

# TRAFIKSELSKABET MOVIA NULEMISSIONSTOG PÅ LOKALBANERNE I REGION HOVEDSTADEN OG REGION SJÆLLAND



## INDHOLDSFORTEGNELSE

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1.</b>  | <b>Forkortelser</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2.</b>  | <b>Sammenfatning</b>  | <b>3</b>  |
| <b>3.</b>  | <b>Afdækning af markedet for nulemissionstog</b>                                  | <b>5</b>  |
| 3.1        | Introduktion  | 5         |
| 3.2        | Leverandørkatalog   | 5         |
| 3.3        | Togkatalog  | 7         |
| 3.4        | Togenes kompatibilitet med strækningerne  | 13        |
| 3.5        | Økonomiske overvejelser   | 19        |
| <b>4.</b>  | <b>Beskrivelse af forhold til kunder, personale og naboer ved nulemissionstog</b> | <b>24</b> |
| <b>5.</b>  | <b>En vurdering af markedets modenhed</b>   | <b>28</b> |
| 5.1        | Teknologiens historiske udvikling   | 28        |
| 5.2        | Teknologiens nuværende egenskaber   | 28        |
| 5.3        | Teknologiens fremtidige egenskaber  | 30        |
| 5.4        | Infrastrukturens modenhed   | 31        |
| 5.5        | Vurdering af teknologiernes totale modenhed                                       | 32        |
| <b>6.</b>  | <b>En kort redegørelse over erfaringer</b>  | <b>34</b> |
| 6.1        | Tyskland  | 35        |
| 6.2        | Østrig  | 37        |
| <b>7.</b>  | <b>Mulighederne for ombygning af de eksisterende Linttog</b>                      | <b>39</b> |
| 7.1        | Teknisk gennemførlighed   | 39        |
| 7.2        | Teknisk tilstand af den eksisterende Lint 41 flåde                                | 41        |
| 7.3        | Sandsynlig levetid af den eksisterende Lint 41 flåde                              | 43        |
| 7.4        | Samlet evaluering   | 44        |
| <b>8.</b>  | <b>En vurdering af de samlede miljøeffekter</b>                                   | <b>45</b> |
| 8.1        | Mål og afgrænsning  | 45        |
| 8.2        | Opgørelse af forudsætninger   | 46        |
| 8.3        | Effektvurdering   | 47        |
| 8.4        | Fortolkning af model og resultat  | 47        |
| <b>9.</b>  | <b>Fordele og ulemper ved at benytte alternative drivmidler</b>                   | <b>50</b> |
| 9.1        | Tekniske aspekter   | 50        |
| 9.2        | Miljømæssige aspekter   | 52        |
| 9.3        | Økonomiske aspekter   | 53        |
| 9.4        | Operationelle aspekter  | 54        |
| 9.5        | Sammenligning og anbefaling   | 55        |
| <b>10.</b> | <b>Rambølls anbefalinger til lokaltog</b>   | <b>56</b> |
| 10.1       | Opsummering af anbefalinger vedr. teknologi                                       | 56        |
| 10.2       | Udbudsstrategi  | 57        |
| 10.3       | Infrastruktur i Region Hovedstaden  | 57        |
| 10.4       | Infrastruktur i Region Sjælland   | 58        |
| <b>11.</b> | <b>Referencer</b>   | <b>59</b> |

## 1. FORKORTELSER

|                |  |
|----------------|--|
| <b>BEMU</b>    | Battery Electric Multiple Unit   |
| <b>BMVI</b>    | Det tyske ministerie for transport og digital infrastruktur                    |
| <b>BRT</b>     | Bus Rapid Transit  |
| <b>BTL</b>     | Biomass to Liquid  |
| <b>CAPEX</b>   | Capital Expenditure  |
| <b>CO2</b>     | Kuldioxid  |
| <b>DB</b>      | Deutsche Bahn  |
| <b>DMU</b>     | Diesel Multiple Unit   |
| <b>DSB</b>     | Danske Statsbaner  |
| <b>EMU</b>     | Electric Multiple Unit   |
| <b>ERTMS</b>   | European Railway Traffic Management System                                     |
| <b>FCMU</b>    | Fuel Cell Multiple Unit  |
| <b>HVO</b>     | Hydrotreated Vegetable Oil   |
| <b>H2</b>      | Brint  |
| <b>IEA</b>     | International Energy Agency  |
| <b>LTO</b>     | Lithium Titanat Oxid   |
| <b>NOx</b>     | Kvælstofilte   |
| <b>OHL</b>     | Overhead line  |
| <b>OPEX</b>    | Operating expense  |
| <b>POU</b>     | Point of Use   |
| <b>PTL</b>     | Power to Liquid  |
| <b>RME</b>     | Rapeseed oil Methyl Esters   |
| <b>TCO</b>     | Total Cost of Ownership  |
| <b>TSI</b>     | Technical Specifications for Interoperability                                  |
| <b>TSI-PRM</b> | Technical Specifications for Interoperability for People with Reduced Mobility |
| <b>TTW</b>     | Tank-To-Wheels   |
| <b>WTW</b>     | Well-To-Wheels   |
| <b>ÖBB</b>     | Österreichische Bundesbahnen   |

## 2. BAGGRUND, METODE OG ANBEFALINGER

### Baggrund

Movia har i samarbejde med Lokaltog udbudt en konsulentopgave finansieret af Region Hovedstaden og Region Sjælland for at afdække muligheder og konsekvenser ved at indføre nulemissionstog på lokalbanerne i de to regioner. Baggrunden for opgaven er dels et generelt politisk ønske om at gøre togdriften mere miljøvenlig og dels, at Lokaltog inden for relativt kort tid skal tage stilling til udskiftning eller levetidsforlængelse af materiel på flere strækninger. Derfor er der et overordnet behov for at få belyst hvilke muligheder der kunne være ift. teknologi, som alternativer til de nuværende dieseltogsæt (DMU) og til en omlægning til elektriske togsæt (EMU), som ville kræve elektrificering.

### Metode

Analysen besvarer en række centrale problemstillinger og spørgsmål, som er besvaret i separate afsnit i rapporten:

- Afsnit 3: Hvilke leverandører findes i dag på markedet for den efterspurgte typer af togteknologier?
- Afsnit 4: På hvilke måder vil forhold for kunder, naboer og personale ændre sig ved indførelse af en ny togteknologi?
- Afsnit 5: Hvor modent er markedet i dag ift. at teknologien er udviklet og afprøvet i drift?
- Afsnit 6: Hvilke erfaringer har man gjort sig hos andre trafikselskaber og operatører?
- Afsnit 7: Hvilke muligheder ville der være for at ombygge de nuværende togsæt, som alternativ til at anskaffe nye?
- Afsnit 8: Hvilke effekter vil ny teknologier have på miljøet?
- Afsnit 9: Hvilke fordele og ulemper ville der være ved hver teknologi ift. f.eks. teknik, miljø, økonomi og drift?

Metoden til at løse opgaven har været at gennemføre afdækning af relevante leverandører, indsamle data og viden om teknologierne samt interviewe leverandører. Den indsamlede information er blevet omsat til analyser og anbefalinger udarbejdet af Rambølls interne eksperter, og gransket og kommenteret af Movias projektledelse samt nøgleinteressenter hos hhv. de to regioner og Lokaltog.

### Anbefalinger

Det er Rambølls vurdering, at på samtlige undersøgte faktorer vil batteritog være mest fordelagtige teknologi at indføre, dvs. både i forhold til økonomi, forhold for kunder og personale, teknologi- og markedsmodenhed samt miljøpåvirkning.

- I forhold til økonomi, vil batteritog i 2025 være den billigste løsning med en Total Cost of Ownership (TCO) over togets samlede levetid estimeret til 121 mio. DKK per tog inkl. infrastruktur. Brinttog vil være betydeligt dyrere med en estimeret TCO på 182 mio. DKK per tog inkl. infrastruktur, eller ca. 50% dyrere end batteritog, baseret på de samme forudsætninger.
- I forhold til miljø, er miljøpåvirkningen igennem et batteritogs levetid estimeret til 1.452 tons CO<sub>2</sub>-ækvivalenter svarende til 94% mindre end de nuværende dieseltog.
- I forhold til teknologi- og markedsmodenhed kan det konstateres, at infrastrukturen til bæredygtig produktion af brint (elektrolyse) endnu ikke er til stede i den rette skala i Danmark. Selv hvis den etableres, vurderer Rambøll, at et brinttog vil forårsage 2,5 gange flere udledninger af CO<sub>2</sub>-ækv. end et batteritog. Derudover er der en mindre risiko for at kunder og personale oplever utryghed ved brug af brint pga. brand- og eksplosionsfare.

Hver af de vurderede faktorer er som sagt analyseret i flere detaljer i de respektive afsnit.

I forhold til infrastruktur vurderer Rambøll, at det nødvendigt at lave en enkelt vægtrelateret opgradering af Nærumbanens bro over Mølleåen for at håndtere større akseltryk øget fra de nye batteritog, samt i alt fire større og to mindre investeringer i ladestationer. Rambøll anbefaler, at en nærmere undersøgelse af disse investeringer foretages forud for et eventuelt togudbud, idet valget af den konkrete ladningsløsning vil afhænge af en afvejning af omkostninger og køreplansjusteringer.

Foruden den beskrevne analyse af batteri- og brinttog indeholder rapporten også en vurdering af øvrige alternative drivmidler, hhv. HVO (hydrogenerede vegetabiliske olier), RME (rapsfrø/canola-methyleret ester) og electrofuel. Disse alternative drivmidler anbefales ikke, idet de ikke fjerner lokal forurening på toget, men de kan evt. anvendes som overgangsløsning, indtil nye nulemissionstog sættes i drift. Rapporten indeholder desuden en vurdering af muligheden for ombygning af de eksisterende Lint 41 tog til nulemissionstog. Denne mulighed frarådes grundet flådens alder, de høje omkostninger det vil medføre i form af udtagning fra drift, samt det begrænsede antal fortilfælde.

Rambøll anbefaler derudover, at der ved omlægning til ny teknologi laves et teknologineutralt udbud. Samtidig anbefales det at udforske muligheder for at lave service- og vedligeholdsaftaler med leverandører, hvori ejerskab og vedligehold af batterier og ladeinfrastruktur kunne varetages af leverandørerne. Udbuddet kunne med fordel også laves, så leverandørerne skal undersøge ladnings- og tankningsinfrastruktur mere dybdegående.

## 3. AFDÆKNING AF MARKEDET FOR NULEMISSIONSTOG

### 3.1 Introduktion

Formålet med dette afsnit er at afdække markedet inden for rammerne i Movias kommende mobilitetsplan med hensyn til erhvervelse af nulemissionstog til strækninger i Region Hovedstaden og Region Sjælland. Lokaltogs flåde af 13 IC2 tog (Flexliner) og 4 Region Sprintere står overfor en snarlig udskiftning. De 41 Lint 41 tog vil over tid også enten skulle udskiftes eller gennemgå en ombygning til nulemissionsteknologi.

Som en del af markedsafdækningen har Rambøll identificeret og gransket 7 potentielle leverandører og igennem disse identificeret 4 potentielle brint- og batteritog til videre analyse. Baseret på de identificerede leverandører og togtyper er der som en del af markedsafdækningen inkluderet hhv. et leverandør- og togkatalog med en kort præsentation af de mulige leverandører samt en beskrivelse af de potentielle togtyper og disses vigtigste tekniske specifikationer.

Det skal bemærkes, at et skift til batteri- eller brintdrevne tog ikke i sig selv vil føre til nulemissionstransport. Det skyldes energimikset i Danmark, der fortsat ikke udelukkende er baseret på vedvarende energi. For at opnå nulemissionstransport ville der skulle købes strøm produceret ved brug af vedvarende energi. Batteri- og brintteknologierne er imidlertid fri for lokalemission af bl.a. partikler og NO<sub>x</sub>.

Rambøll har vurderet de udvalgte togtypers kompatibilitet med den nuværende infrastruktur. Kompatibiliteten er baseret på 7 tekniske specifikationer, som er grundlæggende for et fit med infrastrukturen. Derudover har Rambøll undersøgt, om det er muligt at holde køreplanen med en givent batteritog- rækkevidde på 100 km og deres opladningstid på lade stationen.

Yderligere har Rambøll udført en TCO-analyse for de udvalgte togtyper med fokus på den

initiale investering i rullende materiel, løbende udgifter til drift og vedligehold samt investeringer i den nødvendige infrastruktur til at støtte de mulige nye teknologier. TCO er således det mest retvisende tal for de samlede omkostninger over togets samlede levetid til brug for sammenligning af mulige teknologier.

### 3.2 Leverandørkatalog

Med baggrund i en screening af markedet for nulemissionstog har Rambøll undersøgt en række potentielle leverandører af rullende materiel. Alle leverandørerne er anerkendte internationale togproducenter, der på nuværende tidspunkt har opnået mange års erfaring og troværdighed. Det er derfor gennemtestet materiel, der ligger til grund for deres togtyper.

#### Alstom

Alstom er en global virksomhed med fokus på jernbanetransport. Virksomheden har hovedsæde i Frankrig og bliver anset som en erfarne producent med mere end 230 tog leveret i Danmark og over 4500 tog leveret i Europa<sup>1</sup>. Grundet Alstoms store virke i Danmark er virksomheden involveret i installeringen af ERTMS<sup>2</sup> på danske jernbanestrækninger og i eksisterende materiel, bl.a. de nuværende Lnt41-togsæt til lokalbanerne. Yderligere anses Alstom som en af de førende togproducenter inden for nulemissionstog med brint som drivmiddel. Dette ses bl.a. med Coradia iLint, der blev godkendt af de tyske myndigheder i juli 2018 og indsat som det første brinttog i kommerciel brug i september 2018. Dette brintdrevne iLint-tog vil blive vurderet som en mulighed til Lokaltogs materielindkøb.

#### Bombardier

Bombardier er en global transportvirksomhed med områder inden for luftfart og jernbanetransport. Bombardier har hovedsæde i Canada, men er leveringsdygtige i Europa, hvor

<sup>1</sup>Alstom

<sup>2</sup>Alstom

det nye ERTSM-system understøttes af Bombardier<sup>3</sup>. Bombardier anses som en af de førende togproducenter inden for batteritog, hvorfor de også har indgået et samarbejde med Leclanché<sup>4</sup>, en schweizisk batterivirksomhed. Dette samarbejde har et langsigtet mål om udvikling af 100% europæisk fremstillet batteriteknologi, ligesom samarbejdet forventes at reducere batteripriserne, mens rækkevidden øges. Fordi Leclanché har hele værdikæden fra design til produktion af lithiumceller i Europa til et helt batterisystem, og Bombardiens ekspertise, er de to producenter markedsførende inden for batteritog. Derfor inkluderes Bombardiens førende batteridrevne tog Talent 3 i vurderingen til Lokaltogs nye materiel.

### Stadler

Stadler er en schweizisk togproducent med mere end 75 års erfaring og omkring 8000 tog i drift på globalplan. Stadler har gjort sig store erfaringer fra elektriske tog i Schweiz. Denne erfaring har Stadler anvendt til at udvikle togtyperne Wink og Flirt Akku. Igennem disse tilbyder Stadler en stor fleksibilitet til deres kunder, da togene kan leveres med både diesel, elektricitet under køreledning og batteri som drivmiddel. Yderligere arbejder Stadler med en række hybridløsninger imellem disse varianter. Således kan bl.a. Stadler Wink leveres med drivmidlerne diesel, HVO, batteri, batteri og diesel-hybrid samt batteri og elektricitet under køreledning. Videre har Stadler indgået et jointventure-samarbejde med jernbaneinfrastrukturvirksomheden Mermec omkring udvikling af ERTMS-løsninger<sup>5</sup>. I Danmark har Stadler stået for levering af tog til letbanen i Aarhus<sup>6</sup>. Grundet Stadlers store erfaring medtages togtyperne Flirt Akku i vurderingen omkring Lokaltogs nye materiel.

### Siemens

Siemens Mobility er en selvstændigt ledet virksomhed under Siemens AG. Med hovedsæde i Tyskland leverer Siemens Mobility ydelser inden for jernbaner, kontrolsystemer og digitale services. Siemens har erfaring

med ERTMS-løsninger fra Norge, hvor de i samarbejde med jernbaneinfrastrukturvirksomheden Bane Nor, har opstillet test- og simulationscentre til signalløsninger<sup>7</sup>. Siemens er en anerkendt leverandør af eldrevne tog under køreledninger til danske jernbaner, men endnu ikke lavet kommercielle leverancer af batteri- og brinttog. Nærværende undersøgelse vil have fokus på Mireo Plus B varianten, der anvender el/batteri som drivmiddel. Til gengæld har vi valgt at udelade brinttoget, Mireo Plus H, idet den nødvendige information endnu ikke er tilgængelig.

### PESA

Den polske togproducent PESA kommer ikke yderligere i betragtning til Lokaltogs udbud, idet PESA's produktkatalog kun inkluderer diesel og elektriske tog, og altså ikke brint eller batteridrevne tog, der har potentiale for nulemissionsdrift med minimale investeringer i den omkringliggende infrastruktur.

### CAF

Spanske CAF er en global virksomhed med aktiviteter i store dele af verden. CAF tilbyder et bredt udvalg af både tog og produkter til jernbaneindustrien. Bl.a. tilbyder CAF rullende materiel inden for højhastighedstog, regionaltog, metro, letbaner, lokomotiver og diverse togaksler og andre komponenter<sup>8</sup>. Selvom CAF bruger ressourcer på en mere effektiv fremtidsløsning med nye klimavenlige teknologier, kommer de ikke videre i betragtning til Lokaltogs materielindkøb. Det skyldes, at CAF lige nu kun tilbyder diesel og elektriske tog og derfor ikke forventes at blive leveringsdygtige i tide til Lokaltogs behov.

### Skoda

Skoda Transportation er en tjekkisk producent af tog med særlig fokus på rullende materiel til transport i byer såsom letbane og metro. Skoda producerer også elektriske lokomotiver og andre komponenter til rullende materiel. Skoda vil dog ikke komme i betragtning til Lokaltogs materielindkøb, da der indtil

<sup>3</sup>Bombardier ERTMS

<sup>4</sup> Railway Gazette

<sup>5</sup> Jointventure

<sup>6</sup> Letbaner i produktion

<sup>7</sup> Siemens ERTMS

<sup>8</sup> Information om CAF

videre ikke er batteri eller brintdrevne alternativer i Skodas produktkatalog, hvorfor der ikke er potentiale for nulemissionsdrift med minimale investeringer i infrastrukturen, som efterspurgt af Lokaltog.

### 3.3 Togkatalog

Ud fra identificeringen og evalueringen af potentielle leverandører har Rambøll identificeret 4 togtyper, der lever op til de kriterier, som Lokaltog har opstillet.

Det er vigtigt at bemærke, at længden af de identificerede togtyper er over 50 meter, hvil-

ket betyder, at der potentielt kan opstå problemer i myldretiden hvis to togsæt sammenkobles. Længden af de sammensatte togsæt bliver længere end de korteste perroner. Dette kan potentielt medføre behov for investeringer i infrastruktur er nødvendige. Det vurderes imidlertid at dørene vil blive inden for perronens længde, så der ikke forventes risici ved passagerernes påstigning. Dette er en anvendt praksis i bl.a. DSB, og vurderinger af maksgrænser før en eventuel ombygning vil kræve en nærmere undersøgelse af de konkrete stationer og vil variere afhængig af togtype.



### Nuværende tog: Alstom Coradia Lint 41

TCO: N/A  
 Togtype: DMU (diesel)  
 Opsætning: To vogne  
 Passagerkapacitet: 249  
 (120 siddende)  
 Længde: 41 m  
 Indstigningshøjde: 55 cm  
 Akseltryk: 18 tons  
 Maksimal hastighed: 120 km/t  
 Rækkevidde: 1000 km



Coradia Lint 41 er et dieseldrevet tog produceret af den franske togproducent Alstom. Lint togtypen blev sat i drift i 2000 og blev hurtigt et populært dieseldrevet tog. Således er der på nuværende tidspunkt produceret og solgt næsten 700 togsæt<sup>10</sup> til forskellige baner i bl.a. Danmark, Europa og Canada.

Ligeledes anvender Lokaltog A/S Coradia Lint 41 tog. Flåden består totalt set af 41 tog fordelt på banerne i Region Hovedstaden og Region Sjælland.

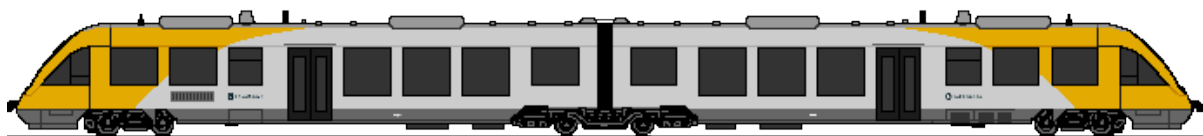
Det 41 meter lange Coradia Lint 41 tog er drevet af to 390 kW dieselmotorer. Disse motorer

giver toget en acceleration på omkring 1,1 m/s<sup>2</sup> og en tophastighed på 120 km/t.

Alstoms Lint serie, hvori Coradia Lint 41 indgår, har i alt solgt mere end 2800 tog, hvoraf omkring 2300 fortsat er i drift. Dette betyder, at Alstom tilbyder en togtype, der bygger på gennemtestet materielserie, hvorfor Lint 41 anses som værende et driftssikkert tog med en lang levetid og en overvejende god adgang til reservedele.<sup>11,12</sup>

Fordi Lint-serien er så gennemtestet, er det denne Alstom har valgt at anvende som base for det første brintdrevne tog i kommerciel drift, Coradia iLint.

**Figur 3-1: Teknisk overblik over Alstom Coradia Lint 41**



Kilde: Jernbanen.dk

<sup>9</sup> Tekniske specifikationer

<sup>10</sup> Antal Lint 41 tog

<sup>11</sup> Salg af Coradia Lint

<sup>12</sup> Atkins Hovedrapport s. 14 (05/02/2020)

## Alstom Coradia iLint

TCO (2025): 181 mio. DK  
 Togtype: FCMU (brint)  
 Opsætning: To vogne  
 Passagerkapacitet: 300 (150 sidende)  
 Længde: 55 m  
 Indstigningshøjde: 55 cm  
 Akseltryk: 18 tons  
 Maksimal hastighed: 140 km/t  
 Rækkevidde: 1000 km



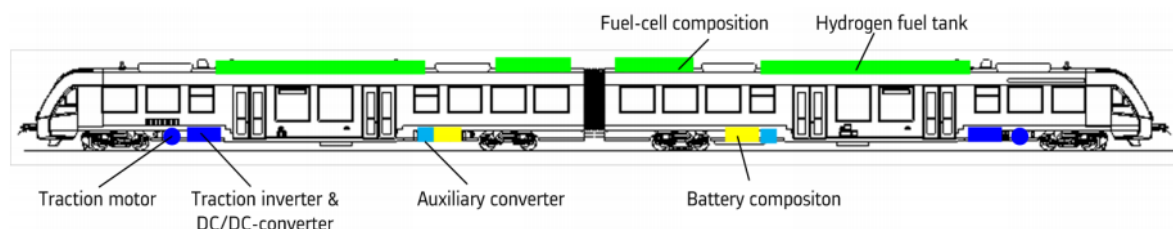
Alstoms Coradia iLint er det første brinttog i kommerciel brug. Toget blev godkendt af de tyske myndigheder til passagertransport i juli 2018 og blev efterfølgende sat i drift i september 2018. Der er senere bestilt yderligere 27 togsæt til tyske strækninger.<sup>13</sup> Videre er der i Holland indgået et samarbejde imellem Arriva, ProRail og energiselskabet Engie om en bestilling af to Coradia iLint togsæt til test i 2020 med henblik på at danne erfaringer og vurdere potentialet for brint som drivmiddel på hollandske jernbane-strækninger.

Coradia iLint bygger på samme base som dieseltoget Lint 54, der på mange punkter minder om Lint 41-modellen, som stadig er i drift på Lokaltogs regionalstrækninger. Den velafprøvede base er valgt, idet Alstom vil levere

et tog, der direkte kan indgå på de diesel-drevne strækninger.<sup>14</sup> Dette betyder, ud over et match med eksisterende infrastruktur, at iLint-toget bygger på velafprøvet materiel, hvorfor en række risici i forbindelse med indfasningen af nyt materiel minimeres. På trods af togets unge alder er det derfor primært den nye brintteknologi, der udgør en potentiel risiko i indfasningen.

