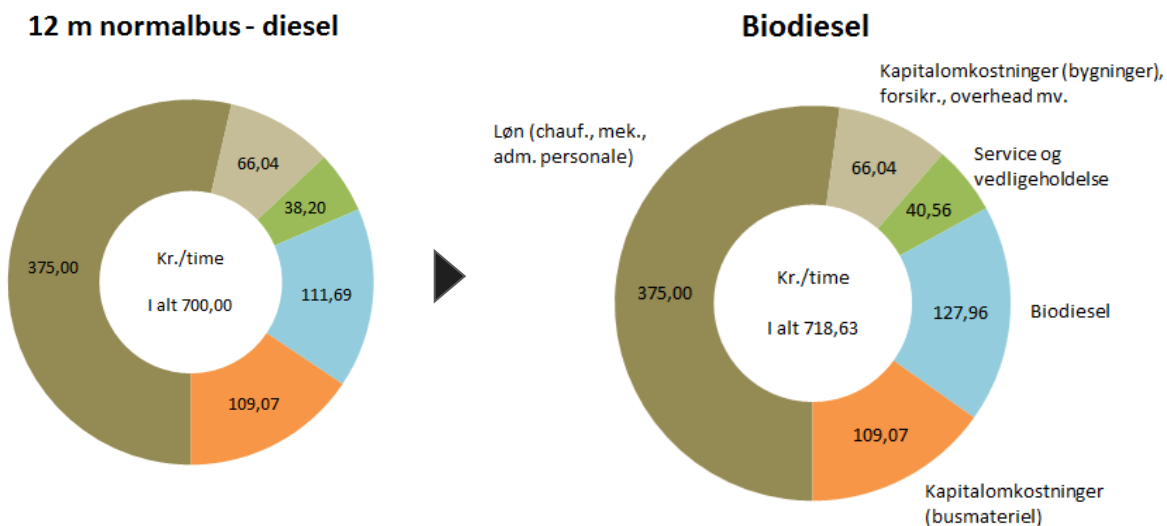
Driftsomkostninger Driftsomkostningerne til en bus, der anvender biodiesel er gennemsnitligt ca. 18,60 kr. højere pr. time end for en traditionel dieselbus. Det svarer til ca. 2,7 %. Forskellen skyldes dels en højere literpris for biodiesel, dels øgede udgifter til service- og vedligeholdelse af bussen, se Figur 4.

Ifølge oliebranchens fællesråd har literprisen for biodiesel i perioden fra 2009 til i dag været ca. 1,5 kr. højere end for fossil diesel. Det svarer til ca. 16,30 kr./time i gennemsnit. Energiindholdet i biodiesel er desuden lavere end i fossil diesel (ca. 12 %), hvilket betyder, at forbruget af biodiesel alt andet lige vil være højere. Forsøg p \grave{a} viser dog kun marginale forringelser af henholdsvis brændstoføkonomi og ydelse ved brug af biodiesel, selv i høje koncentrationer. I beregningerne er antaget, at merforbruget svarer til 10 %.

Herudover kommer meromkostninger til hyppigere olieskift og skift af oliefilter. Erfaringerne fra forsøg indikerer, at der som udgangspunkt skal forventes dobbelt s \grave{a} hyppige olieskift og skift af oliefilter. I AD-modellen antages, at udgifter til olie og olieskift svarer til ca. 6.500 kr. \grave{a} rligt. En fordobling af disse udgifter svarer til ca. 2,40 kr./time.

Det er forudsat i beregningerne, at der kun kan anvendes 100 % biodiesel i seks måneder \grave{a} rligt i sommerhalv \acute{a} ret. I de \acute{o} vrigte seks måneder anvendes beregningsm \ddot{a} ssigt biodiesel med et gennemsnitligt bio-indhold p \grave{a} 20 %.

En sidste faktor i den forbindelse er, at fabriksgarantien fra k \acute{o} ret \acute{o} jsfabrikanten ofte bortfalder ved k \acute{o} rsel p \grave{a} højere iblandinger end 7 %. Det kan medf \acute{o} re ekstra omkostninger til forsikring alternativt selvforsikring, som dog ikke er sk \acute{o} nnet i dette projekt.



Figur 4 Gennemsnitlig pris for en bustime i København, hvor der anvendes biodiesel til driften. Der kan forventes en reduktion i udledning af CO $_2$ i forhold til en standard dieselbus EURO VI p \grave{a} gennemsnitligt godt 30 %.

En samlet prisændring på i størrelsesordenen + 2-3 % ligger inden for den usikkerhed, der knytter sig til genudbud af buskørsel, hvor lokale forhold hos forskellige tilbudsgivere og markedsconjunkturerne generelt kan betyde større ændringer i begge retninger.

6.2 Naturgas/biogas

Naturgas

Naturgas er en luftart, som næsten udelukkende indeholder metan CH_4 . Derudover indeholder den mindre mængder af etan, propan, andre kulbrinter, kvælstof og kuldioxid, samt spor af vand og svovl.

Naturgas har en fossil baggrund – dvs., det er organisk materiale, der er blevet nedbrudt til gas i undergrunden gennem mange tusinde år pga. højt tryk og temperatur. Nedbrydningsprocessen danner hovedsageligt metan, og energiindholdet er højt i udgangspunktet.

Fordi naturgas er et fossilt brændstof, betragtes køretøjer, der anvendes naturgas ofte ikke som miljøkøretøjer.

Forureningen fra busser, der kører på naturgas kan overordnet set sidestilles med forureningen fra traditionelle dieselbusser. Udledningen af NO_x og partikler er ikke i sig selv mindre, men udledningen af CO_2 er typisk lidt lavere.

I øjeblikket er naturgas særligt aktuelt, fordi det er et forholdsvist billigt brændstof. Tilgængeligheden til naturgas er god, ikke mindst i kraft af den nye gasforbindelse til Tyskland, som blev etableret i 2013. Det sikrer høj forsyningssikkerhed og billige priser på det internationale marked. Det danske naturgasnet er desuden veludbygget og fintmasket, og i København vil det eksempelvis være forholdsvist let for et forsyningsselskab at koble sig på nettet og levere gas til en busoperatør.

Biogas

Særligt interessant vil det være at anvende biogas til busdriften i øjeblikket. Biogas er en luftart, som indeholder ca. 65 % metan (CH_4), 35 % kuldioxid (CO_2), samt spor af vand, svovl, ilt og kvælstof. Produktionen sker på biogasanlæg, der kan variere meget i størrelse og kapacitet. For at kunne anvendes som drivmiddel til busser skal gassen opgraderes til naturgaskvalitet (biometan), hvilket sker i særlige opgraderingsanlæg, hvor der fjernes CO_2 , svovl og vand fra gassen.

Biogas er organisk materiale, der produceres ved, at husdyrgødning og andet organisk affald, for eksempel industriaffald fra slagterier, pumpes ind i en iltfrie, opvarmede reaktorer, der skaber en biologisk nedbrydningsproces af det organiske materiale, som danner metan. Nedbrydningsprocessen varer få dage.

Biogas er generelt velegnet som drivmiddel i busser, men primært hvis det opgraderes til en kvalitet og et energiindhold, der svarer til naturgas. Gasmotorer kan i princippet køre på både biogas og naturgas, men der er flere fordele i at opgradere gassen, så den har samme kvalitet som naturgas. Den opgraderede biogas vil typisk opnå et metanindhold på 96-99 %.

Biogas kan produceres i tilstrækkelige mængder til meget gunstige priser i øjeblikket. Det er en gennemprøvet og driftssikker teknologi, og det reducerer markant udledningen af skadelige stoffer og drivhusgasser. Især biogas baseret på afgasning af gylle indebærer store klimamæssige fordele og sikrer reelt et positivt bidrag til den samlede CO₂-udledning, se senere.

I praksis vil opgraderet biogas blive injiceret i det danske naturgasnet tæt på biogasanlægget/opgraderingsanlægget i en mængde, der modsvarer forbruget af gas i busserne. Aftapningen af gas til busserne sker derefter via en stikledning fra naturgasnettet til en fyldestation, der etableres ske tæt på forbrugsstedet, dvs. i tilknytning til operatørens garageanlæg. Busserne kører således på naturgas, mens købet af VE-certifikaterne sikrer, at den forbrugte mængde energi ”stammer” fra injiceret biogas. Efterhånden sender flere distributionsselskaber opgraderet biogas ind i naturgasnettet i Danmark, blandt andre Dong Energy, HMN og Bionaturgas Danmark. HMN meddelte i januar 2014, at de nu sender opgraderet biogas produceret af gylle til en række af deres naturgaskunder²⁷.

For tiden er der markant fokus på at styrke anvendelsen af naturgas og især biogas i transportsektoren, bl.a. hos regeringen, der har gennemført flere tiltag for at fremme brugen. Energiforliget i 2012 indeholder således bl.a. en forbedring af de økonomiske vilkår for biogasproduktion, når biogassen anvendes uden for kraftvarmesektoren, f.eks. i transportsektoren.

Fordele

Anvendelse af biogas baseret på afgasning af gylle indebærer umiddelbart flere fordele:

- › Det produceres i tilstrækkelige mængder
- › Det er forholdsvist let at håndtere i forhold til almindelig diesel
- › Det er driftssikkert
- › Det reducerer udledningen af CO₂ og andre drivhusgasser
- › Emissionsbegrænsende udstyr påvirkes ikke
- › Konkurrencedygtige gaspriser i øjeblikket
- › Gasbusser er mere lydsvage end dieselbusser.

Ulemper

Ulemperne ved biogas handler tilsyneladende til en vis grad om, at trafikkselskaber, kommuner og operatører endnu ikke har mange erfaringer med biogassen til transportsektoren. Det giver usikkerhed, som i sidste ende kan påvirke tilbudsgivere og resultere i høje tilbudspriser. Usikkerhederne kan omhandle:

- › Forsyning af den nødvendige mængde gas og tilstrækkelige gaskvalitet
- › At forhold omkring levering af gas håndteres af gasleverandøren (herunder nødvendige tilladelser, sikkerhed mv.)
- › Øgede udgifter til service og vedligeholdelse af busser
- › Gensalgsværdien af gasbusser efter endt kontrakt usikker
- › Sikring mod store udsving i gaspriserne

²⁷ Ritzau, 8. januar 2014

Men herudover kræver brug af biogas forholdsvis pladskrævende gastanke på bus- sen, hvis operationsradius skal være som ved dieselbusser. Det betyder som regel, at bussens samlede fysiske højde øges lidt (10-30 cm typisk).

I dag produceres årligt ca. 4-5 PJ biogas, svarende til ca. 200-250 mio. m³. Potenti- alet for produktion af biogas vurderes ifølge Energistyrelsen til ca. 40 PJ.

Brug af biogas til ca. 73 % af den samlede kollektive bustrafik i København som foreslået i scenarie 1, ca. 59 % i scenarie 2 og ca. 37 % i scenarie 3 vil bereg- ningsmæssigt kræve ca. 8,6 mio. m³ henholdsvis ca. 6,9 mio. m³ og 4,3 mio. m³ biogas årligt. Den samlede produktion i Danmark overstiger således markant et sådant behov. Det er dog naturligvis en forudsætning, at biogassen ikke anvendes til andre formål.

De miljømæssige aspekter vil være markant positive ved biogassen. Gylle, der ud- bringes på markerne inden afgang i et biogasanlæg, medfører en ret markant drivhusgasudledning i form af metan og lattergas. CO₂-udledningen fra gyllen vil være langt mindre, hvis gyllen først afgasses i et biogasanlæg. Dermed får biogas- produktion på basis af husdyrgødning en mere end dobbelt så stor effekt på udled- ningen af drivhusgasser, som anvendelsen af andre råstoffer.

Udover at bidrage positivt til CO₂-regnskabet vil brug af biogas baseret på afgasset gylle også betyde, at udvaskningen af næringsstoffer fra markerne reduceres, lige- som lugtgenerne.

Indføres nu i busser

Gas har været anvendt og anvendes fortsat i større stil i den kollektive trafik i trafikskaberne i vores nabolande Norge og Sverige, og det er ved at finde indpas i Danmark netop nu. I 2013 blev Fredericia den første danske by der indsatte gas- busser på deres ruter og i sommeren 2014 fulde Holstebro Kommune efter og ud- skiftede alle deres bybusser til fra diesel- til gasbusser.

Ifølge Troels Andersen fra Odense Kommune arbejder kommunen på at indføre gas- eller eldrift på knap 40 bybusser i forbindelse med et igangværende udbud i Odense. Ligeledes er der indført biogas på en buslinje mellem Frederikshavn og Aalborg.

Det samlede setup i de forskellige projekter med nye busser og særlige tankan- læg/fyldestationer og garagefaciliteter har en del fællestræk, men adskiller sig også fra hinanden på visse punkter. Flere steder har en lokal leverandør af biogas været en medvirkende faktor til at initiere tiltagene, og der har ligeledes været et ønske fra de involverede kommuner om at forbedre de miljømæssige aspekter af den kol- lektive trafik og forsøge sig med alternativer til den velkendte teknologi. I Holste- bro, Nordjylland og i Odense har det været et politisk ønske at erstatte diesel med biogas uanset evt. meromkostninger, mens Fredericia ønskede at holde de samlede driftsudgifter uændrede, og derfor ved et udbud bad om ”så meget gasbusdrift som muligt” for et bestemt beløb.

Nødvendige investe- ringer

Biogasbusser er fortsat dyrere end traditionelle dieselbusser. Forskellige kilder in- dikerer, at indkøbsprisen for en sammenlignelig bus vil være ca. 200.000 kr. høje- re. Det understøttes i businesscasen fra Holstebro, hvor priserne forventes at være

ca. 250.000 kr. højere. Det svarer til godt 10 % af nyprisen på en traditionel dieselbus. De højere priser kan i et vist omfang skyldes, at antallet af gasbusser, der indgår i Holstebro (og Fredericia) er ret begrænset (8-9 busser i alt). En større samlet ordre vil givetvis påvirke prisen i nedadgående retning.

Det er forsigtigt antaget, at busserne beregningsteknisk ikke vil repræsentere en værdi for operatørerne efter et endt kontraktforløb. I forhold til Movias kontrakter, hvor der kun er garanteret seks år gør det naturligvis afskrivningen forholdsvis høj. I forhold til netop gasbusser må det forventes, at de reelt vil kunne repræsentere en værdi på et brugtmarked efter kun seks år. I vores nabolande findes et forholdsvis stort marked for gasbusser, og det kan påvirke den beregnede afskrivning en anelse i positiv retning.

Gasleverance og lokalisering af anlæg

Leverancen af gas udgør et centralt element i den samlede løsning. Det anses for usandsynligt, at der opbygges et net til distribution af biogas. Medmindre Københavns Kommune eller et forsyningsselskab vil etablere et biogasanlæg samt anlæg til opgradering af biogas tæt på de garageanlæg, hvorfra busserne stationeres, så vil det mest sandsynlige scenarie være, at den nødvendige biogas sendes ind i det eksisterende naturgasnet, og at busserne reelt køres på naturgas, som også skal opfylde de samme krav med hensyn til udledning af NO_x og partikler som biogassen.

Flere modeller til gasleverance kan anvendes. I Fredericia og Holstebro har de to kommuner lejet arealer, som ligger strategisk i forhold til en eksisterende naturgasledning. Arealerne stilles herefter til rådighed for en gasleverandør, der – efter et udbud – forpligter sig til at etablere tankanlæg/fyldestation til busserne, samt levere den fornødne mængde gas i løbet af en på forhånd given kontraktperiode. Gasleverandøren byder i udbuddet ind med en samlet m³-pris for gassen, som også skal omfatte de samlede omkostninger til etablering og drift i kontraktperioden.

Kommunerne forpligter sig omvendt til at aftage en vis mængde gas til brug for buskørslen i hele kontraktperioden, og sender forpligtelsen videre til busoperatørerne, som skal benytte gassen fra anlægget.

Ulempen ved en sådan model i forhold til situationen i København kan være, at operatøren indirekte tvinges til at lokalisere sit garageanlæg netop på den udvalgte lokalitet. Det giver begrænset mening, når der er behov for gas på flere eller mange lokaliteter, og når mange operatører i forvejen er lokaliseret med garage- og værkstedsfaciliteter spredt over et større geografisk område.

En lidt anden model anvendes i Nordjylland, hvor der i forbindelse med et aktuelt udbud i Nordjyllands Trafikselskab ønskes anvendt biogas på en af de udbudte linjer.

Her løses spørgsmålet om gasleverance på en måde, hvor den vindende operatør kan vælge selv at indgå aftale om etablering af gasfyldestation(er) og levering af gas. Operatøren kan også vælge at udnytte en indgået forhåndsftale med HNM Naturgas, hvor HNM etablerer og driver dels et tankanlæg på en på forhånd udvalgt lokalitet tæt ved buslinjen (et eksisterende garageanlæg), dels et tankanlæg på en anden lokalitet i Aalborg, som operatøren frit vælger. Lokaliseringen af dette anlæg vil tage hensyn til minimering af tomkørsel, rationel drift og afstanden til naturgasnettet og aftales nærmere i forbindelse med udbudsforhandlingerne.

I aftalen med HMN indgår, at der stilles det nødvendige antal fyldestudse til Slow Fill (langsom tankning) til rådighed på de to anlæg, så alle kontrakt- og reservebusser kan tankes samtidigt, samt en fyldestuds til Fast Fill (hurtig tankning), hvor der også vil være offentlig adgang²⁸. I forhåndsftalen forpligter HNM sig til at levere til en samlet forbrugspris på 9 kr. pr. m³ gas²⁹.

