

Til:

Region Hovedstaden

Dokumentnummer
1721468**Dato**
14 12 2023**Sagsbehandler**
SES**Direkte**
+45 36 13 19 74CVR nr: 29 89 65 69
EAN nr: 5798000016798**Notat om brintbusforsøg på linje 300S****1 Resume og konklusion**

Region Hovedstaden og Movia har i samarbejde med busoperatøren Nobina gennemført et forsøg med brintbusdrift på linje 300S i 2022 og 2023. Forsøget afrapporteres i dette notat.

Forsøget har vist, at brintteknologien teknisk set godt kan fungere i praksis, men at markedet for brintforsyning er ikke modent, og at busserne fortsat produceres i så lave styktal, at de er udsatte for børnesygdomme. Hertil kan lægges, at brintbusser er væsentligt dyrere end batterielektiske busser, langt mindre energieffektive og ikke mere miljøvenlige end elbusser.

Når det sammenholdes med, at Movias behov i dag kan dækkes billigere og mere stabilt selv på de regionale linjer, er brintbusser for på nuværende tidspunkt ikke en relevant teknologi i Movias drift.

Dette understøttes af, at Movia til trods for at Movia stiller funktionskrav i udbuddene aldrig har modtaget tilbud baseret på brint. De internationale erfaringer peger da også på, at brintbusser på nuværende tidspunkt især har deres berettigelse under mere ekstreme betingelser i forhold til topografi og klima, end der findes i Movias busdrift.

1.1 Rapportens opbygning

Rapporten indledes med en formålsbeskrivelse i afsnit 2 samt en nærmere beskrivelse af forsøget i afsnit 3. I afsnit 3.1 fokuseres på erfaringerne med brinttankanlæggene, mens afsnit 3.2 og 3.3 fokuserer på stabiliteten af den samlede drift og erfaringerne med bussen.

I afsnit 4 perspektiveres til den aktuelle status på grøn omstilling af Region Hovedstadens busdrift samt erfaringerne med brintbusser hos andre danske trafikskelskaber og i udlandet.

Afsnit 5 indeholder en kortfattet vurdering af økonomi og miljøeffekt i brintbusdrift samt et bilag med de nærmere specifikationer på forsøgsbussen.

2 Indledning

Movia samarbejder løbende med busoperatørerne om at afprøve nye miljøvenlige teknologier. Formålet er at fremme markedets modenhed gennem opbygning af viden og erfaringer, hvilket i sidste ende vil fremme anvendelsen af nye teknologier og reducere omkostningerne for operatørerne. Dette vil også, alt andet lige, resultere i lavere omkostninger for ejerne.

Movia vurderede i 2018, at elbusser havde en rækkevidde på 200 til 275 kilometer, hvilket ikke blev vurderet som tilstrækkeligt til at omstille alle Movias linjer. Forventningen i 2018 var, at brintbus teknologien var i rivende udvikling og inden for en kort periode ville være konkurrencedygtig med dieselbusser, set fra et TCO-perspektiv. Movia og Region Hovedstaden, som har nogle af Movias tungeste buslinjer, havde derfor interesse i at få afklaret potentialet i drift med brintbusser.

Efter ønske fra Region Hovedstaden stillede Movia i udbud A18 (udbud af almindelig rutekørsel i Movia) krav til at operatøren af linje 300S på Movias forlangende skulle gennemføre et forsøg med drift af en brintbus. Udbud A18 blev gennemført i 2019.

2.1 Formål

Forsøget har til formål at skabe viden om drift med brintbusser i praksis i samarbejde med og på tværs af operatørerne. I forsøget skulle en brintbus testes i et 2-årigt forsøg med kørsel under forskellige kørselsmønstre, bykørsel, landevejskørsel og motorvejskørsel. Erfaringer med brintdrift skulle understøtte Region Hovedstadens mål om at busdriften udbydes som emissionsfri drift fra 2022 samt at region Hovedstaden skal have udskiftet dieselbusser med emissionsfri busser senest i 2030.

3 Forsøget

Det er busoperatøren Nobina, som har gennemført forsøget med en 12 m brintbus. Brintbussen er produceret af CaetanoBus i samarbejde med Toyota og er af modellen H2.City Gold. Bussen indgik i operatørens busflåde som en ekstra bus. Operatøren havde dermed hele tiden også en dieselbus, som kunne indsættes som erstatning for brintbussen. Det var planen, at brintbussen skulle idriftsættes umiddelbart efter nytår i 2022. Levering af bussen blev dog forsinket, og bussen blev først indsat i driften den 11. januar 2022. Bussen skulle have været i drift til udgangen af 2023. Bussen blev dog allerede taget ud af drift i juni 2023 som følge af problemer med brinttankanlægget, og kom aldrig igen i drift, se afsnit 3.1.