Brint er et velegnet drivmiddel fordi der kan opnås en rækkevidde og hastigheder, der er lig de traditionelle dieseltog, men uden den tilhørende forurening. Alstoms Coradia iLint-tog har således en rækkevidde på omkring 1000 km og en tophastighed på 140 km/t. Toget har et akseltryk på maksimalt 18t og en længde på omkring 55 meter.<sup>15</sup>

**Figur 3-2: Teknisk overblik over Alstom Coradia iLint**



Kilde: Alstom

<sup>13</sup> Railway technology

<sup>14</sup> Alstom præsentation

<sup>15</sup> Alstom nyheder

### Bombardier Talent 3

TCO (2025): 119 mio. DKK  
 Togtype: BEMU (batterielektrisk)  
 Opsætning: Tre vogne  
 Siddepladser: 160  
 Passagerkapacitet: N/A  
 Længde: 56,2 m  
 Indstigningshøjde: 55 cm  
 Akseltryk: 20 tons  
 Maksimal hastighed: 140-160 km/t  
 Rækkevidde: 100-130 km



Udviklingen af Bombardier Talent 3 med batteri som drivmiddel blev startet i 2016.<sup>16</sup> Den batteridrevne model af Talent 3-togtypen er baseret på de tidligere elektriske Talent-modeller, der bl.a. er bestilt af østrigske ÖBB med en bestilling på 21 togsæt med en tilhørende option på op til 300 togsæt.<sup>17</sup>

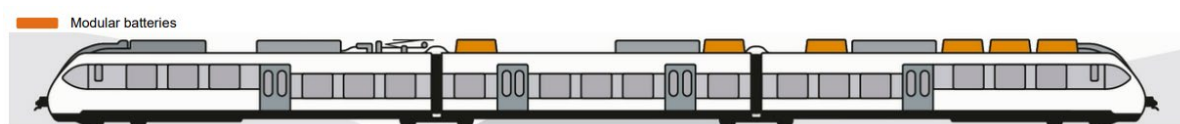
Bombardier Talent 3 anvender en blanding af elektricitet fra køreledninger og batteri som drivmiddel. Dette bevirker, at toget kan anvendes på ikke elektrificerede strækninger ved brug af togets batterier.<sup>18</sup>, mens genopladningen kan ske, når toget kører på elektrificerede strækninger, holder stille på stationer eller bremses.<sup>19</sup> Bombardier har beregnet, at en opladning af togets batterier på nuværende tidspunkt tager omkring 7-10 minutter, der kan klares ved ladestationer på strækningernes endestationer. Bombardier oplyser videre, at de har et mål om en rækkevidde på op til 130 km i 2025.

Talent 3 har en tophastighed på 140 km/t med batteri som drivmiddel og 160 km/t under elektrificerede køreledninger. Yderligere

har toget en længde på omkring 56 meter alt efter opsætning og specialtilpasninger til de enkelte baner og operatører. Talentserien som Talent 3 bygger videre på, har historisk haft et lavt akseltryk, men pga. batterierne kommer Talent 3 toget op på et relativt højt akseltryk på 20t. Videre tilbyder Bombardier, at Talent 3-toget leveres med ERTMS samt TSI.<sup>20</sup>, der overholder gældende europæiske standarder, hvilket betyder, at store tilpasninger af toget ikke vil være nødvendigt.

For at kunne sammenligne de forskellige tog har vi taget den opsætning med tre vogne, men Bombardier forventer også i nær fremtid at producere toget med to vogne. Den kortere version forventes at være 44 meter lang og have 120 sæder. Toget er dog ikke taget i betragtning i denne rapport fordi Bombardier endnu ikke har offentliggjort information om togetypen. Dette betyder at centrale spørgsmål om togets rækkevidde og akseltryk mm. ikke har været muligt at fremskaffe til analysen, trods direkte kontakt med Bombardier.

**Figur 3-3: Teknisk overblik over Bombardier Talent 3**



Kilde: Bombardier

<sup>16</sup> Bombardier præsentation

<sup>17</sup> Railway gazette

<sup>18</sup> InsideEV

<sup>19</sup> Bombardier innovation award

<sup>20</sup> Atkins hovedrapport, stillet til rådighed af Lokaltog

## Stadler Flirt Akku

TCO (2025): 119 mio. DKK  
 Togtype: BEMU (batterielektrisk)  
 Opsætning: Tre vogne  
 Passagerkapacitet: 310 (154 sid-  
 dende)  
 Længde: 63,2 m  
 Indstigningshøjde: 55 cm  
 Akseltryk: 18-20 tons  
 Maksimal hastighed: 140 km/t  
 Rækkevidde: 80-150 km



Stadlers Flirt Akku er en batteridrevet udgave af den bredt anvendte Flirt model. Flirt Akku blev præsenteret i september 2018 og forventes idriftsat i 2022.<sup>21</sup> Den første ordre på toget blev modtaget i juni 2019. Ordren udgjorde 55 togsæt samt en option på yderligere 55 togsæt til drift i Schleswig-Holstein, der ligesom Lokaltogs strækninger på nuværende tidspunkt bliver betjent af en diesel-flåde.<sup>22</sup>

Idet Flirt Akku er en del af Flirt-modelserien, der blev idriftsat i 2004.<sup>23</sup>, må det vurderes, at risici ved indkøb af Flirt Akku-togsættene er minimale og primært tilstede igennem den nyere batteriteknologi, som toget anvender, idet modellens base og moduler består af gennemprøvet materiel.

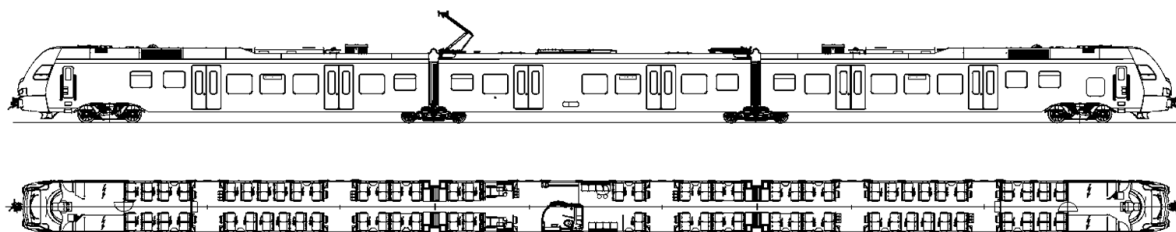
Flirt Akku anvender en hybridløsning mellem elektrificerede køreledninger og batteri. Såle-

des kan toget anvendes på ikke-elektrificerede strækninger, hvor togtypen, under optimale forhold, allerede i dag har en oplyst rækkevidde på omkring 80 km alt efter, hvilke forholdes toget drives under.<sup>24</sup>

Flirt Akku har en tophastighed på 140 km/t og et maksimalt akseltryk på mellem 18 og 20 tons alt efter opsætning.<sup>25</sup>

Videre indgår Stadler i et jointventure med ingeniørvirksomheden Angelstar omkring udvikling af ERTMS-systemer. Derfor må det forventes, at Stadler kan levere Flirt Akku-toget som værende ERTMS kompatibelt. Videre er togtypen TSI godkendt,<sup>26</sup> så gældende europæiske standarder overholdes, hvilket betyder, at større tilpasninger af toget ikke vil være nødvendige.

**Figur 3-4: Teknisk overblik over Stadler Flirt Akku**



Kilde: Stadler

<sup>21</sup>Railway-News om Stadler flirt kontrakt

<sup>22</sup>Stadler om Flirt ordre

<sup>23</sup>Stadler Flirt information

<sup>24</sup>Stadler Interview

<sup>25</sup>Atkins hovedrapport, stillet til rådighed af Lokaltog og Stadler pressemeddelelse

<sup>26</sup> Stadler Flirt TSI godkendelse

## Siemens Mireo Plus B

TCO (2025): 119 mio. DKK  
Togtype: BEMU (batterielektrisk)  
Opsætning: To vogne  
Siddepladser: 120  
Passagerkapacitet: N/A  
Længde: 50 m  
Indstigningshøjde: 55 cm  
Akseltryk: 18-20 tons  
Maksimal hastighed: 160 km/t  
Rækkevidde: 120 km



Siemens Mobility har på baggrund af deres tidligere elektriske Mireo-togtyper udviklet Mireo Plus B med henblik på at kunne betjene ikke-elektrificerede strækninger. Mireo Plus B er et batteritog, der også kan anvende elektricitet fra køreledninger.

Mireo Plus B-toget har allerede modtaget første bestilling, idet den tyske delstat Baden-Württemberg har bestilt 20 togsæt<sup>27</sup>. Dette er på trods af, at togtypen først forventes idriftsat i 2023.

Idet togtypen bygger på de tidligere Mireo-tog, der allerede er idriftsat i Tyskland<sup>28</sup>, er det ikke fuldstændig uprøvet materiel. Dermed er en del af risikoen ved indkøbet af en ny togtype minimeret, da det primært er den tidligere uprøvede batteriteknologi, der udgør en risiko med hensyn til drift og vedligehold.

Mireo Plus B er stadig i en udviklingsfase, og derfor er estimerne på de endelige specifikationer fortsat usikre. Det vurderes, at disse kommer til at ligne de tidligere elektriske Mireo modeller, hvorfor en topfart omkring 160 km/t<sup>29</sup> er forventeligt. Togtypens rækkevidde kommer til at være afhængig af batteriteknologien, der formentligt stadig vil være hæmmet på længere strækninger alt efter det enkelte togs opsætning. Ifølge Siemens er den aktuelle rækkevidde, alt efter strækningens karakter, på 120 km<sup>30</sup>.

De tidligere generationer af Mireo-tog som Plus B-varianten bygger på, er TSI PRM godkendte<sup>31</sup>. Dermed må det forventes, at der ikke kommer større problemer ved godkendelsen af den nye Mireo Plus B-togtype.

<sup>27</sup> Railjournal om bestilling af Mireo Plus B

<sup>28</sup> Railway Gazette om bestilling af Mireo

<sup>29</sup> TRANSP-OR, 2019, side 6, Can regional railway become emission-free with recently announced vehicles? A case study of Bavaria (05/02/2020)

<sup>30</sup> Interview med Siemens, 28/01/2020

<sup>31</sup> Siemens Mireo information



### 3.4 Togenes kompatibilitet med strækningerne

De udvalgte nulemissionstog og deres tekniske specifikationer, opsummeret i figur 3-5, vil i dette afsnit holdes op imod de tekniske krav, som stilles af Lokaltogs strækninger i hhv. Region Hovedstaden og Region Sjælland.

Kompatibilitetsvurderingen skal anses som et udtryk for, i hvilken grad den enkelte togtype vil kunne indgå i driften på Lokaltogs strækninger i Region Hovedstaden. Således er kompatibilitetsvurderingen ikke et udtryk for, hvorvidt den enkelte togtype totalt set vil

være et godt valg af materiel. Derimod anvendes vurderingen som input til den endelige anbefaling omkring Lokaltogs fremtidige materiel.

Et kvantitativt vægtningsystem danner grundlaget for vurderingen af togtypernes kompatibilitet til Lokaltogs infrastruktur. Således har hhv. togets dimensioner, der inkluderer længden på toget, sporvidde og perronhøjde, akseltryk, tophastighed, accelerationssevne og rækkevidde samme vægt i den endelige kompatibilitetsscore.

**Figur 3-5: Tekniske specifikationer**

|   | Alstom Coradia Lint41<br>(Nuværende tog) | Alstom Coradia Lint54<br>(For sammenligning) | Alstom Coradia iLint | Bombardier Talent 3     | Siemens Mireo plus B     | Stadler Wink            |                          |
|---|--|--|----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Tekniske specifikationer  | Togtype                                  | Dieseltog                                    | Dieseltog            | Brinttog                | Batteritog               | Batteritog              | Batteritog               |
|   | Længde                                   | 41.810 mm                                    | 54.000 mm            | 55.000 mm<br>(To vogne) | 56.200 mm<br>(Tre vogne) | 50.000 mm<br>(To vogne) | 63.200 mm<br>(Tre vogne) |
|   | Sporvidde                                | 1435 mm                                      | 1435 mm              | 1435 mm                 | 1435 mm                  | 1435 mm                 | 1435 mm                  |
|   | Indstigningshøjde                        | 550 mm                                       | 550 mm               | 550 mm                  | 550 mm                   | 550 mm                  | 550 mm                   |
|   | Akseltryk                                | 18 t   | N/A                  | 18 t                    | 20 t                     | 18 -20 t                | 18 -20 t                 |
|   | Maksimal hastighed                       | 120 km/t                                     | 140 km/t             | 140 km/t                | 140 - 160 km/t           | 160 km/t                | 140 km/t                 |
|   | Acceleration                             | 1,1 m/s <sup>2</sup>                         | N/A                  | 1 m/s <sup>2</sup>      | 1,1 m/s <sup>2</sup>     | 1,1 m/s <sup>2</sup>    | 1 m/s <sup>2</sup>       |
|   | Siddepladser                             | 120  | 165                  | 150                     | 160                      | 120                     | 144                      |
|   | Ståpladser                               | Ca. 112*/136**                               | Ca. 154*/176**       | 150                     | 140                      |                         | 156                      |
|   | Rækkevidde i 2020                        | 1000 km                                      | 1000 km              | 1000 km                 | 40 - 110 km              | 120 km                  | 80 km                    |
|   | Rækkevidde i 2025                        | 1000 km                                      | 1000 km              | 1000 km                 | 100 - 130 km             |                         | 150 km                   |
|   | ERTMS kompatibel                         | Ja   | Ja                   | Ja                      | Ja                       | Ja                      | Ja                       |
| TSI PRM godkendt  | Ja                                       | Ja   | Ja                   | Ja                      | Ja                       | Ja                      |                          |
| <p>Det skal bemærkes, at de overstående specifikationer er tilstedebragt igennem offentlige kilder og interviews med relevante togproducenter. Derfor skal de oplyste specifikationer anskues fra en konservativ vinkel, idet Rambøll vurderer, at flere af specifikationerne målt under optimale forhold, ikke afspejler driften i den virkelige verden. Dermed er specifikationerne også korrigeret til et mere konservativt udgangspunkt i den videre rapport, idet en sådan ændring flere steder anses som værende mere retvisende for analysen. *Når klapsæder er i brug. ** Når klapsæder ikke er i brug.</p> |  |  |                      |                         |                          |                         |                          |

Kilde: Rambøll, Alstom (<http://www.vias-online.de/data/lint54.pdf>)

Der er indlagt en begrænsning, der sikrer, at tog med for højt maksimalt akseltryk vurderes til ikke at være kompatibelt med infrastrukturen. En kompatibilitetsscore på nul vil blive tildelt i sådanne tilfælde. Videre skal det bemærkes, at kravet til togenes perronhøjde er niveaufri indstigning ved 55 cm over skinneoverkant jf. udbudsmaterialet fra Movia. Dermed vægtes togenes vurdering ud fra et sådant mål.

Da alle togene i 2025 forventes at være TSI PRM-godkendte og kompatible med ERTMS, går analysen ikke nærmere ind på dette. Da antallet af passagerer der er plads til i nul-emissionstogene lever op til det aktuelle antal i Lint 41 togtypen, kommer analysen heller ikke nærmere ind på dette parameter.

### Infrastruktur på strækningerne

Brintoptankning svarer på mange måder til den nuværende dieseloptynkning, både hvad angår optankningstid og rækkevidde for et tanket tog. Således bør det forventes, at hvis Lokaltog vælger at investere i brinttog, så vil det være tilstrækkeligt kun at foretage optankning en gang i døgnet, og der vil derfor skulle etableres stationer på placeringer sva-

rende til dagens dieselanlæg. I Region Hovedstaden vil dette kræve etablering af 4 brint-tankstationer ved hhv. Hundested og Helsingør togdepot, på centralværkstedet i Hillerød, og ved Nærumbanens værksted i Lyngby. I Region Sjælland vil det kræve etablering af i alt 5 brinttankstationer i hhv. Hårlev, Tølløse, Holbæk, Nykøbing Sjælland og Nakskov.

Det er andre forudsætninger, som gør sig gældende for batteritog. Undersøgelsen af behovet for ladestationer bygger på leverandørernes forventninger til togets rækkevidde ved fuld opladning i 2025. Rambøll vurderer, at leverandørernes rækkeviddeberegning ikke inkluderer en sikkerhedsmargin til forsinkelser, opvarmning i vintertider og evt. hurtigere degenerering af batteriet. Der er derfor lavet en undersøgelse af Lokaltogs køreplan og den tid, som er til rådighed på endestationer (vendetid), som er holdt op imod en konservativ grundantagelse om en rækkevidde på 100 km, der ikke inkluderer en sikkerhedsmargin til forsinkelser og opvarmning om vinteren. En strækning på mere end 40 km vil derfor alene af hensyn til sikkerhedsmarginen på rækkevidden kræve etablering af ladestationer ved begge endestationer. Figur 3-6 opsummerer, hvorvidt den nuværende køreplan

**Figur 3-6 Overblik over ladningstid ved endestationer (100 km rækkevidde)**

| Strækning                                  | Distance | Station                     | Tilgængelig tid       | Tidsbehov        |
|--|----------|-----------------------------|-----------------------|------------------|
| <b>Region Hovedstaden</b>                  |          |                             |                       |                  |
| Frederiksværkbanen                         | 39,0 km  | Hillerød                    | 14 min (13-25 min*)   | 18 min           |
| Gribskovbanen (Tisvildeleje)               | 24,7 km  | Hillerød                    | 3-4 min               | 11 min           |
| Gribskovbanen-Hornbækbanen (via Gilleleje) | 50,4 km  | Hillerød<br>Helsingør       | 5-6 min<br>13 min     | 11 min<br>11 min |
| Lille Nord                                 | 23,4 km  | Hillerød<br>Helsingør       | 12 min<br>12 min      | 5 min<br>5 min   |
| Nærumbanen                                 | 7,8 km   | Nærum                       | 4-14 min**            | 3 min            |
| <b>Region Sjælland</b>                     |          |                             |                       |                  |
| Odsherredsbanen                            | 49,4 km  | Holbæk<br>Nykøbing Sjælland | 7-9 min<br>6-9 min    | 11 min<br>11 min |
| Lollandsbanen                              | 50,2 km  | Nykøbing Falster<br>Nakskov | 12 min<br>14 min      | 11 min<br>11 min |
| Tølløsebanen                               | 50,8 km  | Tølløse<br>Slagelse         | 12 min<br>9 min       | 11 min<br>11 min |
| Østbanen                                   | 30,3 km  | Køge<br>Roskilde            | 4-19 min***<br>15 min | 7 min<br>7 min   |

Kilde: Rambøll; \* Hurtigtog, \*\* I myldretid er der kun et stop på 1 minut, \*\*\* 4 min ved gennemfart fra Roskilde til Rødvig

vil påvirkes af dette. Det forudsættes, at en opladning foregår ved fysisk kontakt mellem pantograf og køreledning over skinnerne, jf. den europæiske standard EN50367. Standarden dikterer, at der ved stilstand oplades med 80 A, og med fjernbanenettets spændingsniveau på 25 kV (50 Hz) opnås en ladningseffekt på 1,8 MW, når der tages højde for energitab ved overførsel og batteriets ladekurve. Det bør bemærkes at Movias busser kan oplade med mere end 80A, men dette skyldes brug af en anden type kontaktflade end den som findes til tog. Tog som bruger en pantograf til at oplade batteri på en almindelig køreledning er begrænset til 80A per pantograf på grund af overophedning af ledningen. Tidsbehovet for opladning er beregnet med en antagelse om energiforbrug på 6,6 kWh/km.<sup>32</sup>

En relevant usikkerhed som nærværende undersøgelse ikke tager højde for, er at forsinkelser, som normalt vil blive indhentet ved hjælp af kortere vendetid på endestationen, nu vil medføre kortere ladningstid. Nærværende rapport tager udgangspunkt i en køreplan i 2025 hvor Østbanen drives fra hhv. Roskilde – Faxe Ladeplads/Rødvig, med et maksimalt tilladt akseltryk på 22,5 tons og uden hastighedsbegrænsninger.

Der er i dag allerede den rette infrastruktur på plads i Slagelse, Køge og Helsingør (på nabosporet) takket være fjernbanens elektrificering. Ifølge Banedanmark vil følgende stationer også være elektrificerede til tiden, når de nye tog tages i brug i 2025: Tølløse (2022 på nabosporet), Holbæk (2022) og Nykøbing Falster (2024).

På baggrund af Rambølls infrastrukturanalyse vil det være nødvendigt at etablere infrastruktur til opladning på følgende 4 stationer: Hillerød, Nykøbing Sjælland, Nakskov, Nærum. Desuden vil det være nødvendigt at opsætte master og køreledninger over lokalbanerne på Helsingør og Tølløse station.

Analysen viser, at der i visse tilfælde kan være udfordringer med at finde nok tid til opladning med den aktuelle vendetid. Eksempelvis anbefales det at oprette infrastruktur i

Nærum og ikke Jægersborg fordi enkeltsporingen på strækningen gør at togene skal følge en stram køreplan for at kunne krydse på bestemte områder med spor og infrastruktur indrettet efter formålet. Således tillader banens indretning ikke ændringer i køreplanen, og dermed er det nødvendigt at opladning finder sted på Nærum station.

De strækninger og stationer, hvor der vil være udfordringer med at opnå tilstrækkelig opladningstid med de nuværende køreplaner er: Frederiksværkbanen i Hillerød, Gribskovbanen i Hillerød, Gribskov-Hornbækbanen i Hillerød, Odsherredbanen i Holbæk, Tølløsebanen i Slagelse og Østbanen i Køge. Generelt findes der forskellige muligheder, men nogle af løsningerne vil få driftsmæssige konsekvenser mens andre vil kræve investeringer. De potentielle løsninger inkluderer: 1) køreplanen justeres, 2) toget udrustes med et større batteri, 3) der etableres ekstra infrastruktur på modsatte endestation, eller 4) der etableres opladning på et stykke af strækningen hen til endestationen, så toget oplader før stilstand.

Det bør med hensyn til køreplansjusteringer nævnes, at den manglende ladningstid ofte vil blive kompenseret af overskud på batteriet, idet den længste distance er defineret som en tur-retur på en 40 km strækning. Således er det sandsynligt, at køreplanen blot skal justeres ved at forlænge opholdstiden en til to gange i døgnet. Med hensyn til elektrificering med køreledninger på et stykke af en strækning bør det nævnes, at tog i bevægelse kan oplade med en højere effekt end ved stilstand. Omkostningerne ved etablering af elektrificering med køreledninger estimeres til ca. 10.000 DKK per meter, men afhænger af de specifikke forhold på det konkrete stykke af en strækning.<sup>33</sup> Nærmere analyse af de specifikke muligheder på strækningen ligger uden for omfanget af denne rapport.

<sup>32</sup> Rambøll ekspert

<sup>33</sup> Rambøll ekspert



### 3.4.1 Region Hovedstaden kompatibilitet

Resultatet af kompatibilitetsanalysen er opsummeret i figur 3-7. Der tages i analysen højde for at der i 2020 foretages en broopgradering på Frederiksværkbanen, hvilket vil øge det maksimale tilladte akseltryk til <20 tons.

Det skal bemærkes, at Nærumbanens lave tilladte akseltryk skyldes, at en meget kort del af strækningen foregår på en bro over Mølleåen. Denne brooverfart reducerer banens maksimale akseltryk til omkring 16 tons. Desuden har banen meget korte perroner ift. Lokaltogs øvrige baner. Ingen af togtyperne findes dermed kompatible med den infrastruktur. Dette vil imidlertid ændre sig, hvis broovergangen opgraderes, så banen opnår et højere tilladt akseltryk. Videre skal det bemærkes, at kravet til togenes perronhøjde er niveaufri indstigning ved 55 cm over skinneoverkant jf. udbudsmaterialet fra Movia. Dermed vægtes togenes vurdering ud fra et sådant mål.

Der er allerede planlagt at køre en test med batteritog fra september 2020 på Lille Nordbanen mellem Hillerød og Helsingør. Den valgte togtypes kompatibilitet med strækningen vil således blive afprøvet, og skulle der være behov for yderligere hensyn på denne strækning, vil disse blive identificeret.

#### Alstom Coradia iLint

Alstom Coradia iLint-togt vil kunne indgå på den eksisterende infrastruktur på både Gribskovbanen, Gribskov-Hornbækbanen, Lille Nord- og Frederiksværksbanen. Det skal bemærkes, at togtypens acceleration er lidt lavere end Lint 41-togtypen, der på nuværende tidspunkt betjener disse baner. Dette vil forventeligt betyde mindre ændringer i køreplanen på strækningen.

Togtypen vil ikke være velegnet til drift på Nærumbanen, idet togtypens maksimale akseltryk på 18 tons overstiger Nærumsbanens tilladte akseltryk på 16 tons.

#### Bombardier Talent 3

Bombardier Talent 3 vil være velegnet til drift på både Gribskovbanen, Gribskov-Hornbækbanen, Lille Nord- og Frederiksværksbanen. Grundet Talent 3-togets akseltryk på 20 tons vil togtypen ikke kunne benyttes på Nærumbanen. Ifølge Bombardier kan der være mulighed for at bygge en to-vogns version af Talent 3. Det har imidlertid ikke været muligt at indsamle nok specifik information om denne togløsning.

Hvis Bombardier i 2025 reelt opnår deres ambition om en rækkevidde på 130 km, vil behovet for justering af køreplanen på Frederiksværkbanen blive reduceret.