En sådan model vurderes at være mere egnet i relation til København. Om der er behov for mere end et tankanlæg/fyldestation pr. operatør er derimod tvivlsomt.

Ifølge Bionaturgas Danmark vil omkostningerne til etablering og drift af tankanlæg og fyldestationer være forholdsvist uafhængigt af antallet af busser på en given garage. Her forlyder det også, at en m³-pris på omkring 9 kr. vil være realistisk stort set alle steder i København.

Vi vurderer, at der fortsat i nogle år, kan være behov for at præsentere en mulig løsning (en form for forhåndsftale) for de operatører, der gerne vil byde på kørslen. På den måde kan alle operatørerne føle sig sikre på, at de kan modtage den nødvendige mængde gas i kontraktperioden, og hvad omkostningerne vil være. På sigt vil køb af gas komme til at ske direkte mellem operatør og gasleverandør, helt uden kommunens eller trafikelskabets mellemkomst.

VE-gas

I businesscasen for Holstebro er det hensigten, at en lokal biogasproducent (Maabjerg BioEnergy), der indirekte ejes af Holstebro Kommune, skal levere opgraderet biogas til naturgasnettet (såkaldt VE-gas) i en mængde, der modsvarer det løbende forbrug til drift af busserne.

Selve bionaturgassen kan godt forblive fysisk i distributionssystemet i eksempelvis Jylland, samtidig med at en anden part gennem køb af et antal certifikater får garanti for, at en bestemt mængde gas, som aftages i København, er produceret på basis af biogas. Leverancen dokumenteres via Energinet.dk's certifikatorrdning, hvor ordningen sporer de aftalemæssige og ikke de fysiske strømme.

Hvis Københavns mål om CO₂-reduktion skal indfries, er det en forudsætning, at der anvendes VE-gas, og at der anskaffes de fornødne certifikater.

VE-certifikater sælges endnu ikke på en egentlig børs, som er planen på sigt. Priserne kan variere, især som følge af en samlet varierende produktion og afsætning af VE-drivmidler. Ifølge Bionaturgas Danmark kan certifikater (1 certifikat svarer i princippet til 1 m³) koste op til 1 kr. En aftale om stor afsætning i en periode vil dog reducere prisen. NT har fået oplyst, at VE-certifikater i øjeblikket omsættes til

²⁸ I Holstebro er både etableret slow- og fast fill"-standere. Slow fill varer ca. 6 timer, fast fill 20 minutter. Forsyningselskabet vil skulle tilpasse konfigurationen af nye anlæg i forhold til den konkrete driftssituation for busserne

²⁹ Startprisen er 9 kr. pr. m³. inkl. moms, afgifter, etablering af tankanlæg mv. Undervejs i kontraktperioden reguleres den "rå" gaspris med den officielle prisudvikling (Nord Pool), der reguleres for evt. ændringer i afgifter. Det svarer til eksisterende vilkår ved løbende prisreguleringer af diesel

0,25 kr./m³ gas³⁰. I det følgende er beregningsmæssigt forudsat, at et certifikat vil koste gennemsnitligt 0,50 kr./m³.

Generelt vil køb af VE-certifikater både kunne ske hos operatøren, trafikskabet eller kommunen. Umiddelbart virker det mest oplagt at enten kommunen eller Movia får ansvaret for at købe de nødvendige certifikater, i princippet helt uafhængigt af Movias øvrige kontrakt med operatøren, men baseret på oplysninger fra operatøren om reelt forbrug på de respektive linjer.

Rammebetingelser

På baggrund af de indgåede aftaler og forløbene omkring indførsel af gas i busserne i Holstebro, Fredericia og Nordjylland, foreslås følgende setup:

På vegne af trafikbestillerne som normalt, stiller Movia krav til operatøren om, at kørslen i en given kontrakt skal udføres med gasbusser. Movia forpligter sig dermed indirekte – ganske som hvis det havde været diesel – til at aftage en vis mængde gas, som operatøren skal anvende til driften af busserne i en given kontraktperiode.

Operatøren indgår herefter aftale med et forsyningsselskab, som skal etablere adgang til naturgasnettet, etablere de nødvendige tankanlæg/fyldestationer på operatørens garageanlæg, og garantere den nødvendige mængde gas til brug i busserne i kontraktperioden. Aftalen mellem forsyningsselskabet og operatøren indgås i direkte forlængelse af busoperatørens kontrakt med Movia, og tager afsæt i bestemmelserne heri vedrørende kørselsomfang, kontraktperiode og betingelser for kontraktforlængelser. Spørgsmål om evt. håndtering af bonus ved brændstofbesparelser kan også indgå.

Der udarbejdes evt. en standardiseret forhånds aftale mellem operatør og forsyningsselskab, så der er klarhed over, hvad gassen kan koste for operatøren, og på hvilke betingelser den leveres. Det bør også være muligt for operatørerne selv at forhandle en alternativ aftale på plads med et forsyningsselskab. Gøres det til et krav, at forhånds aftalen skal anvendes, må forventes, at den skal udbydes.

Forsyningsselskabet har det fulde ansvar for gaskvalitet og for sikkerheden omkring tankanlæg og fyldestationer. Selskabet hæfter direkte over for operatøren for så vidt angår dokumenterede tab, og operatøren kan således gøre et dokumenteret krav gældende direkte over for selskabet udenom trafikskabet³¹.

Operatøren har på sin side ansvaret for at overholde gældende bestemmelser for kørsel med gasbusser og evt. håndtering af gasbusser, hvis operatøren selv udfører service og vedligehold på eget værksted.

³⁰ Det understøttes af Bruno Sander Nielsen, Brancheforeningen for biogas, interview februar 2014

³¹ Der kan også komme en gasleverandør i spil, som tager sig af etablering af tankanlæg og fyldestationer, og som i praksis vil være den part, som operatøren indgår sin aftale med. Det er en detalje, som er mindre betydningsfuld i det samlede setup

Udbudsforhold

Hvad angår udbud af buskørslen kan trafikskabet benytte vilkår, der ikke adskiller sig væsentligt fra almindelige vilkår for dieseldrevne bybusser. Den primære forskel er, at der kræves gasbusser i stedet for dieselbusser.

I Holstebro leveres gassen gratis til operatøren, men det vil vi ikke anbefale. Vi ser ingen grund til at kommunen blander sig direkte i leverancen af brændstof til busserne, hvis usikkerheden omkring pris og levering er afdækket. Som nævnt kan det evt. ske ved hjælp af en standardiseret forhåndsftale.

Det kan være fornuftigt også at lade kørslen med gasbusser indgå i de sædvanlige programmer, hvor der gives incitamentter til energibesparende kørsel og andre lignende foranstaltninger. Der kan dog være behov for at indsamle erfaringer over en periode for at fastlægge det normale gasforbrug, inden kriterierne for at opnå bonus lægges fast.

Movia adskiller sig lidt fra de øvrige trafikskaber, hvad angår den garanterede kontraktperiode. I Movia er kontraktlængden kun seks år, med mulighed for forlængelse op til maksimalt 12 år. De fleste andre steder garanteres længere kontrakttid. I Holstebro er kontraktlængden f.eks. otte år, og med mulighed for forlængelse op til 12 år. I NT kan kontrakterne blive 14 år, hvis begge parter ønsker det.

De korte kontraktlængder i Movia betyder alt andet lige højere afskrivning af busser og dermed højere gennemsnitlige timepriser. En kort kontrakt om levering af gas vil alt andet lige også give højere enhedspriser end længere kontrakter. Ifølge Bionaturgas Danmark er spørgsmålet om en korte kontrakter dog ikke så afgørende for den samlede gaspris, da tankanlæg/fyldestationer kan sælges videre, evt. til andre lande i EU eller uden for.

Forventninger til teknologisk udvikling

Gasbusser er en velprøvet og fuldt modnet teknologi, hvor der ikke må forventes at kunne ske markant videreudvikling. Energieffektiviteten kan formentlig forbedres svagt, men med de strenge krav til udledning af NO_x og partikler i EURO VI-normen, vil teknologien isoleret betragtet ikke kunne sikre lavere udledninger uden at der sker efterbehandling af udstødningsgassen.

Driftsomkostninger

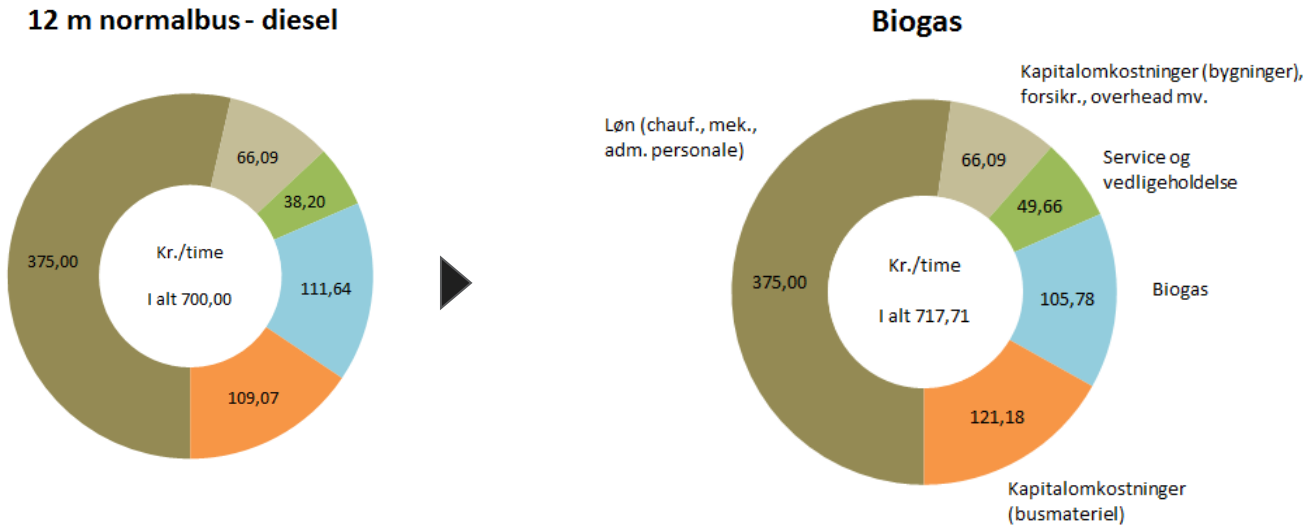
Driftsomkostningerne til en bus, der anvender biogas er beregningsmæssigt ca. 17,70 kr. højere pr. time end for en traditionel dieselbus. Det svarer til ca. 2,5 %. Den forholdsvist begrænsede forskel skyldes helt overvejende, at prisen for gas i øjeblikket er meget konkurrencedygtig i forhold til prisen på diesel, se Figur 5.

Erfaringer og forskellige kilder indikerer, at en gasbus typisk kører omkring 10-15 % kortere på en m³ gas end dieselbussen på en liter diesel³². Vi har i beregningerne antaget et merforbrug svarende til 15 %, men pga. prisforskellen vil de samlede udgifter til brændstof være lidt lavere end for diesel.

Samtidig må forventes, at udgifterne til service- og vedligeholdelse vil være højere for gasbussen. Flere kilder peger på at merudgifterne kan være op til ca. 30 %, mens andre mener, at dette billede typisk er baseret på, at en nyere generation af

³² Clean Diesel versus CNG Buses: Cost, Air Quality, & Climate Impacts, Dana Lowell, februar 2012

gasbusser sammenholdes med en ældre og mindre kompliceret type af dieselbusser, og at de indbyrdes forskelle, hvad angår udgifter til service og vedligehold ikke længere er så store eller måske slet ikke er der³³.



Figur 5

Gennemsnitlig pris for en bustime i København, hvor der anvendes biogas (VE) til driften. Der kan forventes en reduktion i udledning af CO₂ i forhold til en standard dieselbus EURO VI på mere end 100 % afhængigt af, hvilke råvarer, der anvendes til produktionen.

I Sverige er typiske erfaringer, at udgifterne til service- og vedligeholdelse til en gasbus er ca. 7 øre/km højere end for en dieselbus³⁴. Det svarer til ca. 4 %. Keolis, der er en af de store operatører på det svenske marked estimerer, primært baseret på kørsel for SL i Stockholm, at merudgifterne svarer til ca. 50 øre/km. Det svarer til ca. 27 %. Vi har forsigtigt antaget, at udgifterne kan forventes at være ca. 30 % højere, hvilket svarer til ca. 11,50 kr./time³⁵.

Endelig vil den højere indkøbspris på busserne betyde øgede omkostninger til forrentning og afskrivning. I beregningerne er forudsat en merpris på 200.000 kr., hvilket svarer til ca. 12,10 kr./time. Der er således ikke forudsat, at gasbusserne vil have en højere scrapværdi end dieselbussen, selvom det formentlig vil være tilfældet.

En samlet prisændring på i størrelsesordenen + 2-3 % ligger inden for den usikkerhed, der knytter sig til genudbud af buskørsel, hvor lokale forhold hos forskellige tilbudsgivere og markedskonjunkturerne generelt kan betyde større ændringer i begge retninger.

I projektet i Holstebro er udbuddet af gasleverancen og udbuddet af busser gennemført. Både kommunen og Midttrafik bekræfter over for COWI, at merprisen

³³ Hybrid-Diesel vs. CNG, (An updated comparison of transit fleet alternatives): Steve Richardson, President Public Solutions Group, Ltd., januar 2013

³⁴ Biogas buses – a cost estimate, Mattias Goldmann, 2012

³⁵ MAN oplyser, at service- og vedligeholdelsesudgifterne til deres CNG-busser vil være ca. 9 % højere end til dieselbusser. Det er her forudsat, at busserne kører 60.000 km årligt i 10 år, Robert Staimer, SRNB, maj 2013

ligger under 5 %, men at forskellige forudsætninger i det foreliggende udbud gør det vanskeligt at opgøre helt præcist (bl.a. øget kørselsomfang, overtagelse af tidligere materiel til højere priser end markedsprisen og ingen genovertagelse af gas-busserne ved kontraktudløb).

6.3 El

Eldrifft anses for at være en fremherskende teknologi i transportsektoren på langt sigt. Eldrevne busser er således et alternativ, som forventes at vinde stort indpas i den kollektive trafik i takt med at teknologierne modnes og omkostningerne falder. De åbenlyse fordele omhandler nul-emission fra bussen og mindre støjgener end fra traditionelle busser med forbrændingsmotorer. Herudover lover producenterne at eldrevne busser, at udgifterne til drift og vedligeholdelse er langt lavere end til dieselbusser.

Store 12 meter (eller 18 meter) eldrevne busser fungerer dog endnu ikke som kommercielle løsninger i stor skala i Vesteuropa på samme betingelser som eksempelvis dieselbusser³⁶. Eldrevne busser indgår foreløbig i mindre antal forskellige steder i den kollektive trafik, hvor der i forbindelse med særlige forsøg er ydet eller ydes tilskud for at dække meromkostningerne til anskaffelse af de dyrere køretøjer.

De største udfordringer handler om sikre tilstrækkelig rækkevidde for bussen, dvs. tilstrækkelig kapacitet i de anvendte batterier, der skal lagre strømmen, mens bussen er i rutedrift. De nuværende batterier er fortsat fysisk store og både kapacitet, størrelse og pris er nogenlunde ligefrem proportionale. Disse forhold understøtter ikke mulighederne for at indrette og udstyre busserne i overensstemmelse med kundernes ønsker om eksempelvis klimaanlæg, komfort og gode pladsforhold. De eldrevne busser har typisk lavere samlet passagerkapacitet og den stadigt stigende mængde udstyr i form af computere, informationssystemer og billetteringsudstyr, som kræves i busserne i dag, gør ikke situationen bedre.

Opladningen af busserne fungerer heller ikke helt problemfrit endnu. Strømmen hentes i det eksisterende eldistributionsnet, men ladestationer og -aggregater er specielle og omkostningskrævende afhængigt af, hvor hurtigt batterierne skal kunne oplades. Der findes desuden forskellige standarder, som gør de forskellige teknologier mindre fleksible for.

Fordele

Anvendelse af eldrevne busser indebærer primært følgende fordele:

- › 0-emission fra bussen – ingen udstødning overhovedet
- › Eksisterende net kan anvendes til distribution af strøm – stor tilgængelighed
- › Opladning kan være forholdsvist let at håndtere
- › Lave omkostninger til ”brændstof”
- › Lavere udvendigt støjniveau fra bussen
- › Elmotorer er isoleret betragtet gennemprøvet teknologi

³⁶ Urban buses: Alternative powertrains for Europe, a fact-based analysis of the role of diesel hybrid, hydrogen fuel cell, trolley and battery electric powertrains, Mckinsey 2012

Ulemper

Ulemperne ved eldrevne busser handler dels om en række forhold, som må formodes at være kendetegnende for teknologien, dels om forhold, som endnu er usikre, og som kan vise sig ikke at give anledning til problemer. Ulemperne omhandler:

- › Ikke fuldt udviklet teknologi – rækkevidden er for lille
- › Mindre passagerkapacitet – typisk 10-20 % lavere for at holde vægten nede
- › Væsentlig højere anskaffelsespris
- › Kommerciel produktion af fuldt eldrevne busser er fortsat meget beskedent. Der går 10-20 år før produktionen er høj
- › Usikkerhed omkring udgifter til service og vedligehold på langt sigt – især er holdbarheden af batterier og andre elektriske komponenter udokumenteret
- › Gensalgsværdien efter endt kontrakt er usikker – markedet er ret begrænset
- › Der kræves særlige opladningsstandere og særlige aggregater til opladning ved garageanlæg og evt. ved udvalgte stoppesteder på de respektive ruter
- › Opladning på ruterne begrænser mulighederne for ruteomlægninger, både midlertidige og permanente
- › Manglende faste standarder på batterier og opladning gør teknologien mindre fleksibel
- › I takt med udbredelse skal findes løsninger på bl.a. bortskaffelse af udtjente batterier.

