SIEMENS
Ingenuity for life

# Grøn omstilling med elektriske busser

**Et studie af miljøvenlige og lønsomme busløsninger i København.**

siemens.dk/ebus

# Opsummering

København har en ambition om at blive verdens første $CO_2$-neutrale hovedstad inden 2025.

Busser er i dag afgørende for en god og effektiv infrastruktur i København. Sammen med S-togene og Metroen transporterer busserne dagligt cirka 1 million passagerer i hovedstadens offentlige transportmidler. Netop effektiv, kollektiv transport er en forudsætning for en by, hvor erhvervsliv og beboere nemt kan komme fra A til B. Undersøgelser viser, at der er en tæt sammenhæng mellem velfungerende infrastruktur og vækst, og samme undersøgelser har placeret København i verdenseliten, når det gælder effektiv, kollektiv transport.

Københavns busser kører i dag primært på diesel. Og til trods for tiltag til at begrænse $CO_2$-udledning og luftforurening fra busserne, er de stadig den største kilde til miljøfarligt udslip i Københavns kollektive trafik.

København har en ambition om at blive verdens første $CO_2$-neutrale hovedstad inden 2025. Hvis det mål skal nås, skal der findes en løsning på de forurenende busser.

Siemens ønsker med denne rapport at bidrage til diskussionen om, hvordan man løser denne problematik og skaber en grønnere hovedstad. Og det skal ske på en måde, der både giver effektiviserings- og miljøgevinster. Vi sammenligner derfor alternative teknologier med de nuværende dieseldrevne busser.

Rapporten ser på etablerings- og driftsøkonomien bag de forskellige teknologier. Den ser også på, hvor effektive de enkelte teknologier er i forhold til at begrænse luftforurening og $CO_2$-udslip. Endelig ser rapporten på mulighederne for at fase en alternativ løsning ind til de københavnske busser, og hvad det vil koste.

Konklusionen i rapporten er klar. Elektriske busser er samlet set den bedste løsning for den københavnske kollektive bustrafik. Det er den mest miljørigtige, og det giver den bedste komfort for passagererne. Og ser man bort fra det indviklede danske afgiftssystem på elektricitet, er det også økonomisk en attraktiv løsning.

Sammenligner vi de elektriske busser med busser, der kører på biodiesel, er de elektriske busser op til tre gange mere energieffektive. Dertil kan man lægge, at den elektriske busløsning kan basere sig på grøn, dansk strøm fra vindmøller, og det vil være en $CO_2$-neutral løsning. Det er med andre ord også miljømæssigt den bedste løsning for København, og den understøtter fornemt ambitionen om at være verdens første $CO_2$-neutrale hovedstad.

Ballerup 11. maj 2016

Steen Nørby Nielsen
Siemens

# Rapportens baggrund

Busser, der kører på fossile brændstoffer, bliver aldrig miljøvenlige.

København har ambitionen om at være verdens første $CO_2$-neutrale hovedstad, og det skal ske inden 2025. Samtidig har den kollektive trafik historisk høj prioritering i Danmark.

I denne rapport ser vi nærmere på, hvordan man kan etablere et kollektivt busnet i København, der tager hensyn til miljøet.

Busser, der kører på fossile brændstoffer, bliver aldrig miljøvenlige. De vil – uanset hvordan brændstoffet produceres – stadig udlede sundhedsskadelige stoffer i bymiljøet (NOx, partikler m.v.) og typisk også $CO_2$. Hvis man vil gøre den kollektive bustrafik bæredygtig, skal man omlægge til et emissionsneutralt drivmiddel.

Når vi i denne rapport kigger på Københavns busser, ser vi nærmere på tre parametre:

### Økonomi
Hvor stor en investering skal der til for at gøre Københavns busser bæredygtige?

### Miljøeffekter
Hvad er de miljømæssige gevinster ved de forskellige teknologier?

### Busdriften
Hvilke konsekvenser – hvis nogen – har busserne på passagerernes hverdag?

# Metode og omfang

## I denne rapport ser vi på de gule busser, der dagligt transporterer københavnerne rundt i byen. Det omfatter de 33 buslinjer, der helt eller delvist finansieres af Københavns Kommune. Der kører i alt 385 driftsbusser på disse linjer.