Frem til april 2023 blev bussen brugt i nogle korte vognløb på linje 300S, som ikke udfordrede bussens rækkevidde. I april 2023 blev bussen indsat på nogle længere vognløb, så bussen nu kørte ca. 215 km pr. dag. Det var planlagt, at bussen skulle indsættes på lange vognløb, hvor den skulle køre op til 300 km pr. dag. Bussen skulle desuden testes på linje 400S, hvor den også skulle køre på motorvej. Da bussen allerede måtte blive taget ud af drift i juni 2023, var det ikke muligt for operatøren at gennemføre de planlagte tests.

3.1 Tankanlæg

Som et led i projektet indgik Nobina en aftale med Everfuel, en leverandør af brint til transport, om at benytte det eksisterende brinttankanlæg på Prags Boulevard i København til tankning af brintbusser. Tankanlægget på Prags Boulevard ligger 30 minutters kørsel fra Nobinas garageanlæg i Glostrup, hvor brintbussen var garageret. Som alternativ overvejede Nobina muligheden for at opstille et mobilt brinttankanlæg på garageanlægget ved hjælp af en lastbilanhænger med brint og en tilhørende kompressor. Dette mobile anlæg ville kræve samme plads som en 20 fods container. Nobina vurderede på baggrund af projektets omfang med kun en bus og en begrænset tidsperiode på 2 år, at det ikke økonomisk og praktisk gav mening at opstille et separat tankanlæg på garageanlægget. Da projektet startede, krævede det udskiftning af

kompressoren på Prags Boulevard-anlægget, da den eksisterende ikke kunne opnå det nødvendige tryk til at fylde brinttanken på bussen korrekt.

Tankanlægget på Prags Boulevard blev længerevarende lukket i slutningen af juni 2023 på grund af en sikkerhedsfejl på ventilerne i de påfyldningskøretøjer, som leverede brint til tankanlægget. Dette resulterede i, at Everfuel ikke kunne levere brint til tankanlægget, og Nobina kunne derfor ikke længere tanke bussen. I begyndelsen af august 2023 meddelte Everfuel, at de lukkede flere tankstationer permanent, og at disse tankstationer ville forblive lukkede indtil videre. Everfuel informerede Nobina og Movia om, at tankanlægget ikke ville nå at komme i drift igen inden afslutning af forsøgsperioden. Nobina undersøgte alternative muligheder for at tanke brintbussen, herunder brug af eksisterende tankanlæg, men disse var geografisk placeret så ugunstigt, at det ikke gav mening at benytte dem. Nobina undersøgte også muligheden for at opstille et mobilt tankanlæg på Nobinas garageanlæg, men det viste sig ikke at være muligt inden for den korte tilbageværende tidsramme for forsøget.

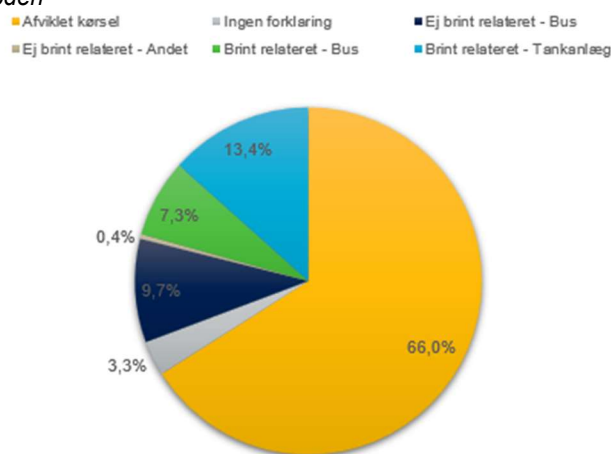
Erfaringerne med brinttankanlægget viser, at brinttankinfrastrukturen er en udfordring for forsyningssikkerhed ved brug af brint som drivmiddel. I Movias område er der kun én leverandør af brint til transport. Hvis busdriften er afhængig af denne ene leverandør, er der en betydelig risiko for, at forsyningen af brint kan svigte af forskellige årsager hos brintleverandøren. Til sammenligning er der en meget høj forsyningssikkerhed for elektricitet, da elektricitet udgør en kritisk infrastruktur for samfundet.

Nobina har oplevet en høj grad af brugervenlighed ved tankning, da tilkobling mellem bussen og tankanlægget har været enkel og håndterbar for chaufførerne. Processen med at tanke fra en tom til en fuld tank tager cirka 8 minutter. Til sammenligning tager tankningen af en konventionel dieselbus, afhængig af tankens størrelse, normalt mellem 6 og 8 minutter.