Bussernes miljøvenlighed afhænger af, hvor og hvordan strømmen til opladning produceres. Beregninger viser, at selv ved strøm fra traditionelle kraftværker reduceres CO₂ udledningen med ca. 50 % sammenlignet med nye dieselbusser. Det er i den sammenhæng vigtigt at bemærke, at VE-strøm til busserne fra vedvarende energikilder er et krav for at København skal kunne indfri sine målsætninger om CO₂-neutralitet.

To opladningsmetoder

Eldrevne busser kører udelukkende på el, hentet fra det almindelige el-distributionsnet, og lagret i få eller flere batterier installeret i bussen. Produktion af strøm til opladning af batterier udgør således ikke et problem, og der er ingen risiko for svigtende forsyninger.

Størrelsen og antallet af batterier installeret i bussen afhænger af opladningsmetoden. Der findes grundlæggende to metoder – natopladning og opportunity-charging. De uddybes i det følgende.

6.3.1 Natopladning

Natopladning foregår, når bussen er taget ud af drift, dvs. typisk på operatørens garageanlæg. Opladningen sker mere eller mindre sideløbende med at bussen serviceres og rengøres. For at sikre en rimelig rækkevidde (180 - 250 km), har busser, der natoplades, en høj batterikapacitet (>200 kWh), sammenlignet med opportunity-charged busser (typisk 40-60 kWh). En fuldopladning varer typisk 4-6 timer med en slow-charge ladestation og 2-3 timer med en fast-charge ladestation.

Nødvendige investeringer

Pt. er prisen for en eldrevne bus (natopladet), med samme indvendige standard som en traditionel dieselbus, ca. 2-2,5 gange højere end for dieselbussen³⁷. Busser med lavere standard er set til lavere priser, bl.a. de to kinesiske forsøgsbusser, der er indsat (lejet) i København nu, men det er generelt vanskeligt at vurdere realistiske priser på et marked, der langt fra fungerer på markedslignende vilkår endnu. Priserne vil dog falde i takt med at efterspørgslen øges. I beregningerne er lidt forsigtigt forudsat en merpris på en faktor 2,5.

Herudover skal der etableres ladestationer ved garageanlæggene. Forskellige forsøg rundt om i verden indikerer, at prisen for en slow-charge ladestation (50 kW) er under 100.000 kr., mens en fast-charge (>200 kW) koster i størrelsesordenen 1-2 mio. kr. Her er regnet med 1,5 mio. kr. i gennemsnit.

Med et kørselsmønster, hvor en del busser er i drift i mere end 10 timer i døgnet, kan blive nødvendigt at operere med ekstra busser og med et antal fast-charge ladestationer for at sikre opretholdelse af driften. Det er i beregningerne skønsmæssigt forudsat, at der etableres slow-charge ladestationer for alle busser samt fast-charge ladestation for hvert garageanlæg (det kunne svare til 40 busser). Herudover ind sættes en ekstra bus pr. 20 driftsbusser for at sikre driften.

Nogle af producenterne angiver, at de anvendte batterier må forventes at kunne holde 8-12 år ved normal drift. Andre angiver, at batterierne kun kan holde i 4-5 år. COWI bekendt er der ingen solide langtidserfaringer hvad det angår, men det betyder, at batterierne må udskiftes inden for den samlede levetid for nogle af busserne. Med en kontraktlængde på 6 år som udgangspunkt, antages beregningsmæssigt, at det ikke bliver nødvendigt.

Det er antaget, at busserne beregningsteknisk ikke vil repræsentere en værdi for operatørerne efter et endt kontraktforløb. Usikkerheden om batteriernes samlede levetid og evt. betydelige ekstraomkostninger til udskiftning, kombineret med de generelle muligheder for at afsætte eldrevne busser på et marked, der må forventes at være meget yderst begrænset, betyder, at restværdien må sættes til nul. I forhold til Movias kontrakter, hvor der i øjeblikket kun er garanteret seks års varighed gør det naturligvis afskrivningen forholdsvis høj.

I afsnit 7 drøftes perspektiverne ved at forlænge kontrakterne og de tilhørende, beregningsmæssige effekter for driftsøkonomien.

Lokalisering af anlæg

Opladning sker alene på garageanlæggene. I praksis vil et forsyningsselskab skulle etablere de særlige opladningsanlæg (til slow- og fast-charge) gennem en aftale med busoperatøren. De forventede omkostninger til etablering og drift af disse anlæg er indeholdt i de førnævnte priser (skønsmæssigt).

Rammebetingelser

Den nuværende, overordnede rollefordeling bør i vid udstrækning kunne opretholdes. Operatøren indgår selv aftale med et energiselskab om etablering,

³⁷ Et eksempel er Solaris-busser, der koster ca. dobbelt så meget som traditionelle dieselbusser, <http://polennu.dk/foerste-el-busser-fra-polsk-busproducent-paa-vej>. Et andet eksempel er BYDs busser i USA, der koster mere end dobbelt så meget som en sammenlignelig dieselbus, http://usa.chinadaily.com.cn/epaper/2013-09/18/content_16978814.htm

drift, vedligeholdelse samt nedtagning af opladningsanlæg på garageanlægget samt levering af strøm i kontraktperioden.

Aftalen mellem energiselskabet og operatøren indgås i direkte forlængelse af hans kontrakt med Movia, og tager afsæt i bestemmelserne heri vedrørende kørselsomfang, kontraktperiode og betingelser for kontraktforlængelser. Spørgsmål om evt. håndtering af bonus ved brændstofbesparelser kan formentlig ikke indgå³⁸.

Movia forpligter sig dermed indirekte – ganske som hvis det havde været diesel – til at aftage en vis mængde strøm, som operatøren skal anvende til driften af busserne i en given kontraktperiode. Efter endt kontrakt er trafikkselskabet ikke forpligtet til at overtage busser eller opladningsanlæg mv.

Der kan evt. udarbejdes en standardiseret forhåndsftale mellem operatør og energiselskab, så der er klarhed over, hvad strømmen kan koste for operatøren, og på hvilke betingelser den leveres. Det bør også være muligt for operatørerne selv at forhandle en alternativ aftale på plads med et energiselskab. Gøres det til et krav, at forhåndsftalen skal anvendes, må forventes, at den skal udbydes.

Udbudsforhold

Udbuddet kan gennemføres, så der stilles konkrete krav om brug af eldrevne busser. Det kan også gennemføres ved formulering af funktionskrav, hvor der eksempelvis stilles krav til 0-emission. Det stiller principielt operatøren mere frit for at byde ind med forskellige teknologiske løsninger, men vil i praksis føre til samme resultat.

For Movia og trafikbestillere bør der være særlig opmærksomhed om forsynings-sikkerhed/driftssikkerhed. Kan driften i praksis opretholdes med det tilbudte antal busser, med den anvendte teknologi, opladningskapaciteten, og ikke mindst den tilbudte reservekapacitet.

Forventninger til teknologisk udvikling

Det må forventes, at fortsat videreudvikling af batterier vil give busserne større rækkevidde og fleksibilitet. Batterierne vil samtidig blive mindre og billigere i takt med at der etableres et reelt marked.

Det er COWIs indtryk, at der er stor usikkerhed om, hvor hurtigt priserne på batterier vil falde, al den stund kapaciteten stadig skal øges væsentligt, samtidig med at der fortsat udvikles helt nye batterityper frem for forfining af eksisterende typer. Det betyder, at et forventeligt prisfald for hele bussen også er vanskeligt at estimere.

Mckinsey skønnede i 2012, at de samlede, køretøjsrelaterede driftsomkostninger til busser med natopladning vil falde med ca. 25 % frem til 2020 og yderligere 10 % til 2030³⁹. Mckinseys beregninger af driftsomkostningerne ligger dog væsentlig

³⁸ I det nuværende forsøg med de to kinesiske eldrevne busser er det hensigten, at mulighederne for at oplade busserne uden for de tidsrum, hvor el-distributionsnettet i forvejen er mest belastet, og skal testes og vurderes. Det vil i givet fald kunne reducere udgifterne. Fokus er dog nok i første omgang på at sikre den nødvendige batterikapacitet for at gennemføre den planlagte kørsel

³⁹ Jvf. fodnote 37

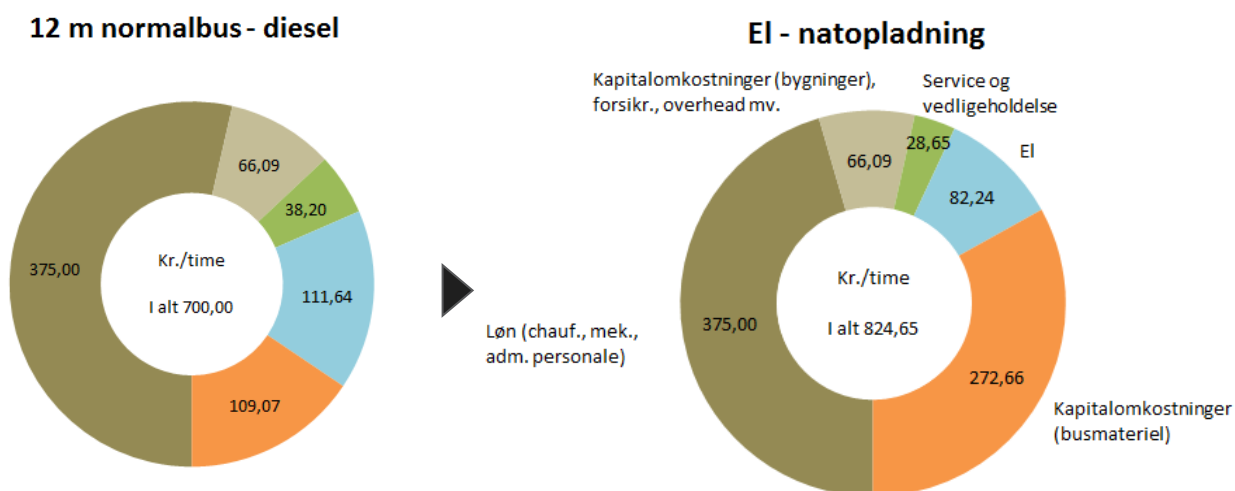
højere pr. km end vores, og det er derfor usikkert at overføre en tilsvarende prisudvikling direkte.

Betragtet generelt i forhold til operatører på et dansk marked er det vores forventning, at de generelle usikkerheder ved eldrevne busser vil påvirke tilbudsgivere og resultere i høje tilbudspriser i det mindste indtil der er opnået solide, positive langtidseffekter i forhold til batterilevetid og performance.

Driftsomkostninger

Driftsomkostningerne til en eldrevet bus er beregningsmæssigt ca. 124,70 kr. højere pr. time end for en traditionel dieselbus. Det svarer til ca. 18 %. Den forholdsvist store forskel skyldes dels, at anskaffelsesprisen for busser er høj, dels at det også er nødvendigt at investere i opladningsanlæg på garageanlæg til natoplading, se Figur 6.

Udgifterne til service og vedligehold af eldrevne busser skønnes til gengæld at være lavere end til almindelige dieselbusser. Det beror på, at den samlede tekniske kompleksitet i en fuldt eldrevet bus er mindre og at antallet af komponenter, der kræver vedligeholdelse er lavere (f.eks. ingen dieselmotor og drivlinje, som kræver service). BYD, som selv er en af de største producenter af eldrevne busser, forventer, at driftsudgifterne kan være 25 % lavere end for dieselbusser⁴⁰, og det er lagt til grund for de gennemførte beregninger her i rapporten. Det betyder, at de samlede udgifter til service og vedligeholdelse er ca. 9,55 kr. lavere end til en dieselbus.



Figur 6

Gennemsnitlig pris for en bustime i København, hvor der anvendes el (bus med natoplading) til driften. Brug af VE-strøm vil neutralisere udledningen af CO₂.

Udgifterne til el er beregnet på baggrund af aktuelle priser for el på ca. 1,45 kr. pr. kWh, inkl. elafgifter svarende til 0,833 kr. pr. kWh⁴¹. Hertil er lagt udgifter til

⁴⁰ <http://revolution-green.com/electric-bus-a-new-era-in-public-transportation/>

⁴¹ Af Afgiftsvejledning 2014, samlet overblik over afregning og godtgørelse af afgifter, PwC, marts 2014, fremgår, at en virksomhed kan undgå at betale elafgift på 0,833 kr./kWh, hvis den anvendte el kan betragtes som procesenergi. Københavns Kommune har været i dialog med DONG om emnet og er nået frem til, at dette ikke gør sig gældende, når det omhandler kollektiv trafik med bus.

etablering af opladningsanlæg, som beskrevet ovenfor. Udgifterne svarer gennemsnitligt til ca. 0,20 kr. pr. kWh ved en kontraktperiode på 6 år.

Det er vanskeligt at finde uvildige kilder, der beskriver erfaringer med eksakt elforbrug under kørselsforhold, der vil minde om forholdene i København. Forbruget vil generelt afhænge af passagerbelastningen, mængden af energiforbrugende udstyr i bussen, kørselsmønstret og evt. topografiske udfordringer.

Ifølge BYD vil deres busser med en samlet batterikapacitet på ca. 320 kWh kunne køre ca. 250 km, svarende til et forbrug på gennemsnitligt 1,28 kWh pr. km. Målinger af forbruget i en Mercedes Citaro (12 m) på forskellige teststrækninger og med forskellig last har vist, at forbruget på flad strækning med middellast (3.000 kg.), svarer til ca. 2,00 kWh/km. Det tilsvarende forbrug ved fuld last på ca. 6.000 kg svarer til ca. 2,75 kWh/km⁴².

Vi har i beregningerne forsigtigt antaget, at det gennemsnitlige forbrug i en normal driftssituation svarer til ca. 2 kWh/km. Det resulterer i samlede udgifter til el på ca. 82,24 kr. pr. time, dvs. ca. 29 kr. lavere end for dieselbussen.

Endelig vil den højere anskaffelsespris på busserne betyde øgede omkostninger til forrentning og afskrivning. I beregningerne er forudsat, at bussen er 2,5 gang dyrere end en traditionel dieselbus. Det resulterer i en gennemsnitlig merpris på ca. 163,60 kr./time i forhold til de tilsvarende udgifter for dieselbussen.

6.3.2 Opportunity-charging

Opportunity-charging er en metode, hvor bussens batterier oplades undervejs på ruten i forbindelse med stop ved udvalgte stoppesteder (hurtig opladning) og ved endestationer.

Sammenholdt med natopladede busser er de umiddelbare fordele ved opportunity-charged busser øget rækkevidde samt mindre batterikapacitet (dvs. lavere vægt). Det antages endvidere, at batterierne i opportunity-charged busser har længere levetid end i busser med natopladning. Producenterne lover således, at batteriskift ikke er nødvendige i bussens levetid, hvilket dog endnu ikke er eftervist i større skala. Udover høje anskaffelsespriser er ulemperne, at linjeføringer og endestationer fastlåses i en forholdsvis lang periode. Det gør løbende tilpasning af busdriften vanskelig.

For at kunne op- og aflade batterierne hurtigt i en opportunity-charged bus, anvendes særlige batterityper, som ikke rummer samme energimængde pr. kg, som high-performance lithium-ion batterier, der anvendes i typiske busser med natopladning. Da den samlede batterikapacitet imidlertid er langt mindre i en opportunity-charged bus, kan dens vægt alligevel holdes længere nede, end en tilsvarende bus med natopladning. Opportunity-charged busser kan også have den fordel frem for natopladede busser, at de kan udnytte energien ved opbremsninger på samme måde som hybridbusser.

⁴² Energy consumption of electrical driven regular buses dependent on route characteristics and operational requirements, Daniel Auer, 2012

Forskellige metoder til opladning ved stoppesteder testes og udvikles i øjeblikket af de respektive producenter. Der ses bl.a. løsninger med opladning via pantograf og gennem induktionsfelter i kørebanen. Fordele og ulemper ved forskellige tekniske løsninger diskuteres ikke i denne rapport, men umiddelbart er der ingen tydelige indikationer i beskrivelserne fra leverandørerne på, at den ene type er væsentlig mere fordelagtig end andre.

Mens eldrevne busser med natopladning ses i regulær drift især i Asien, er opportunity-charged busser en teknologi, der først nu er ved at blive taget i brug i regulær drift. Braunschweig i Tyskland er således en af de første byer, hvor der i 2013 blev indsat opportunity-charged busser på en ringlinje (12 m-busser fra Solaris Bus & Coach i Primove E-løsning).

Nødvendige investeringer

Det er generelt vanskeligt at vurdere realistiske anskaffelsespriser på et marked, der langt fra fungerer på markedslignende vilkår endnu. Busserne er i princippet de samme som anvendes til natopladning, de primære forskelle ses i forhold til batterikapacitet (antal, vægt og evt. type) og på de anordninger, der skal sikre hurtig opladning på ruten.