Vores beregninger går over en periode på 12 år, da det er bussernes levetid. Samtidig har vi regnet med 25 års levetid på de elektriske ladestationer, der indgår i eksemplet. De kan formentlig fungere længere end det, men eftersom busnettet ændrer sig over tid, vil det svare til en reinvestering.

Med hensyn til prisen på el er der regnet med 2,09 kr./kWt. Men prisen på el er en kompliceret størrelse i Danmark, – se afsnittet "El-busser og afgifter" på side 9.

Prisen på andre energiformer som drivmiddel til busser er indsamlet i dialog med aktører i det danske energimarked og valideret i samarbejde med Dansk Elbil Alliance, DEA.

Endelig har vi i forbindelse med anlægsudgifter og investeringer i busser og infrastruktur anvendt en kalkulationsrente på 5 %.

Du kan finde en detaljeret beskrivelse af analysearbejdet på vores hjemmeside: siemens.dk/ebus

**33 forskellige buslinjer**

| Busnr. | Endestation 1 | Endestation 2 |
|---|---|---|
| 1A | Avedøre st | Klampenborg St. |
| 2A | Tingbjerg | Kastrup |
| 3A | Nordhavn St. | Kgs. Enghave |
| 4A | Svanemøllen st | Legravsparken St. |
| 5A | Husum Torv | Københavns lufthavn |
| 6A | Rødovrehallen | Buddinge St. |
| 8A | Friheden St. | Nordhavn St. |
| 9A | Glostrup St. | Operaen |
| 10 | Rådhuspladsen | Brønshøy Torv |
| 12 | Femøren st. | Islev |
| 13 | Brøndby Strand St. | Bellahøj |
| 14 | Ny Ellebjerg st | Ryparken |
| 21 | Hellerup St. | Rødovre St |
| 22 | Husum Torv | Brøndbyøster St. |
| 26 | Ålholms Plads | Færgeterminal Søndre Frihavn |
| 27 | Østerport St. | Oceankaj |
| 31 | Vanløse | Vesterport St. |

| Busnr. | Endestation 1 | Endestation 2 |
|---|---|---|
| 33 | Rådhuspladsen | Dragør Stationsplads |
| 34 | Flintholm St. | Søvang |
| 35 | DR Byen St. | Københavns lufthavn |
| 37 | Refshaleøen | Nordhavn St. |
| 42 | Ballerup St. | Nørreport St. |
| 66 | Emdrup Torv | Holmens Kirke |
| 68 | Vesterport St. | Værebroparken |
| 77 | Sundbyvester Plads | Sundbyvester Plads |
| 78 | Sundbyvester Plads | Sundbyvester Plads |
| 132 | Valby St. | Tingbjerg |
| 133 | Avedøre st | Valby St. |
| 142 | Skovlunde St. | Flintholm St. |
| 166 | Hellerup Skole | Vallensbæk St. |
| 176 | Emdrup Torv | Skovshoved |
| 184 | Holte St. | Nørreport St. |
| 185 | Nørreport St. | Klampenborg St. |
| | | |

## Syv forskellige teknologier

Rapporten har undersøgt syv forskellige fremtidsteknologier for busser.

**Diesel**

**Biodiesel**

**Biogas**

**Standard hybrid (uden ladning)**

**Ladbar hybrid**

**El-ladning natten over**

**El-hurtigladning på endestation**

# To forskellige ladekoncepter

## Som ethvert andet elektrisk apparat skal en elbus også bruge strøm. I dag findes der to måder at gøre dette på.

Det ene koncept er en bus med batterier, som lades op i løbet af natten på et depot eller på et værksted (også kaldet overnight charging). Her lades bussen op med en manuel tilkobling, ligesom vi kender det fra elektriske biler i gadebilledet. Sådan en løsning kræver en middelstor ladeeffekt per bus, og depoterne vil derfor have behov for en meget stor og omkostningstung tilslutning til elnettet, hvis mange busser skal lades op samtidigt. Bussen vil have en begrænset rækkevidde alt afhængigt af batteriets størrelse. Med en busrute, der kører fra tidlig morgen til sen aften, vil operatøren formentlig have behov for at indsætte ekstra busser, når bussen løber tør for strøm. Vi har estimeret med 15% ekstra busser.