3.2 Driftsstabilitet

Gennem hele perioden har operatøren dokumenteret årsagerne til at bussen ikke kunne udføre den planlagte drift. Dette resulterer i en tilgængelighed (afviklet kørsel) på 66 % for brintbussen, hvilket er meget lavt sammenlignet med diesel- og elbusser. El- og dieselbusser har en tilgængelighed over 90 %. Hovedårsagerne til, at bussen ikke kunne deltage fuldt ud i driften, er vist i Figur 1. Forholdene på tankanlægget tegnede sig for 13,4% af den aflyste drift, mens fejl på selve bussen udgjorde 17 %, heraf er 7,3 procentpoint vurderet som brintteknologirelateret. Dette tegner et billede af, at både brintbusteknologien og tankanlægsteknologien er umoden.

Figur 1. Driftsstabilitet og årsagerne til at bussen ikke har været i drift i forsøgsperioden



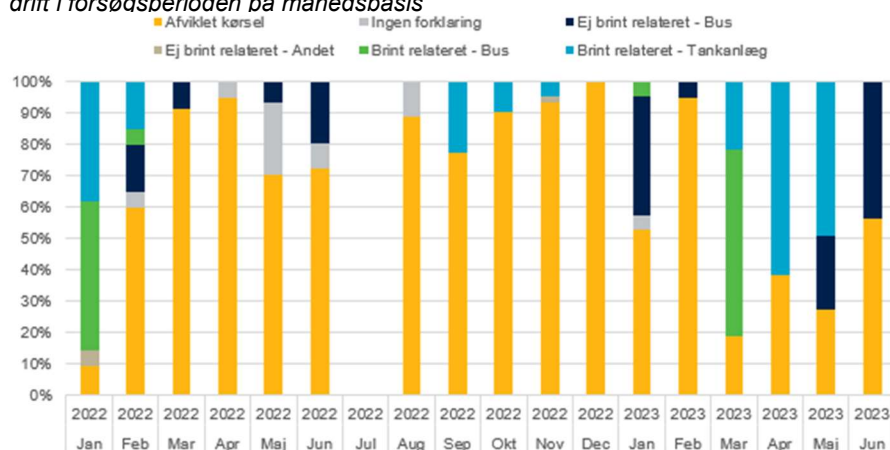
Årsagerne til nedbrud er angivet i Tabel 1.

Tabel 1. Årsagsforklaringer

Årsagsforklaringer	Beskrivelse
Brintbus relateret - Bus	Denne kategori indeholder brintrelaterede årsager på bussen, der har forhindret den i at udføre driften. Det indeholder fejl på convertere som aflader bussen, fejl ved opladning af batteriet og fejl ved visning af brintmængden på bussen.
Brint relateret – Tankanlæg	Denne kategori indeholder forhold på brinttankanlægget der har forårsaget at bussen ikke har kunnet tanke og dermed ikke har kunnet udføre den planlagte drift. Tankanlægget har været lukket for tankning af flere årsager herunder; nedbrud på kompressor, påkørsel og fejl på ventiler på påfyldningskøretøjerne.
Ej brint relateret – Bus	Kategorien indeholder ikke brintrelaterede fejl på bussen herunder fejl på skiltning, rampesensor, service, andre sensorfejl og fejl på døre.
Ej brint relateret – Andet	Indeholder deltagelse ved arrangementer og en enkelt dag med fejl på rejsekortudstyr.

Figur 2 viser samme fordeling som i Figur 1 opdelt på måneder.

Figur 2. procentvis driftsstabilitet og årsagerne til at bussen ikke har været i drift i forsøgsperioden på månedsbasis



Figur 2 viser, at brintbussens driftsstabilitet primært blev udfordret ved opstarten i januar og februar 2022 samt i perioden marts-juni 2023. Brintbussen havde en fejl fra start, det samme gjorde sig gældende for tankanlægget, hvor kompressoren var utilstrækkelig til optankning af brintbussen. Det betød at brintbussen næsten ikke var i drift i den første måned. I de seneste måneder af forsøget var driftsstabiliteten også meget nedsat, hvilket både skyldes fejl på bussen og på tankanlægget. Ses der kun på månederne fra februar 2022 til februar 2023, havde brintbussen væsentligt højere driftsstabilitet på 83,8% men denne stabilitet vurderes også som lav i forhold til drift med el- og dieselbusser.

Sammenlignes antallet af fejl på brintbussen med syv elbusser af næsten samme alder, viser det, at brintbussen kørte 1.129 kilometer pr. indberettet fejl, mens elbusserne kørte en smule længere med 1.195 kilometer pr. indberettet fejl. Dette antyder, at de to bustyper har en tilsvarende hyppighed af tekniske problemer.