Mindre og færre batterier vil alt andet lige reducere anskaffelsesprisen for bussen, mens nødvendige og særlige anordninger til opladning vil trække prisen den anden vej. Som udgangspunkt for beregningerne er her forsigtigt antaget, at merprisen for en opportunity-charged bus sammenholdt med en traditionel dieselbus, svarer til en faktor 2, dvs. lavere end for bussen med natopladning.

Som for busser med natopladning er antaget, at opportunity-charged busser beregningsteknisk ikke vil repræsentere en værdi for operatørerne efter et endt kontraktforløb. Også hér er der betydelig usikkerhed om batteriernes samlede levetid og begrænsede muligheder for afsætning af busserne.

Herudover skal der etableres løsninger til opladning dels på ruten, dels ved garagen. Opladningen vil på alle lokaliteter skulle ske hurtigt, dvs. i en form for fast-charge (>300 kW), som skønsomt er antaget at koste 1,5 mio. kr. pr. stk.⁴³ Herudover er forudsat, at der indsættes en ekstra bus pr. 20 driftsbusser for at sikre driften.

Lokalisering af anlæg

Typisk skal opladning i øjeblikket ske for hver 5-8 km's kørsel. For en gennemsnitlig linje på ca. 20 km (hver retning) som i København, svarer det til, at der for linjen isoleret betragtet skal etableres i alt seks opladningsmuligheder.

Men herudover bør der etableres et antal ekstra muligheder for opladning i hver retning, så der er sikkerhed for at driften kan opretholdes, hvis opladningen ikke kan foregå som ventet.

Umiddelbart vurderet, vil opportunity-charged busser være mest velegnede til linjer med forholdsvis korte ruteforløb, og hvor behovet for opladning undervejs på ru-

⁴³ Så længe de testede anlæg er prototyper, er det vanskeligt at estimere et retvisende tal for omkostningerne. Tilgængelige oplysninger indikerer, at omkostninger for fast-charge anlæg koster i størrelsesordenen 1-2 mio. kr.

ten kan begrænses. Det betyder nemlig lavere investeringer i løsninger til opladning.

På helt korte linjer vil opladningen kunne ske alene ved endestationerne, og det vil alt andet lige være en fordel for passagererne, der på den måde helt undgår risiko for at skulle vente unødigt under opladningen ved stoppesteder på ruten.

Det vil også være en fordel, hvis afgangsfrekvensen på linjen ikke er så høj, at busser af og til indhenter hinanden og holder ved de samme stoppesteder, hvor der sker opladning. Det vil enten stille krav om flere opladningsanlæg eller give generende lang ventetid for passagererne.

Løsningen virker således ikke velegnet til de tungeste linjer i A-nettet, hvor tre eller fire busser ofte følges ad over længere delstrækninger i dag.

Som situationen er nu, betjenes en lang række stoppesteder betjenes desuden af busser på flere linjer. For at undgå flaskehalse, hvor en eller flere busser venter på at blive opladet, skal der etableres opladningsanlæg ved en større andel af stoppestederne, så der er sikkerhed for, at busserne ikke skal vente på at blive opladet.

En fleksibel og realistisk løsning, hvor mange linjer betjenes med opportunity-charged busser, skønnes at kræve 10-20 opladningssteder undervejs for hver linje inkl. opladning ved garagen. Beregningsmæssigt forudsættes 15 anlæg som værende et fornuftigt gennemsnit⁴⁴. I praksis vil det sikkert blive nødvendigt at flytte nogle af anlæggene i løbet af kontraktperioden, når linjen omlægges af passagermæssige årsager. Udgifterne hertil er ikke indregnet.

Rammebetingelser og udbudsforhold

Løsningen vil kræve, at der etableres opladningsstandere som mere eller mindre integrerede dele af læskærme eller induktionsanlæg i kørebanen på strategiske strækninger.

I det igangværende forsøg om at teste opportunity-charged busser på linje 3A, samarbejder Københavns Kommune med Movia og Trafikstyrelsen om etablering af nødvendige opladningsanlæg og indkøb af egnede busser for en testperiode på to år. Endnu flere parter kommer i spil, når forsøgsperioden er slut, og mange af linjerne betjener flere kommuner.

I en situation, hvor der ikke længere er tale om forsøg, vil operatørerne skulle anskaffe de egnede busser, men spørgsmålet er, hvor aftalen om elforsyning bedst placeres – hos kommunerne, Movia eller operatørerne.

Det synes ikke hensigtsmæssigt at flere involverede kommuner på den samme buslinje skal udbyde en forsyningsopgave, hvor løsningen skal opfylde særlige tekni-

⁴⁴ I Braunschweig er der på en samlet ringlinjestrækning på 12 km etableret opladning ved endestationen (her varer opladning op til 11 min.), et sted ca. midt på ruten (her varer opladning ca. 30 sek.) samt en ekstra lokalitet på ruten (hvor opladning også varer ca. 30 sek.). Herudover oplades busserne ved garagen, hvor opladningen varer 15 min. Kilde: http://www.kpvv.nl/KpVV/KpVV-Overige-Content/KpVV-Overige-Content-Media/Bijlagen-Bijeenkomsten/UITP-2013-Pre0122-Desjardins_Jeremiepdf.pdf

ske forskrifter, som måske endda ikke er standardiserede. Det vil blive vanskeligt at opnå samme løsning i alle udbud, og administrativt tungt at koordinere på tværs af kommuner, Movia og operatører.

Det virker heller ikke hensigtsmæssigt, at Movia udbyder og indgår aftalen med et forsyningsselskab om etablering, drift og nedtagning af nødvendige opladningsanlæg.

Selve udbuddet vil kunne gennemføres forholdsvis enkelt, hvis Movia udformer den tekniske kravspecifikation om elforsyningen og på den baggrund aftalen om elforsyning med en leverandør. Det problematiske vil dog være, at der er tale om udstyr, der både skal drives og holdes funktionsdygtigt i busserne, hvor operatørerne har ansvaret, og ved stoppestederne, hvor Movia gennem aftalen med forsyningsselskabet er hovedansvarlig. Det kan give kritiske udfordringer i situationer, hvor opladning af busserne ikke fungerer – hvem bærer ansvaret?⁴⁵

Ansvarsfordelingen er klart mest entydig, hvis operatøren indgår aftale om elforsyning direkte med et forsyningsselskab. Det vil svare til situationen i dag, hvor operatørerne selv sørger for den nødvendige forsyning af diesel til deres tankanlæg.

Et svagt punkt i en sådan løsning er, at det kan være vanskeligt at beskrive kravene om opladningskapacitet tilstrækkeligt præcist og dækkende, så busdriften kan opretholdes under alle forhold, og så der ikke opstår store ventetider for kunderne grundet nødvendig opladning. Der er stor forskel på at dimensionere en struktur, der dækker en enkelt linjes opladningsbehov, og en struktur med mange højfrekvente linjer, der betjener et stort antal af de samme stoppesteder. Det vil også blive vanskeligt efterfølgende at måle, om opladningen medfører ulemper for de rejsende.

Vi anbefaler derfor, at spørgsmålet om overordnet organisering og udbud afdækkes yderligere for at sikre klare ansvarsforhold, høj driftssikkerhed og effektiv busdrift. Det igangværende forsøg, der forventes afsluttet i 2018, kan bidrage hertil, men vil ikke afklare ansvarsforholdene entydigt, når der er flere kommuner involveret. Udbredelse af opportunity-charged busser på mange linjer i København vil med stor sandsynlighed ikke kunne begynde inden 2020.

Forventninger til teknologisk udvikling

Det må forventes, at fortsat videreudvikling af batterier vil give busserne større rækkevidde og fleksibilitet. Batterierne vil samtidig blive mindre og billigere i takt med at der etableres et reelt marked.

Det er COWIs indtryk, at der er stor usikkerhed om, hvor hurtigt priserne på batterier vil falde, al den stund kapaciteten stadig skal øges væsentligt, samtidig med at der fortsat udvikles helt nye batterityper frem for forfining af eksisterende typer. Det betyder, at et forventeligt prisfald for hele bussen også er vanskeligt at estimere.

⁴⁵ I Movia har det eksempelvis taget flere år at nå til en situation, hvor ansvaret for den løbende tilvejebringelse af realtidsdata til Count Down-systemet er klart defineret, og hvor leverancerne er tilfredsstillende

Mckinsey skønnede i 2012, at de samlede, køretøjsrelaterede driftsomkostninger til opportunity-charged busser vil falde med ca. 10-15 % frem mod 2030⁴⁶. Mckinseys beregninger af driftsomkostningerne er dog ca. 30 % højere pr. km end vores, og det kan derfor være usikkert at overføre en tilsvarende prisudvikling direkte.

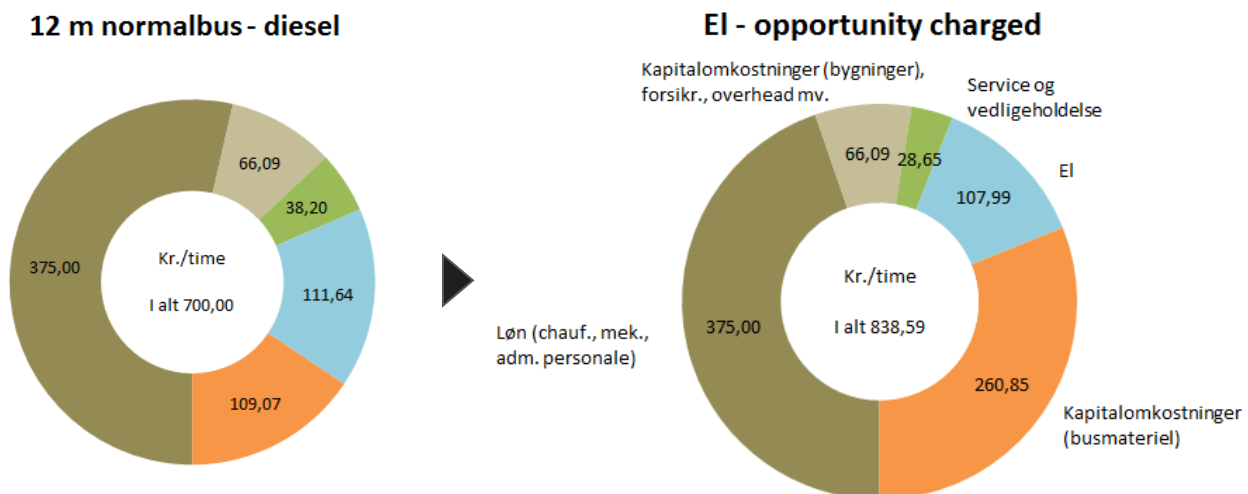
Driftsomkostninger

Driftsomkostningerne til en opportunity-charged bus er beregningsmæssigt ca. 138 kr. højere pr. time end for en traditionel dieselbus. Det svarer til ca. 20 %. Forskellen skyldes dels, at anskaffelsesprisen for busser er høj, dels at det også er nødvendigt at investere i forholdsvist mange opladningsanlæg, se Figur 7.

Det er forudsat, at udgifterne til service og vedligehold af opportunity-charged busser svarer til de beregnede udgifter for eldrevne busser med natopladning. Dvs. 25 % lavere som et gennemsnit end for dieselbusser, se i øvrigt afsnit 6.3.1. Det betyder, at de samlede udgifter til service og vedligeholdelse er ca. 9,55 kr. lavere end til en dieselbus.

Udgifterne til el er beregnet på baggrund af aktuelle priser for el på ca. 1,45 kr. pr. kWh, inkl. elafgifter svarende til 0,833 kr. pr. kWh. Hertil er lagt udgifter til etablering af opladningsanlæg, som beskrevet ovenfor. Udgifterne svarer gennemsnitligt til ca. 0,84 kr. pr. kWh ved en kontraktperiode på 6 år.

Det er forudsat, at elforbruget vil svare til en eldrevet bus med natopladning. Dvs. et gennemsnitligt forbrug i en normal driftssituation svarende til ca. 2 kWh/km, se i øvrigt afsnit 6.3.1. Det resulterer i samlede udgifter til el på ca. 107,99 kr. pr. time, dvs. kun ca. 3,65 kr. lavere end for dieselbussen.



Figur 7

Gennemsnitlig pris for en bustime i København, hvor der anvendes el (en opportunity-charged bus) til driften. Brug af VE-strøm vil neutralisere udledningen af CO₂.

Endelig vil den højere anskaffelsespris på busserne betyde øgede omkostninger til forrentning og afskrivning. I beregningerne er forudsat, at bussen er 2 gange dyrere end en traditionel dieselbus, og at der desuden indsættes en ekstra bus pr. 20 drifts-

⁴⁶ Jvf. fodnote 37

busser (altså 5 % flere busser) for at sikre driften. Det resulterer i en gennemsnitlig merpris på ca. 152 kr./time i forhold til de tilsvarende udgifter for dieselbussen.

6.4 Hybridbusser

Hybrid

En hybridbus har to motorer – typisk en elmotor kombineret med en dieselmotor (og i sjældnere tilfælde ses en kombination med gasmotor eller ethanol)⁴⁷. Bussen drives enten af én af motorerne eller af begge motorer samtidigt (seriel eller parallel hybrid). Fælles for begge typer er, at den elektriske motor drives af energi, skabt ved udnyttelse af bremseenergien, samt ved opladning af batterierne når forbrændingsmotoren er i brug.

I serielle hybridbusser er forbrændingsmotoren ikke tvunget til at være placeret tæt på bagakslen, da motoren arbejder gennem en generator og ikke direkte mekanisk driver hjulene. Det giver flere frihedsgrader for indretning af busserne end hybridbusser med parallelteknologi kan tilbyde.

Ofte anvendes elmotoren til at sætte bussen i gang fra stop, hvorefter den anden motor tager over ved en bestemt hastighed (15-20 km/t). Busserne er især egnede til bybuskørsel, hvor farten er forholdsvis lav, og hvor der sker mange opbremsninger. De helt overvejende fordele ved hybridbussen er, at det samlede energiforbrug herved reduceres, og at elmotoren begrænser udledningen af skadelige stoffer i de tætteste byområder.

Ifølge flere kilder sparer en hybridbus således op til ca. 30 % af energiforbruget i tung bytrafik, og luftforureningen fra bussen reduceres i samme omfang eller mere, fordi dieselmotoren udnyttes på en mindre belastende måde end sædvanligt.

Omvendt er hybridbusser dyrere end traditionelle dieselbusser, og de løbende driftsudgifter kan være vanskelige at estimere. Særligt kan batteriernes begrænsede holdbarhed betyde, at de bliver nødvendige at udskifte i løbet af en typisk kontraktperiode - det kan blive bekosteligt for operatøren.

Hybridbusser har samlet set et vist potentiale som alternativ til de nuværende dieselbusser, hvis de anvendes korrekt. Københavns Kommunes målsætning om nuludledning af CO₂ i 2025 betyder dog, at busserne kun vil kunne anvendes som supplement, hvis der også anvendes biogasbusser, der sikrer et positivt CO₂-regnskab, se afsnit 4.

I amerikanske storbyer har hybridbusser været anvendt i større stil i den almindelige drift som erstatning for dieselbusser i op mod 10 år. Anvendelsen af hybridbusser i europæiske storbyer er hidtil i større eller mindre grad sket som led i forsøgsordninger bl.a. med det formål at afdække de langsigtede perspektiver – dvs. test af holdbarheden, behovet for batteriskift og forventede driftsudgifter generelt.

⁴⁷ COWI har ikke fundet kilder, der dokumenterer, at der er væsentlige fordele ved at anvende ethanol- eller gaselektriske hybridbusser frem for dieselektriske busser. Fremstillingen i denne rapport fokuserer derfor udelukkende på dieselektriske hybridbusser

Teknologien må betragtes som værende kommercielt udviklet, selv om der fortsat sker udvikling af busserne, bl.a. hvad angår de anvendte batterier. De første versioner af hybridbusserne var eksisterende busmodeller, der blev ombygget til hybrid-drift, men særligt efter 2009/2010 er hybridbusser hos nogle af busproducenter nærmest blevet en hyldevare.

Fordele

Begge typer af hybridbusser har en række fordele sammenlignet med dieselbusserne. Ved at kombinere en elmotor med en forbrændingsmotor, opnås bl.a.:

- › Mindre støj - elmotoren bruges til acceleration fra stoppesteder og kryds, hvor støjen ellers er størst
- › Bedre acceleration – hvis begge motorer bruges samtidigt opnås bedre acceleration. Alternativt kan samme acceleration opnås med mindre motor
- › Lavere forurening – bussen forurener mindre, når elmotoren er i gang. Det betyder mindre udledning af sundhedsskadelige stoffer
- › Lavere brændstofforbrug - hybridbussen kan ifølge producenterne spare op til 30 % brændstof i bytrafik. Klimabelastningen reduceres tilsvarende
- › Elmotoren virker som generator ved opbremsning, og opsamler derfor bremseenergien i batteriet til senere anvendelse
- › Bussens dieselmotor kan bedre køre ved et omdrejningstal og en belastning, hvor den er mest energieffektiv.