En anden løsning er at oplade bussen på busrutens endestationer i løbet af dagen (en såkaldt opportunity charging). Her vil bussen køre med væsentligt mindre batterier, hvilket for det første betyder, at bussen bliver lettere, og for det andet at der bliver mere plads til passagererne inde i bussen. Vælger man denne løsning, kræver det, at man etablerer en ladeinfrastruktur på endestationerne, hvor der kan lades med høj effekt, når bussen holder stille. Fordelen ved denne løsning er, at bussen får tilført tilstrækkeligt med energi i løbet af dagen, så man kan gennemføre ruterne – selv med relativt små batterier. Og så stiller det mindre krav til elforsyningsnettet.

Begge former for opladning er tilgængelige på markedet i dag. I Sverige findes der allerede to pilotprojekter, der tester elektrisk opladning ved busrutens endestationer. Disse busser er i daglig kommerciel drift på to ruter i henholdsvis Göteborg og i Stockholm, og i København testes samme teknologi fra sommeren 2016.

### To ladekoncepter

I dag findes der to ladekoncepter for helt elektriske busser.

**Hurtigladning på endestation**
(automatisk tilkobling)

**Ladning natten over**
(manuel tilkobling)

# El-busser og afgifter

## Økonomi og miljø er hovedargumenterne for indførelsen af elektrisk busdrift. Men de danske elafgifter er EU's højeste, og gør det svært at sammenligne busserne med de andre transportformer.

I Danmark er vi noget nær verdensmestre i at producere grøn elektricitet. 50 % af vores strøm kommer fra bæredygtige energikilder, overvejende vindmøller. Men vores særlige danske afgiftssystem gør det kompliceret at sammenligne økonomien ved at anvende denne strøm i transportsektoren.

De danske afgifter på elektricitet er de højeste i EU. Som loven er p.t., vil en kollektiv transportløsning i København, baseret på elektriske busser, skulle betale samlede elafgifter på 91 øre/kWh. Det svarer til en omkostning på 49 mio DKK årligt i det københavnske eksempel i denne rapport. I mange andre EU-lande, som vi kan sammenligne os med, betaler den eldrevne kollektive bustransport, hvad der svarer til 0,4 øre/kWh i elafgifter.

I Danmark betaler andre meget energiforbrugende erhverv, letbaner samt DSB 0,4 øre/kWh inklusive moms. Under den nuværende lovgivning vil et eldrevet bussystem altså skulle betale voldsomt højere afgifter end fx de kollektive transportmidler, der kører på skinner.

Beslutter man at indføre elektriske busser i Danmark, er det en forudsætning, at man træffer en politisk beslutning om at give strømforbrugerne i transportsektoren lige vilkår. Derfor har vi valgt at udelade de danske elafgifter fra regneeksemplerne i denne rapport. Det har vi gjort for overskuelighedens skyld og i fuld åbenhed, fordi vi mener, at det giver det mest realistiske diskussionsgrundlag.

Sammenligningerne mellem dieseldrift og eldrift er også komplicerede på grund af forskellig afgifts- og prisstruktur. Men da en forventelig politisk beslutning om ligestilling af kollektiv eldrift på bane og vej vil minimere eller fjerne PSO-afgiften på eldrift, er denne taget ud af sammenligningerne med dieseldrift. Omvendt er det næppe sandsynligt, at de nuværende dieselafgifter vil blive justeret nedad i fremtiden, hvorfor disse afgifter er medtaget i rapportens analyser.

Tilbage står en sammenligning, der i højere grad er baseret på transportteknologiernes karakteristika, frem for de politisk besluttede afgiftsforskelle på teknologierne.

Det kan være svært at sammenligne løsninger, der baserer sig på diesel, elektricitet eller andre energikilder, når man ønsker grøn omstilling.

# Mest miljø for pengene

## Hvis man har besluttet, at man vil have en miljørigtig bustransport uden fossile brændstoffer i København, vil der overordnet være tre relevante teknologier at kigge på: Biodiesel, biogas og elektricitet.

Faktisk er elektrificeringen samlet set 49,5 mio DKK billigere end biogas over en 12-årig periode.

Vores undersøgelse har udregnet business casen for dem alle tre. Resultatet viser entydigt, at den elektriske model er den bedste, hvis man ser bort fra de mange, komplicerede afgifter, der lægges på den danske elpris. Faktisk er elektrificeringen samlet set 49,5 mio DKK billigere end biogas over en 12-årig periode. Og hele 32 mio DKK billigere end biodiesel over den samme 12-årige periode.