En sædvanlig praksis hos Movias operatører er at købe flere busser af samme model. Dette gør operatørens mekanikere mere fortrolige med de specifikke fejl, der typisk opstår på den pågældende busmodel. Når en fejl opstår på en bus, vil mekanikere få erfaring med den pågældende fejltype, og de vil hurtigere kunne rette den samme fejl på øvrige busser af samme model. I tilfældet med brintbussen var den imidlertid den eneste af sin art på garageanlægget. Dette vanskeliggør værkstedets håndtering af fejl og kan føre til længere reparationsperioder. En softwarefejl resulterede f.eks. i udfordringer i starten af forsøget. Da

værkstedet ikke kunne rette fejlen på grund af, at computerkoden var skrevet på portugisisk, måtte Caetano sende en mekaniker til garageanlægget for at løse problemet. Mekanikeren fra Caetano ankom først flere dage efter fejlen var opstået, og bussen var ude af drift indtil fejlen var rettet. Hvis en lignende fejl var opstået på en af de syv busser af samme model, ville operatøren sandsynligvis have fået rettet softwarekoden på alle syv busser, hvilket kunne forhindre, at den samme fejl opstod på andre busser. Det ville kunne sænke det samlede antal fejl og nedetid.

Under forsøget opdagede Nobina, at brintbusser har brug for en konstant strømforsyning for at køre. Efter 20-30 minutters kørsel på motorvejen uden passagerer blev batteriniveauet så lavt, at bussen ikke kunne fortsætte. Bussen skulle oplades fra en anden kilde, før den kunne køre igen. Dette viser, at denne brintbus er bygget til bykørsel. Det vises også ved, at brændselscellen er designet til at lave 60 kW strøm, men motoren kan bruge op til 180 kW. Dette betyder, at bussen kan køre med en mangel på 120 kW, og dette hulfyldes af batteriet, der har en kapacitet på 44 kWh. Det betyder, at hvis bussen kører uafbrudt med maksimal belastning i 22 minutter, vil batteriet være tomt. Dette er dog ikke så meget et problem, fordi bybusser og regionalbusser stopper ofte ved stoppesteder, og dette reducerer belastningen og hjælper med at oplade batteriet ved bremsning. Så selvom det er noget at være opmærksom på, adskiller det sig ikke meget fra andre busser med alternative brændstoffer.

3.3 Rækkevidde og forbrug

I gennem hele forsøgsperioden er der tanket 1628 kg brint og kørt 37.666 kilometer, hvilket resulterer i et gennemsnitligt forbrug på 4,32 kg brint/100 km. På en minikonference om status for drift med brintbussen, som Movia arrangerede sammen med Nobina i november 2022, oplyste Caetano, at bussens forbrug af brint var 6,12 kg H₂/100 km. Det har ikke været muligt at identificere årsagen til denne forskel i bussens forbrug. Caetano har opgjort busmodellen forbrug til, at den kører fra 5,5 kg H₂/100km¹, og ifølge Caetano har busmodellen det laveste forbrug for brintbusser på markedet.² I et forsøg afsluttet i 2021 forbrugte en Caetanobus i Dublin 5 kg H₂/100km over en forsøgsperiode på to år.³ I andre undersøgelser forbruger brintbusser af samme størrelse produceret af andre fabrikater mellem 6,7⁴-9,2⁵ kg brint/100km. Brintbussen har ifølge Caetano en rækkevidde på mere end 450 kilometer afhængigt af de operationelle forhold. Forsøget nåede desværre ikke at teste rækkevidden som planlagt, men såfremt brintbussen forbruger 6,12 kg brint/100km og med en tankkapacitet på 37,5 kg brint har brintbussen teoretisk en rækkevidde på 612 km.,

¹ [CB Brochura h2.City Gold Desenvolvimento ENGLISH 2021-11-04.indd \(caetanobus.pt\)](#) s. 11

² [CaetanoBus leads the European Hydrogen bus market in the first half of 2023 and is presenting in Brussels the newest generation of H2.CityGold - Caetanobus](#)

³ [Caetano hydrogen bus trial in Dublin successfully ended with 3,000km covered - CBW \(cbwmagazine.com\)](#)

⁴ [Deliverables JIVE D3.22 JIVE2 D3.6 D4.3 final.pdf \(fuelcellbuses.eu\)](#) s. 47