Ulemper

De primære ulemper ved hybridbusserne er:

- › Anskaffelsespriserne er høje
- › Store udgifter til udskiftning af batterier
- › Udgifter til service- og vedligehold kan være vanskelige at estimere (teknikken er mere kompliceret, elektromotorerne bryder sammen)
- › Service og vedligehold kræver mere viden og andre værkstedsfaciliteter
- › De miljømæssige fordele kan være vanskelige at opnå i praksis.

Nødvendige investeringer

Hybridbusserne er fortsat væsentligt dyrere end traditionelle dieselbusser. Ifølge flere kilder er indkøbsprisen fra 30-60 % højere. Flest kilder indikerer en meromkostning på i størrelsesordenen 50 %, hvilket anvendes som forudsætning for beregningerne i denne rapport.

Serielle hybridbusser er typisk dyrest i indkøb, fordi de anvender en anden og dyrere batteriteknologi (en superkondensator), men omvendt forventes, at de løbende driftsomkostninger vil være lavere, fordi superkondensatoren ikke slides ned, som de typiske batterier i parallelhybrider gør.

Samlet set tilbyder parallelhybriderne flest fordele ifølge en række producenter. Det skyldes blandt andet, at teknikken i de serielle hybrider er mest følsom, hvis der opstår fejl i de elektriske komponenter, og er samtidig mest omkostningskrævende at reparere.

Øgede driftsudgifter

Flere kilder peger på, at driftsudgifterne må forventes at være ca. 15-25 % højere end for dieselbusser. Men udgifterne over en hel kontraktperiode kan være vanskelige at estimere.

New York har en af verdens største flåder af hybridbusser med flere end 1.500 busser. Erfaringerne med hybridbusserne var ret gode i de første år, men siden 2010 er der ikke anskaffet nye hybridbusser.

Årsagen er primært, at bussernes performance ikke lever op til forventningerne. Elektromotorer og andre elektriske komponenter brænder sammen og må udskiftes i en højere takt end planlagt og forventet. Den 5-årige garantiperiode fra busproducenterne er udløbet, og udgifterne som byen selv må afholde hertil er nu så høje, at busserne i stedet overvejes ombygget og monteret med større dieselmotorer.

Således planlægges knap 400 hybridbusser ombygget med større dieselmotorer i den kommende tid. Ombygning ventes at koste ca. 400.000 kr. pr. bus. Tilsvarende problemer er oplevet i andre amerikanske og canadiske byer. I Ottawa overvejes ombygning af knap 200 hybridbusser til rene dieselbusser⁴⁸.

Erfaringerne fra disse byer viser desuden, at batterierne i især parallelhybrider må udskiftes efter fire år. Batterierne koster typisk i størrelsesordenen 300.000 kr.

I Washington har der også været problemer med batterierne i 50 nyere hybridbusser, som har krævet udskiftning, grundet risiko for kortslutning og brand⁴⁹.

Den anvendte teknologi i de amerikanske hybridbusser er måske ikke helt identisk med den teknologi, der anvendes i de nyere, europæiske hybridbusser. Erfaringerne bidrager dog til at skabe en vis usikkerhed om forventningerne til de samlede udgifter til at vedligeholde hybridbusser i en lang kontraktperiode.

Volvo, som er en af de største producenter af hybridbusser, satser nu udelukkende på at producere hybridbusser, når det handler om etplans-busser, primært af hensyn til opfyldelse af den nye EURO VI-norm. En sådan udmelding kan vel kun forsvares, hvis Volvo selv har meget stærke forventninger til, at deres teknik ikke svigter på samme måde, som det netop er set i New York og andre storbyer.

Det antages indtil videre, at superkondensatorer i serielle hybrider kan holde i hele bussens levetid på 12 år, men det er endnu ikke eftervist ved almindelig drift.

I beregningerne i denne rapport forudsættes generelle udgifter til service og vedligeholdelse, der ligger 20 % højere end for dieselbusser, og samtidig er indregnet, at der i løbet af kontraktperioden skal udskiftes ét batteri til 300.000 kr. Batteriets pris vil formentlig falde i fremtiden.

Færre besparelser

De oplyste, teoretiske besparelser på op til 30 % af energiforbruget i tung bytrafik er tilsyneladende svære at opnå i praksis.

Movias forsøg fra 2011-2013 med begge typer af hybridbusser (seriel og parallel) blev i 2014 af rapporteret. Parallelhybridbusserne kan reducere CO₂-udledningen med ca. 12-17 %, mens serielhybriderne kun reducerer CO₂-udledningen med 0-5 %. Energibesparelserne og de lavere CO₂-udledninger er noget lavere end fabri-

⁴⁸ New York Post, 30. juni 2013

⁴⁹ EV World, Newswire, 29. marts 2012

kanternes forventninger, og også markant lavere end de reduktioner, som kan påvises ved test i prøvebænk.

Forsøgets resultater understøtter andre lignende forsøgsresultater⁵⁰, der peger på, at yderligere udvikling af hybridteknologien er nødvendig, før CO₂-reduktionen er overbevisende.

I denne rapport er forudsat, at der kan opnås besparelser på i størrelsesordenen 20 % i forhold til en typisk dieselbus.

Lokalisering af anlæg

Der er ingen særlige udfordringer hvad angår lokalisering af garageanlæg eller tankanlæg.

Umiddelbart vil det være mest oplagt at anvende dieselektriske hybridbusser. De vil være uproblematisk at indfase i den almindelige drift.

Rammebetingelser

Nogle kilder angiver, at parallelhybrider er mest velegnede til linjer, hvor der også køres frit over længere strækninger, mens serielle hybrider er mest velegnede til tætte byområder med mange stop og starter.

Enkelte kilder mener endda, at de serielle hybrider på visse linjetyper faktisk bruger mere brændstof end rene dieselbusser.

I bl.a. New York er konstateret, at den gennemsnitlige hastighed for hybridbusser gennemsnitligt skal være under 13 km/t for at der opnås energibesparelser, der svarer til forventningerne⁵¹. Delstrækninger med højere hastigheder kan reducere besparelserne væsentligt.

Noget tyder på, at det også understøttes af de danske forsøg med hybridbusser, som ikke opnår de forventede besparelser. Resultaterne betyder, at langt fra alle buslinjer i København må antages at være velegnede til hybridbusser.

De danske forsøg har ligeledes vist, at merprisen for hybridbusser er en udfordring, der kombineret med den øgede risiko for især udskiftning af batterier i kontraktperioden, gør teknologien usikker for operatørerne, også selvom leverandørerne påtager sig en del af risikoen. Behovet for ekstra reservemateriel vil kun gøre hybridbussen mindre konkurrencedygtig.

Udbud

Udbudsteknisk vil brug af hybridbusser kunne sikres ved helt enkelt at kræve anvendelse af den type busser til den pågældende kørsel. Der er ikke umiddelbart andre udbudstekniske forhold, der bør ændres af hensyn til drift med hybridbusser.

Forventninger til teknologisk udvikling

Der udvikles fortsat på hybridbusserne. Overgangen mellem elektromotor og forbrændingsmotor i parallelhybrider kan fortsat forbedres rent komfortmæssigt, og batterikapacitet og –vægt er fortsat en udfordring. Der er stort fokus på udvikling af

⁵⁰ Et lignende forsøg over nogle måneder med indsættelse af to diesel-elektriske hybridbusser i Aarhus Sporveje har vist en reduktion i energiforbruget på kun 17,5 %

⁵¹ Green & Clean Journal, 18. juli 2013

batterier for tiden, men alligevel mener nogle af busproducenterne, at udviklingen reelt kun skrider langsomt frem.

Tilsyneladende er følsomheden i de anvendte komponenter også en udfordring, og mange nedbrud kan betyde høje omkostninger for operatørerne. Forskellen i anskaffelsespris sammenlignet med en typisk dieselbus er ikke faldet markant over de seneste år.

Driftsomkostninger

Driftsomkostningerne til en hybridbus er beregningsmæssigt ca. 58 kr. højere pr. gennemsnitlig time end for en traditionel dieselbus. Det svarer til ca. 8,3 %, se Figur 8.

I beregningerne er forudsat, at udgifterne til service og vedligeholdelse er 20 % højere end for en traditionel dieselbus. Det svarer til meromkostninger på ca. 9,55 kr./time.

Hybridbussen vil have lavere forbrug af diesel, her beregningsmæssigt sat til 20 % lavere som følge af konkrete erfaringstal. Det svarer til en besparelse ca. 20,25 kr./time.

Endelig vil den højere anskaffelsespris på busserne betyde øgede omkostninger til forrentning og afskrivning. I beregningerne er forudsat en merpris på 50 % som gennemsnit, og herudover er indregnet udskiftning af et batteri til skønsmæssigt 300.000 kr. én gang i løbet af kontraktperioden⁵². Det svarer isoleret set til en meromkostning på ca. 72,70 kr./time.

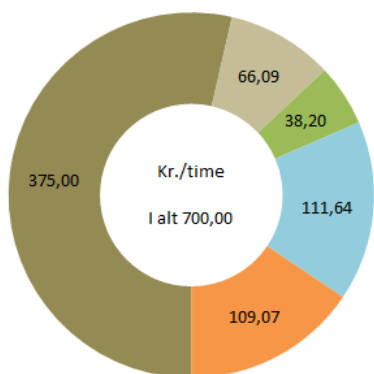
Priserne for batterier vil givetvis falde over de kommende år, til gengæld er der ikke indregnet udgifter til evt. udskiftning af andre følsomme, elektriske komponenter, som andre store trafikselskaber har erfaringer for går i stykker.

En samlet prisændring i forhold til en typisk dieselbus på i størrelsesordenen + 8-9 % må vurderes at ligge uden for den usikkerhed, der generelt knytter sig til genudbud af buskørsel⁵³.

⁵² <http://news.thomasnet.com/IMT/2013/07/18/nyc-decides-diesel-buses-are-cleaner-than-hybrids/>. Her beskrives bl.a., at batteriskift på hybridbusser i Ottawa og Toronto har kostet typisk 60.000 \$ pr. bus.

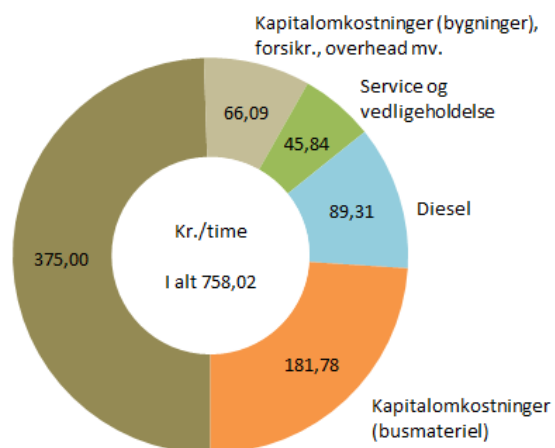
⁵³ En tilsvarende beregning for en ethanol-elektrisk hybridbus giver en samlet timepris på ca. 795,25 kr. Forskellen ift. en diesel-hybridbus skyldes, at udgifterne til bioethanol (mellemting mellem 1G-2G) beregningsmæssigt vil være ca. 37,20 kr./time højere end for diesel. Det svarer til, at de samlede driftsomkostningerne er ca. 13,5 % højere pr. gennemsnitlig time end for en traditionel dieselbus. Det forventes, at den tilsvarende udledning af CO₂ fra en ethanol-hybridbus kan reduceres med i størrelsesordenen 75 % i forhold til en standard dieselbus (EURO VI).

12 m normalbus - diesel



Løn (chauf., mek.,
adm. personale)

Hybrid (diesel-elektrisk)



Figur 8

Gennemsnitlig pris for en bustime i København, hvor der anvendes hybridbusser til driften. Der kan forventes en reduktion i udledning af CO₂ i forhold til en standard dieselbus EURO VI på op til 20 %.

7 Vurdering af teknologier

Teknologivurdering

I det foregående er beskrevet en række alternative teknologier til dieseldrevne busser og deres respektive fordele og ulemper i forhold til en driftssituation i København.

I det følgende gives en sammenfattende vurdering af de enkelte teknologier, se i øvrigt Tabel 8.

Diesel

Traditionelle dieselbusser vil fortsat være den billigste teknologi eller i hvert fald en af de billigste teknologier. Med EURO VI-normen vil emissionen af sundhedsskadelige stoffer blive bragt ned på et endda meget lavt niveau, som reelt betyder, at diesel kan tåle sammenligning med alle andre alternativer, undtagen biogas og el.

Alle omstændigheder omkring brug af diesel er lette at håndtere for operatørerne, og derfor vil det være oplagt fortsat at bruge dieselbusser.

Biodiesel

Biodiesel har emissionsmæssige fordele i forhold til den fossile diesel, men er mere besværligt at håndtere i et dansk klima, hvor det må antages, at det ikke vil kunne anvendes i ren form en del af året på grund af størkning. Det medfører lidt ændrede tankanlæg og blandingstanke til iblanding af fossil diesel i biodieselen. Brug af biodiesel vil samtidig betyde svagt øgede driftsudgifter til service og vedligeholdelse af busserne, men samlet set er det et realistisk alternativ til diesel, ikke mindst hvis priserne udvikler sig i en gunstig retning i forhold til dieselen, og hvis de klimamæssige udfordringer kan løses.

Det forventes, at prisudviklingen for biobrændstoffer afkobles fra den tilsvarende udvikling for de fossile brændstoffer. Teoretisk set kan biodiesel således blive billigere end fossil diesel.

Biogas

Det er COWIs indtryk, at fordelene ved anvendelse af biogas (på afgasset gylle) er så betydelige, at biogasbusser bør være en del af den samlede busflåde i 2025 og så vidt muligt også i perioden frem til 2025.

Tabel 8 COWIs vurdering af forskellige teknologier, deres respektive fordele og ulemper og egnethed i forhold til Københavns Kommunes målsætninger om reduceret miljøbelastning fra den kollektive busstrafik.

Teknologi	Diesel, fossilt	Biodiesel, 2G	Biogas, 2G	El, natopladning	El, opportunity charging	Hybridbusser
Nødvendige investeringer, busser	Ingen	Lav	Lav	Meget høj	Høj	Høj
Nødvendige investeringer, anlæg	Ingen	Lav	Middel	Middel	Høj	Ingen
Problemer i forhold til lokalisering af anlæg	Ingen	Ingen	Ingen	Ingen	Placering af opladere	Ingen
Omkostninger - service og vedligehold	Meget lav	Lav	Lav	Meget lav, men usikker Evt. udskiftning af batterier	Meget lav, men usikker Evt. udskiftning af batterier	Lav, men usikker Evt. udskiftning af batterier
Særlige rammebetingelser	Ingen	Få producenter	Køb af VE-certifikater	Ingen	Uklare ansvarsforhold	Ingen
Særlige udbudsforhold	Ingen	Ingen	Ingen	Længere kontrakter	Længere kontrakter	
Behov for teknologisk videreudvikling	Ingen	Større bioandel	Ingen	Længere rækkevidde	Længere rækkevidde Stabil og fleksibel opladning	Lavere energiforbrug
Miljømæssig profil (CO ₂)	Lav	Middel	Meget høj	Meget høj	Meget høj	Middel
Andre fordele/ulemper for kunder	Ingen	Ingen	Lavere støj	0-emission Lavere støj	0-emission Lavere støj Risiko for ventetid	Delvist: 0-emission Lavere støj
Samlet egnethed som alternativt drivmiddel i dag ⁵⁴	Egnet	Egnet	Egnet	Mindre egnet pga. lav rækkevidde	Ikke tilstrækkeligt undersøgt	Egnet
Samlet egnethed som alternativt drivmiddel i 2025 ⁵⁵	Egnet	Egnet	Egnet	Egnet (hvis rækkevidden er tilstrækkelig)	Egnet (hvis opladning fungerer i drift)	Egnet

⁵⁴ Egnethed opgjort i forhold til at drivmidlet er tilgængeligt på markedet, at teknologien er tilstrækkelig moden og at teknologien kan indføres på buslinjerne i København i større skala.

⁵⁵ Vurderet med afsæt i samme definition som fodnote 55, men herudover baseret på skønsmæssige vurderinger ud fra informationerne i de foregående afsnit.

De tidligere usikkerheder omkring især leverance af biogas, høje gaspriser og midlertidig etablering af tankanlæg/fyldestationer tæt på operatørerne må antages at være ubegrundede nu, og løsninger kan findes uden at kommuner eller operatører forpligter sig økonomisk i forhold til anlægsinvesteringer for en periode, der rækker længere end kontraktperioden.

Fordelen ved at benytte biogas er endvidere, at CO₂-emissionen kan reduceres væsentligt for de kommuner, der ønskes at købe VE-certifikater, og mindre for de kommuner, der ikke ønsker at prioritere udledningen af CO₂ i samme grad. Anvendelse af biogas gør det således muligt for Københavns kommune at nå sine miljømæssige mål, og samtidig benytte en teknologi, der medfører forholdsvist begrænsede meromkostninger, både for København selv, men også for de omkringliggende nabokommuner.

Eldrevne busser

De eldrevne busser tilbyder støjsvag drift og helt emissionsfri kørsel. Busser med natoplading mangler fortsat udvikling på grund af den begrænsede rækkevidde i øjeblikket. Indtil batteriteknologien udvikler sig til et punkt, hvor det er muligt at køre 4-500 km på en enkelt opladning, er det usandsynligt, at teknologien vil kunne anvendes bredt til bybuslinjerne i København.