Og ser man på $CO_2$-udledning og luftforureningen, altså NOx og partikel-forureningen, er elektricitet den eneste fremdrivningsteknologi til busser, der ikke forurener i bymiljøet overhovedet. Det kunne alene være argument nok for at vælge den løsning.

Således kommer den elektriske løsning bedst ud af alle tre sammenligninger: Pris, $CO_2$ og renhed i byens luft.

### Lokal emission af skadelige stoffer

# Ny teknologi giver renere luft

## Verdens store byer har problemer med luftkvaliteten, og det gælder også København.

En del af løsningen er at lave gode, kollektive trafikløsninger, der kan erstatte dele af privatbilismen. Men hvis det for alvor skal give en effekt, skal de kollektive trafikløsninger være miljøvenlige og $CO_2$-neutrale. Ellers vil de selv bidrage til luftforureningen.

Ser man på Københavns dieselbaserede busser, har de en samlet udledning på ca. 37.000 ton $CO_2$ om året, heraf 25.000 ton i Københavns Kommune og 12.000 ton i de øvrige kommnuner. Udslippet er reduceret gennem de sidste år, fordi teknologien er blevet bedre, og motorerne i dieselbusserne er blevet mere effektive.

Siden 2014 har det været et krav, at alle nye busser skal følge motorstandarden Euro VI, som stiller strenge krav til reduktion i tunge køretøjers udledning af sundhedsskadelige stoffer.

Men det ændrer ikke ved, at diesel som drivmiddel til busser fortsat er en af de væsentligste kilder til luftforurening i Københavns offentlige trafik. Og det kan ikke for alvor ændre sig, før busserne går væk fra diesel og baserer sig i stedet på vedvarende energi.

En overgang til elektriske busser vil fjerne både $CO_2$ og NOx helt. Det vil være et godt bidrag til at reducere lokale, sygdomsfremkaldende udledninger i de københavnske gader. Det vil også reducere trafikstøjen til glæde for passagererne og for alle, der dagligt bruger byen og arbejder i den.

# Kombinerede teknologier

## For enkelthedens skyld har vi i denne rapport sammenlignet rene teknologier. Altså rene diesel-løsninger mod rene el-løsninger mod andre teknologier.

Virkelighedens verden er lidt mere kompleks end som så. Der er nogle busruter, der egner sig glimrende til udelukkende at basere sig på elektriske busser. Andre ruter har en geografi og nogle omstændigheder, hvor det vil give mening at benytte en kombination af flere teknologier, for at få de bedste, kollektive trafikløsninger. Det vil typisk være hybridbusser, der kombinerer en elektrisk motor med en dieselmotor.

Men hver eneste busrute, der omlægges fra diesel til elektricitet, vil give en renere by og en begrænsning af $CO_2$-udledningen. Analysen i denne rapport viser, at der på nuværende tidspunkt ikke er nogen drivmidler, der rent økonomisk kan konkurrere med diesel. Skal målsætningen for den grønne omstilling realiseres indenfor en overskuelig fremtid, er dette et element, man er nødt til at kigge på.

**En omlæging til elektriske busser med hurtiglading kan gøres på otte af ti ruter, uden at der er behov for at ændre rutetiden.**

# Elektriske busser er i daglig drift i Göteborg

## Det kan sagtens lade sig gøre. Elektriske busser med hurtigladere (opportunity charging) er i daglig drift i flere byer allerede, blandt andet i Hamburg, Stockholm og Göteborg.

I netop Göteborg køres der på en testrute med tre elektriske busser og syv hybridbusser. Alle busserne er udstyret med batterier, der kan oplades, når bussen holder ved sine endestationer. Selvom ladestationerne kan leveres med en effekt fra 150 kW op til 450 kW, er det værd at bemærke, at Göteborg kun har haft behov for ladestationer med en effekt på 150 kW for at kunne drive deres busser. Busserne i Göteborg har kørt på vejene siden juni 2015, og erfaringerne fra projekterne er rigtig gode.