#### Stadler Flirt Akku

Stadlers batteridrevne Flirt Akku-model vil kunne indgå på både Gribskovbanen, Gribskov-Hornbækbanen, Lille Nord- og Frederiksværksbanen. Det skal bemærkes, at togtypens acceleration er lidt lavere end Lint 41-togtypen, der på nuværende tidspunkt betjener banerne. Dette vil forventeligt betyde mindre ændringer i køreplanen på strækningen.

Stadler har indikeret en ambition om at opnå en rækkevidde på 150 km, somville kunne reducere behovet for justering af køreplanen på Frederiksværkbanen.

Stadler Flirt Akku har et maksimalt akseltryk på mellem 18 og 20 tons, hvorfor den ikke vil kunne indsættes på Nærumbanen, der tillader et maksimalt akseltryk på 16 tons.

#### Siemens Mireo Plus B

Siemens batteridrevne Mireo Plus B vil kunne indgå i driften på både Gribskovbanen, Gribskov-Hornbækbanen, Lille Nordbanen og Frederiksværksbanen. Det vurderes ikke, at toget kan indsættes på Nærumbanen, da togets maksimale akseltryk er for højt til Nærumbanens tilladte akseltryk på 16 tons.

Siemens har anført at deres Mireo Plus B togtype allerede i dag har en rækkevidde på 120 km, hvorfor denne togtype potentielt ville kunne indsættes på Frederiksværkbanen uden behov større ændringer i køreplanen.

**Figur 3-7: Opsummering af kompatibilitet i Region Hovedstaden**

|                          |                      | Frederiksværkbanen   | Gribskov-Hornbækbanen | Gribskovbanen Tisvildeleje | Lille Nord           | Nærumbanen           |
|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|
|                          |                      |                      |                       |                            |                      |                      |
| Infrastruktur            | Perronlængde         | 90.000 mm            | 90.000 mm             | 90.000 mm                  | 90.000 mm            | 70.000 mm            |
|                          | Sporvidde            | 1.435 mm             | 1.435 mm              | 1.435 mm                   | 1.435 mm             | 1.435 mm             |
|                          | Perronhøjde          | 350-550 mm           | 350-550 mm            | 350-550 mm                 | 550 mm               | 350-550 mm           |
|                          | Akseltryk            | <18t (<20t fra 2020) | <20t                  | <20t                       | <22,5t               | <16t                 |
|                          | Maksimal hastighed   | 100 km/t             | 75 km/t               | 75 km/t                    | 100 km/t             | 75 km/t              |
|                          | Accelerationsbehov   | 1,1 m/s <sup>2</sup> | 1,1 m/s <sup>2</sup>  | 1,1 m/s <sup>2</sup>       | 1,1 m/s <sup>2</sup> | 1,1 m/s <sup>2</sup> |
|                          | Distance             | 39,6 km              | 50,4 km               | 24,7 km                    | 20,9 km              | 7,8 km               |
| Togtypers kompatibilitet | Alstom Coradia iLint | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●            | ●●●●●●●●●●                 | ●●●●●●●●●●           | ○●●●●●●●●●           |
|                          | Bombardier Talent 3  | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●            | ●●●●●●●●●●                 | ●●●●●●●●●●           | ○●●●●●●●●●           |
|                          | Stadler Flirt Akku   | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●            | ●●●●●●●●●●                 | ●●●●●●●●●●           | ○●●●●●●●●●           |
|                          | Siemens Mireo plus B | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●            | ●●●●●●●●●●                 | ●●●●●●●●●●           | ○●●●●●●●●●           |
|                          |                      | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●            | ●●●●●●●●●●                 | ●●●●●●●●●●           | ○●●●●●●●●●           |

Kilde: Rambøll

### 3.4.2 Region Sjælland kompatibilitet

Resultatet af kompatibilitetsanalysen er opsummeret i figur 3-8.

#### Alstom Coradia iLint

Alstom Coradia iLint-toget vil kunne indgå på den eksisterende infrastruktur på Lollandsbanen og Tølløsebanen, der på nuværende tidspunkt er betjent af IC2-tog (Flexliner). Yderligere vil toget også kunne indgå i driften på Odsherredsbanen og Østbanen. Dog skal det her bemærkes, at togtypens acceleration er lidt lavere end Lint 41-togtypen, der på nuværende tidspunkt betjener banerne. Dette vil forventeligt betyde mindre ændringer i køreplanen på strækningen.

#### Bombardier Talent 3

Bombardier Talent 3 vil kunne tages i drift på alle strækninger i Region Sjælland.

Hvis Bombardier i 2025 opnår deres ambition om en rækkevidde på 130 km, vil valget af dette tog sandsynligvis gøre det muligt at spare investering i laddingsinfrastruktur på Nakskov station. Dette vil desuden reducere

behovet for justering i køreplanen på Odsherredsbanen og Tølløsebanen.

#### Stadler Flirt Akku

Stadlers batteridrevne Flirt Akku vurderes i dag at have en realistisk anvendelig rækkevidde på 80 km, men ambitionen er at opnå 150 km i 2025<sup>34</sup>. Hvis ambitionen realiseres, vil det betyde, at toget vil kunne betjene Lollandsbanen uden behov for infrastruktur i Nakskov. Dette vil ikke desto mindre enten kræve 22 min. ophold med opladning i Nykøbing Falster eller opladning i bevægelse langs en elektrificeret strækning. Desuden vil Tølløsebanen og Odsherredsbanen sandsynligvis kunne betjenes med begrænsede ændringer i køreplanen.

Det skal bemærkes, at togtypens acceleration er lidt mindre end de Lint 41, der på nuværende tidspunkt betjener Østbanen og Odsherredsbanen. Dette vil forventeligt betyde mindre ændringer i køreplanen på strækningen.

#### Siemens Mireo Plus B

Ifølge Siemens Mobility har Mireo Plus B en rækkevidde på 120 km, hvilket vil sige, at togtypen vil kunne sættes i drift på alle fire

<sup>34</sup> Baseret på Rambøll eksperter og Stadler interview (04/12/2019)

baner i Region Sjælland. Her vurderes det dog, at de 120 km rækkevidde ikke vil være nok til at afskaffe etablering af ladestation i Nakskov.

**Figur 3-8: Opsummering af kompatibilitet i Region Sjælland**

|                          |                      | Østbanen / lille Syd   | Lollandsbanen        | Tølløsebanen         | Odsherredsbanen      |
|--------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                          |                      |                        |                      |                      |                      |
| Infrastruktur            | Perronlængde         | 90.000 mm              | 90.000 mm            | 90.000 mm            | 90.000 mm            |
|                          | Sporvidde            | 1.435 mm               | 1.435 mm             | 1.435 mm             | 1.435 mm             |
|                          | Perronhøjde          | 260-550 mm             | 350-550 mm           | 350-550 mm           | 350 mm               |
|                          | Akseltryk            | <19t (<22,5t fra 2022) | <22,5t               | <20t                 | <20t                 |
|                          | Maksimal hastighed   | 100 km/t               | 100 km/t             | 120 km/t             | 120 km/t             |
|                          | Accelerationsbehov   | 1,1 m/s <sup>2</sup>   | 0,8 m/s <sup>2</sup> | 0,8 m/s <sup>2</sup> | 1,1 m/s <sup>2</sup> |
|                          | Distance             | 30,3 km                | 50,2 km              | 50,8 km              | 49,4 km              |
| Togtypers Kompatibilitet |                      |                        |                      |                      |                      |
|                          | Alstom Coradia iLint | ●●●●●●●●●●             | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●           |
|                          | Bombardier Talent 3  | ●●●●●●●●●●             | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●           |
|                          | Stadler Flirt Akku   | ●●●●●●●●●●             | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●           |
|                          | Siemens Mireo plus B | ●●●●●●●●●●             | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●           | ●●●●●●●●●●           |

Kilde: Rambøll

### 3.5 Økonomiske overvejelser

Totalomkostninger udgør en væsentlig overvejelse i forbindelse med indkøbet af nyt materiel. Rambøll har derfor, i forbindelse med markedsafdækningen af nulemissionstog, vurderet totalomkostningerne ved de enkelte togtyper præsenteret i togekataloget. Det skal bemærkes, at totalomkostningen er afgrænset til summen af selve togmateriellet, driften og vedligehold heraf, samt omkostninger relateret til etablering af infrastruktur. Figurerne 3-10 og 3-11 opsummerer totalomkostningerne for hhv. Region Hovedstaden og Region Sjælland, og giver indblik i størrelsen af de forskellige omkostningstyper, som togene har igennem levetiden. Da togene først skal leveres i 2025, betyder det at beregningerne bygger på skøn om priser i fremtiden. Derfor er totalomkostningerne udregnet som hhv. 2020 og 2025 scenarier.

Analysen af togtypernes totalomkostninger bygger på en række antagelser. Disse antagelser er valgt på baggrund af interviews med togproducenterne og Rambølls eksperter. For at få en bedre forståelse, har vi valgt at dele antagelserne op i seks grupper: finansielle antagelser, brændstoffer, batterier & brændselsceller mm., vedligehold, investering i tog og sidst infrastruktur.

#### Finansielle antagelser

- Alle omkostninger i forbindelse med togene tilbagediskonteres med en årlig realrente på 1,5% jf. Transport- og Boligministeriets rapport<sup>35</sup>.
- Der regnes med en inflation på 2%.
- Lokaltog betaler 25% moms på togindkøb fra udlandet samt på vedligehold, idet der i høj grad er tale om reservedele fra producenten. Dette gælder også ved batteriskift.
- Der pålægges ikke moms på investeringer i infrastruktur.
- Moms er pålagt drivmidlerne diesel, HVO, el og brint.

<sup>35</sup> Transport- og Boligministeriet, 2019

<sup>36</sup> Møde med Movia, 2020

#### Investering i tog

- Indkøbsprisen på batteritog vil variere en del afhængig af antal og specifikation. Derfor har vi valgt at antage en basispris på ca. 56 mio. DKK ekskl. moms jf. samtaler med Bombardier, Siemens og Stadler.
- Alstom Coradia iLint er estimeret til 75 mio. DKK ekskl. moms. Dette beløb er beregnet ud fra artikler og interne Rambøll eksperter og kunne ikke bekræftes med Alstom på grund af deres interne politik.
- De angivne priser er vejledende, og der vil forventeligt være forekomme mængderabat afhængig af det totale antal indkøbte tog.
- Analysen tager ikke udgangspunkt i et specifikt antal tog som skal indkøbes i 2025, hvorfor beregningerne viser en gennemsnitsbetragtning.
- Alle tog, uagtet drivmiddel, antages at have en levetid på 35 år<sup>36</sup>.
- Det antages at den nye flåde i gennemsnit vil køre samme antal km som den eksisterende flåde. Dermed er der regnet med omkring 127.000 årlige km per tog<sup>37</sup>.

#### Vedligehold

- Omkostninger til vedligeholdelse af dieseltog er baseret på Rambølls erfaring fra et studie for selskabet Fahma i Tyskland, der er flådeforvalter for trafikkselskabet RMV i Frankfurt. For et nyt tog har vi regnet med en omkostning på 9,34 DDK per km, herefter indregnes en gradvis stigning til 13,08 DKK per km efter sidste eftersyn 8 år før udløbet af togets levetid.
- På grund af manglende erfaringer inden for vedligeholdelse af batteritog har vi ud fra et studie lavet af TU Dresden<sup>38</sup> og vores egne eksperter regnet med 20% mindre vedligeholdelses omkostninger ved et batteritog, og 12% mindre ved brinttog.
- Udgifter til eftersyn antages at være inkluderet i vedligehold.

<sup>37</sup> Atkins, 2018

<sup>38</sup> Technische Universität Dresden, 2017

## Batterier & brændselsceller mm.

- Prisen på en batteripakke fra start af materiellets levetid er 8 mio. DKK i et 2020 scenarie og forventes at falde til omkring 6 mio. DKK i 2025. Videre antages det at prisen i begge scenarier falder med omkring 6,3% om året frem mod 2050, baseret på hhv. Bloomberg<sup>39</sup> og EU JRC<sup>40</sup>. Ligeledes antages det at levetiden på et batteri er omkring 7 år i et 2020 scenarie mens det fra 2025 er på 10 år<sup>41</sup>. Begge antagelser vil blive holdt i hele togets levetid.
- Prisen på en udskiftning af brændselsceller er 4,71 mio. DKK<sup>42</sup>. Det antages yderligere, at prisen på brændselsceller falder med 4% om året<sup>43</sup> i begge vores scenarie, Den forventede levetid er på omkring 5 år i et 2025 scenarie, mens levetiden udgør 3 år i et 2020 scenarie.

## Brændstoffer

- Udover inflation forventes diesel at have en årlig prisstigning på 1%<sup>44</sup> drevet af udbud og efterspørgsel, mens brint vil have 0%, elektricitet 0,5%<sup>45</sup> og HVO også 0,5%<sup>46</sup>.
- Baseret på årsgennemsnit i 2019 anvendes en listepriis for en liter diesel ved standard ekskl. afgifter på 4,8 DKK<sup>47</sup>, elektricitetsprisen er 0,296 DKK per kWh<sup>48</sup> mens et kilo brint koster 37,5 DKK<sup>49</sup> i et scenarie med elektrolyse. HVO prisen er beregnet med 9,87 DKK per liter<sup>50</sup>. Ift. Diesel og HVO har vi antaget at Lokaltog vil kunne opnå 30% mængderabat med afsæt i 2019 prisniveauet ved tankstander<sup>51</sup>.
- Det antages at Lokaltog vil blive pålagt skat og afgifter på el. Nettobeskatningen

antages at være 0,4 øre/kWh<sup>52</sup>, TSO-tarif udgør 5,3 øre/kWh, system tarif på 4,4 øre/kWh og balance tarif på 0,187 øre/kWh<sup>53</sup>. PSO-afgiften medregnes ikke idet den udfases i 2022. Samlet set pålægges elprisen således afgifter af 10,29 øre/kWh.

- Togdrift antages at være pålagt CO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-afgifter på diesel og HVO<sup>54</sup>.
- Et brinttog antages at have et energiforbrug på omkring 0,260 kg brint per km, dieseltog bruger 1,3 liter diesel per km og 1,4 liter HVO per km, mens batteritog anvender 6,6 kWh per km<sup>55</sup>. I TCO-beregning har vi taget udgangspunkt i leverandørens input, mens beregningen i miljøeffekten er ud fra Rambøll eksperterens viden.
- Der er ikke medregnet specifikke personaleomkostninger til diesel- og brintoptankning.

## Infrastruktur

- Ligesom tog, afskrives infrastruktur over 35 år
- Omkostninger til infrastruktur er beregnet ud fra en antagelse om 29 tog i Region Hovedstaden og 29 tog i Region Sjælland<sup>56</sup>
- Ved etablering af ladestation til batteritog antages følgende priser:
  - Transformer (fra 10 kV til 25 kV inkl. switchgear, kabler op til 1 km, måleværktøj og bygning) koster 4,8 mio. DKK<sup>57</sup>
  - Tilslutningsbidrag 2,5 mio. DKK<sup>58</sup>
  - OHL-køreledning og master ca. 5,3 mio. DKK<sup>59</sup>
  - Der tages ikke højde for evt. meromkostninger i forhold til etablering af strøminfrastruktur i et tætbebygget område

<sup>39</sup> Bloomberg NEF, 2019

<sup>40</sup> JRC Science for Policy Report, 2018

<sup>41</sup> Bombardier interview (29/01/2020) og Rambøll eksperter

<sup>42</sup> Railvolution omkring Coradia iLint

<sup>43</sup> Bloomberg, 2019

<sup>44</sup> Energistyrelsens fremskrivning af brændstofpriser

<sup>45</sup> Energistyrelsens fremskrivning af elpriser

<sup>46</sup> XY Erhverv, HVO listepriis

<sup>47</sup> Circle K, listepriis

<sup>48</sup> Nordpool elspotpriser

<sup>49</sup> Stadler interview, (04/12/2020)

<sup>50</sup> Biofuel-express

<sup>51</sup> Rambøll eksperter

<sup>52</sup> PWC-oversigt over energifgifter

<sup>53</sup> Energinet, Tariffer

<sup>54</sup> Biofuel-express

<sup>55</sup> Leverandør input og Rambøll eksperter

<sup>56</sup> Møde med Movia, 2020

<sup>57</sup> Rambøll eksperter

<sup>58</sup> Radius, 2020

<sup>59</sup> Rambøll eksperter og leverandør af infrastruktur

- Brinttankningsanlæg antages at have en pris på 7,5 mio. DKK<sup>60</sup>, og vil være påkrævet 4 steder i Region Hovedstaden og 5 steder i Region Sjælland.
- Overblik over ladestationer forefindes i figur 3-9. Der forventes ikke at skulle etableres ladeinfrastruktur på togdepoterne

så længe togene kan oplade før første daglige afgang og efter sidste ankomst til slutdestinationen. En nærmere undersøgelse af køreplaner er dog anbefalet.

**Figur 3-9: Opsummering af investeringer i ladestationer til batteritog**

| Station                 | Investering   | Prisoverslag  |
|-------------------------|---|---------------|
| Køge                    | Intet behov   | 0 DKK         |
| Slagelse                |   | 0 DKK         |
| Holbæk (2022)           |   | 0 DKK         |
| Nykøbing Falster (2024) |   | 0 DKK         |
| Gilleleje               |   | 0 DKK         |
| Helsingør               | Opsætning af køreledning og master (Infrastruktu-             | 5,3 mio. DKK  |
| Tølløse (2022)          | ren er på nuværende tidspunkt tilgængeligt på et spor tæt på) | 5,3 mio. DKK  |
| Hillerød                | Greenfield* ladestation: Investering i transformer,           | 12,6 mio. DKK |
| Nykøbing Sjælland       | opsætning af master, køreledning og evt. kabel-               | 12,6 mio. DKK |
| Nakskov                 | træk fra el-distributør                                       | 12,6 mio. DKK |
| Nærum                   |   | 12,6 mio. DKK |

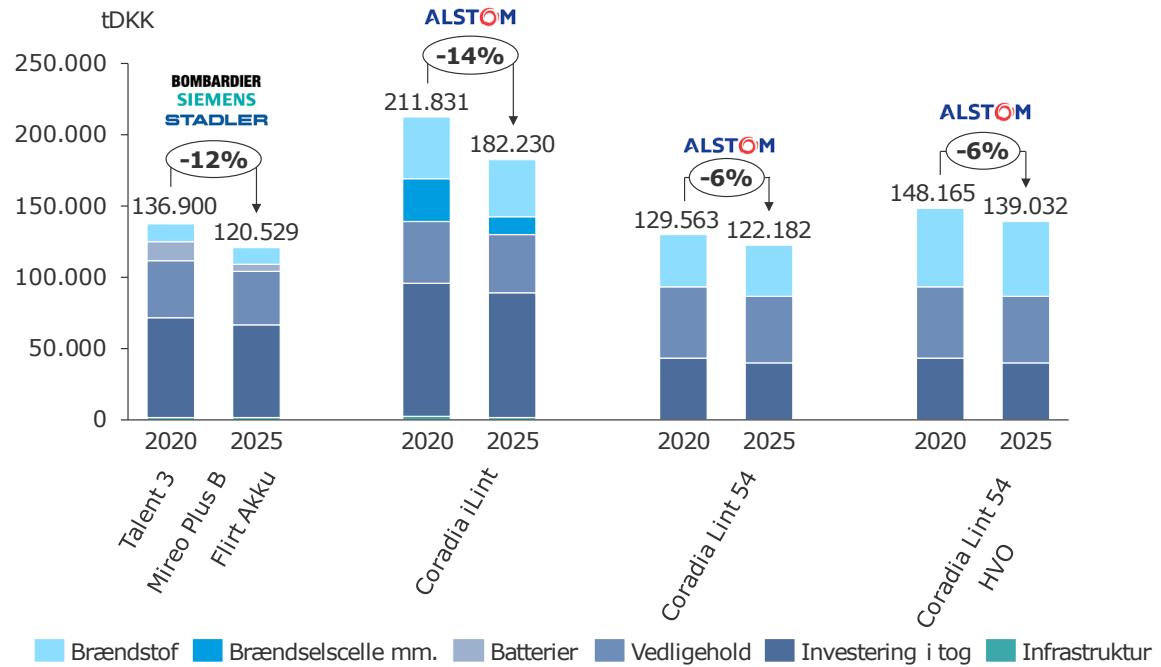
Kilde: Rambøll \* Et nyt anlæg på en station uden nogen form af eksisterende el-infrastruktur til togdrift

<sup>60</sup> Bombardier præsentation, 2018

### 3.5.1 TCO for Region Hovedstaden

Resultatet af de beregnede totalomkostninger ud fra beskrevne antagelser illustreres nedenfor.

**Figur 3-10: Totalomkostninger ved køb af et tog med levetid på 35 år**

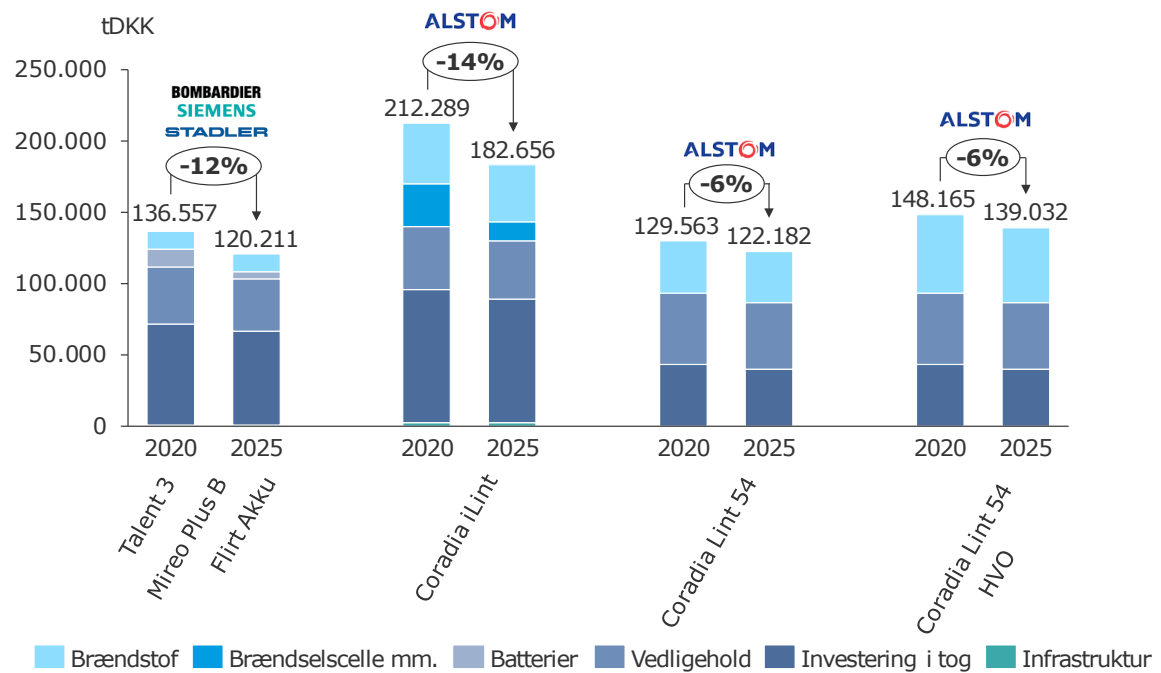


Kilde: Rambøll

### 3.5.2 TCO for Region Sjælland

Resultatet af de beregnede totalomkostninger ud fra beskrevne antagelser illustreres nedenfor.

**Figur 3-11: Totalomkostninger ved køb af et tog med levetid på 35 år**



Kilde: Rambøll



### Vurdering af totalomkostninger

Baseret på de beskrevne antagelser er den overordnede konklusion for totalomkostningsperspektivet, at batteritog vil være billigst i 2025, herefter følger hhv. dieseltog og samme togtype drevet med HVO, og til sidst brinttog som den dyreste løsning.

Grundlæggende er der stor lighed mellem batteritogsleverandørerne i deres materielpris og forventning til omkostninger ved vedligehold. Siemens skiller sig ud idet de har angivet en forventning om at anvende Lithium Titanat Oxid som batteriteknologi. Det kunne medføre en forlænget batterilevetid på 15 år, hvilket vil reducere de samlede omkostninger med et batteriskift. Da dette endnu ikke er realiseret, er den mulighed udeladt af den opsamlende vurdering af totalomkostningerne.

Den primære forskel mellem teknologierne er den kontante købspris for selve toget. Her ses det at et dieseltog koster ca. 43 mio. DKK, set i forhold til et batteritog med en pris på ca. 70 mio. DKK og et brinttog på ca. 93 mio. DKK. Dvs. at selve anskaffelsen udgør en stor del af TCO, men som det videre ses, udgør omkostninger til drivmidler og vedligehold den afgørende faktor. Begge dele er relativt billigere med elektriske motorer, også selvom løbende udskiftning af batterier og brændselsceller er nødvendigt. Det er netop udviklingen i batteriernes levetid der gør at den samlede batteritogspris falder til under prisen på dieseltog i 2025.