En stor del af busserne har vognløb, der varer længere end 10 timer. Opladning midt på dagen vil formentlig ikke være en praktisk mulighed, og behovet for ekstramateriel for at kunne opretholde den samlede drift bliver derfor stort og omkostningskrævende. Opladning ved endestationerne kan være en mulighed for at supplere bussernes rækkevidde, men holdt op mod et reelt kørselsmønster virker løsningen teoretisk. Pauserne er for korte og for tilfældige.

Opportunity-charged busser med opladning på ruten er fortsat ufleksible, og har for lille rækkevidde sammenholdt med linjestrukturen i København. De vil i første omgang egne sig til kortere ruter som eksempelvis linje 3A, men de medfører ulemper for de rejsende, hvis de skal anvendes på linjer, hvor der er længere end 10 km mellem endestationerne. Ved et almindeligt endestationsophold kan der i dag oplades, hvad der svarer til 5-8 km's kørsel, og noget mindre ved stoppestederne på ruten, hvor opladningen højst må vare måske 30 sekunder. Det gælder således om at få øget rækkevidden, så opladning undervejs så vidt muligt kan undgås.

Ved længere ruter er det nødvendigt at etablere opladningsanlæg ved stoppestedsoophold undervejs på linjen. Anlæggene er forholdsvist dyre, og sammenholdt med de anstrengelser, der gøres for at forbedre fremkommeligheden for busser i København, virker det ulogisk at forlænge stoppestedsoopholdene ud over den tid, som passagerudvekslingen tager. Der kan givetvis findes stoppesteder på alle linjer, hvor ulemperne for kunderne vil være meget begrænsede, men alt i alt er der fortsat tale om et meget følsomt setup, som ikke er særligt fleksibelt i forhold til midlertidige ruteændringer, permanente ruteændringer og trafikale påvirkninger (f.eks. ulovlig parkering ved stoppesteder).

De eldrevne busser er samtidig forholdsvist dyre at anskaffe sammenholdt med de øvrige alternativer. Det gælder både i dag og forventeligt i et vist omfang fortsat i 2025. De løbende omkostninger til drift og vedligehold forventes at være lave, men endnu er der meget begrænset dokumentation om holdbarheden af batterier og an-

dre kritiske komponenter i busserne. Udskiftning af batterier undervejs i kontraktperioden vil underminere en fornuftig økonomi for operatørerne, og gøre teknologien mindre relevant.

Betragtet generelt i forhold til operatører på et dansk marked er det vores forventning, at de generelle usikkerheder ved eldrevne busser vil påvirke tilbudsgivere og resultere i høje tilbudspriser i det mindste indtil der er opnået solide, positive langtidseffekter i forhold til batterilevetid og performance.

Hybridbusser

Hybridbusser kan umiddelbart virke som en forholdsvis stabil teknologi. Reparations- og vedligeholdelsesomkostninger efter lang tids drift kan dog være vanskelige at estimere, og uventede udskiftninger af elektromotorer og batterier vil gøre teknologien uforholdsmæssigt dyr. Udvidede garantier fra busleverandører vil til en vis grad kunne eliminere den umiddelbare økonomiske ulempe, men mange driftsnedbrud kan også medføre mangelfuld service over for kunderne.

I forhold til at opnå energibesparelser, er hybridbusserne tilsyneladende mest effektive, når det handler om linjer, hvor hastigheden er lav på næsten hele driftsstrækningen. Danske forsøg med forskellige typer af hybridbusser på forskellige linjetyper viser, at de lovede energibesparelser fra producenterne ikke kan opnås i praktisk drift. Teknologien bør dog følges i de kommende år for at afdække, om de driftsøkonomiske og teknologiske udfordringer bliver løst.

7.1 Driftsøkonomiske betragtninger

Sammenlignelige timepriser

I afsnit 6 er beregnet typiske, sammenlignelige timepriser med alternative teknologier. Timepriserne er opgjort på baggrund af data og erfaringer fra et større antal kilder, men skal generelt betragtes med det forbehold, at de ikke detaljeret vil kunne afspejle priserne ved et konkret udbud af buskørsel, hvor en række eksterne faktorer vil kunne resultere i tilfældige variationer. Omvendt må de beregnede priser betragtes som bedste bud på de forventede omkostninger.

De opgjorte timepriser tager højde for:

- › Forventede meromkostninger til indkøb og afskrivning af alternativt busmateriel
- › Forventede udgifter til alternative drivmidler
- › Forventede ændringer i udgifterne til løbende service og vedligeholdelse
- › Samt forventede investeringer i nødvendige etableringer i forbindelse med distribution af drivmidler, oplagring og fyldestationer.

Scenarier

De tre scenarier er sammensat med fokus på biogas, henholdsvis biodiesel og eldrift af busserne. Med de tre udgangspunkter afspejler scenarierne hver især den mest optimale løsning, vurderet i forhold til den samlede driftsøkonomi.

Samlet driftsøkonomi

Københavns Kommunes miljømål for den samlede kollektive bustrafik vil kunne løses på flere måder.

Med udgangspunkt i tal for 2013 (de priser, der forventes ved et udbud i dag) er i Tabel 9 vist de gennemsnitlige, vægtede timepriser for de tre scenarier samt de samlede nettodrifudsudgifter for Københavns Kommune og de øvrige kommuner, der har andel i buslinjerne.

Scenarie 1

Det billigste alternativ (hvilket også samlet set er den billigste løsning i det hele taget) svarer til Scenarie 1 (biogas), og medfører, at de samlede nettodrifudsudgifter øges for kommunen med ca. 15,6 mio. kr. årligt i forhold til i dag. Det svarer til en stigning i nettodrifudsudgifterne på ca. 4,4 % i forhold til i dag.

Den gennemsnitlige timepris kan beregnes til ca. 712,90 kr., hvilket svarer til en stigning på ca. 1,8 % i forhold til i dag.

For de øvrige kommuner øges de samlede nettodrifudsudgifter med ca. 11,3 mio. kr. årligt, svarende til ca. 4,7 %. Tallene forudsætter brug af VE-biogas. Det kan beregnes, at merprisen for at substituere naturgas med biogas fra afgasset gylle svarer til ca. 5,60 kr./time, afhængigt af prisen pr. VE-certifikat. Her er regnet med en gennemsnitlig værdi på 0,50 kr./certifikat. Brug af naturgas i stedet reducerer meromkostninger til ca. 7,7 mio. kr. årligt (ca. 3,2 %).

Tabel 9 Samlet, forventet driftøkonomi ved de tre scenarier, hvor der er fokus på biogas, henholdsvis biodiesel og eldrift. Opgjort for 2013. De tre scenarier vil alle sikre opfyldelse af Københavns Kommunes mål for reduktioner i udledningen af NO_x og partikler samt CO₂. Samlet kørselsomfang ca. 22,3 mio. km. årligt.

Scenarie (sammensætninger)	1. Biogas		2. Biodiesel		3. El	
	Andel	Timepris, kr.	Andel	Timepris, kr.	Andel	Timepris, kr.
2013						
Diesel	27 %	700,00			13 %	700,00
Biodiesel (2G)			35 %	718,63		
Biogas (2G fra afgasning af gylle)	73 %	717,71	65 %	717,71	37 %	717,71
El (VE) *					50 %	831,62
Vægtet timepris		712,93		718,03		772,36
Δ timepris ift. fossil diesel (700 kr.)		+ 12,93 (1,8 %)		+ 18,03 (2,6 %)		+ 72,36 (10,3 %)
Øgede nettodrifudsudgifter for Københavns kommune, årligt		+ 15,6 mio. (4,4 %)		+ 21,8 mio. (6,1 %)		+ 87,5 mio. (24,4 %)
Øgede nettodrifudsudgifter for øvrige kommuner tilsammen, årligt **		+ 11,3 mio. (4,7 %)		+ 15,7 mio. (6,6 %)		+ 63,1 mio. (26,3 %)

* EL (VE) er beregnet som gennemsnittet af de forventede driftsudgifter til eldrevne busser med natoplading og opladning på ruten.

**Årsagen til, at ændringerne ikke er ens for Københavns Kommune og de øvrige kommuner er, at den gennemsnitlige timepris i dag er forskellig, når den opgøres for hhv. København og de øvrige kommuner. Timeprisen er i dag lavest for de øvrige kommuner, her er antaget, at timeprisen er ens i den fremtidige situation.

Scenarie 2

I Scenarie 2 (biodiesel) er de samlede nettodrifudsudgifter for både Københavns Kommune og de øvrige kommuner højere end i scenarie 1. Andelen af biodiesel-

hybridbusser i forhold til biogasbusser er sat så høj som muligt, med den forudsætning, at det samtidig skal være muligt at indfri miljømålene.

De samlede nettodrifudsudgifter øges for Københavns Kommune med ca. 21,8 mio. kr. årligt i forhold til i dag. Det svarer til en stigning i nettodrifudsudgifterne på ca. 6,1 % i forhold til i dag.

For de øvrige kommuner øges de samlede nettodrifudsudgifter med ca. 15,7 mio. kr. årligt, svarende til ca. 6,6 %.

Den gennemsnitlige timepris kan beregnes til ca. 718,00 kr., hvilket svarer til en stigning på ca. 2,6 % i forhold til i dag.

Scenarie 3

I Scenarie 3 er forudsat, at halvdelen af den samlede drift gennemføres med eldrevne busser. I beregningerne er endvidere forudsat, at der anvendes en jævn fordeling af busser, der oplades om natten og busser, der oplades på ruterne.

For at holde de samlede udgifter nede, suppleres de eldrevne busser med en så stor andel af dieselbusser som muligt. De resterende busser skal anvende biogas for at miljømålene overholdes.

De samlede nettodrifudsudgifter for Københavns Kommune vil derved øges med ca. 87,5 mio. kr. årligt i forhold til i dag, svarende til en stigning i nettodrifudsudgifterne på ca. 24,4 % i forhold til i dag.

For de øvrige kommuner øges de samlede nettodrifudsudgifter også væsentligt, med ca. 63,1 mio. kr. årligt, svarende til ca. 26,3 %.

Den gennemsnitlige timepris kan beregnes til ca. 772,36 kr., hvilket svarer til en stigning på ca. 10,3 % i forhold til i dag. Generelt gælder endvidere, at jo større andel af eldrift, des højere nettodrifudsudgifter for både Københavns og de øvrige kommuner. Fuld eldrift på samtlige linjer vil ud fra en rent økonomisk betragtning medføre øgede nettodrifudsudgifter for Københavns Kommune svarende til ca. 159 mio. kr. årligt.

7.2 Forventet prisudvikling frem til 2025

Det er vanskeligt at forudsige prisudviklingen frem til 2025. Det gælder både for prisudviklingen på drivmidler og anskaffelsespriser på busser.

Prisudviklingen for især biobaserede drivmidler vil være følsom over for sammenhængen mellem produktion og afsætning. For biogas, hvor køb og salg foregår internationalt gennem naturgasnettet og derfor er mindre afhængigt af et afgrænset marked, vil følsomheden dog være mindre.

Drivmidler

AD-modellen indeholder skøn over prisudviklingen over de kommende år for en række drivmidler. Anvendes disse skøn opnås følgende enhedspriser i 2025:

Tabel 10 Forventet prisudvikling frem til 2025 for udvalgte drivmidler. Enhedspriserne for 2013 er beregnet i dette projekt med de forudsætninger, der tidligere er angivet.

Drivmiddel	Enhedspris inkl. afgifter, tilskud og moms	Forventet prisudvikling i <u>råvarepriser</u>	Enhedspris inkl. afgifter, tilskud og moms*
	2013	2013 → 2025	2025
Diesel	11,53 kr./L	+ 2,1 %	11,69 kr./L
Biodiesel	13,02 kr./L	+ 3,9 %	13,32 kr./L
Biogas	9,50 kr./m ³	+ 1,6 %	9,55 kr./m ³
El, natopladning	1,82 kr./KWh	÷ 3,5 %	1,80 kr./KWh
El, opportunity-charging	1,82 kr./KWh	÷ 3,5 %	1,80 kr./KWh

Kilde: AD-modellen. * Opgjort uden hensyn til den generelle P/L-udvikling

Denne prisudvikling understøttes af andre kilder, bl.a. EIA, der forventer, at råvareprisen på diesel vil stige frem til 2025 med ca. 2,5 %. EIA forventer ligeledes, at priserne på naturgas vil stige med ca. 1 % og at elpriserne falder med ca. 1 %⁵⁶.

Prisudviklingen undersiges af andre kilder, som indikerer, at de fleste energipriser vil stige med stige med 1-2 % pr. anno i perioden frem til 2025.

Det virker som om, at opfattelsen af, hvordan priserne vil ændre sig, varierer forholdsvist meget. Rent beregningsteknisk er valgt at benytte forventningerne, som angivet i Tabel 10.

Anskaffelsespriser

Det er relativt vanskeligt at skønne prisudviklingen på busser. Der er nogenlunde bred enighed om, at prisen på dieselbusser ikke vil blive reduceret i de kommende år som følge af yderligere teknologisk udvikling eller større efterspørgsel. Prisen i 2025 vil således ikke være ændret.

Flere kilder mener, at prisen på gasbusser vil falde svagt, primært som følge af, at initialomkostningerne efterhånden er udlignet hos de fleste producenter, og at efterspørgslen vil øges svagt. Her er skønnet et fald på 5 % i anskaffelsesprisen frem til 2025.

Prisen på eldrevne busser varierer forholdsvist meget. I forbindelse med beregninger af driftsomkostninger i dag er forudsat, at en eldrevne bus med natopladning koster ca. 4,5 mio. En opportunity-charged er skønnet til 3,6 mio. kr. som et gennemsnit. Begge tal er anslået under forudsætning af, at kvaliteten af busserne, hvad angår bl.a. klima, komfort og æstetik, modsvarer forventningerne hos skandinaviske kunder i den kollektive trafik.

⁵⁶ Fra EIAs hjemmeside. The U.S. Energy Information Administration (EIA) indsamler, analyserer og udgiver uafhængige informationer og energipriser

Hertil kommer hele problematikken omkring den nødvendige videreudvikling af elbusser i forhold til rækkevidde og fleksibilitet, som ikke vil være tilendebragt inden 2025. Udgifterne til batterier vil blive reduceret i perioden frem til 2025, men omvendt vil behovet for øget batterikapacitet i et vist omfang holde de samlede priser oppe. Rent beregningsmæssigt forudsætter vi, at prisen på især batterier og andre elektriske komponenter, som antages at udgøre merprisen i dag i forhold til en traditionel dieselbus, falder med 50 % frem til 2025. Det gælder både for el-drevne busser med natopladning og opportunity-charged busser.

Prisen på hybridbusser er også vanskelig at estimere. På den ene side vil øget efterspørgsel bidrage til at reducere priserne, på den anden side er der flere forhold, der tyder på, at hybridbusser fortsat mangler udbedring af svagheder. Alene på grund af de særlige batterier, vil hybridbusserne med rimelig sandsynlighed aldrig komme ned på samme niveau som traditionelle dieselbusser. Som for de el-drevne busser oven for forudsættes, at batteriernes pris vil falde med 50 % i perioden frem til 2025, se Tabel 11.

Tabel 11 Forventet prisudvikling frem til 2025 for udvalgte bustyper.

Anskaffelsespriser	Anskaffelsespriser ekskl. moms	Forventet prisudvikling	Anskaffelsespriser ekskl. moms *
	2013	2013 → 2025	2025
Diesel	1,8 mio. kr.	Uændret	1,8 mio. kr.
Biodiesel	1,8 mio. kr.	Uændret	1,8 mio. kr.
Biogas	2,0 mio. kr.	÷ 5 % (pga. øget efterspørgsel)	1,9 mio. kr.
El, natopladning	4,5 mio. kr.	÷ 50 % på batterier /komponenter	3,2 mio. kr.
El, opportunity charging	3,6 mio. kr.	÷ 50 % på batterier/komponenter	2,7 mio. kr.
Hybridbusser	3,0 mio. kr. inkl. et batteriskift	÷ 50 % på batterier/komponenter	2,4 mio. kr. inkl. et batteriskift

* Opgjort uden hensyn til den generelle P/L-udvikling

Med de forudsætninger er de forventede nettodriftsudgifter genberegnet for 2025, se Tabel 12.

Tabellen viser, at hvis den skønnede prisudvikling for drivmidler og anskaffelsespriser frem mod 2025 holder stik, vil el-drevne busser fortsat være dyrere end dieselbusser og biogasbusser i 2025, men langt fra i så høj grad som i dag.

Det billigste alternativ svarer fortsat til Scenarie 1 (biogas). Denne løsning medfører, at de samlede nettodriftsudgifter øges for kommunen med ca. 11 mio. kr. årligt i forhold til i dag ($\approx 3\%$). De tilsvarende tal for Scenarie 2 med biodiesel er en stigning i de samlede nettodriftsudgifter på knap 19 mio. kr. ($\approx 5\%$), mens en løsning med 50 % eldrift resulterer i øgede, samlede nettodriftsudgifter på ca. 35 mio. kr. ($\approx 10\%$).

Samlet set vil der være fornuftige muligheder for at Københavns Kommune kan indfri sine miljømål fra 2025 og frem.

I det omfang der satses på eldrevne teknologier må dog forventes højere omkostninger, end for andre alternativer. I 2025 vil fortsat gælde, at jo større andel af eldrift, des højere nettodriftsudgifter for både Københavns og de øvrige kommuner. Fuld eldrift på samtlige linjer vil ud fra en ren økonomisk betragtning medføre øgede nettodriftsudgifter for Københavns Kommune svarende til ca. 58 mio. kr. årligt (+ ca. 16 % i forhold til i dag).