Flere af de store busproducenter, satser på elektriske busser, og der er efterhånden flere modeller at vælge mellem. ligefra de traditionelle på 12 meter og op til ledbusser på over 18 meter. Man forventer at busmodellerne allerede vil kunne masseproduceres fra begyndelsen af 2017.

**Helt elektriske busser i Göteborg**

Busrute nummer 55 i Göteborg har fået sin helt egen opladningscentral ved endestationerne. Busserne transporterer hver dag svenskere fra Lindholmen til Johanneberg i den smukke svenske havneby.

# Hovedkonklusioner

## Resultaterne af vores undersøgelse viser, at det vil være en fordel at basere fremtidens kollektive busdrift i København på elektriske busser.

Miljømæssigt er der ingen tvivl om, at elektriske busser er den bedste løsning. Det er også entydigt, at det giver en bedre luftkvalitet til københavnerne, ligesom det understøtter en enig borgerrepræsentations ønske om at gøre den danske hovedstad til den første $CO_2$-neutrale by i verden. Og ser man bort fra det komplicerede danske afgiftssystem på elektricitet, er det også driftsøkonomisk set den bedste løsning.

Rapporten viser, at teknologien til de elektriske busser og deres ladestationer er fuldt moden og klar til udrulning i stor skala. Det betyder, at omstillingen til elektriske busser – hvis det er det, man beslutter – kan ske hurtigt og uden teknologiske forhindringer. Hele 28 af 33 ruter lader sig umiddelbart elektrificere. Og det er uden, at det er nødvendigt at omlægge deres ruter eller foretage ændringer i driften. Vores undersøgelser viser ydermere, at de resterende fem ruter også kan elektrificeres med mindre tilpasninger.

I forhold til økonomien i omstillingen til elektrisk busdrift bliver en sammenligning mellem de nuværende dieseldrevne busser og fremtidens elektriske besværliggjort af et kompliceret dansk afgiftssystem på elektricitet. Et afgiftssystem, der ikke tilgodeser elektrificering.

Vi har i denne rapport ønsket at lave den reneste sammenligning mellem teknologier til transport, og har derfor både lavet beregninger med de eksisterende elafgifter og med de elafgifter DSB, letbaner og metro bliver afkrævet – læs mere i rapportens afsnit: "El-busser og afgifter", side 9.

Hvis man forestiller sig, at alle busser i København elektrificeres med hurtigladere (opportunity charging) ved deres endestationer, vil udskiftningen – fraregnet elafgifter – koste cirka 19 mio. DKK om året over en 12-årig periode sammenlignet med dagens dieseldrevne busser. Med de nuværende afgifter vil omkostningerne være cirka 82 mio. DKK om året. Og det er vel at mærke i en situation med kendte, stabile priser på elektricitet. Lige nu er dieselpriserne lave, men der er ingen, der ved, hvordan de vil være om fem år. Der er derfor en betydelig usikkerhed ved at budgettere med prisen på fossile brændstoffer, mens elprisen er nogenlunde stabil.

Sidst men ikke mindst vil elektriske busser i København spare mindst 37.000 ton i $CO_2$-udledning, sammenlignet med dagens dieseldrevne busser. Og de giver københavnerne renere luft at indånde hver dag.

Samlet set er det rapportens entydige anbefaling at bygge busdriften i den kollektive trafik op omkring elektriske busser i fremtiden.

# Kilder og dialoger

## Der er anvendt en række forskellige kilder i dette casestudie, og vi har løbende været i dialog med vigtige aktører i markedet.

### Vigtigste kilder

- Omløbsplaner for 33 Københavnske busrute fra Movia
- Tabel med energipriser og afgifter fra Dansk Elbil Alliance
- EU Emission Standards – Euro VI
- "Busteknologi i København frem mod 2025" udarbejde af Cowi for Københavns Kommune (maj 2015)
- "Måleprogram for tunge CNG-køretøjer" udarbejdet af Teknologisk Institut for Trafik- og Byggestyrelsen (Oktober 2015)
- Best økonomi og luftkvalitet med elbuss, Siemens Norge (2015)

### Dialog og sparring

- Movia
- Københavns Kommune
- EON
- Clever
- Umove
- Volvo
- Samtaler og generel valideringsproces i samarbejde med Dansk Elbil Alliance.

**Siemens A/S**
Borupvang 9
2750 Ballerup

**www.siemens.dk/ebus**