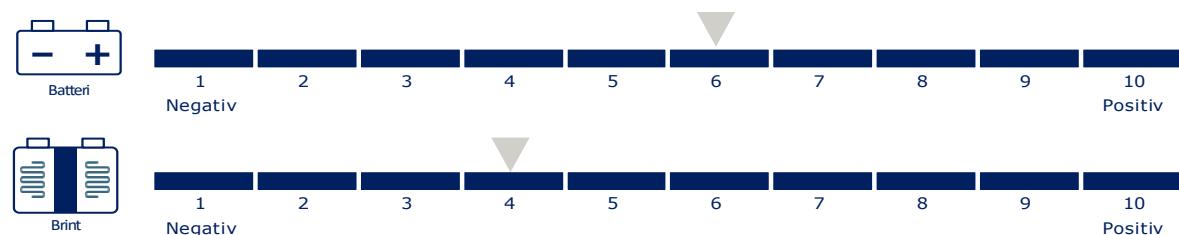
Forskellen i omkostninger på drivmidler udgøres i høj grad af afgifter (som beskrevet side 21), selvom det antages at Lokaltog kan opnå

mængderabatter på 30% på diesel.<sup>61</sup> I analysen spekuleres der ikke i udviklingen indenfor det danske og europæiske CO<sub>2</sub>-afgiftsniveau. Ifølge Klimarådet vil det være nødvendigt at hæve den generelle CO<sub>2</sub>-afgift på energi fra 65 kr. til 850 kr. pr. ton CO<sub>2</sub> for at leve op til Parisaftalens målsætning<sup>62</sup>, men dette er ikke muligt at anvende direkte i TCO beregningerne.

Med henblik på infrastruktur bør det bemærkes at investeringer i dieselovertankning allerede er foretaget og afskrevet. På samme vis vil man ved anvendelse af batteritog kunne drage nytte af Banedanmarks allerede planlagte investeringer i fjernbane-elektrificering<sup>63</sup>. Ved valg af batteritog er en samlet investering i ladningsinfrastruktur på 30,5 mio. DKK i Region Hovedstaden og 30,5 mio. DKK i Region Sjælland stadig påkrævet. Ved valg af brinttog forventes en mindre investering i infrastruktur på 30 mio. DKK samlet set i Region Hovedstaden og 37,5 mio. DKK i Region Sjælland. I sin helhed udgør infrastrukturen ca. 1% af den samlede TCO, og må derfor siges at have relativt lav signifikans.

Slutteligt, anbefaler Rambøll ikke at ansøge HVO-brændstof som en nulemissionsløsning, med mindre det er ambitionen at reducere miljøpåvirkning før 2025 grundet høje omkostninger og løsningens kvalitet på øvrige parametre (se afsnit 9). Skulle det være Lokaltogs ambition at reducere miljøpåvirkningen før 2025, kan HVO-brændstof anvendes som en overgangsløsning i den eksisterende togflådes levetid. Dette forventes dog at medføre en betragtelig meromkostning på brændstoffer svarende til ca. en fordobling ift. diesel.

**Figur 3-14: Scoring af økonomiske overvejelser**



Kilde: Rambøll

<sup>61</sup> Møde med Lokaltog

<sup>62</sup> Klimarådet, 2018

<sup>63</sup> Banedanmark, 2020

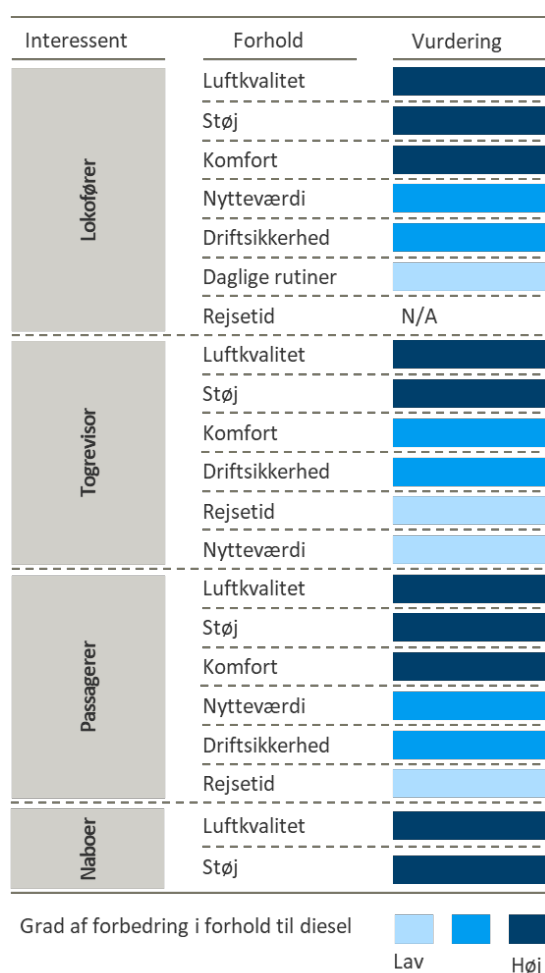


## 4. BESKRIVELSE AF FORHOLD TIL KUNDER, PERSONALE OG NABOER VED NULEMISSIONSTOG

### Introduktion

Afsnittet evaluerer ændringer i forhold for passagerer, personale og naboer ved et skift fra den nuværende dieselflåde til en nulemissionsflåde drevet af enten batteri eller brint. Der er fokus på især lokoførere og togrevisors arbejdsmiljø samt på passagerernes komfort og tidsforbrug. Det grundlag nulemissionsstogene sammenlignes med er et alternativ om indkøb af nye Lint 54 tog, og de medfølgende vibrations-, støj- og forureningsniveauer.

Figur 4-1: Forbedring af forhold



Kilde: Rambøll

### Rejsetid

Som der er redegjort for i rapporten 'Analyse af batteritogsdrift i Nordvestsjælland' vil en idriftsættelse af batteritog på lokalbanerne betyde, at driften på nogle strækninger på sigt vil kunne udføres sammen med DSB's drift, dog med undtagelse af S-banen. Dette vil potentielt betyde, at passagerer vil kunne spare rejsetid, fordi togskift undgås. Et eksempel herpå er, hvis Odsherredbanen fra Nykøbing Sjælland til Holbæk forlænges ind på strækningen fra Holbæk til København. I 'Aftale om togfonden DK'<sup>64</sup> er en elektrificering af strækningen mellem Holbæk og Roskilde planlagt til 2022. Det betyder, at batteritog med pantograf vil kunne oplade under køreledninger fra Holbæk til Roskilde, og dermed undgå opladningstiden på 11 min på Holbæk station. En sådan opsætning kan dog også lade sig gøre med drift af både diesel- og brinttog på de fleste strækninger, idet togtyperne har en tilstrækkelig rækkevidde.

Yderligere har Rambøll identificeret en anden strækning, hvor batteritog sydfra også vil give muligheder, idet sådanne tog, fra Nakskov til Nykøbing Falster, ville kunne fortsætte som 'stoptog' til København og dermed betjene de lokale relativt små stationer mellem Nykøbing Falster og Næstved, og derfra fortsætte til København via en af de tre baner, Næstved-Køge Nord-København, Næstved-Ringsted-Roskilde-København eller Næstved-Ringsted-Køge Nord-København. Hvis Lokaltog med batteritog betjente de små stationer mellem Nykøbing Falster og Næstved (Eskilstrup, Nørre-Alslev og Lundby) ville DSB's nye 'Fremtidens tog' alene skulle betjene de store stationer Nykøbing Falster og Vordingborg, og togene hertil kunne eventuelt være tog, der kom fra Tyskland, når Femern-forbindelsen er i drift.

<sup>64</sup>Transport- og Boligministeriet om Togfonden DK

## Komfort, støj og vibrationer

Grundet motoren i et dieseltog er komforten for både togpersonale og passagerer ofte påvirket. Dette skyldes primært et højt lyd-niveau fra motoren samt vibrationer, der spred sig fra motoren til kabinen. Komforten for både togpersonale og passagerer kan derfor potentielt øges ved et materielskift til nulemissionstog, idet motorkonstruktionen i både batteri- og brintdrevne tog sikrer mindre støj og færre vibrationer. Således rapporterer Bombardier, producenten af den batteridrevne Talent 3-togtype, en støjreduktion på op til 7 decibel ift. et traditionelt dieseltog.<sup>65</sup> Alstom, der producerer iLint-tog, melder en noget større støjreduktion, op til 20 decibel, ved kørsel på batteri igennem byer.<sup>66</sup> Denne reduktion betyder, at arbejdsmiljøet for togpersonalet bliver væsentligt forbedret, mens passagerer vil befinde sig i et rum med mindre støj.

Ligeledes vil en reduktion af vibrationer være mærkbar ved et skift til batteri.<sup>67</sup> eller brint.<sup>68</sup> som drivmiddel. Denne reduktion af vibrationer vil som helhed gøre arbejdsmiljøet bedre for togpersonalet. Specielt lokoførerne vil have gavn af den mindre grad af vibrationer, idet de vil udsættes for en mindre arbejdsbelastning i forbindelse med deres arbejdsdage i toget. Ligeledes vil togrevisoren blive udsat for en mindre belastning i tiden ombord på togene. Endvidere vil specielt ældre, gangbesværede og stående passagerer opleve den lavere grad af vibrationer som en positiv forbedring ved at skifte til nulemissionstog.

## Oplevet nytteværdi

Et skifte til nulemissionsmateriel vil betyde, at togpersonalet, specielt lokoføreren, vil skulle gennemgå et uddannelsesforløb for at være i stand til at betjene det nye materiel. Denne nye viden kombineret med muligheden for at køre i nyt moderne togmateriel vil potentielt kunne forhøje motivationen for specielt lokoføreren. Videre vil en ensformig togflåde øge fleksibiliteten på tværs af Lokaltogs strækninger, mens uddannelsesforløbet gøres mindre

komplekst, idet togpersonalet skal sætte sig ind i færre togtyper. Dette kan ses som positivt for både togpersonalet, men også for Lokaltog, som dermed skal investere færre midler i uddannelsesforløbet. Ligeledes vil nogle passagerer opleve en øget værdi i at tage toget, idet de nye nulemissionstog er mindre miljøbelastende.

## Luftkvalitet

Den nye brint- og batteriteknologi der anvendes i nulemissionsmateriellet sikrer, at ingen lokal forurening finder sted, hvorfor både togpersonale og passagerer ikke udsættes for ukomfortabel og sundhedsskadelige partikler, når togene holder stille på stationerne. Ydermere betyder det, at naboer til togstationen ikke vil blive påvirket af støj- og partikelforureningen.

## Daglige rutiner for drift og vedligehold

Infrastrukturen omkring påfyldning af drivmiddel vil mellem diesel og brint være meget lig hinanden, idet påfyldning af brint i store træk minder om dieselovertankning med en tankningstid på omkring 15 minutter fra en tom tank.<sup>69</sup> der giver en rækkevidde på op til 1000 km. Batteritog adskiller sig derimod fra den nuværende dieselflåde, når det kommer til opfyldning af drivmiddel. Modsat diesel- og brinttogene skal batteritogene ikke tankes manuelt med drivmidlet. Derimod kan batterierne ombord på togene oplades, enten når der holdes stille på en station, når der køres under elektrificerede køreledninger, eller i et depot med en ladestation. Dette vil medføre en ændring i de eksisterende rutiner, da lokoførerne dermed ikke skal indregne tid til manuel tankning af togene. Derimod vil køreplanerne givetvis skulle justeres ved brug af ladestationer, hvis togene ikke fortsætter under eller kommer fra elektrificerede strækninger, idet den aktuelle batteriteknologi kræver hyppigere genopladning. Opladningstid på de forskellige stationer vil variere på baggrund af, hvor mange procent der er tilbage i batteriet samt ladningseffekten.<sup>70</sup>

<sup>65</sup> APTA Bombardier præsentation

<sup>66</sup> Alstom om ny teknologi

<sup>67</sup> APTA Bombardier præsentation

<sup>68</sup> Global Railway Review om vibrationer

<sup>69</sup> APTA Alstom præsentation

<sup>70</sup> Rambøll ekspert

En ny tilgang til vedligehold af tog er vundet frem de seneste år. Således bliver vedligehold af operatørers togsæt i en stadig større grad outsourcet til togproducenten. Dermed skal den enkelte togoperatør ikke uddanne sit eget personale. Derimod kan evt. problemer med togsættene løses af togproducentens eksperter, der kan trække på erfaringer fra andre lande, hvor samme togtype er i drift. Dette kan potentielt betyde afskedigelser på de eksisterende værksteder. Der er ikke udtrykt et sådant ønske fra Lokaltog, hvorfor det formentligt ikke vil betyde afskedigelser for den aktuelle værkstedsstab. Derimod vil et skift til nulemissionstog betyde, at værkstedsstaben vil skulle gennemgå et uddannelsesforløb. Et sådant forløb vil bringe ny viden til værkstederne, hvilket kan virke motiverende for værkstedsstaben. Yderligere vil nulemissionstog betyde, at arbejdet på værkstederne vil være af mindre beskidt og sundhedsskadelig karakter, idet de nye togtyper ikke anvender hverken dieselmotorer eller olie.

### Driftssikkerhed

Batteri- og brinttog er fortsat i den tidlige fase af kommercialiseringen, som beskrevet i afsnit 5, og således er det fortsat den første generation af brint og batteridrevne tog, der er på markedet på nuværende tidspunkt. Dette betyder, at erfaringsgrundlaget fortsat er begrænset, hvorfor der er en risikofaktor omkring stabiliteten af materiellet. Denne risiko vil formentlig betyde hyppigere uforudsete driftsstop og mindre reparationer, indtil de fleste børnesygdomme er opdagede og løst. Disse potentielle nedbrud vil være til stor gene for både togpersonale og passagerer, idet transporttiden kan blive væsentlig forlænget og den generelle køreplan vil blive forstyrret.

Idet batteri- og brintteknologien stadig er i en forholdsvis tidlig kommerciel fase, er en detaljeret teknisk beskrivelse af fordele og

ulemper vedr. vedligehold, og hvordan dette påvirker Lokaltogs værksteder og personale, vanskelig. Dette skyldes, at der udover nogle forventelige opstartsproblemer endnu ikke er dannet et tilstrækkeligt erfaringsgrundlag fra disse teknologier. Det står omend klart, at de nye teknologier, som er baseret på brændselsceller og batterier, bygger på en statisk konstruktion, hvorfor der er færre bevægelige dele end i en klassisk dieselmotor. Dette betyder, at mindre vedligehold og færre tekniske nedbrud må være forventeligt, når der er dannet et større erfaringsgrundlag omkring materiellet. Dette vil på længere sigt betyde færre forstyrrelser af togdriften, hvilket må anses som værende en fordel for både togpersonale og passagerer.

Der er nogle små potentielle sikkerhedsproblemer med de nye drivmidler. Således har brint en lille risiko, der skal evalueres, idet brint er en brandbar gasart, der opbevares under tryk på op til 700 bar.<sup>71</sup> Dette betyder, at der både er små risici i forbindelse med ulykker, men også ved tankningsinfrastrukturen, hvor der bl.a. i Norge er eksploderet en brinttankstation.<sup>72</sup> Denne brand- og eksplosionsfare kan potentielt påvirke sikkerheden ombord på brinttogene. Det brintdrevne Coradia iLint er godkendt til passagertransport i Tyskland.<sup>73</sup>, hvorfor sikkerhedsrisikoen må anses som værende minimal.

For at vurdere sikkerhedsrisikoen ved batteridrevne tog kan man sammenligne med elbiler, idet de er væsentlig flere og har været på markedet i længere tid. Når disse evalueres, kan det ses, at der er en brandfare. Dog er denne lig eller lidt mindre end ved konventionelle diesel- og benzinbiler.<sup>74</sup> Det må derfor vurderes, at sikkerhedsrisikoen ved batteri som drivmiddel ikke er større end de nuværende dieseltog.

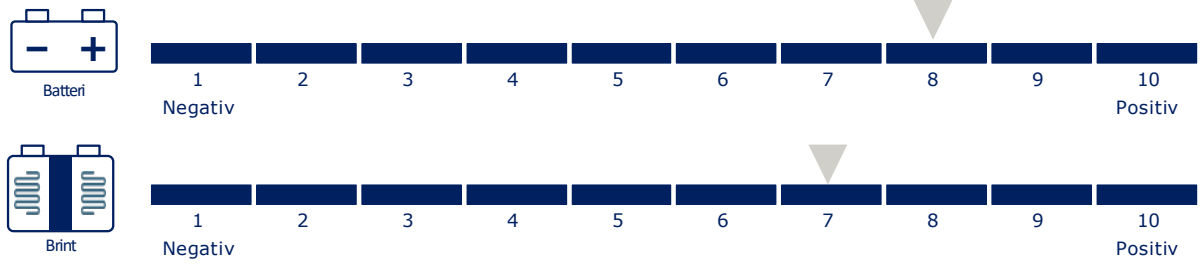
<sup>71</sup> IEA omkring brint i fremtiden

<sup>72</sup> Artikel omkring eksplosion af brintstation

<sup>73</sup> Railway Technology omkring Coradia iLint

<sup>74</sup> U.S. Department of Transportation omkring batteri sikkerhed

**Figur 4-2: Scoring af forhold for kunder, personale og naboer**



Kilde: Rambøll

## 5. EN VURDERING AF MARKEDETS MODENHED

### 5.1 Teknologiens historiske udvikling

#### Batteri

Anvendelsen af batteri som drivmiddel for tog har været kendt siden 1896, hvor de første akkumulatører installeret på tog blev sat i drift. Batteriteknologien var langt mindre udviklet end i dag, hvorfor energi til vægtforholdet var lavt. Alligevel var en del batteritog i drift på udvalgte strækninger indtil 1960'erne, hvor den teknologiske udvikling muliggjorde både stærkere og billigere dieselmotorer. Dermed blev batteritogene udfaset til fordel for den nye dieselteknologi. Omkring oliekrisen i 1970'erne fik ideen om batteridrevne tog en kort renæssance, dog blev ideen hurtigt droppet, da oliepriserne igen normaliserede sig.<sup>75</sup> Batteridrevne tog har altså historisk vist sig brugbare på visse strækninger. Alligevel er det først i de seneste år, at udviklingen af batteridrevne tog for alvor har taget fart, primært drevet af den hastige udvikling af moderne batteriteknologi samt potentialet for, at batteritog kan drives uden at udlede drivhusgasser.

#### Brint

De første brændselsceller blev udviklet i 1839, hvorfor brinteknologien har eksisteret længe. Dog har brint inden for togdrift ikke den samme historik som batteridrevne tog. Det første europæiske brintdrevne tog blev indsat i kommerciel drift i 2018, ligesom der i den seneste årrække er udviklet andre transportmidler som anvender brint. Trods brinteknologien inden for togdrift er relativt nyere end batteriteknologien, er teknologien allerede på nuværende tidspunkt bevist kommercielt brugbar på visse strækninger. Brintens teknologiske udvikling er specielt blevet drevet af efterspørgslen på nulemissionstog, hvor brint som drivmiddel på aktuelt tidspunkt har egenskaberne til at betjene længere strækninger.

<sup>75</sup> Bombardier præsentation

<sup>76</sup> Bombardier præsentation

### 5.2 Teknologiens nuværende egenskaber

#### Batteri

De eksisterende batteritog, der er markedsført af internationalt anerkendte producenter såsom Bombardier, Stadler og Siemens har alle en forholdsvis lav rækkevidde med batteri som drivmiddel. Fabrikkerne af togtyperne oplyser en rækkevidde på mellem 40 og 100 km, afhængigt af den installerede batteripakke. Dog vurderer Rambøll, at disse udmeldinger er optimistiske. Således kan den første generation af batteritog forventes at have en rækkevidde på ca. 40 km afhængigt af forholdene, som toget drives under, samt den ønskede sikkerhedsmargin til uforudsete hændelser. De planlagte forsøg med batteritog på Hillerød-Helsingør strækningen og på Lemvig-banen i slutningen af 2020 forventes at give konkrete erfaringer i den lokale kontekst.

For de fleste batteritog kan opladningen af batterierne ske, både når toget kører under en elektrificeret køreledning eller på stationer med opsatte ladestationer. En fuld opladning på en stationær ladestation med den nuværende batteriteknologi, tager 7-10 minutter.<sup>76,77</sup>, hvorfor sådanne opladningspauser skal indregnes i de daglige driftsplaner. Levetiden på batterier har i de seneste år været igennem en utrolig positiv udvikling, således er batterilevetiden forbedret markant. Dermed har moderne lithium-ion-batterier, der anvendes i første generations batteritog, en levetid på omkring 7-10 år.<sup>78</sup>. Dog skal det bemærkes, at batteriernes brugbare levetid forringes markant, hvis batterierne udnytter deres fulde kapacitet. Den kortere levetid er grundet slitage på batteriet ved hver op- og afladning, hvor slitagen er større, jo mere af batterikapaciteten der udnyttes. Dette vil på sigt lede til, at batteriernes kapacitet mindskes til et punkt, hvor de ikke længere har rækkevidden til at tilbagelægge distancen mellem elektrisk infrastruktur.

<sup>77</sup> Stadler interview, (04/12/2019)

<sup>78</sup> Rambøll ekspert

Udviklingen af moderne standardtog har medført, at udviklingen af batteritog er blevet både teknisk og økonomisk mulig. Med andre ord fremstilles batteritog som regel ved at installere en batteripakke på et standard elektrisk tog. Idet batteritogene bygger på en base fra elektriske tog, betyder det også, at de med tilføjelse af pantograf kan opereres fleksibelt, både som elektriske tog under køreledninger og som batteridrevne tog på ikke-elektrificerede strækninger. Dette giver således også mulighed for at betjene længere delvist-elektrificerede jernbanestrækninger. At batteritogene bygger på en eksisterende togbase med en komponentlighed på op til 90%.<sup>79</sup>, betyder også, at en stor del af risikoen ved at indsætte nyt materiel bortfalder, idet der i batteritogenes udvikling, produktion og drift allerede vil eksistere et erfaringsgrundlag, der kan overføres til det nye togmateriel. Ligeledes er der i Europa ikke observeret større problemer omkring godkendelse af batteritog til passagertransport.<sup>80,81</sup>, da de eksisterende togbaser i tidligere togtyper allerede havde været godkendt før. Ifølge togproducenten Bombardier var fokuspunkter i godkendelsesprocessen.<sup>82</sup>:

- Elektromagnetisk kompatibilitet med bl.a. signalsystemer og anden elektronisk materiel langs jernbaner
- Togets køreegenskaber der bliver påvirket af et højere tyngdepunkt, idet Bombardiens batteritog har batterier monteret på taget
- En generel sikkerhedsvurdering af batteripakkerne der installeres på togene

## Brint

Det første brinttog i kommerciel drift i Europa, Coradia iLint, der er produceret af den franske togproducent Alstom, har en rækkevidde på omkring 1.000 km. Ligeledes forventer Siemens en rækkevidde på 800-1.000 km for deres Mireo Plus H model, der forventes på markedet i 2021. Som det kan ses i togkataloget,

har vi ikke taget dette tog i betragtning fordi der endnu ikke findes tilstrækkelig tilgængelig information om toget. Brintteknologien er således ikke hæmmet af den samme korte rækkevidde som de batteridrevne alternativer. I stedet minder brintteknologiens rækkevidde mere om de konventionelle dieseltog som fx Lint 41, der med en rækkevidde på omkring 1000 km betjener en stor del af Lokaltogs baner i både Region Hovedstaden og Region Sjælland.

Også brinttogenes optankningstid minder om de konventionelle dieseltog, idet en brintoptankning fra tom tank tager omkring 15 minutter. Dermed vil brintteknologien ikke have en indvirkning på de daglige driftsplaner, da togets lange rækkevidde kombineret med den diesellignende optankningstid vil kunne gøres en gang i døgnet.