Tabel 12 Samlet, forventet driftøkonomi ved de tre scenarier, hvor der er fokus på biogas, henholdsvis biodiesel og eldrift. Opgjort for 2013. De tre scenarier vil alle sikre opfyldelse af Københavns Kommunes mål for reduktioner i udledningen af NO_x og partikler samt CO₂. Samlet kørselsomfang ca. 22,3 mio. km. Årligt.

Scenarie (sammensætninger)	1. Biogas		2. Biodiesel		3. El	
	Andel	Timepris, kr.	Andel	Timepris, kr.	Andel	Timepris, kr.
2025						
Diesel	27 %	701,56			13 %	701,56
Biodiesel (2G)			35 %	721,16		
Biogas (2G fra afgasning af gylle)	73 %	712,21	65 %	712,21	37 %	712,21
El (VE) *					50 %	748,35
Vægtet timepris		709,34		715,35		728,90
Δ timepris ift. fossil diesel (701,56 kr.)		+ 7,78 (1,1 %)		+ 13,79 (2,0 %)		+ 27,34 (3,9 %)
Øgede nettodriftsudgifter for Københavns kommune, årligt		+ 11,3 mio. (3,2 %)		+ 18,6 mio. (5,2 %)		+ 34,9 mio. (9,8 %)
Øgede nettodriftsudgifter for øvrige kommuner tilsammen, årligt		+ 8,1 mio. (3,4 %)		+ 13,4 mio. (5,6 %)		+ 25,2 mio. (10,5 %)

* EL (VE) er beregnet som gennemsnittet af de forventede driftsudgifter til eldrevne busser med natoplading og opladning på ruten.

**Årsagen til, at ændringerne ikke er ens for Københavns Kommune og de øvrige kommuner er, at den gennemsnitlige timepris i dag er forskellig, når den opgøres for hhv. København og de øvrige kommuner. Timeprisen er i dag lavest for de øvrige kommuner, her er antaget, at timeprisen er ens i den fremtidige situation.

I afsnit 7.4 beskrives en række af de problemstillinger, der fortsat vil skulle afdækkes, inden eldrevne busser kan indsættes i driften på passagertunge linjer i stor skala.

7.3 Miljøeffekter

Som nævnt tidligere opfylder alle tre scenarier Københavns Kommunes miljømålsætninger, se Tabel 13. Scenarie 3 med en høj andel af eldrift performer bedre end de to andre scenarier, og sikrer en meget lav udledning af både NO_x og partikler. Omvendt vil der være meromkostninger forbundet med eldrift.

NO_x og partikler Udledningerne af NO_x og partikler er principielt ens i Scenarie 1 og 2. Med eldrevne busser i Scenarie 3 forbedres luftkvaliteten i København med yderligere 12 ton NO_x og 80 kg partikler årligt i forhold til løsningerne i Scenarie 1 og 2.

Meromkostningerne for en sådan forbedring kan beregnes til at udgøre mellem ca. 65,7 og 71,8 mio. kr. årligt for København afhængigt af, om det holdes op mod løsningen i Scenarie 1 eller 2. For de øvrige kommuner vil meromkostningerne tilsvarende udgøre mellem 47,4 og 51,8 mio. kr. årligt. Altså samlet set mere end 110 mio. kr. årligt.

Ifølge Transportministeriet kan de samfundsmæssige skadesomkostninger ved udledning af et ton NO_x og et ton partikler opgøres til henholdsvis 51.000 kr. og 1,67 mio. kr.⁵⁷. Værdien af 12 ton NO_x og 80 kg partikler udgør således beregningsmæssigt ca. 0,7 mio. kr. samlet set.

I den sammenhæng er de opgjorte meromkostninger til eldrift i Scenarie 3 uforholdsmæssigt store.

Tilsvarende vil gælde også i 2025, hvis forventningerne om prisudvikling på drivmidler og anskaffelsespriser holder stik, og eldrevne busser fortsat vil være et dyrere alternativ end biogas og biodiesel.

CO₂ Generelt er det dyrt at reducere CO₂-udledningen fra transportsektoren. Beregninger af konkrete initiativer på transportområdet viser, at de samfundsøkonomiske omkostninger ved mange initiativer ligger på mindst 1.000 kr./ton⁵⁸.

En omregning af meromkostningerne ved indførelse af ny busteknologi i København viser, at omkostningerne ved at reducere 1 ton CO₂ i Scenarie 1 svarer til ca. 536 kr. Det tilsvarende tal for Scenarie 2 er ca. 747 kr. og for Scenarie 3 ca. 2.989 kr. (2013-tal).

Tabel 13 Beregnede miljøeffekter er de tre scenarier.

Scenarie		1. Biogas	2. Biodiesel	3. El	Mål i 2025
Udledning CO ₂	ton pr. år	- 244	- 259	- 339	0
Udledning NO _x	ton pr. år	24,0	24,0	12,0	< 67
Udledning Partikler	ton pr. år	0,16	0,16	0,08	< 0,29

7.4 I hvilket omfang kan teknologierne anvendes

Dieselbusser Dieselbusser og busser der kører på biodiesel (eller syntetisk diesel) vil kunne betjene alle linjer i Movia på samme måde som i dag, dvs. uden at køreplanlægning eller vagtplanlægning for chauffører og andet personale hos operatørerne vil skulle ændres.

⁵⁷ Transportøkonomiske enhedspriser, 15. nov. 2013

⁵⁸ Grøn omstilling, Veje til grøn transport, Dansk Industri, januar 2013

Biogasbusser Tilsvarende vil gælde for busser, der kører på biogas. Gasbusserne forsynes typisk med tanke, der giver bussen samme rækkevidde som en dieselbus.

Hybridbusser Hybridbusserne vil også have samme rækkevidde som diesel- og gasbusserne. Men som beskrevet tidligere er der flere indikationer på, at potentialet for hybridbusserne ligger på linjer, hvor den gennemsnitlige hastighed er under 13 km/t for at sikre tilstrækkeligt store energibesparelser. Delstrækninger med højere hastigheder kan reducere besparelserne væsentligt. Udfordringerne for hybridbusserne er desuden, at de er betydeligt dyrere, og også betydeligt dyrere at vedligeholde. Hvis energibesparelserne ikke udløses, kan merinvesteringen synes ude af proportioner.

Holdt op mod linjenettet i København og de trafikale forhold betyder det, at hybridbusser ikke må anses for relevante på ret mange linjer, hvis nogen overhovedet. Vi vurderer ikke, at de vil komme til at spille nogen væsentlig rolle i perioden frem til 2025.

Eldrevne busser Hvad angår eldrevne busser, vil de også have visse udfordringer med at passe ind. Umiddelbart vil det være relevant at indsætte dem på linjer, der betjener de mest tætte byområder, hvor flest har glæde af mindre støj og 0-emission. Det sætter naturligt fokus på A-busnettet.

Eldrevne busser der lades op på ruten, er bundet af behovet for regelmæssig opladning for at kunne køre. Midlertidige omlægninger, høj frekvens og mange busser, der ankommer til stoppestederne på samme tid og følges ad gennem store dele af byen kan risikere at gøre opladning til en stor ulempe for kunderne. Opladning ved endestationerne vil også kunne medføre ulemper i forhold til vagtplanlægningen for chauffører, og når der er uregelmæssig drift. Alternativt kan der indsættes ekstra busser ved endestationerne, som kan sikre den nødvendige fleksibilitet i forhold til køreplaner og vagtplaner. Det vil dog medføre øgede udgifter til materiellet.

Et helt A-busnet betjent med opportunity-charged busser vil betyde et fintmasket net af opladestationer, som også giver bindinger i forhold til permanente omlægninger af linjer, noget der forholdsvist ofte sker blandt andet i linjernes yderområder. Det betyder løbende ekstraomkostninger til anlæg af ladestationer.

Det aktuelle forsøgsprojekt om indsættelse af opportunity-charged busser på en linje fra 2016-2018 giver ingen detaljerede, langtidserfaringer med den pågældende type af eldrevne busser. Den fortsatte usikkerhed omkring behovet for udskiftning af batterier, elmotorer og evt. andre komponenter i løbet af kontraktperioden og de deraf følgende højere timepriser, vil efter vores opfattelse medføre, at indsættelse af den type busser i større stil (dvs. > 100 busser) på københavnske linjer sandsynligvis ikke vil ske inden 2025.

Herudover er der i rapporten slet ikke drøftet den maksimale opladningskapacitet i batterier, der skal af- og oplades mange gange. Der er formentlig bred enighed om, at den maksimale kapacitet i batterierne reduceres svagt, efterhånden som de oplades igen og igen. Det kan mod slutningen af en kontrakt reelt betyde, at der skal indsættes ekstra materiel for at opretholde den sædvanlige drift.

Der kan også være problemer forbundet med at anvende eldrevne busser, der lader op over natten. De vil kunne give den fornødne fleksibilitet undervejs på linjerne, under forudsætning af, at den samlede batterikapacitet er tilstrækkelig til at sikre større rækkevidde for bussen, end vi ser i dag. Vi betragter det dog som tvivlsomt, at udviklingen af batterier vil gå så hurtigt, at eldrevne busser af den type vil kunne erstatte dieselbusserne i samtlige vognløb på en typisk linje i København inden 2025. Det sker måske først efter 2030.

8 Strategi og anbefalinger

Mål

Københavns Kommune ønsker at begrænse udledningen af NO_x og partikler med 60 % og gøre den kollektive busstrafik CO₂-neutral inden 2025.

I omstillingen frem mod 2025 er det vigtigt, at udviklingen sker på en omkostningseffektiv måde. Samtidig lægges vægt på, at løsningen er robust og fleksibel, så den kollektive trafik fortsat vil kunne fungere med høj regularitet og driftssikkerhed, som vi kender det i dag.

Alternative brændstofteknologier er i øjeblikket genstand for stor interesse fra mange sider. Det giver forventninger om, at nye muligheder bliver realistiske og rentable inden for en forholdsvis kort årrække. Derfor er det også vigtigt for kommunen, at den ikke binder sig til dyre investeringer i anlæg, som efterfølgende kan påvirke mulighederne for frit at vælge andre teknologier, som måtte vise sig attraktive om nogle år.

Kommunen har samtidig ambitioner om fortsat at bidrage til, at nye og lovende teknologier testes og modnes, så de evt. vil kunne indgå i driften i København på et senere tidspunkt.

Analyse

I det foregående er gennemgået en række alternative drivmidler og teknologier, som hver især har fordele og ulemper, både hvad angår de miljømæssige og driftsøkonomiske perspektiver.

Nødvendige investeringer i særlige anlæg, særlige rammebetingelser og ansvarsdeling, udbudsforhold og forventninger til teknologisk udvikling i de kommende år er ligeledes vurderet for de enkelte alternativer, dels på baggrund af en række kilder, dels på baggrund af interviews med udvalgte nøglepersoner.

Resultater

I forhold til indfrielse af målsætningerne har gennemgangen vist:

- › At den ønskede begrænsning i udledningen af NO_x og partikler vil ske automatisk gennem indførelse af EURO VI-normen for busser
- › At en samlet CO₂-udledning kan gå i 0, hvis
 - › Driften udelukkende gennemføres med eldrevne busser (på VE-strøm)

- › Eller hvis dele af driften gennemføres med gasbusser og brug af biogas fra afgasset gylle (VE-certificeret). Biogas fra afgasset gylle medfører en negativ udledning af CO₂, og vil gøre det muligt at anvende CO₂-udledende drivmidler som diesel og fortsat have CO₂-neutral drift
- › At nettodriftsudgifterne med en række forudsætninger beregningsmæssigt vil øges med 3-5 % i forhold til den nuværende dieseldrift, svarende til årlige merudgifter på ca. 10-20 mio. kr.
- › At anvendelse af eldrevne busteknologier vil medføre højere nettodriftsudgifter end biogas og biodiesel
- › At 100 % eldrift ikke må anses for realistisk i 2025. Udskiftningsmønstret for kontraktbusser giver bindinger, der nødvendiggør løbende indfasning af biogas i driften
- › At udviklingen af busteknologi og drivmidler foregår i et meget hurtigt tempo i disse år. Dette gælder ikke mindst, hvad angår batteriteknologi
- › At Københavns Kommunes rolle og ansvar kan forblive uændret i forhold til i dag, og at kommunen ikke behøver binde sig til store investeringer i anlæg for at nå sine mål.

8.1 Strategisk tilgang

Med det udgangspunkt anbefaler vi følgende strategiske tilgang:

- › Skab fleksibilitet og handlefrihed med en stabil basisløsning
- › Følg flere teknologispør
- › Fokusér på energieffektivitet og CO₂-udledning
- › Brug lange kontrakter, hvor operatøren ikke afgør evt. forlængelse
- › Kontrollér emissioner systematisk
- › Opnå fordele allerede nu
- › Følg udviklingen af nye teknologier
- › Deltag i test af nye, lovende teknologier

Basisløsning

Det virker ret oplagt at etablere en basisløsning, bestående af en stor andel af biogasbusser (VE-certificeret biogas), kombineret med en mindre andel af dieselbusser (som beskrevet i Scenarie 1).

En sådan løsning vil:

- › Indfri miljømålene (og reducere støjen fra busserne)
- › Sikre lave nettodriftsudgifter (omtrent samme niveau som i dag)
- › Sikre en pålidelig kollektiv trafik med høj kvalitet
- › Sikre fleksibilitet til løbende at kunne indfase andre teknologier, der kan tilbyde yderligere fordele
- › Være anvendelig efter 2025, også ved kombination med andre teknologier.

Flere spor

Der bør herudover sættes på flere teknologi-spor, dels fordi der fortsat sker udvikling på forskellige fronter, som med tiden kan vise sig fordelagtige, dels fordi forskellige teknologier passer bedst til forskellige linjetyper.

Perspektiverne ved syntetisk diesel 2G er på stort set alle områder meget positive, og vil kunne udgøre et godt alternativ fremadrettet. Ved at fastholde et antal diesel-busser, vil syntetisk diesel kunne indføres hurtigt. Tilsvarende vil gælde, hvis biodiesel viser positive udviklingstendenser eller hvis forsøg med eldrevne busser viser, at denne teknologi er tilstrækkelig egnet til udbredelse.

Energieffektivitet og CO₂-emissioner

I forhold til de miljømæssige aspekter bør fokuseres på energiforbruget og dermed CO₂-emissionen, som ikke reguleres gennem EURO-normerne. Emissionerne af de sundhedsskadelige stoffer reguleres til gengæld til et niveau, der ligger under kommunens målsætninger.

Længere kontrakter

Lave, samlede (eller uændrede) driftsudgifter kan være afgørende for, at de øvrige involverede kommuner kan finde tilstrækkelig politisk opbakning til at understøtte en miljøindsats. Det vil til en vis grad kunne opnås gennem længere kontrakter⁵⁹ på otte, ti eller 12 år, hvilket også vil spille positivt ind i forhold til enhedspriserne for de forskellige energityper - f.eks. i forhold til investeringerne i opladningsanlæg og etablering af tankanlæg/fyldestationer med gas.

I de foregående beregninger er for sammenlignelighedens skyld forudsat, at den fulde afskrivning af busserne sker i løbet af kontraktperioden. Diesel- og gasbusser vil efter en kontraktlængde på kun seks år formentlig repræsentere en vis værdi, og gasbussen måske også efter otte år. Eldrevne busser vil være vanskelige at sælge igen, fordi de ikke umiddelbart vil kunne tages i brug andre steder uden betydelige investeringer i opladningsanlæg. Det er derfor mindre sandsynligt, at operatørerne vil kunne afsætte disse busser.

I Tabel 14 er vist eksempler på effekten af at øge afskrivningsperioden, opgjort i forhold til de gennemsnitlige, beregnede timepriser. Det er forudsat i beregningerne, at de forskellige bustyper repræsenterer en værdi efter endt kontrakt, som anført i tabellen. Afskrivningen sker desuden lineært over den anførte kontraktløbetid.

Det interessante er ikke de beregnede priser med en garanteret kontraktlængde på seks år som nu, men derimod det indbyrdes spring i priserne fra seks til otte år og fra otte til 12 år for de forskellige teknologier. Også for diesel- og gasbusser vil der beregningsmæssigt være driftsøkonomiske besparelser for kommunen ved at øge kontraktlængderne.

⁵⁹ Omvendt vil lange kontrakter betyde, at operatørerne må indregne svagt øgede udgifter til service og vedligehold af busserne, som vil blive stadig mere omkostningskrævende, jo ældre de bliver. I vores beregninger er generelt anvendt tal, der svarer til de forventede gennemsnitlige udgifter til service og vedligehold over en samlet levetid på 12 år for alle bustyper. Kontrakter, der varer længere end 12 år, må antages at indebære, at der skal ske udskiftning af materiellet undervejs (af hensyn til komfort, kvalitet, det generelle indtryk af at busserne er moderne osv.)

Det bemærkes, at der for den eldrevne bus ikke er taget højde for evt. udskiftning af batterier i løbet af kontraktperioden. Er en sådan udskiftning nødvendig, og koster nye batterier skønmæssigt ca. 0,5 mio. kr., vil den gennemsnitlige timepris ved en otte-årig kontrakt øges med ca. 24 kr. Ved en 12-års kontrakt øges den gennemsnitlige timepris ca. 15. kr.