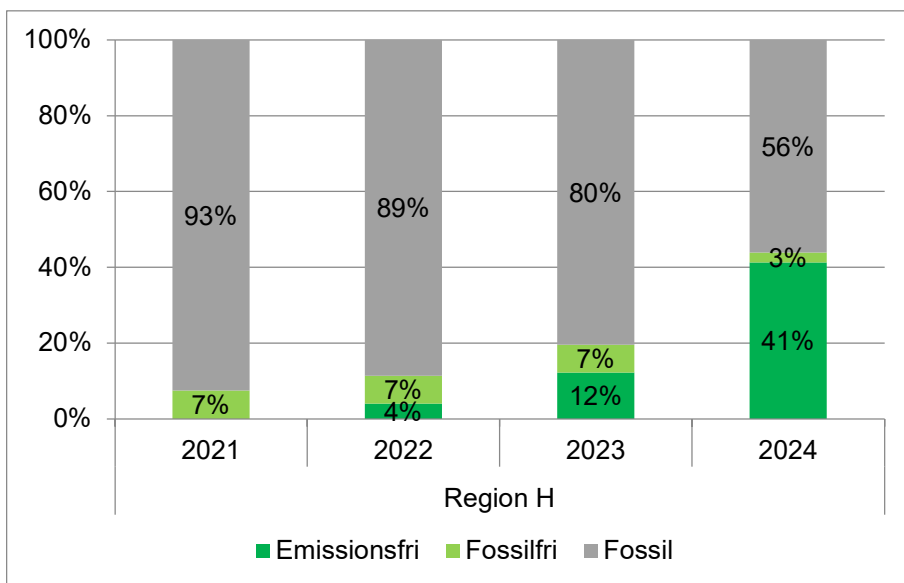
⁵ [Monitored data and social perceptions analysis of battery electric and hydrogen fuelled buses in urban and suburban areas \(sciencedirectassets.com\)](#) s. 14

4 Region Hovedstadens linjer

Region Hovedstaden indgik i december 2020 en klimaaftale grøn kollektiv trafik med den daværende regering. Det fremgår af aftalen, at alle nye udbud af busser på regionale ruter, som Movia gennemfører fra 2022 (og hvor busserne idriftsættes fra 2024 og frem) skal være emissionsfri. Allerede i 2020 gennemførte Movia det første udbud af regionens linjer med krav om emissionsfrihed. Det drejede sig om linje 380, 98N og linje 230R. Siden har Movia udbudt regionens linje 15E, 150S, 250S, 55E, 65E, 90N, 91N, 94N, linje 123 og 600S.⁶ Operatøren af linje 500S har desuden frivilligt valgt at omstille 17 ud af 25 busser fra diesel-til elbusser.

Ved udgangen af 2024 vil 41 pct. af Region Hovedstadens busdrift være betjent med elbusser, jf. Figur 3.

Figur 3. Region Hovedstadens busdrift opdelt efter miljøydelse, andel af køreplanstimer ultimo år



Når Movia udbyder emissionsfri drift, stiller Movia krav til, at busserne ikke må udlede CO₂ eller lokal luftforurening (f.eks. NO_x og partikler) fra bussens motor. Operatøren kan vælge den tekniske løsning til at levere emissionsfri drift, som operatøren foretrækker. Det giver operatøren mulighed for at vælge mellem at tilbyde elbusser eller brintbusser.

Selvom operatørerne altså kan tilbyde brintbusser som teknisk løsning for emissionsfrihed, har Movia endnu ikke modtaget tilbud baseret på brintbusser. Det skyldes ifølge operatørerne, at brintbusser ikke er et konkurrencedygtigt alternativ til elbusser. Brintbusser er dyrere at anskaffe end elbusser og driftsomkostningerne (drivmiddel og service) er også højere, se afsnit 4.