Til trods for at brintteknologien er sat i kommercialdrift, har teknologien stadig nogle klare svagheder. Brændselsceller er estimeret til pt. at have en brugbar levetid på omkring 3 år, men som forventes at være 5 år i 2025.<sup>83</sup> Dette betyder, at en hyppig hovedreparation af togenes motor er nødvendig. Den nuværende pris på brændselsceller ligger på omkring 7.500 DKK/kW. Baseret på brintteknologien installeret i Alstoms Coradia iLint<sup>84</sup> betyder dette, at en brændselscelle koster omkring 4.7 mio. DKK. Denne pris forventes dog at falde i togets levetid, da en modning og etablering af stordriftsfordele er forventelig.<sup>85</sup>

Ligesom de batteridrevne togtyper, er de brintdrevne tog bygget på allerede-etablerede og gennemtestede konstruktioner. Således er Alstoms Coradia iLint baseret på togbasen fra Lint 54 toget, hvor dieselmotoren er erstattet med en elmotor og brændselsceller.<sup>86</sup> Mens Siemens' brintdrevne Mireo Plus H tog vil være baseret på den elektriske Mireo serie.<sup>87</sup> Idet togmateriellet er baseret på æl-

<sup>79</sup> Bombardier præsentation

<sup>80</sup> Railway Gazette omkring præsentation af Flirt Akku

<sup>81</sup> Urban Transport Magazine om Siemens Mireo ÖBB Cityjet Eco

<sup>82</sup> Bombardier interview, (29/01/2020)

<sup>83</sup> Rambøll ekspert

<sup>84</sup> Railvolution omkring Coradia iLint

<sup>85</sup> IEA omkring brint i fremtiden

<sup>86</sup> Biopress omkring Coradia iLint

<sup>87</sup> Siemens Mireo Plus præsentation

dre og gennemtestet materiel, minimeres risikoen for at opleve problemer i udviklingen, produktionen og driften af brinttog. Den øgede risiko ved at anvende brintdrevne tog er dermed primært inden for den nye brintteknologi. Baseret på de erfaringer fra Tyskland kan det konkluderes, at brintteknologien har været relativt stabil uden større nedbrud, idet de første seks måneder af driften resulterede i en operationel opetid på over 95%.<sup>88</sup>. Det skal dog bemærkes, at godkendelsesprocessen til passagertransport er længere ved brint end batteri. Dette skyldes blandt andet, at sikkerhedskravene er større. Således skal brinttog opnå sikkerhedsgodkendelser inden for blandt andet de trykbeholdere, brinten opbevares i, det samlede system toget drives med, togbasens strukturelle sikkerhed samt påvirkninger af togets nærmiljø inden for bl.a. brandfare, udledninger og elektromagnetisk påvirkning.<sup>89</sup>.

På trods af den store lighed med eksisterende togmateriel, er brinttog fortsat en relativt dyrere løsning end diesel og batteritog. I Tyskland, hvor de første brinttog blev sat i drift, var subsidier med til at gøre brintprojektet til en realitet.<sup>90</sup>.

### 5.3 Teknologiens fremtidige egenskaber

#### Batteri

Baseret på interviews med en række producenter af batteridrevne tog.<sup>91</sup> forventes det, at næste generation af batteridrevne tog vil have en markant længere rækkevidde. Således oplyses det af Bombardier, at de i 2022 har et mål om en rækkevidde på 120-130 km alt efter, hvilke forhold togets drives under. Rambøll anbefaler at have en konservativ tilgang til rækkevidder opgivet af togproducenter, idet testforholdene oftest er bedre end de forhold, der i realiteten kan opnås.

Batteritogenes anvendelighed i dag har primært været drevet af en hastig udvikling in-

den for batteriteknologien. Således er batteripriserne fra 2010 til 2018 faldet med omkring 85%. Udviklingen er også i fremtiden udset til at bringe billigere lithium-ion batterier til markedet. Dog ikke med helt samme hastighed som hidtil. Således er der frem til 2030 forudset et årligt prisfald på omkring 6,3%.<sup>92</sup> i EU.

Lithium-ion batteriers helt store svaghed er deres forholdsvise korte levetid med omkring 2.000 fulde opladningscyklusser. Endvidere findes der på nuværende tidspunkt bl.a. lithium titanat oxid batterier, der kan klare omkring 20.000 opladningscyklusser.<sup>93</sup>, før en udskiftning af batterierne er nødvendig. På aktuelt tidspunkt er denne teknologi dog relativt dyr ift. lithium-ion batterier, hvorfor der stadig skal gå nogle år, før de er økonomisk konkurrencedygtige.<sup>94</sup>.

Udover den batteriteknologi, forventes det inden for den kommende årrække, at såkaldte solid-state batterier bliver færdigudviklede og indsat i kommerciel brug. Solid-state batterier er, som navnet antyder, batterier der binder energi i faste materialer, fremfor flydende som i dag. Denne teknologi vil forbedre batteriteknologien markant, idet den vil muliggøre hurtigere opladning, en øget energikapacitet samt længere levetid.<sup>95</sup>.

Udover den generelle udvikling i batteriteknologien, bidrager konkurrencen mellem togproducenterne til, at batteritog i fremtiden bliver optimeret. Således presses udviklingen fremad i et sammenspil mellem, at indkøb af togmateriel i Europa sker igennem udbud, og at batteritog allerede er blevet bestilt i Tyskland og Østrig. Således vil fremtidige udbudspakker formentlig inkludere batteritog i større eller mindre grad, hvorfor togproducenterne er nødsagede til at have en konkurrencedygtig batterivariant.

For at drive udviklingen fremad ses strategiske alliancer mellem tog- og batteriproducenter. Som tidligere nævnt har Bombardier ind-

<sup>88</sup> Brintbranchen omkring Coradia iLint

<sup>89</sup> APTA Alstom præsentation

<sup>90</sup> DW omkring Coradia iLint

<sup>91</sup> Interviews med Bombardier & Stadler

<sup>92</sup> Bloomberg omkring batteriteknologiens fremtid

<sup>93</sup> EV-power.eu, omkring LTO batterier

<sup>94</sup> Baseret på Rambøll ekspert

<sup>95</sup> Bloomberg omkring solid-state batterier



gået et samarbejde med den schweiziske batteriproducent Leclanché med et mål om europæisk fremstillede batterier, der kan reducere prisen samt øge rækkevidden yderligere.<sup>96</sup>

### Brint

Brændselsceller er med en pris på omkring 7.500 DKK/kW relativt dyre. Dog forventes teknologien inden for ganske få år at falde i pris bl.a. gennem anvendelse af tyndere platin-katalysatorer. Ligeledes vil en stigning i produktionen kunne få prisen per kW til at falde yderligere, idet visse komponenter i brændselscellerne har mulighed for stordriftsfordele.<sup>97</sup> Der forskes ligeledes i reduktion af omkostninger og miljøeffekter ved den påfyldte brint, med særligt fokus på energitabet ved kompression.<sup>98</sup>

Ligesom ved batteriteknologien ses der inden for brintteknologien strategiske alliancer. Således har bl.a. den tyske togproducent Siemens indgået et strategisk samarbejde med den canadiske brintvirksomhed Ballard omkring udviklingen af brintteknologien i tog, der kan gøre togtypen konkurrencedygtig med de andre alternativer i markedet.<sup>99</sup>

## 5.4 Infrastrukturens modenhed

### Batteri

Lokaltogs baner har en begrænset grad af elektrificering, der kan understøtte driften af batteridrevne tog. Den rette elektriske infrastruktur er kun til stede på Helsingør, Slagelse og Køge station. Den elektrificering der bruges til S-banerne på Hillerød og Jægersborg station er ikke kompatibel med de batteritog, som undersøges i denne rapport, idet der er tale om en betydelig ældre teknologi (1,65 kV jævnstrøm i stedet for 25 kV vekselstrøm).

Lokaltogs infrastruktur er baseret på enkeltsporede strækninger. Således sker det, at tog holder stille på stationer, imens der ventes på, at et modkørende tog passerer, så toget kan fortsætte sin rejse mod destinationen. Denne ventetid kan bruges på at oplade batterierne, så opholdet kunne udnyttes effektivt

og driftsforstyrrelser i forbindelse med opladning minimeres. Rambøll har lavet en kort undersøgelse, som er beskrevet i afsnit 3,5 og vurderer, at opladningstiden for de fleste stationer ikke vil overskride den afsatte ventetid med udgangspunkt i en batterirækkevidde på 100 km.

Det skal bemærkes, at et skift til batteritog ikke alene vil føre til nulemissionstransport. Dette skyldes energimikset i Danmark, der fortsat ikke udelukkende er baseret på vedvarende energi. For at opnå dette skal der købes grøn strøm. Dog er batteriteknologien fri for lokal emission af bl.a. partikler og NO<sub>x</sub>.

På trods af en relativ høj teknisk modenhed er producenterne af batteritog fortsat meget opmærksomme på eventuelle problemer. Risikoen for problemer vil være størst ved introduktionen af de nye tog, hvor driften må forventes at opleve forstyrrelser, indtil det nye materiel er justeret til, og personalet er blevet fortrolig med dette. Derfor anbefales det fra producenterens side en trinvis indsættelse af det nye materiel, hvor dieselmateriel erstattes strækning for strækning og tog for tog. Således sikres det også, at den eksisterende dieselflåde kan støtte de nye batteritog i indkørsfasen.<sup>100</sup>

### Brint

Lokaltog har ikke infrastrukturen til at betjene brintdrevne tog, idet brint-optankningssystemet adskiller sig fra den aktuelle og udviklede dieselinfrastruktur. Ved de første brintdrevne tog i Tyskland blev samme problemstilling løst ved at indsætte en mobil brintstation.<sup>101</sup> En sådan løsning tilfører en høj grad af fleksibilitet, idet brinttogene ikke er bundet til den samme bane grundet optankningsinfrastrukturen.

International Energy Agency (IEA) påpeger, at tankningsinfrastrukturen er kernen til succes for brintteknologien. Der ligger fortsat udfordringer i transport af brint fra produktionsstedet til tankstationerne, idet dette er mere krævende end konventionel dieseltransport.

<sup>96</sup> Bombardier præsentation

<sup>97</sup> IEA omkring brint i fremtiden

<sup>98</sup> Rambøll ekspert

<sup>99</sup> Rail Gazette om udvikling af Mireo Plus H

<sup>100</sup> Interviews med Stadler & Bombardier

<sup>101</sup> Railway Technology omkring Coradia iLint



Videre bemærker IEA, at der er stordriftsfordele i brintindustrien, idet bl.a. kompressoren der anvendes i forbindelse med tankningen, udgør omkring 60% af omkostningerne i forbindelse med anlæggelsen af en brintstation. Dermed vil en brintstation med en høj daglig kapacitet have en betydelig lavere brint-kilopris. IEA estimerer således, at prisen kan svinge op til 75% ved en stigning fra en kapacitet på 50 til 500 kg brint om dagen.<sup>102</sup>

Teknologien tillader udvinding af brint ved flere metoder. De hyppigste kilder til brint er således som biprodukt fra anden kemisk produktion, udvinding fra naturgas og elektrolyse.<sup>103</sup> Hvor de første brinttog i Tyskland anvender brint, der er dannet som biprodukt fra anden kemisk produktion.<sup>104</sup>, så skal der formentlig ses på andre muligheder for lokaltog i Danmark. De to oplagte kilder til brint er således enten igennem udvinding fra naturgas eller elektrolyse. Størstedelen af brinten i Danmark er aktuel udvundet fra naturgas.<sup>105</sup> Dette er en CO<sub>2</sub>-tung proces, hvorfor der, i hvert fald på sigt, skal anvendes elektrolyse, hvis batteritog skal anvendes som nulemissionsmateriel. Der er et stort energitab ved brintfremstilling igennem elektrolyse, således er der et forhold på omkring 3-til-1 for energiinput til output.<sup>106</sup> Teknologien er stadig anvendelig, idet den muliggør, at produktionen af brint eksempelvis kan foregå om natten, hvor der er lave priser og efterspørgsel på el, eller i perioder hvor fx vindmøller producerer mere strøm end nødvendigt.<sup>107</sup>

Indkøbsprisen på brint ligger på omkring 37,5 DKK per kg.<sup>108</sup> Denne pris er baseret på produktionsomkostninger helt ned til 5,9 DKK,

som er kun opnåelig igennem udvinding af brint fra naturgas.<sup>109</sup> Dog forventes vedvarende energikilder i fremtiden at vinde frem, idet der forudses, at produktionsomkostningerne for brint, baseret på vedvarende energikilder, falder til et konkurrencedygtigt niveau. Produktionsomkostningerne ligger aktuelt på mellem 26 til 44 DKK per kg. Disse forventes i 2030 og 2050 at være faldet til hhv. 9 DKK/kg og 5,2 DKK/kg.<sup>110</sup>, hvilket vil have en stor effekt på totalomkostningen. Udover det bevirker et grønnere energimiks i produktionen af brint, at brinttogenes emissioner potentielt kan nedbringes markant.

Ligesom ved batteritog anbefales det, at brinttog bliver indført trinvis for at minimere eventuelle risici i forbindelse med ibrugtagelsen af hybridtog på Lokaltogs infrastruktur. Således vil indsættelsen skulle ske på en bane af gangen samt et togsæt ad gangen. Dermed kan eventuelle udfordringer opdages tidligt og minimere indflydelsen på driften, ligesom det eksisterende dieselmateriel vil kunne understøtte brintmateriellet i opstartsfasen.

## 5.5 Vurdering af teknologiernes totale modenhed

En vurdering af batteri- og brintteknologiernes egenskaber samt kompatibiliteten med den omkringliggende infrastruktur danner grundlag for en vurdering af teknologiernes totale modenhed. Ud fra vores erfaring og tog som er i drift i Tyskland og Østrig, kan Rambøll vurdere at teknologien er klar til indsættelse i kommerciel brug i 2025.

<sup>102</sup> IEA omkring brint i fremtiden

<sup>103</sup> Hydrogen Europe omkring brint produktion

<sup>104</sup> Artikel omkring Coradia iLint

<sup>105</sup> Rambøll ekspert

<sup>106</sup> Rambøll ekspert

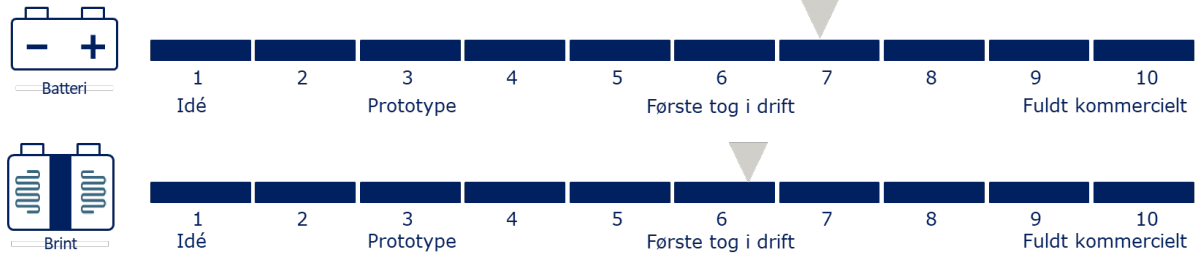
<sup>107</sup> Danmarks Radio omkring produktion af brint

<sup>108</sup> Stadler interview, (04/12/19)

<sup>109</sup> IEA brint review

<sup>110</sup> Bloomberg, 2019

**Figur 5-1: Scoring af teknologiens modenhed**





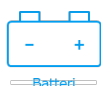








Kilde: Rambøll

## 6. EN KORT REDEGØRELSE OVER ERFARINGER

Nulemissionsmateriel er på vej frem. Således ses der i stigende grad, at nulemissionsmateriel bliver testet, godkendt og idriftsat. Ligesom at nulemissionstog oftere bliver inkluderet i europæiske udbud. Derfor findes der allerede en række europæiske myndigheder og operatører, der har gjort sig værdifulde erfa-

ringer omkring de nye batteri- og brintteknologier. Blandt de europæiske erfaringer anser Rambøll både Tyskland og Østrig som frontløbere, hvorfor fokus vil være på erfaringer herfra. Nedenfor ses en oversigt over erfaringer med batteri- og brinttog fra Tyskland og Østrig, ligesom der videre i afsnittet dykkes dybere ned i erfaringer fra de to lande.

**Figur 6-1: Opsummering af erfaringer i Tyskland og Østrig**

|                             |   | Tyskland  | Østrig   |
|-----------------------------|---|---|--|
|                             |   |  <p><b>Frontløber:</b> Relativ høj udbredelse af nul-emission. Tester f.eks. løsninger fra flere store producenter inkl. Alstom's Coradia iLint og Bombardier Talent 3. Tyskland er samtidigt det eneste Europæiske land i 2019 med brintdrevne passagertog i testdrift.</p> |  <p><b>Frontløber:</b> Igangværende udbredelse med test af flere løsninger (Siemens og Stadler) der forventes i drift inden for tre år. Skift drevet af ÖBB's ønske om 100% nul-emissions drift fra 2035. Yderligere udbud om leje af brinttog er offentliggjort i 2019 (ikke tildelt)</p> |
| Teknologisk udbredelse      |   |  <p>Batteri</p>   |  <p>Brint</p>  |
| Tochterners Status på drift |  Alstom Coradia iLint          |   | 2018: Testdrift<br>2021: Kommerciel drift (forv.)  |
|                             |  Bombardier Talent 3           | 2019: Godkendt til testdrift<br>2020: Kommerciel drift (forv.)  |  |
|                             |  Siemens Mireo plus B          | 2023: Forventes idriftsat   |  |
|                             |  Siemens Mireo plus H          |   | 2021: Forventes tilgængelig  |
|                             |  Siemens Desiro eco (ombygget) |   | 2019: Godkendt testdrift<br>2019: Kommerciel drift   |
|                             |  Stadler Flirt Akku            | 2022: Forventes idriftsat   |  |
|                             |  Stadler Flirt H2              |   | 2020: Prototype leveres (1 tog)<br>2022: kommerciel drift (+4 tog)   |

● Høj teknologisk udbredelse    ○ Lav teknologisk udbredelse

Kilde: Rambøll

## 6.1 Tyskland

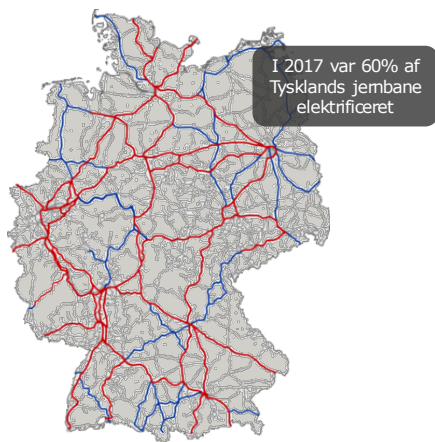
**Frontløber:** Relativ høj udbredelse af nulemission. Tester fx løsninger fra flere store producenter inkl. Alstoms Coradia iLint og Bombardier Talent 3. Tyskland er samtidigt det eneste Europæiske land i 2019 med brintdrevne passagertog i kommerciel drift.

### Nuværende løsninger og erfaringer

#### 6.1.1 Infrastruktur

I 2017 var 60% af Tysklands jernbane elektrificeret. EU's gennemsnit herfor var i samme periode 54%, hvorfor Tysklands jernbaneinfrastruktur kun ses som værende gennemsnitlig, men bag frontløberne Schweiz (100%), Belgien (86%), Holland (76%), Sverige (75%) og Østrig (72%).<sup>111</sup>

#### Figur 6-2: Tysklands jernbanenet

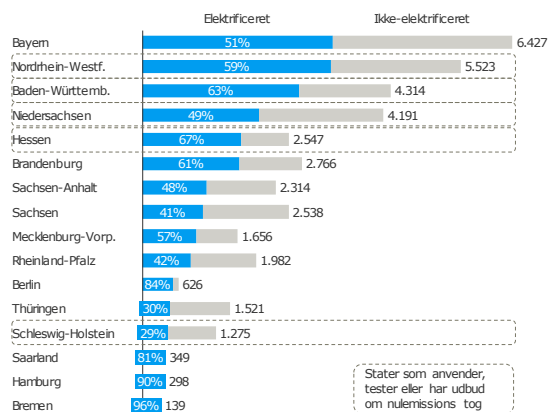


Kilde: Rambøll, Shift2rail

Det fremgår af elektrificeringsoversigten, at både stater med høj og lav elektrificeringsgrad anvender, tester eller forventer snarlige udbud vedrørende nulemissionsløsninger. Dette skyldes, at de to primære teknologier, brint og batteri, har forskellige optimale anvendelsesprofiler. Schleswig-Holstein har kun 29% elektrificeret, hvorimod Baden-Württemberg og Hessen har elektrificeret

omkring 65%. Sjælland og øernes elektrificeringsgrad har størst sammenlignelighed med infrastrukturen i Schleswig-Holstein.

#### Figur 6-3: Elektrificeringsoversigt af jernbane km, 2015<sup>112</sup>



Kilde: Rambøll, Allianz pro Schiene

#### 6.1.2 Batteri

I 1887 blev verdens første batteritog indsat i Tyskland af Royal Bavarian State Railway på forsøgsbasis.<sup>113</sup> Siden dengang har tyskerne forsøgt sig adskillige gange med forskellige batteritog, hvoraf det sidste udgik af drift i 1995.<sup>114</sup> Herefter er der stilstand i den teknologiske udvikling, med enkelte projekter der måtte droppes, før de blev idriftsat. I 2016 lykkedes det dog Bombardier at lave en aftale med BMVI om at undersøge muligheden for batteridrift på ny. Samme år igangsættes udviklingsarbejdet på prototypen Talent 3 BEMU, som er blevet testet i 2018 og i 2. kvartal 2019 godkendt til driftstest med passagerer i 12 måneder. Talent 3 køres af Deutsche Bahn (DB) i Baden-Württemberg indtil 2. kvartal 2020. Ifølge Bombardier kan 32% af Tysklands 450 dieselstrækninger erstattes af batteritog med den eksisterende elektrificeringsgrad. Hvis elektrificeringsgraden øges, så alle endestationer elektrificeres, er potentialet op mod 75%.<sup>115</sup>

<sup>111</sup> Allianz Pro Schiene omkring elektrisk infrastruktur (A)

<sup>112</sup> Allianz Pro Schiene omkring elektrisk infrastruktur (B)

<sup>113</sup> Information omkring BEMU

<sup>114</sup> Urban Transport Magazine om Stadler Flirt Akku

<sup>115</sup> The German Railway Industry Association

## Andre vundne udbud

Stadler vandt i 2018 en kontrakt med Schleswig-Holstein's lokale transportsammenslutning NAH.SH om at levere 55 af deres FLIRT Akku batteritog, som skal idriftsættes i slutningen af 2022.<sup>116</sup> Derudover har Siemens med deres batteritog Mireo Plus B vundet en kontrakt på leverance af 20 enheder til Baden-Württemberg's transportministerie inden 2023.<sup>117</sup> Begge kontrakter er inkl. service og vedligeholdelse i 30 år.

## Myndigheds-/operatørerfaringer

Baseret på en række interviews med bl.a. myndigheden Fahma der er flådeforvalter for trafikelskabet RMV i Frankfurt og togproducenterne Alstom, Stadler og Bombardier, kan det udledes, at der er en generel tendens til, at en batteriløsning vælges i de indkøb, hvor distancen mellem elektrisk infrastruktur er lav. Videre ses det, at batteritog ofte vælges ved nulemissionsudbud, hvor drivmidlet ikke er specificeret. Dette var tilfældet ved udbuddene i både Schleswig-Holstein og Baden-Württemberg.

Videre har alle adspurgte parter i de af Rambøll afholdte interviews været enige om, at en trinvis indførelse af den nye batteriteknologi vil være favorabel. Dermed anbefales det, at udskiftningen af materiel sker på en strækning ad gangen samt et tog ad gangen på strækningsniveau. Dermed vil dieselmateriel kunne understøtte det nye materiel i opstartsfasen.

### 6.1.3 Brint

Også inden for den brintdrevne teknologi er Tyskland blandt de førende i verden. I 2016 blev Alstoms Coradia iLint introduceret og allerede i 2017 testet i Salzgitter. I 2018 blev Alstoms to brinttog sat i kommerciel drift i Tyskland som det eneste Europæiske land.<sup>118</sup> Yderligere 14 tog er bestilt og planlægges at skulle erstatte dieseltog på de ikke-elektrificerede linjer i nordvest Tyskland fra december 2021. Togene bliver fyldt af en mobil påfyldningsstation, men i 2021 er der planlagt

etablering af en stationær påfyldningsstation.<sup>119</sup>

Foruden Alstom annoncerede Siemens i 2017, at de sammen med canadiske Ballard samarbejder på at udvikle en brintdrevet version af Siemens' Mireo (Mireo plus H). Denne togtype forventes idriftsat i 2021.<sup>120</sup>

## Myndigheds-/operatørerfaringer

Fahma, der har ansvaret for iLint flåden i Hessen, har bekræftet, at beslutningen om at vælge en brintdrevet flåde primært var baseret på to faktorer. Der var i området en allerede etableret produktionskilde til brint. Dog skal det bemærkes, at selve optankningsinfrastrukturen krævede godkendelse, samt at prisen for brint endte med at blive højere end først antaget. Den anden faktor var, at afstanden til allerede eksisterende elektrificering var lang, og det blev vurderet, at planlægningen og godkendelsesprocessen for etableringen af elektrificering var for lang.

### 6.1.4 Forventninger til fremtiden

De tyske stater udviser generelt stor interesse for nulemissionsløsningerne.<sup>121</sup> Der er et bredt politisk ønske om at udvikle og investere heri. I koalitionsaftalen mellem CDU, CSU og SPD, 2018.<sup>122</sup> står bl.a.: *"Ift. jernbanetransport har vi til hensigt at etablere et omfattende finansieringsprogram, der dækker både elektrificering af spor og erhvervelse af køretøjer og den respektive opladnings-/påfyldningsinfrastruktur. Derudover forventes regionalt jernbanetransport at blive støttet gennem investeringsbevillinger til brændstofcelle-hybrid tog, inklusive faciliteter, depot modifikation og drift af hydrogen påfyldningsstationer"*. Niedersachsen og Hessen rekvirerer hhv. 14 og 28 brinttog, der forventes idriftsat 2022.<sup>123</sup>

Derudover har staterne Baden-Württemberg, Schleswig-Holstein og Nordrhein-Westfalen alle udbud ude, hvor de er åbne overfor nulemissionsløsninger.