Kontrakter, hvor operatøren garanteres kørsel i op til 12 år, kan indebære, at der skal indarbejdes bedre bod/bonus-ordninger for løbende at sikre en tilstrækkelig høj kvalitet og service hos operatøren. Den præcise udformning heraf kræver nærmere undersøgelser, men vurderes mulig.

Driftsøkonomiske besparelser som følge af længere kontrakter vil også kunne anvendes til øget drift og flere rejsende. Det vil kunne resultere i andre miljøgevinster i form af sparet biltrafik.

Tabel 14 Eksempler på den driftsøkonomiske effekt af ændret kontraktlængde (beregnet med udgangspunkt i lineær afskrivning af bussens anskaffelsespris. Det beregningsmæssige udgangspunkt er en gennemsnitlig timepris for en dieselbus på 700 kr, som tidligere beskrevet, og en tilhørende forudsætning om, at bussen afskrives helt i løbet af en kontraktperiode på seks år.

Samlede, beregningsmæssige timepriser, 2013	Diesel	Biogas	El opportunity-charging
Garanteret kontraktlængde 6 år, som nu	687,88	699,54	812,61
V/Restværdi, anslået	200.000 kr.	300.000 kr.	0 kr.
Garanteret kontraktlængde 8 år	672,73	680,60	755,35
V/Restværdi, anslået	0 kr.	150.000 kr.	0 kr.
Garanteret kontraktlængde 12 år	645,47	657,12	698,09
V/Restværdi, anslået	0 kr.	0 kr.	0 kr.

Movia afgør kontraktlængden

De indbyggede muligheder for kontraktforlængelser, vi kender i dag, synes ikke fordelagtige i en situation, hvor der kan være behov for at indfase en bestemt teknologi af miljømæssige eller driftsøkonomiske grunde.

I dag kan operatøren i princippet gennem sin performance afgøre, om en given kontrakt skal forlænges efter de seks år, der er garanteret. Af hensyn til den overordnede planlægning, for at sikre de nødvendige udskiftninger på rette tidspunkt, og i det hele taget for lettere at kunne agere, bør Movia i de kommende år alene kunne afgøre, om en kontrakt evt. skal forlænges. Til gengæld kan de kommende kontrakter indeholde garanti for otte, ti eller 12 års kørsel.

Kontrol af emissioner	<p>Flere kilder peger på, at de faktiske emissioner fra busserne i dag ikke stemmer overens med de forventede udledninger. Udviklingen har bl.a. fået Movia til at gennemføre et betydeligt antal kontroller, hvor der er afdækket forhold, der ikke var tilfredsstillende. Kontroller og kontrolmulighederne bør generelt styrkes, så emissionsreducerende udstyr i praksis altid fungerer som tiltænkt.</p> <p>Problemerne antages at aftage eller blive elimineret med EURO VI, men det er foreløbigt ikke eftervist.</p> <p>Manglende overholdelse af emissioner kan underminere en valgt strategi og føre til spild af økonomiske ressourcer, der er målrettet bedre luftkvalitet. Derfor bør kontrol fortsat prioriteres.</p>
Opnå fordele allerede nu	<p>Samlet set viser beregningerne, at en satsning på biogas kombineret med diesel vil koste Københavns Kommune 15-16 mio. kr. ekstra i nettodriftsudgifter til den kollektive bustrafik årligt. For de øvrige, involverede kommuner øges nettodriftsudgifterne med 11-12 mio. kr. årligt. Det svarer til en stigning på ca. 5 % i forhold til niveauet i 2011. Brug af naturgas i stedet for VE-gas vil reducere meromkostningerne til ca. 3 %. Det ligger inden for den almindelige usikkerhed ved et udbud.</p>
Følg udviklingen	<p>Forud for hvert udbud bør overvejes, om syntetisk diesel, hybridbusser eller eldrevne busser er blevet realistiske alternativer, at de ekstra fordele de tilbyder, opvejer de ekstraomkostninger og ulemper og usikkerheder, der også er forbundet med disse teknologier.</p> <p>De ekstra fordele handler primært om mindre støj og 0-emission for de eldrevne bussers vedkommende. Ulemperne og usikkerhederne handler blandt andet om manglende fleksibilitet, begrænset batterilevetid, dyre reservedele og tvivlsomme miljøfordele for hybridbussernes vedkommende.</p>
Deltag i videreudvikling	<p>Københavns Kommune bør fortsat i samarbejde med Movia og andre drive på med test af ny, relevant teknologi for at styrke udviklingen generelt og indsamle målrettede informationer om fordele og ulemper i en dansk kontekst.</p> <p>Det handler også om at fastlægge operationelle kriterier for, hvor og hvornår hybridbusser, eldrevne busser og eventuelt andre alternativer er velegnede og realistiske.</p>

BILAG 1: Emissioner af NO_x og partikler i 2025

Udarbejdet i december 2013

Reduktion af emissioner ved EURO VI

Som led i at reducere luftforureningen fra vejtrafikken er der på EU-niveau vedtaget et sæt af emissionsnormer, som køretøjerne skal overholde. Normerne indeholder maksimumgrænser for hvor meget køretøjerne må forurene med forskellige stoffer, bl.a. NO_x og partikler. Normerne gælder også for Danmark og betragtes som en veletableret standard.

I dag skal nyindregistrerede busser opfylde EURO V-normen. Fra og med 1. januar 2015 skal nyindregistrerede busser efterleve den kommende EURO VI-norm.

Med EURO VI skærpes grænserne for NO_x-emissionerne fra 2 til 0,4 g NO_x pr. kWh og partikel emissionerne fra 0,02 til 0,01 g pr. kWh. Derudover indføres en række nye testkrav, inklusive off-cyklus test og test under brug. Det betyder, at emissionerne fra EURO VI busser i praktisk anvendelse vil blive reduceret kraftigt og antagelig mere end skærpelsen af normen fra EURO V til EURO VI tilsiger.

Dermed vil den lokale luftforurening i 2025 blive reduceret betydeligt i forhold til de busser der kører i dag, uanset, uanset hvilket drivmiddel, der anvendes. Hvor meget emissionerne reduceres i den konkrete situation på vejene er usikkert. Den reduktion der regnes med her er baseret på en teoretisk model der kan beregne emissioner fra forskellige typer af busser, herunder emissioner fra de nye EURO VI busser. Den anvendte model er baseret på internationale erfaringer og målinger på de teknologier, som man forventer, vil blive anvendt for at overholde de kommende EURO VI normer.

Busser i konkret bybustrafik kan have højere emissioner end de emissioner der er målt ved testopstillinger i forbindelse med typegodkendelserne. Det skyldes, at der er forskel på den konkrete situation ved de enkelte ruter og det køremønster som busserne bliver målt på ved godkendelsen.

Det kan f.eks. hænge sammen med, at der på grund af køremønstre med hyppige start-og-stop og generelt lave hastigheder ikke opnås tilstrækkeligt høje temperaturer i katalysatoren, til at den fungerer optimalt. Disse forhold afspejles antagelig ikke i de standardiserede, fælleseuropæiske testopstillinger, der har været anvendt til emissionsmålinger hidtil.

Det er ikke det samme som at grænseværdierne, der dels gælder for EURO-normerne, dels fremgår af de såkaldte SORT-værdier fra busleverandørerne⁶⁰, ikke overholdes. Busserne overholder normerne, men når de kører med andre køremøn-

⁶⁰ SORT-målinger: Standardized On-Road Test cycle, som omfatter tre standardiserede kørecykluser, der efterligner kørsel i tung-, let- og landtrafik. Movia kræver i dag en SORT-måling (certifikat) for de busmodeller, der vinder kørsel for trafikselskabet

stre end dem man måler på i normerne, forurener de mere end det man ville forvente ud fra normerne.

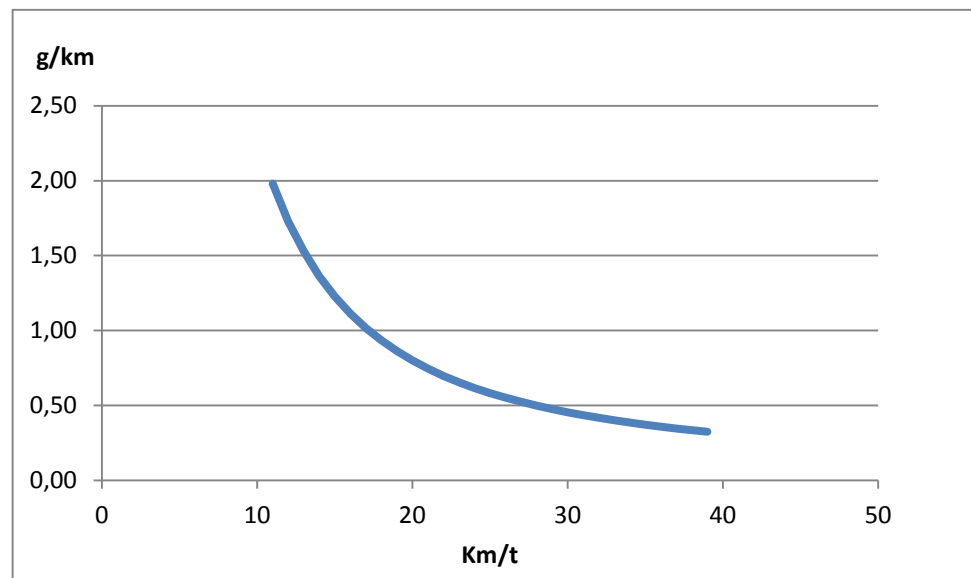
Problematikken med højere emissioner ved lave hastigheder gælder både i dag, hvor nye busser skal opfylde EURO V-normen, og kan på tilsvarende vis også komme til at gælde for den kommende EURO VI-norm. Der er ikke undersøgelser, der viser, at gabet mellem test og virkelighed vil være større for EURO VI-normen end for de tidligere normer. Snarere tværtimod, idet EURO VI normen som noget nyt kræver målinger på køremønstre der er tættere på den virkelige verden.

Problematikken med høje emissioner ved lave hastigheder er indregnet i de emissioner, som vi har beregnet ud fra den anvendte model (Copert).

Problemet med høje emissioner ved lave hastigheder har især været nævnt i forbindelse med SCR katalysatorens evne til at reducere NO_x emissionerne, hvorimod EGR teknologien bedre er i stand til at håndtere de lave hastigheder. I beregningsmodellen (Copert) er der antaget at alle EURO VI busser anvender 100% SCR teknologi, som er mest følsom for lave hastigheder.

Den følgende figur illustrerer den nævnte problemstilling for en mellemstor EURO VI bus. Det ses, at de beregnede emissionerne er markant højere ved lavere hastigheder i forhold til højere hastigheder.

NO_x-emissioner ved forskellige hastigheder for mellemstor EURO VI bus



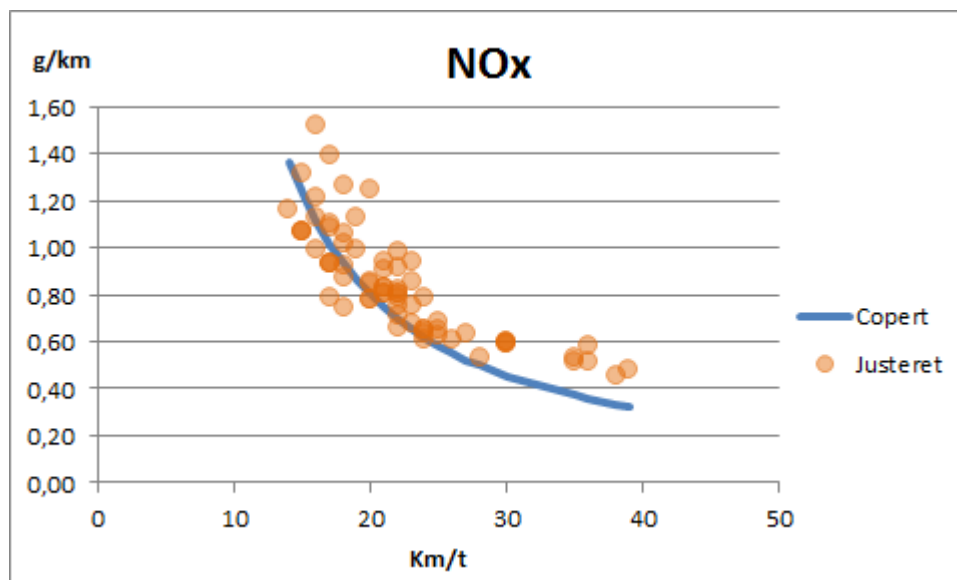
Kilde: Beregninger på Copert, version 10, november 2012.

Ved 39 km/t udleder bussen 0,33 g NO_x pr. km. Ved 11 km/t udleder den samme bus 2 g NO_x pr. km. Der er således forværring svarende til en faktor 6 i emissionerne ved lave hastigheder i forhold til når bussen kører med højere hastighed. Denne sammenhæng er regnet med i de emissioner der forventes fra EURO VI busserne i 2025.

Beregning af emissionerne for busserne i 2025.

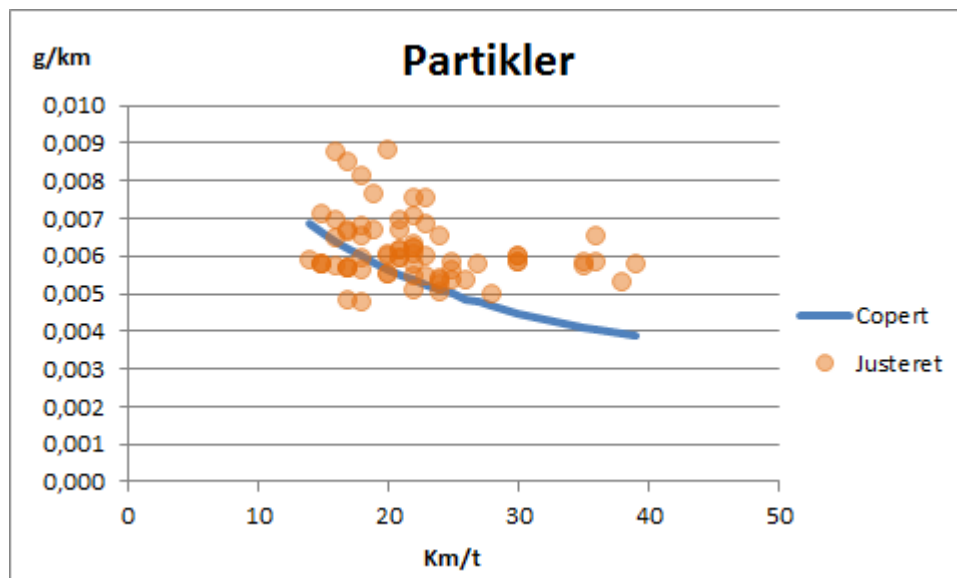
Ved beregningen af bussernes emissioner i 2025 er der taget udgangspunkt i den ovenfor nævnte COPERT model. Beregningerne fra denne model er herefter justeret, således at den svarer til de konkrete forhold på de enkelte ruter. Den følgende figur illustrerer beregningerne.

Beregning af NO_x-emissioner for de konkrete ruter i Københavns Kommune.



Kurven angiver de emissioner som kan beregnes på baggrund af COPERT modellen. Punkterne angiver de justerede emissioner som er tilpasset de enkelte ruter. De fleste punkter ligger over kurven. Det skyldes at køremønstrene på de fleste busruter er mere belastende end de bybus køremønstre der ligger til grund for COPERT. Når konkrete ruter er mere belastende bruger bussen mere energi og giver derfor også højere emissioner.

Beregning af Partikel emissioner for de konkrete ruter i Københavns Kommune.



Ved beregningen af de forventede emissioner for 2025 er anvendt de justerede emissionstal fra de to figurer ovenfor.

På baggrund af metoden beskrevet ovenfor beregnes et vægtet gennemsnit af emissionerne for den samlede kørsel på alle ruterne i Københavns kommune. Ud fra den samlede kørsel på de forskellige ruter fås en gennemsnitlig NO_x emission på xx gram pr. kilometer og en gennemsnitlig partikelemission på yy gram pr. kilometer.

Hybridbusser skal leve op til samme standard som traditionelle busser. Da kravet til emissionerne er angivet pr. energi forbrugt og hybridbusserne bruger mindre energi, betyder det, at hybridbusserne vil få lavere emissioner end de traditionelle busser. I det følgende er der regnet med at hybridbusser bruger 20 % mindre energi og har 20% lavere emissioner.

På baggrund af ovennævnte ræsonnementer kan vi herefter beregne de forventede emissioner for de forskellige teknologier. Disse emissioner er vist i den følgende tabel.

Udledning af NO_x og partikler med forskellige teknologier.

Drivmidler i busser	NO _x g/km	Partikler(PM) g/km
Diesel <u>EURO VI</u>	1,07	0,007
<u>EURO VI:</u>		
Diesel, hybrid	0,86	0,006
Biodiesel (2. gen.)	1,07	0,007
Biodiesel (2. gen.) Hybrid	0,86	0,006
Naturgas	1,07	0,007
Naturgas Hybrid	0,86	0,006
Biogas (2. gen. fra afgasning af gylle)	1,07	0,007
El (VE)	0,00	0,000

Kilde: COPERT version 10, november 2012 kombineret med køremønstre i København som opgjivet af Movia.