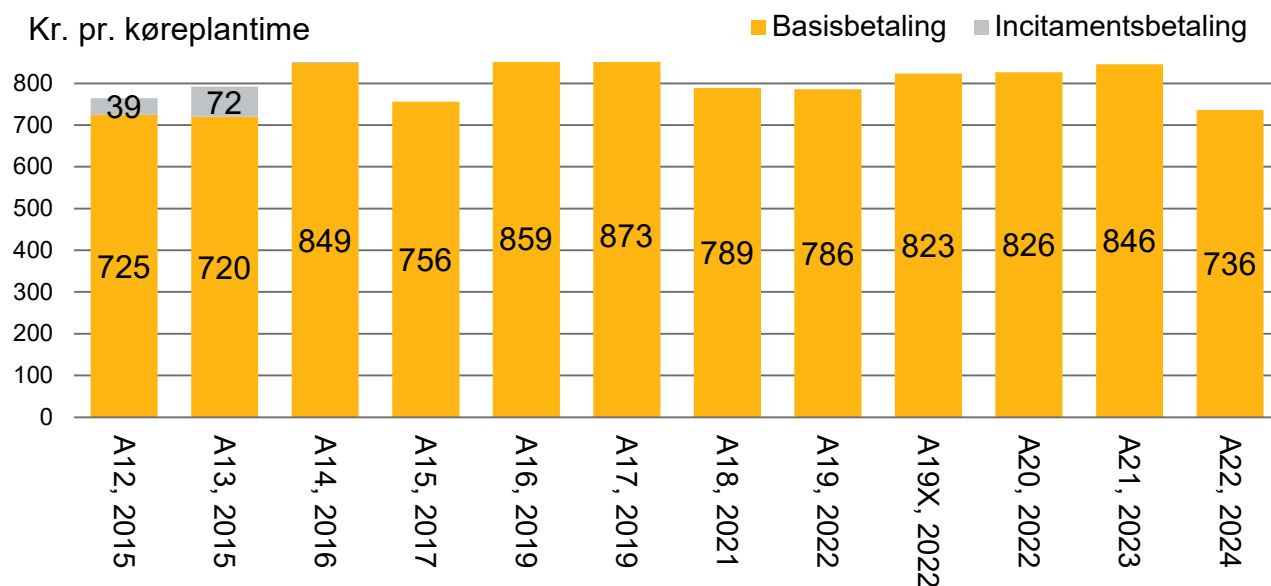
Region Hovedstadens og Regions Sjællands fælles linje 600S er den af Movias buslinjer, som Movia betragter som vanskeligst at omstille til eldrift. På hverdage kører de 21 driftsbusser i gennemsnit 440 km pr. bus, hvilket er mere end elbussers rækkevidde. Operatøren vil have brug for at anskaffe et antal ekstra elbusser til at gennemføre driften i forhold til det antal dieselbusser, som kræves ved dieseldrift/drift med HVO-biodiesel. Linje 600S betjenes i dag med HVO-biodiesel. Ved genudbud af busdriften sparede Region Hovedstaden 4,6 mio. kr. årligt på operatørbetaling. Samlet sparede Region Hovedstaden ved udbud A22 (linje 123, 600S, 55E og 65E) regionen 10 mio. kr. årligt ved at skifte fra diesel/HVO-biodiesel til eldrift.

⁶ Region Hovedstaden deler linje 230R, 123 og 600S med Region Sjælland.

Det har generelt været muligt for Movia at omstille til eldrift uden at dette har medført meromkostning for trafikejerne. Man skal dog holde sig for øje, at det her er den nye pris for eldrift som sammenlignes med den eksisterende pris for diesel/HVO-biodiesel. Ved genudbud af driften med krav om dieseldrift er det muligt, at Movia ville kunne have fået lavere priser end de tilbudte priser med eldrift.

Figur 4 viser udviklingen i timeprisen i Movias udbud. Siden A16 har Movia udbudt busdrift med krav om emissionsfrihed og siden A19X er langt hovedparten af busdriften udbudt med krav om emissionsfrihed. Som figuren viser har omstilling af busdriften generelt ikke ført til højere priser.

Figur 4. Udvikling i timepriser for Movias udbud



Noter:

Alle priser februar 2023 prisniveau. Årstal angiver tidspunkt for idriftsættelse af bustrafikken.

4.1 Andre danske trafiksselskabers erfaringer med udbud og drift af brintbusser

I 2019 udbød Midttrafik Herning Kommunes bybusser med krav om brintbusser. De tilbudte priser viste sig dog at være meget højere end forventet, og Midttrafik gennemførte i stedet et nyt udbud med krav om emissionsfrihed, hvor operatøren selv kunne vælge teknisk løsning. Resultatet blev, at Hernings bybusser i dag betjenes med elbusser.

De eneste andre brintbusser, som er blevet testet i Danmark, blev testet i Aalborg i 2020-2022. Region Nordjylland og Aalborg Kommune besluttede i juni 2022 at indstille forsøget, da omkostningerne viste sig for store. Formanden for udvalget for Regional Udvikling, Digitalisering og Innovation ved Region Nordjylland, Peder Key Kristiansen (S), udtalte i den forbindelse "Driftsmæssigt er det simpelthen for dyrt at køre med brintbusser nu sammenlignet med de andre alternativer, der er på markedet."⁷

4.2 Brintbusser projekter i udlandet

I januar 2023 var der i alt 370 brintbusser i drift i Europa, med en plan om at nå over 1.200 inden 2025. 2021 blev der registreret 158 brintbusser i Europa. I 2022 faldt antallet af registreringer til 99 enheder. Til sammenligning er der registreret ca. 650 elbusser alene i Danmark i januar 2023. Antallet af brintbusser i

⁷ Efter to års forsøg planlægger Region Nordjylland og Aalborg Kommune nu at stoppe testen af brintbusser, TV2 Nord, 08-06-2022.

drift er derfor fortsat meget begrænset.