<sup>116</sup> Stadler om Flirt order

<sup>117</sup> Mobilites Magazine omkring Mireo Plus B

<sup>118</sup> Alstom om Coradia iLint

<sup>119</sup> The Agility Effect omkring Coradia iLint

<sup>120</sup> Siemens og Ballard samarbejde

<sup>121</sup> Artikel omkring nulemissionsmateriel i Tyskland

<sup>122</sup> Information omkring brændselsceller og brint

<sup>123</sup> Brintens udbredelse i Tyskland

## 6.2 Østrig

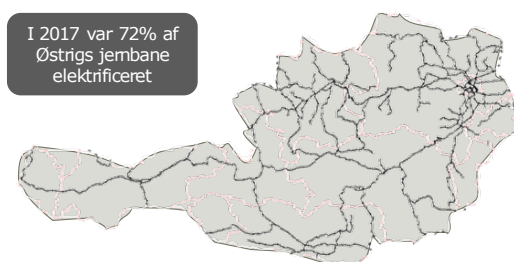
**Frontløber:** Igangværende udbredelse med test af flere løsninger (Siemens og Stadler) der forventes i drift inden for tre år. Skift drevet af ÖBBs ønske om 100% nulemissionsdrift fra 2035. Yderligere udbud om leje af brinttog er offentliggjort i 2019 (ikke tildelt)

### Nuværende løsninger og erfaringer

#### 6.2.1 Infrastruktur

Østrigs elektrificeringsgrad på jernbanerne er blandt Europas fem højeste med i alt 72% elektrificering (2017). Det er særligt i den sydlige del af Østrig, hvor jernbanenettet ikke er elektrificeret.<sup>124</sup>

#### Figur 6-4: Østrigs jernbanenet



Kilde: Rambøll, Shift2rail

#### 6.2.2 Batteri

I 2018 gik det østrigske statslige jernbaneselskab ÖBB sammen med Siemens Mobility om at investere i fremtidens passagertransport og i den forbindelse at udvikle et elektro-hybrid batteritog. I stedet for at igangsætte produktionen af nye tog udskiftes diesel med batterier på taget i de eksisterende tog, (som på det tidspunkt var 3 år gamle). Hermed kunne togene ombygges og leveres på halv tid af produktion og levering af et tilsvarende nyt.<sup>125</sup> I august 2019 blev togene godkendt til at starte test med passagerdrift, som er påbegyndt i september 2019.<sup>126</sup> Foruden Siemens arbejder Bombardier også med ÖBB,

som vandt en rammekontrakt på levering af 300 Talent 3 tog (i nov. 2019 er der leveret 46 tog). Om end togene ikke er batteriudgaven af togtypen, er der alligevel mulighed for, at togene vil kunne ombygges til batteridrift.

#### Myndigheds-/operatørerfaringer

I november 2019 meldte ÖBB ud, at de vil have foretaget en markedsundersøgelse af mulige EMU'er med mulig batteridrift med en minimumsrækkevidde på 100 km. Dette til trods for at de allerede har indgået en rammekontrakt med Bombardier. ÖBB har udtrykt stor utilfredshed med Talent 3 EMU'erne, som allerede har været forsinkede i mere end 1 år, og ønsker derfor ikke at bestille flere.<sup>127</sup>

#### 6.2.3 Brint

Stadler vandt i 2018 en kontrakt til levering af i alt 5 brinttog. Første tests forventes foretaget i 2020 med en prototype, og såfremt dette bliver en succes, forventes den kommercielle drift med yderligere fire tog idriftsat 2022.<sup>128</sup> Alstom, som ellers kører kommerciel drift af Coradia iLint i Tyskland, endte med ikke at byde dels pga. manglende produktionskapacitet og dels pga., at deres produktportefølje ikke på daværende tidspunkt dækkede smalsporet jernbane.<sup>129</sup>

Foruden den ovenstående kontrakt, offentliggjorde ÖBB i 2019 et udbud på en 12-måneders lejekontrakt for to brinttog, som skal tillade ÖBB at sammenligne driften med de batteritog, der ligeledes testes ved Siemens. Dette indgår som led i ÖBBs mål om at opnå 100% emissionsfri togdrift fra 2035.

#### Myndigheds-/operatørerfaringer

Baseret på erfaringer fra togproducenten Stadler.<sup>130</sup> havde den østrigske operatør, Zillertalbahn, et kraftigt ønske om at undgå elektrisk infrastruktur såsom elektriske køreledninger og ladestationer. Dermed var elektriske- og batteritog udelukkede, hvorfor udbuddet endte med et indkøb af brintmateriel.<sup>131</sup>

<sup>124</sup> Allianz Pro Schiene omkring elektrisk infrastruktur (A)

<sup>125</sup> Artikel omkring opgradering til batteri i Østrig

<sup>126</sup> Rail Color News omkring ÖBB CityJet Eco

<sup>127</sup> EMU's i Østrig

<sup>128</sup> Hydropole omkring Stadler brint tog i Zillertal

<sup>129</sup> Railway Gazette omkring brinttog

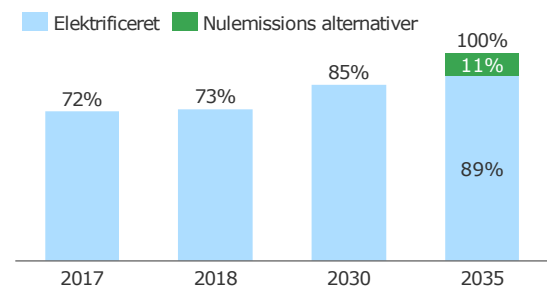
<sup>130</sup> Stadler interview

<sup>131</sup> Hydropole omkring Stadler brint tog i Zillertal

#### 6.2.4 Forventninger til fremtiden

Ved en konference i Geneve, nov. 2018, fremlagde ÖBB deres planer for at støtte og fremme nedbringelse af CO<sub>2</sub>-udledning fra transport ved at overgå til innovativ og bæredygtige teknologier. Heri fremlagdes det bl.a., at man forventer at udfase dieseltog fra 2035 ved bl.a. at fortsætte elektrificeringen af jernbanenettet og indsætte andre nulemissionsløsninger (ikke nærmere defineret).<sup>132</sup>.

**Figur 6-5: Elektrificeringsgrad af det østrigske jernbanenet frem mod 2035**



Kilde: Rambøll, ÖBB

<sup>132</sup> Præsentation fra konference i Geneve

## 7. MULIGHEDERNE FOR OMBYGNING AF DE EKSISTERENDE LINTTOG

### Ombygningscase - Siemens Desiro ML ÖBB Cityjet Eco

Det østrigske jernbaneselskab ÖBB har i samarbejde med Siemens ombygget en række Siemens Desiro-tog fra at være drevet af elektricitet på elektrificerede jernbanestrækninger og diesel på ikke-elektrificerede strækninger, til nu fortsat at være drevet af elektricitet på elektrificerede strækninger. Men i stedet for diesel på ikke-elektrificerede strækninger bliver togene nu drevet af batterier. Dermed har batterierne mulighed for at oplade på de elektrificerede strækninger, mens toget drives af elektricitet.

Ombygningen har resulteret i en brugbar togtype på kortere, ikke-elektrificerede strækninger, idet der oplyses en rækkevidde på op til 100 km på batteri, før togtypen igen skal anvende køreledninger eller oplades. På trods af ombygningen har Siemens formået at bibeholde et lavt akseltryk på 17t, mens tophastigheden med batteri som drivmiddel falder fra 140 til 120 km/t.

Siemens Desiro ML ÖBB Cityjet Eco er ikke en mulighed for Lokaltogs lokalbaner, idet det er en ombygget Siemens Desiro-model, der ikke er i Lokaltogs nuværende rullende materiel. Det er dog interessant, at Siemens har været i stand til at ombygge en elektrisk/diesel-hybrid til et batteridrevet tog, samtidig med at et lavt maksimalt akseltryk er bibeholdt.



133

I dette afsnit evalueres mulighederne for ombygning af de eksisterende Lint 41 tog som et alternativ til indkøb og produktion af nye emissionsfrie tog. Der fokuseres ikke på RegioSprinter og IC2 tog, idet disse står foran en udskiftning. Erfaring fra Østrig og Tyskland har vist, at en ombygning kan være et gangbart alternativ, som mindsker leveringstiden og produktionstiden betydeligt. Det kan derfor have høj relevans for Lokaltog at få evalueret muligheden for dette. Afsnittet beskæftiger sig med tre hovedelementer: 1) teknisk gennemførlighed, 2) teknisk tilstand af den eksisterende Lint 41 flåde og 3) sandsynlig levetid af den eksisterende Lint 41 flåde. Disse tre elementer vil udgøre grundlaget for Rambølls evaluering af ombygningsmuligheden.

### 7.1 Teknisk gennemførlighed

Der er rundt i Europa set flere forsøg med ombygning af Lint tog til både brint og diesel/batteri-hybrid. Afsnittet vil kort gennemgå nogle af de mest omtalte/vellykkede forsøg hermed. Derudover undersøges de forudsætninger, der gør sig gældende for ombygningsprojekterne og dermed det, som kan være definerende for den tekniske gennemførlighed af en ombygning.

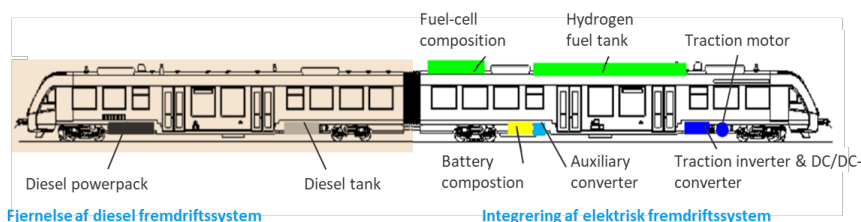
#### 7.1.1 Ombygning til brinttog

Alstoms iLint tog (brændselscelle) kan i grunden betegnes som en ombygning af eksisterende dieseltog. Ombygningen er baseret på de oprindelige Lint 54 tog, dvs. en mere avanceret version end Lokaltogs Lint 41. Ved ombygning har man erstattet dieselmotoren med en elmotor og yderligere installeret brinttanke og brændselsceller.<sup>134</sup>

<sup>133</sup> Urban Transport Magazine om Siemens Desiro ML ÖBB Cityjet Eco

<sup>134</sup> Biopress omkring Coradia iLint



**Figur 7-1: Illustration af ombygning af Lint tog til iLint**

Kilde: Rambøll, Alstom, Shift2rail.<sup>135</sup>

Ombygning bibeholder dermed størstedelen af de tekniske basiskomponenter i den originale DMU og er desuden foretaget på en velgennemprøvet Lint 54.<sup>136</sup> iLint blev idriftsat med 2 tog i 2018, men yderligere 14 forventes idriftsat i 2021.

### 7.1.2 Ombygning til batteri-hybrid

Albellio, Alstom, NASA (Nahverkehrsservice Sachsen-Anhalt GmbH) og Rolls-Royce er gået sammen om at ombygge (retrofit) Coradia Lint 54 til en diesel/batteri-hybrid version. I første omgang vil man minimum ombygge tre tog, men er en efterfølgende konvertering af hele flåden (54 tog) er under overvejelse.<sup>137</sup> Togene blev sat i drift i december 2018. Foruden Alstom har Siemens, som tidligere nævnt, også foretaget en lignende ombygning af eksisterende Desiro ML tog fra diesel til elektro-hybrid. Der var dog her tale om

tog, som kun havde været i brug i 3 år på det tidspunkt, hvor de blev bygget om.

### 7.1.3 Vurdering af teknisk gennemførlighed

De ombygninger der er foretaget eller er planlagt af Lint tog er baserede på den nyere Lint 54 model. Det er derfor væsentligt at undersøge, om der foreligger nogle større tekniske differentieringer mellem de to togtyper. Dette for at sandsynliggøre en sammenlignelig og mulig ombygningsproces. Nedenfor er togenes tekniske specifikationer blevet sammenlignet:

<sup>135</sup> Information omkring brændselsceller og brint

<sup>136</sup> Alstom præsentation

<sup>137</sup> Alstom om ny teknologi

**Tabel 7-1: Sammenligning af faktablad for Lint 41 og Lint 54**

| <b>Tekniske data og hoveddimensioner</b>                         | <b>Lint 41</b>     | <b>Lint 54</b>     |
|--|--------------------|--------------------|
| Køretøjsbegrænsning  | EBO-G1             | EBO-G1             |
| Køretøjets bredde (mm)   | 2.750              | 2.750              |
| Køretøjets længde over koblingen (mm)                            | 42.170             | 54.270             |
| Maksimal køretøjshøjde (over havets overflade) uden antenne (mm) | 4.280              | 4.280              |
| Gulvhøjde (over SO)  |                    |                    |
| - i området med lavt gulv (indgangshøjde) (mm)                   | 810                | 810                |
| - i højgulvområdet (mm)  | 1.180 / 1.070 mm   | 1.180              |
| Sporvidde (mm)   | 1.435              | 1.435              |
| Minimum acceptabel Radius værksted / betjening (m)               | 100/125            | 100/125            |
| Horisontal trykstyrke (kN)                                       | 1.500              | 1.500              |
| Hjulsæt  | Bx '(2) Af'        | B'2 + B'B '        |
| Installeret motoreffekt  | 2 x 390 kW         | 3 x 390 kW         |
| Tophastighed (km/t)  | 140                | 140                |
| Siddepladser   | 120                | 165                |
| Ståpladser   | ca. 112 * / 136 ** | ca. 154 * / 176 ** |
| Nettovægt i henhold til DIN 25008 (ton)                          | 73                 | 96                 |
| Maksimal aksellast med maksimal drivmasse (ton)                  | 18                 | 18                 |

\* når klapsæder er i brug;  
 \*\* når klapsæder ikke er i brug

Kilde: Rambøll; Alstom (<http://www.vias-online.de/data/lint54.pdf>)

Selvom det teoretisk ville være muligt at erstatte dieselmotorer og brændstoftanke med batteri, brændselsceller og H<sub>2</sub>-tanke er der nogle væsentlige teknologiske udfordringer, især:

De eksisterende Lint-tog på Lokaltog-netværket er Lint 41 og ikke Lint 54, som er grundlaget for det eksisterende iLint. Dette ville betyde, at homologering ikke kunne overføres direkte og dermed at et ombygget tog skal betragtes som en ny togtype med krav om fuld sikkerhedsgodkendelse.

Desuden er der det forhold, at plads til brændstoftanke, brændselscelle og batteri ville være mindre på Lint 41 end på Lint 54. Disse forskelle mellem Lint 41 og Lint 54 øger dermed risikoen for uforudsete udfordringer i forbindelse med en ombygning af Lint 41 flåden.

De eksisterende og kommende ombygningsprojekter er kendetegnet ved at der er tale










































om forholdsvis nye tog. Lokaltogs eksisterende 41 Lint 41 flåde er produceret i perioden 2006-2008 og har en gennemsnitsalder på ~12 år, se også næste afsnit.

Baseret på ovenstående vurderes det, at det som udgangspunkt vil være teknisk muligt at ombygge et Lint 41 dieseltog til henholdsvis brint eller batteri-hybrid. Men ombygningen vil være behæftet med store risici og usikkerheder, der kan påvirke økonomien markant.

## 7.2 Teknisk tilstand af den eksisterende Lint 41 flåde

Førend en ombygning kan vurderes at være rentabel, er det vigtigt at evaluere på den tekniske tilstand af den eksisterende Lint 41 flåde. Herunder vil det være relevant at se på produktionsår (alder), andre ombygninger, større tekniske udfordringer, driftsstabilitet m.m. Der er i tabel 7-2 lavet en oversigt over det eksisterende rullende materiel.

**Tabel 7-2: Oversigt over den eksisterende Lint 41 flåde**

| EVN          | Tegning   | Virksh_køretøjsnummer | Togtype | Ejer         | Fabrikant | Produceret i år | Alder | Noter   |
|--------------|---|-----------------------|---------|--------------|-----------|-----------------|-------|---------|
| 958606481033 |    | 103                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481041 |    | 104                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481058 |    | 105                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481066 |    | 106                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481074 |    | 107                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481082 |    | 108                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481090 |    | 109                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481108 |    | 110                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481116 |    | 111                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481124 |    | 112                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481132 |    | 113                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481140 |    | 114                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481157 |    | 115                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958606481165 |    | 116                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481173 |    | 117                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481181 |    | 118                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481199 |   | 119                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481207 |  | 120                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481215 |  | 121                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481223 |  | 122                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481231 |  | 123                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481249 |  | 124                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481256 |  | 125                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481264 |  | 126                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958606481272 |  | 127                   | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 1 |
| 958664820247 |  | RT2024                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 2 |
| 958664820254 |  | RT2025                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 2 |
| 958664820262 |  | RT2026                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 2 |
| 958664820270 |  | RT2027                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 2 |
| 958664820288 |  | RT2028                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 2 |
| 958664820296 |  | RT2029                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 2 |
| 958664820304 |  | RT2030                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 2 |
| 958664820312 |  | RT2031                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 2 |
| 958664820320 |  | RT2032                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2007            | 13    | Serie 2 |
| 958664820338 |  | RT2033                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958664820346 |  | RT2034                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2006            | 14    | Serie 1 |
| 958664820353 |  | RT2035                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2008            | 12    | Serie 3 |
| 958664820361 |  | RT2036                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2008            | 12    | Serie 3 |
| 958664820379 |  | RT2037                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2008            | 12    | Serie 3 |
| 958664820387 |  | RT2038                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2008            | 12    | Serie 3 |
| 958664820395 |  | RT2039                | Lint41  | Lokaltog A/S | Alstom    | 2008            | 12    | Serie 3 |

Kilde: Lokaltog A/S, Jernbane.dk

**Tabel 7-3: Sammenfatning af besigtigelsen foretaget af Atkins**

| Element  | Lint41  |
|--|---|
| Hvad er den almindeligste fejl på toget                                    | Et forældet videoovervågningssystem fungerer ikke som ønsket. Et nyt system produceres af Alstom, hvilket fremover skal monteres i togene. Almindeligvis forekommer kommunikations- og tilslutningsfejl som kræver genstart.  |
| Findes der fejl som vedvarende gentager sig? Er der nogen tendenser?       | Nej   |
| Er der fundet større fejl som er afhjulpet ved ombygninger?                | Fejl på de udfoldbare dørtrin, hvilket resulterer i jordfejl. Systemet er blevet ombygget med bedre kontakter hvorefter fejlen er væk. Jordfejl er også opstået i startmotoren. Et relæ er koblet ind på startkreds en således at startmotoren frakobles helt efter start. Dette har medført at fejlen er forsvundet. |
| Er toget blevet ramt af sikkerhedsrelaterede fejl?                         | Nej   |
| Hvad er godt og hvad er dårligt ved toget?                                 | Togene er driftssikre. Det mærkes tydeligt at de er bygget som en gennemprøvet konstruktion.  |
| Hvordan er adgangen til reservedele? Hvor lange leveringstider er normalt? | Overvejende god. Måske bliver der brug for en reservebogie til næste større eftersyn.   |
| Er toget tilpasset gældende TSI-krav med hensyn til tilgængelighed?        | Toget er udrustet med delvist lavgulv. Ramper findes for udlægning mellem tog og perron.  |
| Gennemføres der opfølgninger af vedligeholdelsen (KPI)?                    | Opfølgning af antallet af fejl eller åbne skader udføres ikke. Der planlægges vedligeholdelse ud fra opdagede skader, som normalt udbedres ved næste værkstedsbesøg. Der opstår sjældent efterslæb på vedligeholdelsen. Når det sker skyldes det oftest manglende adgang til reservedele                              |
| Hvordan ser vedligeholdelsesplanen ud? Hvornår kræves der stort eftersyn?  | Stort eftersyn foretages ved 800.000, 1 mio., 1,2 mio. km osv.  |
| Er der gennemført vedligeholdelsesoptimering?                              | Leverandørens vedligeholdelsesplan følges   |
| Hvad er togets højeste hastighed (km/h)?                                   | 120   |
| Hvor mange siddepladser har toget?   | 120   |

Kilde: Lokaltog, Atkins (Materielstrategi 2018-2025 for Lokaltog - Bilag 1 til Hovedrapport: Grundlagsrapport)

Tabellerne ovenfor viser, at Lint-flåden er omkring 12-14 år gammel og vil derfor i 2025 have overgået halvdelen af deres tekniske og økonomiske levetid. Det er også af denne grund, at en betydelig geninvestering inklusive en fuldstændig ændring af strømforsyningssystemet ikke ville være en økonomisk bæredygtig mulighed.

Det ville snarere være en forsigtig tilgang også ud fra et operationelt og risikobegrænsende synspunkt, at den eksisterende Lint-flåde skal beholdes som DMU, da den kan agere som værende operationelt understøttende igennem indførelse af nye nulemissionsstog. Dette ville være godt, hvis brændselscelle- eller batteritog er nødt til at håndtere eventuelle børnesygdomme-spørgsmål under introduktionen.

### 7.3 Sandsynlig levetid af den eksisterende Lint 41 flåde

Den generelle tekniske levetid forventes at være 35 år.<sup>138</sup> Af besigtigelsen fra Atkins fremgår det, at vedligeholdelsesplanen fra Alstoms side følges med stort eftersyn ved 800.000 km og derefter ved hver 200.000 km, og at togene derudover fremstår meget driftssikre. Der har været enkelte større fejl, herunder en jordfejl i startmotoren. Rambøll vurderer dog at løsningen med et relæ koblet ind i startkredsen gør, at dette ikke vil begrænse levetiden. Rambøll forventer ikke, at nogen af besigtigelsens resultater vil have en indskrænkende effekt på levetiden. Det må derfor formodes, at det eksisterende materiel i gennemsnit har en resterende levetid på 21-23 år.

<sup>138</sup> Movia interne estimater (møde 22/01/2020)

## 7.4 Samlet evaluering

**Tabel 7-4: Sammenfatning af Rambølls vurdering af muligheden for ombygning**

| Kriterier  | Beskrivelse   | Evaluering  |
|--|---|---|
| Teknisk gennemførelighed                             | Det vurderes, om det rullende materiel har de tekniske specifikationer, der muliggør en ombygning givet de muligheder, som er i markedet.                               | Ombygning af Lint 54 (DMU) til en brintdrevet iLint er teknisk muli, men er behæftet med betydelige risici og usikkerheder som kan påvirke økonomien markant.   |
| Teknisk tilstand af den eksisterende Lint 41 flåde   | Det vurderes, om der er noget i besigtigelsen af det rullende materiel, som vil kunne påvirke materiellets tekniske tilstand og dermed mindske muligheden for ombygning | Baseret på Rambølls og Atkins analyse af Lokaltogs flåde, er der ikke fundet årsager der kunne mindske muligheden for en ombygning af den eksisterende Lint 41 flåde.   |
| Sandsynlig levetid af den eksisterende Lint 41 flåde | Den samlede forventede levetid af det eksisterende materiel vurderes.   | Levealderen for en togtype som Lint 41 er vurderet at være omkring 35 år. Det betyder, at Lokaltogs flåde har en resterende levealder på mellem 21 og 23 år.  |
| Økonomisk vurdering af mulig ombygning               | Der foretages en samlet vurdering af de ovenstående kriteriers effekt på økonomien.   | Grundet den relativt store investering, ville det kun betale sig at lave en ombygning i starten af togets levetid.<br>Desuden er der en lang usikre forhold omkring gennemførelsen af ombygningen og den tilhørende sikkerhedsgodkendelse som må forventes at påvirke økonomien negativt.   |
| Risikovurdering af ombygning                         | Der foretages en overordnet vurdering af umiddelbare risici ved en ombygning.   | Det vurderes at der er mange, store risici forbundet med en ombygning. De primære grunde inkluderer at <ul style="list-style-type: none"> <li>• denne ombygning aldrig er gjort før i DK</li> <li>• Lokaltog ingen erfaring har med ombygninger</li> <li>• der aldrig er lavet sikkerhedsgodkendelser af et ombygget tog i Danmark</li> <li>• prisen for komponenter og delsystemer er usikker</li> </ul> |

Kilde: Rambøll

## 8. EN VURDERING AF DE SAMLEDE MILJØEFFEKTER

### 8.1 Mål og afgrænsning

Formålet med analysen er at sammenligne miljøeffekterne, der er forbundet med de tre primære valgmuligheder af togdrift på ikke elektrificerede strækninger, hhv. diesel-, batteri- og brinttog. Rapporten skal støtte en beslutning om, hvilken af de tre valgmuligheder der vil være mest fordelagtige, hvorfor der foretages en sammenlignende livscyklusscreening af alle tre systemer.

Livscyklusscreeningen følger det metodiske grundlag i DS:ISO 14040/14044 og omfatter således de fire faser Målsætning og afgrænsning, Opgørelse af forudsætninger, Effektvurdering samt Fortolkning. Siden der er tale om en screening, og at den mest relevante effektkategori vurderes at være klimapåvirkning, opgøres miljøeffekterne i kg CO<sub>2</sub>-ækvivalenter.

Ydelsen der sammenlignes (den såkaldte funktionelle enhed) er togdrift i 35 år på de udvalgte strækninger.

Screeningens datagrundlag består af generelle data, fx fra databaser og videnskabelig litteratur, men også i relativ høj grad på specifikke data som blev indsamlet fra producenter og eksperter. Data er generelt udvalgt og anvendt med sigte mod temporal og regional repræsentativitet, dvs. der er, hvor muligt, altid anvendt nyeste tal og tal, der vedrører danske forhold, fx hvad angår teknologier, infrastruktur o.l.

Screeningen er afgrænset til tre livscyklusfaser (se figur 8-1):

- Materialer, herunder udvinding og forarbejdning af råstoffer

- Produktion af komponenter
- Drift

Bortskaffelse som mulig fjerde livscyklusfase er valgt fra pga. alle tre systemers antagede relativ lange levetid på 35 år. Derudover ligner de tre systemer hinanden ift. bortskaffelsesmetode.

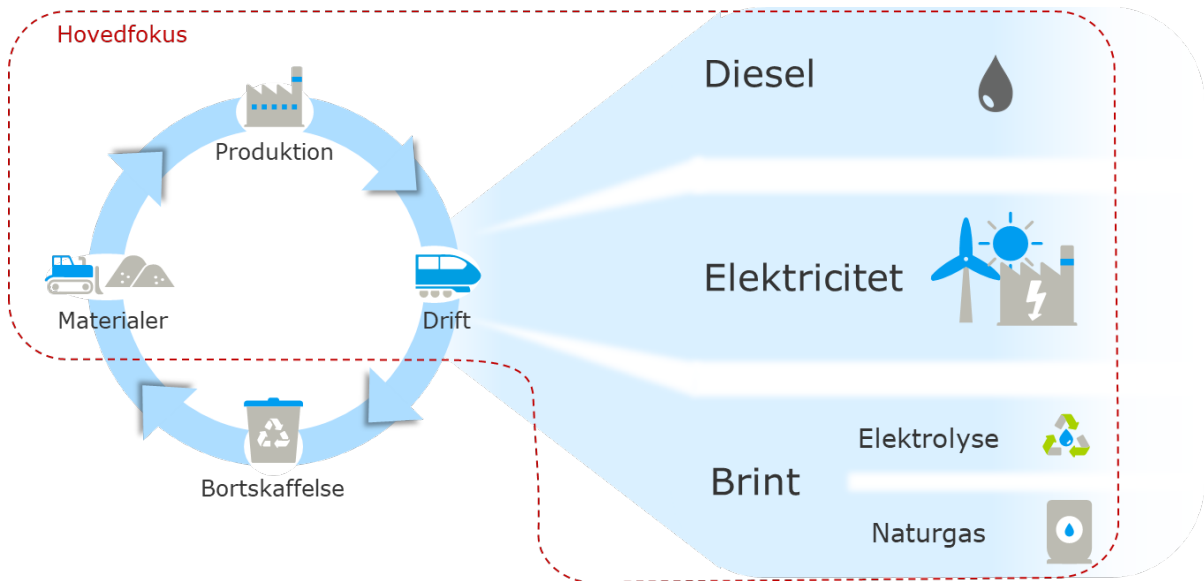
Beregningsgrundlag i de forskellige livscyklusfaser er som følger:

- Materialefase og Produktionsfase: De vigtigste materialer er medtaget inkl. deres processer i forsyningskæden (dvs. fra oprindelsessted til levering til produktionsstedet). Materiale typer, -vægte o.l. baserer sig på datablade, ekspertudsagn og artikler og rapporter fra videnskabelige og statslige kilder (fx Energistyrelsen). Processtab er ikke opgjøret i faserne for udvinding af råmaterialer og produktion.

I driftsfasen undersøges de tre systemer diesel, batteri og brint.

- Driftsfase: Dieselsystemet tager udgangspunkt i den nuværende flåde af dieselmekaniske togsæt (DMU). Batterisystemet indebærer batteri-elektriske hybride togsæt (BEMU) med lithium-ion teknologi. Brintsystemet (FCMU) indebærer et togsæt med brændselscelle samt en lithium-ion batteripakke til oplagring af energien. Brintsystemet vurderes ift. de to primære kilder for brintproduktion (H<sub>2</sub>) baseret på hhv. i) naturgas eller ii) elektrolyse med elektricitet fra det danske elnet (gridmiks).

**Figur 8-1: Afgrænsning af livscyklusfaser anvendt i livscykluscreeningen**



Kilde: Rambøll

### 8.2 Opgørelse af forudsætninger

Livscyklusbetragtninger kræver generelt, at der foretages og defineres en række antagelser og forudsætninger. Nedenstående tabel

8-1 sammenfatter disse i transparent form delt op på generelle forudsætninger samt separat for hver af de tre systemer og livscyklusfaserne.

**Tabel 8-1: Sammenfatning af forudsætninger anvendt ifm. screeningen**

|                          | Materialer og vægt  | Drift og ydeevne   |
|--------------------------|---|--|
| Generelle forudsætninger | <ul style="list-style-type: none"> <li>Togets længde: 55m (to/tre vogne)</li> <li>Dødvægt: 92.000 kg</li> <li>Materialetyperne inkluderer stål, aluminium, plastik, glas, elektronik og stof</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Levetid: 35 år</li> <li>127.000 årlige km per tog</li> <li>Energiforbrug 6,6 kWh/km uanset togtype (for sammenlignelighed)</li> </ul>                   |
| System 1: Diesel (DMU)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>3 motorer: 1200 kg/enhed</li> <li>2 tanke (tom): 300 kg/enhed</li> <li>Mekanisk transmission: 400 kg</li> <li>Hjælpebatterier: 35 kg/enhed</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>3 dieselmotorer: 390 kW/enhed</li> <li>Fuld optankning: 800 L/tank</li> </ul>   |
| System 2: Batteri (BEMU) | <ul style="list-style-type: none"> <li>2 batteripakker: 2.500 kg/enhed</li> <li>4 elmotorer: 1.100 kg/enhed</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Batterikapacitet: 150 kWh/enhed</li> <li>Batterilevetid: 7 år (fastlagt)</li> <li>Elmotorer: 500 kW/enhed</li> </ul>                                    |
| System 3: Brint (FCMU)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>2 brændselsceller: 1.000 kg/enhed</li> <li>2 kulfiber gastanke (CG)</li> <li>Batteripakke: 2.500 kg</li> <li>4 elmotorer: 1.100 kg/enhed</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>2 brændselsceller: 314 kW/enhed</li> <li>Brændselscelle levetid: 5 år</li> <li>Tankbeholdning: 130 kg/enhed</li> <li>Elmotorer: 500 kW/enhed</li> </ul> |

Kilde: Rambøll



### 8.3 Effektvurdering

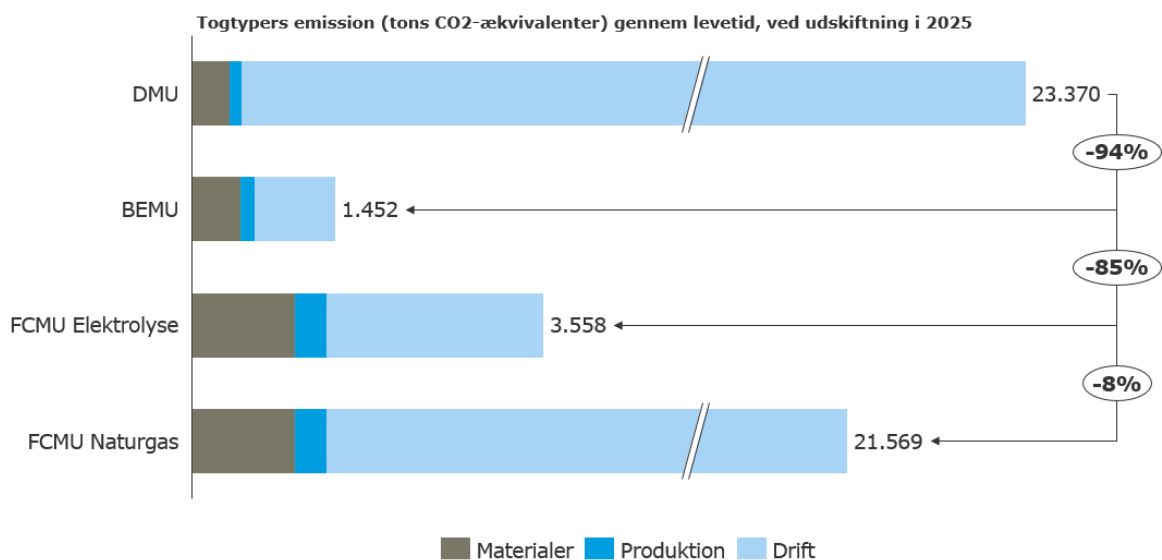
Livcyklusscreeningen beskriver miljøeffekten som 'tons CO<sub>2</sub>-ækvivalenter'.

Resultaterne vises i figur 8-2 over den afgrænsede 35 års driftsperiode med start i 2025. Det skal bemærkes, at al materiale, der antages udskiftet under driftsperioden, fx batterier, er medregnet.

Der vises to beregninger for brintsystemet for at afspejle de to forskellige produktionsformer af brint beskrevet i afsnit 8.1. Netop oprindelsen af den anvendte brint har stor indflydelse på brintsystemernes potentielle miljøeffekt.

Da formålet med denne analyse er at sammenligne miljøpåvirkningen for de overordnede teknologier (DMU, BEMU og FCMU), har vi valgt at fastsætte et fælles energibehov til at trække toget. Dette skyldes, at der er forskel på producenternes måde at definere rækkevidde samt forventede rækkevidde i 2025 samt i hvilken grad, der tages højde for energiforbrug til varme og andet udstyr. Desuden har togene forskellig vægt, hvilket også spiller ind. For at isolere disse usikkerheder har vi fastsat det fælles energibehov til 6,6 kWh/km på tværs af togtypene.

Figur 8-2: Effektvurdering



Kilde: Rambøll

### 8.4 Fortolkning af model og resultat

#### Diesel (DMU)

Til beregning af baseline-emissionen ved dieseldrevne tog anvendes EU-standard for beregning og rapportering af udledninger: DS/EN16258.<sup>139</sup> Standarden indbefatter to metoder for beregning af miljøeffekter: Tank-To-Wheels (TTW) og Well-To-Wheels (WTW), hvoraf sidstnævnte bør anvendes, når der tages højde for den fulde livscyklus. Udledningerne af CO<sub>2</sub>-ækv. under WTW for

Diesel er 3,24 kg/liter. I Danmark er det obligatorisk at blande 7% biodiesel, hvorfor mængden af udledt CO<sub>2</sub>-ækv. falder til 3,15 kg/liter. Den totale mængde udledte CO<sub>2</sub>-ækv. for et typisk dieseltog udgør sammenlagt 23.370 tons. Der er mulighed for reduktion af CO<sub>2</sub>-ækv. ved brug af alternative brændstoffer, herunder HVO, om end disse ikke fjerner den lokale forurening. Dette undersøges yderligere i afsnit 9.

<sup>139</sup> DS/EN16258

## Batteri (BEMU)

Batterisystemet giver en samlet udledning på 1.452 tons CO<sub>2</sub>-ækv., hvilket er en reduktion på ca. 94% ift. det nuværende dieseltogssystem.

Miljøeffekterne afhænger af den elektricitet, som anvendes til opladning af batterierne. Livscykluscreeningen tager udgangspunkt i Energistyrelsens Basisfremskrivning udført i 2019 (BF19).<sup>140</sup> om Danmarks forventede energimiks. BF19 forudsiger, at Danmarks elforbrug vil blive dækket af 100% vedvarende energi i 2028, og 109% i 2030. Når der tages højde for konstruktion og installation af vindmøller, solceller og biomasse forbrændingsanlæg forudsiger BF19, at man vil opnå en miljøeffekt på 21 g CO<sub>2</sub>/kWh i 2030. Da forudsigelserne på CO<sub>2</sub>-aftryk i BF19 kun går til 2030, anvendes dette tal for alle år efter 2030. BF19 bygger på 'Frozen Policy'-princippet, hvorfor der kun indgår vedtagne love og planlagte investeringer. Nærværende rapport beskæftiger sig således ikke i eventuelle yderligere tiltag, som kan forventes indført ved regeringens Klimahandlingsplan i 2020.

Miljøeffekterne som vi har undersøgt her, forholder sig udelukkende til CO<sub>2</sub>-ækv. og tager således ikke højde for udtømningen af de ædle mineraler, som indgår i produktionen af batterierne, herunder kobolt og nikkel. Det bør bemærkes, at der de seneste år er kommet øget fokus på, hvor råmaterialerne stammer fra, bl.a. om de er blevet udvundet under ordentlige vilkår (børnearbejde mm.).<sup>141</sup>

## Brint (FCMU)

Screeningen viser at brinttog drevet med naturgasbaseret brint i alt udleder 21.569 tons CO<sub>2</sub>-ækv., hvilket svarer til en reduktion på ca. 8% ift. det nuværende dieseltogssystem. Elektrolyse-baseret brint kan lede til 3.558

tons CO<sub>2</sub>-ækv., svarende til ca. 85% reduktion ift. dieseltog.

Afbrænding af brint skaber ikke i sig selv CO<sub>2</sub>-ækv.-udledninger. Der er dog CO<sub>2</sub>-ækv.-udledninger forbundet med fremskaffelsen af brint. Brintsystemet vil altid give mindre reduktion af CO<sub>2</sub>-ækv. end batterisystemet, men det afhænger af måden, hvorpå brinten er produceret. Der findes to primære kilder til den brint, som anvendes i Danmark, hhv. steamreforming af naturgas (udgør ca. 95% af totalt forbrug) og vand elektrolyse (ca. 5%).<sup>142</sup> De to kilder er forskellige på pris, kapacitet og miljøpåvirkning. Naturgas betegnes som et fossilt brændstof, hvorimod vand-elektrolyse kan anses for at være vedvarende energi, hvis elektrolyseprocessen drives af vedvarende energikilder såsom vindkraft. Det bør noteres, at vandeletrolyse er en krævende proces med et substantielt energitab. Der skal ca. 3 kWh input til at producere en mængde brint svarende til 1 kWh output.<sup>143</sup>

## Delkonklusion

Det kan konkluderes, at batteridrevne tog er det bedste alternativ til diesel ud fra et miljøperspektiv. Det bør ikke negligeres, at der også er en substantiel reduktion af miljøeffekten ved brug af brint som drivmiddel, men det kræver, at brintproduktionen udelukkende sker ved vandeletrolyse med strøm fra elnettet. Brintsystemet er desuden mere energiintensivt igennem brugsprocessen, hvorfor batterisystemet samlet set vurderes mere miljøvenligt.

Som beskrevet i vores afsnit om forhold for kunder, personale og naboer, så har et skift til brint- eller batteritog en positiv effekt for både naboerne til toget, for passagerne og for medarbejderne for Lokaltog.

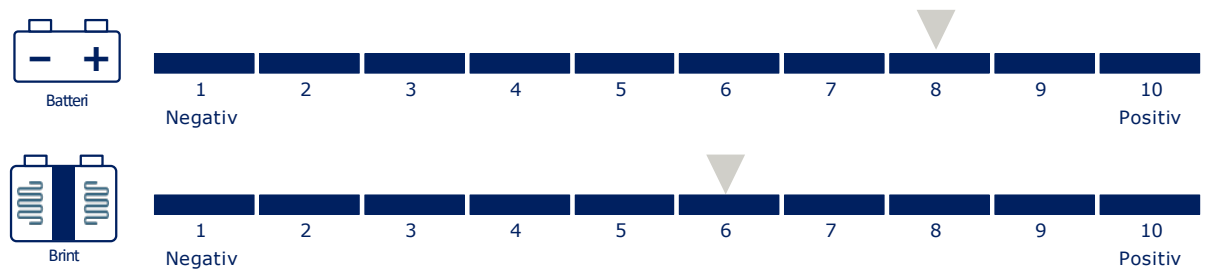
<sup>140</sup> Energistyrelsen BF19

<sup>141</sup> The Guardian 2018

<sup>142</sup> Rambøll ekspertudsagn

<sup>143</sup> Rambøll ekspertudsagn

**Figur 8-3: Scoring af miljøeffekter**



Kilde: Rambøll

## 9. FORDELE OG ULEMPER VED AT BENYTTE ALTERNATIVE DRIVMIDLER

### 9.1 Tekniske aspekter

Udover brint- og batteriteknologierne, findes der enkelte andre alternative brændstoffer med potentiale for reduktion af CO<sub>2</sub>-udledninger.

For alle disse brændstoffer gælder, at de umiddelbart ville kunne anvendes på de nuværende tog. Men fælles for disse alternativer er også, at de ikke kan reducere de emissioner, der udledes ved drift.

I øjeblikket findes der hovedsageligt tre muligheder:

- HVO (hydrogenerede vegetabiliske olier)
- RME (rapsolie / canola-methyleret ester)
- Electrofuel (power-to-liquid, også kaldt flydende el)

#### 9.1.1 HVO

HVO (hydrogenerede eller hydrogenbehandlet vegetabiliske Olier) er anden generations alternativer til dieselolie, som produceres ved at tilsætte brint til vegetabiliske olier ved hjælp af en katalytisk reaktion. Denne proces bruges til at tilpasse vegetabiliske oliers egenskaber til at komme tættere på fossile brændstoffer (især diesel), som gør det muligt helt eller delvist at erstatte den fossile komponent

med HVO. En række forskellige vegetabiliske olier kan bruges som grundlag for denne proces, herunder palmeolie.

#### 9.1.2 RME

I modsætning til HVO, bruger RME (også kendt som "biodiesel") en anden produktionsteknologi ved esterificering af vegetabiliske olier (traditionelt bruger man primært raps eller tilsvarende fødevareolier). RME er første generations biobrændstof som historisk har udgjort den største andel af markedet for biobrændstoffer i EU. Erfaring har vist at RME kan have skadelige virkninger på en række fugemassetyper, der anvendes i forbrændingsmotorer, og hovedsageligt indkøbes i konkurrence med andre fødevarekilder. Markedsandelen og tilgængeligheden er derfor faldet igen i de seneste år.

#### 9.1.3 Electrofuel

Electrofuel er et anden generations syntetisk brændstof, som syntetiseres ved hjælp af elektrisk strøm. For at kunne karakteriseres som CO<sub>2</sub>-neutralt denne strøm være produceret med vedvarende kilder. Elektriciteten bruges til at spalte vand til brint og ilt, hvorefter brinten igennem en række trin, bl.a. kemiske processer såsom Fischer-Tropsch syntesen, omdannes til kulstofbaserede brændstoffer ved hjælp af CO<sub>2</sub> fra atmosfæren.

**Tabel 9-1: Teknisk sammenligning af alternative drivmidler**

| Tekniske aspekter                              | HVO  | RME   | Electrofuel  |
|--|--|---|--|
| Mulighed og tilgængelighed på markedet         | Begrænsede tilgængelige mængder; også begrænsede ressourcer i Europa.                            | Begrænsede tilgængelige mængder; også begrænsede ressourcer i Europa.                 | Begrænsede tilgængelige mængder; begrænsede ressourcer i Europa endnu ikke testet til jernbaneanvendelser. |
| Ændringer i depotinfrastruktur                 | Ingen krævet, nuværende dieseludstyr kan bruges  | Ingen krævet, nuværende dieseludstyr kan bruges                                       | Ingen krævet, nuværende dieseludstyr kan bruges  |
| Ændringer i tankning / opladningsinfrastruktur | Ingen væsentlige ændringer sammenlignet med den dieseldrift; kun rettidig genmontering af udstyr | Ingen ændringer sammenlignet med den dieseldrift; kun rettidig genmontering af udstyr | Ingen ændringer sammenlignet med den dieseldrift; kun mindre ændringer kræves inden introduktion.          |
| Generelle ændringer i infrastruktur            | Ingen ændringer sammenlignet med dieseldrift   | Ingen ændringer sammenlignet med dieseldrift  | Ingen ændringer sammenlignet med dieseldrift   |

Kilde: Rambøll

## 9.2 Miljømæssige aspekter

**Tabel 9-2: Miljømæssig sammenligning af alternative drivmidler**

| Miljømæssige aspekter              | HVO   | RME  | Electrofuel  |
|------------------------------------|---|--|--|
| Drivhusemissioner<br>Well-to-Wheel | Min. 65% reduktion i drivhusgasemissioner <sup>144</sup> (afhængigt af landbrugsproduktionens intensitet)   | Minimale drivhusgasemissioner (afhængigt af landbrugsproduktionens intensitet) | Ingen eller minimale nettodrivhusgasemissioner, afhængigt af kilde til elektricitet. <sup>145</sup>                      |
| Emissioner ved brugspunkt (POU)    | Reducerede partikel- og NOx-emissioner pga. højere kvalitet af syntetiske brændstoffer. Stadig lokale emissioner på POU.  | Meget lig med konventionel diesellole  | Reducerede partikel- og NOx-emissioner på grund af højere kvalitet af syntetiske brændstoffer. Stadig lokale emissioner. |
| Brug af madressourcer              | I øjeblikket betydelig anvendelse af madressourcer til produktion af brændstof (inklusive importeret palmeolie i anden generations HVO). Andelen af palmeolie forventes at blive reduceret i fremtiden. | Betydelig brug af madressourcer (rapsolie) til produktion af brændstof         | Intet forbrug af fødevareressourcer  |
| Effektivitet<br>Well-to-Wheel      | Betydeligt lavere end diesel på grund af energiintensiv brændstofproduktion.  | Betydeligt lavere end diesel på grund af energiintensiv brændstofproduktion.   | Betydeligt lavere end diesel på grund af energiintensiv brændstofproduktion.   |

Kilde: Rambøll

<sup>144</sup> BEK no 1044 af 07/09/2017, § 6-9

<sup>145</sup> BEK no 1044 af 07/09/2017, § 6-9

### 9.3 Økonomiske aspekter

**Tabel 9-3: Økonomisk sammenligning af alternative drivmidler**

| Økonomiske aspekter                          | HVO  | RME  | Electrofuel  |
|--|--|--|--|
| Omkostninger til energiforsyning (brændstof) | På grund af begrænsede leverancer og komplicerede produktionsrutiner, der er højere end konventionel diesel. Pt. meromkostning på 5,7 DKK svarende til 90% ift. diesel, men forventes at falde til ca. 40%. <sup>146</sup> | Lidt højere end diesel-brændstof   | Betydeligt højere end konventionel dieselolie, især i ramp-up periode. I 2020 er omkostningerne 3-4 gange højere end dieselolie og forventes at være omkring det dobbelte af prisen på dieselolie i 2030. <sup>147</sup> |
| Investeringer i køretøjer                    | Intet behov for investering pga. højere brændstofs-kvalitet  | Kræver mindre investeringer, såsom filtre tilpasset RME-drift                                | Intet behov for investering pga. højere brændstofs-kvalitet  |
| Vedligeholdelsesomkostninger                 | Ingen forventet påvirkning, samme som for dieseltog, men højere end BEMU   | Udgifter må forventes ifb. med tilpasning af filtre og brug af anden fugemasse til RME-drift | Ingen forventet påvirkning, samme som for dieseltog, men højere end BEMU   |
| Investering i infrastruktur                  | Ingen  | Ingen  | Ingen  |

Kilde: Rambøll

<sup>146</sup> Eurotransport.de

<sup>147</sup> Agora Verkehrswende, Agora Energiewende and Frontier Economics (2018): The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels., p. 81



## 9.4 Operationelle aspekter

**Tabel 9-3: Operationel sammenligning af alternative drivmidler**

| Operationelle aspekter                      | HVO  | RME   | Electrofuel  |
|---|--|---|--|
| Driftsområde                                | Lig med diesel eller lidt mindre på grund af brændstoffets lavere brændværdi | Lig med diesel eller lidt mindre på grund af brændstoffets lavere brændværdi                          | Lig med diesel eller lidt mindre på grund af brændstoffets lavere brændværdi |
| Ændringer i drifts-proceduren               | Ingen  | Ingen   | Ingen  |
| Opnåelse af den nuværende tidsplan          | Tilsvarende dieseltog  | Tilsvarende dieseltog   | Tilsvarende dieseltog  |
| Forventede vedligeholdelses-intervaller     | Tilsvarende dieselolie   | Lige eller kortere end diesel, især brændstoffiltre og tætninger kan være nødvendigt at skifte oftere | Tilsvarende dieselolie   |
| Negative effekter for lokomotivførere m.fl. | Ingen  | Ingen   | Ingen  |

Kilde: Rambøll

### 9.5 Sammenligning og anbefaling

Baseret på analysen ovenfor sammenlignes de tre alternativer til fossile brændstoffer med dieselteknologien. Vores sammenligning i ta-

bellen tager udgangspunkt i den globale emission (well-to-wheel) og ikke den lokale emission (tank-to-wheel).