Selskaber, der investerer i brintbusser:

Generelt har mindst én ud af tre af følgende forhold været gældende for alle de nedenstående byer, der investerer i brintbusser: National økonomisk støtte, udfordrende topografi og/eller perioder med temperaturmæssige ekstremer. Det er kortlagt, at Duisburg, Köln, Rostock, Venedig, og Bolonga alle har planer om eller allerede har investeret i betydelige flåder af brintbusser. Samtlige af disse byer har modtaget økonomisk støtte til erhvervelse af busser, og nogle har endda fået støtte til etablering af infrastruktur. Flere af dem rapporterer desuden om markant mindre rækkevidde for elbusser i forhold til erfaringerne fra Movia. Dette kan formentligt tilskrives varierende temperatur- og topografiske forhold i deres geografiske områder. Santa Cruz Metro i Californien har godkendt købet af 57 brintbusser. Santa Cruz testede en topmodel inden for elbusser, som viste sig ikke at kunne opretholde hastigheden på stejle stigninger på visse ruter, og bussen kunne ikke fuldføre hele ruten uden opladning. Investeringen forventes at blive næsten 99 pct. finansieret af føderale tilskud.⁸

Selskaber, som har stoppet med at investere i brintbusser:

Den franske by Pau, tidligere en pioner inden for brintbusser, står over for skift til elbusser på grund af gentagne problemer og høje omkostninger. Driftsomkostningerne for brintbusserne har været næsten dobbelt så dyre som for elbusser, og pålideligheden har været påvirket af hyppige tekniske problemer.⁹

Byen Wiesbaden i Tyskland har trukket sine ti brintbusser tilbage et år efter leveringen på grund af sammenbrud på den offentligt ejede brinttankstation. Komplexiteten ved at håndtere to forskellige drivlinjeteknologier og en defekt på brinttankstationen har ført til beslutningen om at pensionere brintbusserne, selvom de modtog betydelig støtte fra EU og den tyske regering.¹⁰

4.3 Topografiske og klimatiske forhold i Danmark

Danmark er præget af forhold, der er gunstige for elbusser. Den flade topografi og det milde klima med moderate temperaturudsving passer godt til elbusser. Vægten af elbussernes batterier gør at de kan blive udfordrede ved stejle stigninger. Dette kan udtrykkes ved udfordringer i energiforbruget, der sænker elbussernes rækkevidde, eller udfordringer ved at holde farten hen over toppen.

Temperaturekstremer gør at elbusser anvender en højere procentdel af batteriets kapacitet på at holde batteriets og kabinens temperatur stabil, hvorfor rækkevidden også vil blive mindsket i disse forhold. Brintbussers batterier er til sammenligning væsentlig mindre, hvorfor disse ikke stiller samme energimæssige krav til temperatur regulering.

5 Økonomi

Nobina indgik en leasingaftale med Caetano for en brintbus i forsøgsperioden. I forsøgsperioden blev der tanket 1.628 kg brint til en gennemsnitlig pris på 122,82 kr./kg. Tabel 2 viser omkostningerne forbundet med brintbusdriften.

⁸ ['We will place the biggest hydrogen bus order in US history because battery-electric can't do the job' | Hydrogen news and intelligence \(hydrogeninsight.com\)](#)

⁹ [French city that pioneered hydrogen buses will opt for battery-electric in future due to ongoing problems and high costs | Hydrogen news and intelligence \(hydrogeninsight.com\)](#)

¹⁰ [German city to retire its one-year-old hydrogen fuel-cell buses after €2.3m filling station breaks down | Hydrogen news and intelligence \(hydrogeninsight.com\)](#)

Tabel 2. Omkostninger ved brintbusforsøget

Element	Omkostning
Leasingafgift (månedlig)	115.000
Realtidsudstyr (månedlig)	5.000
Drivmiddelomkostning (brint)	5,31 kr./km

I en undersøgelse, gennemført af Sphera på vegne af Clean Hydrogen Partnership, JIVE og Merhlin, i perioden fra januar 2020 til december 2022, blev totalomkostningerne (TCO) sammenlignet mellem brint- og elbusser (12 m busser). Resultaterne af undersøgelsen viser, at TCO for elbusserne er 10 % lavere for elbusser end brintbusser. Dette tilskrives, at anskaffelsesprisen for elbusser var 28 % lavere sammenlignet med brintbusserne (EUR 450.000 for elbusser mod EUR 625.000 for brintbusser). Vedligeholdelsesomkostningerne for brintbusser var 2% lavere end for elbusser, da elbusserne kræver udskiftning af en større batteripakke. Samtidig var drivmiddelomkostningerne, inklusive infrastruktur, 33 % lavere for elbusser sammenlignet med brintbusser.

Undersøgelsen påviste også, at den samlede CO₂-udledning i et livscyklusperspektiv for brintbusserne estimeres at være 43 % højere end for elbusserne. Dette skyldes primært, at udledningen fra drivmidlet var 10 gange højere for brint i forhold til el. Det skal bemærkes, at både brinten og elektriciteten i undersøgelsen blev produceret ved hjælp af vindkraft.¹¹

En undersøgelse i Sydtyrol fandt, at batteridrevne busser var 2,3 gange billigere at køre pr. kilometer end brintbusser, hvilket indikerer, at omkostningseffektiviteten afhænger af regionale faktorer som energikilde og infrastruktur.¹²

Produktion af brint via elektrolyse indebærer energitab. Ifølge Klimarådets rapport om 'Veje til klimaneutral lastbiltransport' udgjorde den reelle anvendelse af den producerede elektricitet på vejen i 2020 og 2050 hhv. 77 % og 81 % for ellastbiler og hhv. 33 % og 42 % for brintlastbiler.¹³ Under antagelse af, at lastbiler og busser har omtrent samme effektivitet, kræver brintbusser dobbelt så meget vedvarende energi for at køre den samme afstand som elbusser. Alt andet lige medfører dette større omkostninger til drivmiddel, hvilket også bekræftes i en fremskrivning til 2030 af samme rapport.¹⁴

¹¹ [Deliverables_JIVE D3.22_JIVE2 D3.6_D4.3_final.pdf \(fuelcellbuses.eu\)](#) s. 55-56, 62-63

¹² [Monitored data and social perceptions analysis of battery electric and hydrogen fuelled buses in urban and suburban areas \(sciencedirectassets.com\)](#)

¹³ [Veje til klimaneutral lastbiltransport \(klimaraadet.dk\)](#) s. 18, tabel 1

¹⁴ [Veje til klimaneutral lastbiltransport \(klimaraadet.dk\)](#) s. 30, figur 5

5.1 Bilag:

5.1.1 Bilag 1. Busspecifikation

Brinbussen, som har været anvendt i forbindelse med forsøget, er produceret af CaetanoBus i samarbejde med Toyota og er af modellen H2.City Gold. Bussen er en brintdrevet elektrisk bus med følgende specifikationer:



Tabel 1.1 – H2.CityGold specifikationer

Specifikation	H2.City Gold
Længde:	12 meter
Højde:	3,46 meter
Bredde:	2,5 meter
Kapacitet:	39 sæder, 37 ståpladser
Dørkonfiguration:	Tre 2-fagsdøre
Egenvægt:	14 ton
Lastvægt:	6,3 ton
Totalvægt:	20,3 ton
Brændselscelle:	Toyota brændselscelle, nominel effekt 60 kW
Batteri:	kapacitet på 44 kWh (Li-ion LTO batteripakke)
Motor:	Siemens drivlinje, topydelse 180 kW
Optankningstid:	Under 10 minutter ved tryk på 350 bar
Rækkevidde:	> 450 km
Tank:	37,5 kg brint (5 flasker, 350 bar)

Brintbusser og elbusser har nogle fælles træk i deres måde at fungere på. Begge typer køretøjer bruger elektriske motorer, har regenerativ bremsning og er udstyret med batterier. Den væsentligste forskel ligger i, hvordan de får strøm til deres motorer.

Elbusser oplades direkte fra el-nettet, mens brintbusser fungerer anderledes. I stedet for at oplade fra en stikkontakt, tankes brintbussen med brint. Denne brint bruges derefter til at lave elektricitet og vand ved hjælp af en enhed kaldet en brændselscelle.

Brændselscellen er som en elektrisk fabrik, der bruger brint til at lave strøm uden at forurene. Den gør dette ved hjælp af tre hovedtrin:

1. Anoden: Her deles brinten i små dele kaldet protoner og elektroner.
2. Elektrontransport: Elektronerne bevæger sig gennem en slags ledning og skaber elektricitet.
3. Katoden: Protonerne og elektronerne mødes igen, og sammen med ilt fra luften laver de vand.

Brintbusser findes i forskellige typer, og den Caetano-model, der blev brugt i forsøget, kan levere strøm direkte til motoren uden at bruge batteriet så meget. Batteriet oplades kun op til 90% af brændselscellens kapacitet, hvilket betyder, at man kan gemme ekstra strøm fra bremsning. Men hvis bussen har brug for mere strøm end brændselscellen kan lave, bruger den ekstra strøm fra batteriet.