**Tabel 9-4: Sammenligning af alternativer drivmidler ift. diesel**

| Sammenligning               | HVO | RME | Electrofuel |
|-----------------------------|-----|-----|-------------|
| Tekniske aspekter           | →   | →   | ↓           |
| Miljømæssigt                | ↗   | →   | ↗           |
| Økonomisk                   | ↓   | ↓   | ↓           |
| Operationelt og vedligehold | →   | →   | →           |
| <b>Sum (uvægtet)</b>        | →   | ↓   | ↓           |

Kilde: Rambøll

Ovenstående tabel viser at de alternative brændstoffer HVO, RME og electrofuel giver begrænsede fordele på miljø, da der fortsat vil ske udledning af emissioner ved drift. Desuden er der den ulempe, at brændstofferne kun er til rådighed i meget begrænset omfang, hvilket påvirker økonomien og den praktiske anvendelighed.

Disse brændstoffer kunne derfor være et godt alternativ som en overgangsteknologi for de eksisterende togs resterende levetid, da de kunne give en miljømæssig gevinst for en beskeden merudgift. Men på længere sigt vurderes de ikke at være attraktive, primært pga. deres lave Well-To-Wheel effektivitet som følge af mange energikonverteringer i produktionen og tilhørende transportbehov<sup>148</sup>.

<sup>148</sup> EU JEC, Well-to-wheel analysis, 2016



## 10. RAMBØLLS ANBEFALINGER TIL LOKALTOG

### 10.1 Opsummering af anbefalinger vedr. teknologi

De to teknologier, batteri- og brinttog, er i rapportens afsnit 3, 4, 5 og 8 blevet evalueret på i alt fire faktorer med en score fra 0-10, hvor 10 opfattes mest positivt. I tabel 10-1 er alle evalueringer samlet, og som det fremgår er det Rambølls vurdering at batteritog er den mest hensigtsmæssige løsning til Lokaltogs behov ud fra analysens forudsætninger og de data, der har været til rådighed.

Samtidig gælder det også, at batteritog ikke både opnår den samlede højeste score, men også har den højeste score på hver af de fire faktorer, så anbefalingen er ret klar og entydig.

**Tabel 10-1: Evaluering af teknologier**

|                                 | <br>Batteri | <br>Brint |
|---------------------------------|--|--|
| Miljøpåvirkning                 | 8  | 6  |
| Markedets modenhed              | 7  | 5  |
| Økonomi                         | 6  | 4  |
| Forhold for kunder og personale | 8  | 7  |
| <b>Gennemsnit</b>               | <b>7,25</b>  | <b>5,50</b>  |

Kilde: Rambøll

#### Miljøpåvirkning

Brinttog er kun en bæredygtig løsning hvis der anvendes brint som er produceret ved elektrolyse. Således kræves der betydelige investeringer i infrastruktur på statsligt niveau, ligesom det er gjort med vedvarende elproduktion i form af vindmøller og solceller. Desuden vil det være nødvendigt at staten ikke pålægger afgifter på anvendelse af brint som er produceret ved elektrolyse. Det til trods er batteri stadig den løsning med mindst påvirkning på miljøet, pga. energitabet ved både produktion og anvendelse af brint på toget. Set i det store perspektiv kan man dog sige, at begge løsninger er markant bedre end diesel, og forskellen imellem dem er lille i

sammenligning med forskellen til de nuværende dieseltog. I forhold til bæredygtighed skal det dog bemærkes, at råstoffer til produktion af lithium-batterier i høj grad stammer fra DR Congo, hvor arbejdsvilkårene for udvinding og produktion har været kritisable, samt at der ikke tages højde for udtømmning af naturressourcer.

#### Markedets modenhed

Brintløsningen er i øjeblikket på et mindre modent stadie end batteri, idet teknologien indtil videre kun er testet på prototypeniveau i Schleswig-Holstein. Batteriteknologi til brug i transport er der til gengæld betydelig mere erfaring med, særligt takket være automobilindustrien. Dette afspejles fx i at der primært findes 1-2 leverandører af brinttog, hvorimod der er 3 leverandører af batteritog. Siemens har angivet at have et brinttog på vej, men togtypen er stadig under udvikling.

#### Økonomi

Batteritog vil i 2025 være den billigste løsning når alle forventelige omkostninger i togenes levetid medregnes. Grunden til denne udvikling er at batterilevetid forbedres og på grund af det reduceres omkostningerne markant. Leverandøren Siemens adskiller sig fra de andre leverandører idet de anvender LTO teknologi, hvilket forventes at give batterierne en levetid på 15 år i stedet for 10. Hvis dette realiseres, vil man opnå den fordel at man kan spare et batteriskift, og lave den store udskiftning ved det almindelige eftersyn og reparation, som typisk foretages halvvejs igennem et togs levetid.

#### Forhold for kunder, personale og naboer

Både batteri- og brinttog er ud fra forhold for kunder, personaler og naboer betydelig bedre løsninger end de nuværende dieseltog. Drift af nulemissionstogene vil medføre reduktion af vibrationer, støj og lokal forurening til gavn for både passagerer, lokoførere og naboer til stationer og strækninger. Den største forskel på disse forhold mellem de to teknologier findes ved den anskuede sikkerhed. Lithium-

batterier har en minimal risiko for at gå i brand, hvorefter passagerer og lokofører skal evakueres. Ulykker med brinttog kan medføre brand eller eksplosioner, hvilket for nogle passagerer vil opfattes som utrygge forhold. Trods begge risici vurderes for minimale, forventes risikoen for eksplosion at skabe marginalt mere utryghed. Derfor vurderes batteritog ud fra denne faktor at være en marginalt bedre løsning end brinttog.

## 10.2 Udbudsstrategi

Baseret på erfaringer omkring tidligere udbud af transportmateriel, herunder fx Movias egne busudbud, anbefaler Rambøll at Lokaltog laver et teknologineutralt udbud i forbindelse med eventuelt indkøb af nulemissionsmateriel. Således sikres det at den enkelte leverandør kan fremvise deres bedste løsning specifikt til Lokaltogs strækninger i Region Hovedstaden og Region Sjælland. Ligeledes udelukkes potentielle leverandører ikke fra udbuddet, hvis disse ikke har satset specifikt på udviklingen af batteri- eller brintmateriel.

Hvis muligt anbefales Lokaltog at vælge en specifik togtype, idet det vil give lavere indkøbspriser når antallet af bestilte tog samles hos en leverandør. På samme vis vil man også kunne bestille reservedele i større partier og opnå besparelser. Det vil også gøre det nemmere at træne lokoførere og andre relevante medarbejdere til en type teknologi. Valget af en enkelt leverandør vil imidlertid eksponere Lokaltog for risiko ift. levering og produktionsfejl.

Baseret på interviews med togproducenter, finder Rambøll endvidere, at det bliver mere udbredt at der tilrettelægges en proces ud fra en totalløsning, hvor vedligehold og infrastruktur inkluderes i udbuddet. En sådan totalløsning betyder, at togproducenterne står for vedligehold og risici herved. Dette kan være favorabelt, da der ved problemer kan trækkes på erfaringer fra andre lande, ligesom der kan spares på personaleomkostninger i forbindelse med løbende lønninger og uddannelse. Samme princip anvendes også bl.a. af DSB ifm. den igangværende anskaffelse af elektriske togsæt (Fremtidens Tog).

Derfor anbefaler Rambøll, at Lokaltog overvejer en sådan løsning før et udbud. Særligt inklusion af konceptet "battery-as-a-service" bør overvejes nærmere, idet det vil betyde at det er togproducentens ansvar at skille sig af med batterierne på en forsvarlig måde, herunder genbrug gennem videresalg (også kaldet "second life") til andet formål som fx lokalt elnet buffer.

Ved at inkludere infrastruktur såsom batteriopladning og brintpåfyldning i udbuddet kan der ligeledes skabes transparens og forventningsafstemning.

## 10.3 Infrastruktur i Region Hovedstaden

### Akseltryk

Rambøll anbefaler at opgradere broen over Mølleåen på Nærumbanen, så det maksimalt tilladte akseltryk kan øges til 20 tons. Alternativt anbefales det at gå i dialog med leverandørerne om hvorvidt et mindre togsæt vil kunne specialdesignes, men det vurderes umiddelbart at medføre større omkostninger end opgraderingen af broen. Der findes eksempler på kortere serieproducerede tog på markedet, fx Bombardier har fx en mindre udgave af Talent 3 toget, med en længde på 44 meter. Yderligere, er der allerede planlagt at forbedringer af Frederiksværkbanen så dens maksimalt tilladte akseltryk i 2020 når op på 20 tons, og dermed ikke længere bør have nogen begrænsninger ift. valg af tog.

### Brintoptankning

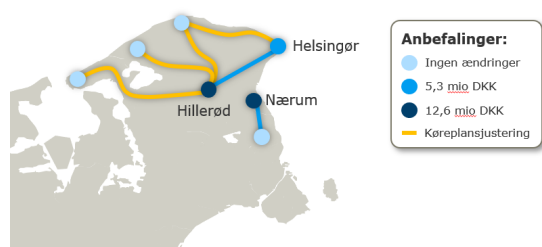
Hvis brinttog vælges, er det Rambølls anbefaling at etablere brintoptankning på de samme steder som der hvor der i dag optankes diesel i Region Hovedstaden: dvs. ved centralværkstedet i Hillerød, Hundested og Helsingør togdepot og ved remisen på Nærumbanen.

### Batteriladning

I Region Hovedstaden vil Lokaltog kunne drage nytte af Banedanmarks eksisterende fjernbane-elektrificering i Helsingør, selvom der stadig skal laves en mindre investering til

Gribskov-Hornbækbanen.<sup>149</sup>. Behovet for investering i fuld infrastruktur er i Hillerød og Nærum. På grund af den nuværende batterirækkevidde og -opladningstid, vil en køreplansændring på Frederiksværkbanen ikke kunne undgås, med mindre der etableres en yderligere ladestation i Hundested. Oprettelse af ladestation i Hundested er dog ikke umiddelbart anbefalet pga. forventningen om en fortsættelse af sporene til Hundested Havn, som vil resultere i kortere vendetid på Hundested station.

**Figur 10-1: Ladningsinfrastruktur og køreplanspåvirkning i Region Hovedstaden**



Kilde: Rambøll

## 10.4 Infrastruktur i Region Sjælland

### Akseltryk

Bombardier Talent 3 og Stadler Flirt Akku overholder pt. ikke Østbanens maksimale akseltryk, men Movia meddeler at dette forventes at blive forhøjet ved en sporombygning i 2022.

### Brintoptankning

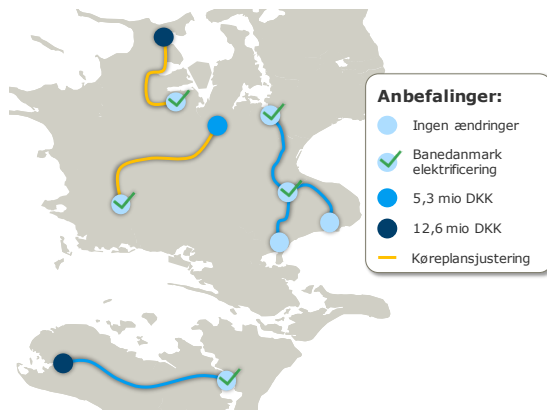
Hvis brinttog vælges, er det Rambølls anbefaling at etablere brintoptankning på de samme steder som hvor der i dag optankes diesel, dvs. stationerne i Hårlev, Tølløse, Holbæk, Nykøbing Sjælland og Nakskov.

## Batteriladning

I Region Sjælland vil Lokaltog kunne drage nytte af Banedanmarks elektrificeringsplan, som vil etablere den nødvendige infrastruktur til ladning af batteritog i hhv. Nykøbing Falster, Roskilde og Holbæk, foruden den allerede etablerede infrastruktur i Køge og Slagelse.<sup>150</sup>. Tilbage er der at etablere fuld infrastruktur i Nakskov og Nykøbing Sjælland, samt en mindre investering i Tølløse. Det kan sandsynligvis lade sig gøre at undgå etablering af ladestationen i Nakskov, hvis rækkevidden på batteritogene øges.

På grund af de længere distancer er der i Region Sjælland flere strækninger, hvor den nuværende køreplan vil skulle justeres hvis batteritogenes rækkevidde og opladningstid ikke forbedres. Køreplanen forventes at skulle justeres så der tilføjes 2-3 min ekstra vendetid på hhv. Odsherredsbanen i Holbæk og Tølløsebanen i Slagelse. Nykøbing Falster og Nakskov har lige præcis tid nok, men der tages ikke højde for eventuelle forsinkelser.

**Figur 10-2: Ladningsinfrastruktur og køreplanspåvirkning i Region Sjælland**



Kilde: Rambøll

<sup>149</sup> Banedanmark Elektrificeringsplan, 2020

<sup>150</sup> Banedanmark Elektrificeringsplan, 2020

## 11. REFERENCER

1. Alstom (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.alstom.com/da/alstom-i-danmark>
2. Alstom (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.alstom.com/da/alstom-i-danmark>
3. Bombardier ERTMS (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://rail.bombardier.com/en/solutions-and-technologies/signalling-and-infrastructure/european-rail-traffic-management-system-ertms.html>
4. Railway Gazette <https://www.railwaygazette.com/business/bombardier-and-leclanche-sign-battery-traction-mou/54744.article>
5. Jointventure (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railjournal.com/signalling/stadler-and-mermec-form-angelstar-etcs-joint-venture/>
6. Letbaner tog i produktion (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.letbanen.dk/nyheder/nyheder/2016/24-tog-i-produktion/>
7. Siemens ERTMS (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railjournal.com/signalling/bane-nor-and-siemens-open-ertms-testing-and-training-centre/>
8. Information om CAF, (17/01/2020): <https://www.caf.net/en/compania/index.php>
9. Tekniske specifikationer (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.alphatrains.eu/en/fleet/trainfinder/?lid=80&iid=3>
10. Antal Lint 41 (Sidst tilgået 17/01/2020): [https://www.apta.com/wp-content/uploads/Coradia-iLint-%E2%80%93-Hydrogen-Fuel-Cell-Train\\_James\\_Varney-1.pdf](https://www.apta.com/wp-content/uploads/Coradia-iLint-%E2%80%93-Hydrogen-Fuel-Cell-Train_James_Varney-1.pdf)
11. Salg af Coradia Lint 41 (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.alstom.com/press-releases-news/2019/3/alstom-will-supply-41-coradia-lint-regional-trains-bavaria-germany>
12. Atkins, Vurdering af Lokaltog A/S behov for materiel for perioden 2019-2025 (08/10/2018)
13. Railway technology (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railway-technology.com/news/germanys-rmv-coradia-ilint-trains/>
14. Alstom præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/04-Alstom-Ulrich-Gahl-final.pdf>
15. Alstom nyheder (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.alstom.com/press-releases-news/2019/10/alstom-test-its-hydrogen-fuel-cell-train-netherlands>
16. Bombardier præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): [http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330\\_RailCPH17-Trains-on-batteries\\_presentation\\_for-the-webpage\\_0.pdf](http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330_RailCPH17-Trains-on-batteries_presentation_for-the-webpage_0.pdf)
17. Railway Gazette (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railwaygazette.com/news/passenger/single-view/view/oebb-orders-talent-3-multiple-units.html>
18. InsideEv (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://insideevs.com/news/339847/bombardier-introduces-talent-3-battery-operated-train/>
19. Bombardier innovation award (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.bt-20181203-bombardiers-talent3-battery-electric-multiple-unit-wins-berlin-brandenburg-innovation-award.bombardiercom.html>
20. Atkins, Vurdering af Lokaltog A/S behov for materiel for perioden 2019-2025 (08/10/2018)
21. Railway-News om Stadler flirt kontrakt (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://railway-news.com/nah-sh-signs-contract-with-stadler-for-flirt-akku-trains/>
22. Stadler om Flirt order (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.stadlerrail.com/en/media/article/stadler-supplies-55-battery-operated-flirt-trains-for-theschleswig-holstein-local-transport-association/522/>
23. Stadler Flirt information (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.stadlerrail.com/en/products/detail-all/flirt160/29/>

24. Stadler interview, 04/12/2019
25. Atkins, Vurdering af Lokaltog A/S behov for materiel for perioden 2019-2025 (08/10/2018)
26. Stadler Flirt TSI godkendelse (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.stadlerrail.com/media/pdf/f3nsreiz0715e.pdf>
27. Railjournal om bestilling af Mireo Plus B (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railjournal.com/fleet/baden-wuerttemberg-orders-battery-electric-fleet/>
28. Railway Gazette om bestilling af Mireo (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/db-regio-places-mireo-order/55161.article>
29. TRANSP-OR, 2019, Can regional railway become emission-free with recently announced vehicles? A case study of Bavaria (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://transp-or.epfl.ch/documents/technicalReports/MuelGuerObreBier19.pdf>
30. Interview Siemens, 28/01/2020
31. Siemens Mireo information (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/public.1536835406.c5c1f8b1-09c4-4f5e-9a3f-fa1540d95e05.mireo-rheintal-los2-en.pdf>
32. Rambøll ekspert
33. Rambøll ekspert
34. Baseret på Rambøll eksperter samt interview med Stadler
35. Transport- og Boligministeriet, Analyse af batteritogsdrift i Nordvestsjælland, Nov2019
36. Møde med Movia, 2020
37. Atkins, Vurdering af Lokaltog A/S behov for materiel for perioden 2019-2025 (08/10/2018)
38. Technische Universität Dresden, 2017, Wissenschaftliche Bewertung von alternativen, emissionsarmen Antriebskonzepten für den bayerischen SPNV
39. Bloomberg NEF, 2019 (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>
40. JRC Science for Policy Report 2018 (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC113360/kjna29440enn.pdf>
41. Bombardier interview 29/01/2020 og Rambøll eksperter
42. Railvolution omkring Coradia iLint (Sidst tilgået 05/02/2020): <http://www.railvolution.net/news/fuel-cell-coradia-ilint-on-test>
43. Bloomberg omkring fremtidens brintpriser (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-08-21/cost-of-hydrogen-from-renewables-to-plummet-next-decade-bnef>
44. Energistyrelsen, Fremskrivning af brændstofpriser (Sidst tilgået 05/02/2020): [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/b1\\_braendselspriser.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/b1_braendselspriser.pdf)
45. Energistyrelsen, Fremskrivning af elpriser (Sidst tilgået 05/02/2020): [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/b13\\_elpris.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/b13_elpris.pdf)
46. XY Erhverv, HVO liste (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://erhverv.yx.dk/priser>
47. Circle K Listepriis (Sidst tilgået 05/02/2020): [https://m.circlek.dk/cs/Satellite/DK1/dk\\_DK/pg1334072705541/erhverv/Priser.html?c=Page&childpagename=DK1/Layout&cid=1334072705541&d=Touch&lang=dk\\_DK&packedargs=lang&pagename=DK1Wrapper&sitetpfx=DK1&sitetpfx=DK1](https://m.circlek.dk/cs/Satellite/DK1/dk_DK/pg1334072705541/erhverv/Priser.html?c=Page&childpagename=DK1/Layout&cid=1334072705541&d=Touch&lang=dk_DK&packedargs=lang&pagename=DK1Wrapper&sitetpfx=DK1&sitetpfx=DK1)
48. Nordpool elspotpriser (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/#/nordic/table>
49. Stadler interview 04/12/2019
50. Biofuel-Express (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.biofuel-express.com/da/fossilfri-danmark-hvad-koster-det-at-blive-fossilfri/>



51. Rambøll eksperter
52. PWC oversigt over energiafgifter (sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.pwc.dk/da/publikationer/2019/afgiftssatserne-2019-2020.pdf>
53. Energinet (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://energinet.dk/EI/Elmarkedet/Tariffer>
54. Biofuel-express (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.biofuel-express.com/da/fossilfri-danmark-hvad-koster-det-at-blive-fossilfri/>
55. Leverandør input og Rambøll eksperter
56. Møde med Movia, 2020
57. Rambøll eksperter
58. Radius, 2020 (Sidst tilgået 05/02/2020): [https://radiuselnet.dk/wp-content/uploads/EI\\_Tilslutningsbidrag\\_for\\_elforsyning\\_Web.pdf](https://radiuselnet.dk/wp-content/uploads/EI_Tilslutningsbidrag_for_elforsyning_Web.pdf)
59. Rambøll eksperter og leverandør af infrastruktur
60. Bombardier (Sidst tilgået 05/02/2020): [http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330\\_RailCPH17-Trains-on-batteries\\_presentation\\_for-the-webpage\\_0.pdf](http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330_RailCPH17-Trains-on-batteries_presentation_for-the-webpage_0.pdf)
61. Møde med Lokaltog, 2020
62. Klimarådet 2018 (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://klimaraadet.dk/da/nyheder/analyse-co2-afgift-boer-vaere-drivkraft-den-groenne-omstilling>
63. Banedanmark (sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.bane.dk/-/media/Bane/Borger/Baneprojekter/Elektrificeringsprogrammet/kortEP20jan.png?la=da&hash=4B686D8210A4F4989BEEAFF21F9FF0E69C1F632E>
64. Transport- og boligministeriet om togfonden DK (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.trm.dk/politiske-aftaler/2014/aftale-om-togfonden-dk/>
65. APTA Bombardier præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): [https://www.apta.com/wp-content/uploads/Realize-your-vision-with-Bombardier-TALENT-3-BEMU\\_Yves\\_Lappierre.pdf](https://www.apta.com/wp-content/uploads/Realize-your-vision-with-Bombardier-TALENT-3-BEMU_Yves_Lappierre.pdf)
66. Alstom om ny teknologi (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.alstom.com/press-releases-news/2018/9/abellio-alstom-nasa-and-rolls-royce-implement-new-hybrid-drive-solution>
67. APTA Bombardier præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): [https://www.apta.com/wp-content/uploads/Realize-your-vision-with-Bombardier-TALENT-3-BEMU\\_Yves\\_Lappierre.pdf](https://www.apta.com/wp-content/uploads/Realize-your-vision-with-Bombardier-TALENT-3-BEMU_Yves_Lappierre.pdf)
68. Global Railway Review om vibrationer (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.globalrailwayreview.com/article/93584/hydrogen-trains-benefits-noise-vibration-reduction/>
69. APTA Alstom præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): [https://www.apta.com/wp-content/uploads/Coradia-iLint-%E2%80%93-Hydrogen-Fuel-Cell-Train\\_James\\_Varney-1.pdf](https://www.apta.com/wp-content/uploads/Coradia-iLint-%E2%80%93-Hydrogen-Fuel-Cell-Train_James_Varney-1.pdf)
70. Rambøll eksperter
71. The future of Hydrogen (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
72. Artikel omkring eksplosion af brintstation (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://ing.dk/artikel/brintstationer-lukker-efter-eksplosion-norge-226583>
73. Railway Technology omkring Coradia iLint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railway-technology.com/projects/coradia-ilint-regional-train/>
74. U.S. Department of Transportation omkring batteri sikkerhed (Sidst tilgået 17/01/2020): [https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/12848-lithiumionsafetyhybrids\\_101217-v3-tag.pdf](https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/12848-lithiumionsafetyhybrids_101217-v3-tag.pdf)
75. Bombardier præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): [http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330\\_RailCPH17-Trains-on-batteries\\_presentation\\_for-the-webpage\\_0.pdf](http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330_RailCPH17-Trains-on-batteries_presentation_for-the-webpage_0.pdf)

76. Bombardier præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): [http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330\\_RailCPH17-Trains-on-batteries\\_presentation\\_for-the-webpage\\_0.pdf](http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330_RailCPH17-Trains-on-batteries_presentation_for-the-webpage_0.pdf)
77. Stadler interview, 04/12/2019
78. Rambøll eksperter
79. Bombardier præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): [http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330\\_RailCPH17-Trains-on-batteries\\_presentation\\_for-the-webpage\\_0.pdf](http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330_RailCPH17-Trains-on-batteries_presentation_for-the-webpage_0.pdf)
80. Railway Gazette omkring præsentation af Flirt Akku (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/flirt-akku-battery-multiple-unit-unveiled/47436.article>
81. Urban Transport Magazine om Siemens ÖBB cityjet (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.urban-transport-magazine.com/en/siemens-obb-cityjet-eco-achieves-approval-for-passenger-operation/>
82. Bombardier interview 29/01/2020
83. Rambøll eksperter
84. Railvolution om Coradia iLint (Sidst tilgået 05/02/2020): <http://www.railvolution.net/news/fuel-cell-coradia-ilint-on-test>
85. IEA - The future of Hydrogen (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
86. Biopress omkring Coradia iLint (Sidst tilgået 17/01/2020): <http://www.biopress.dk/PDF/verdens-forste-brinttog-er-nu-i-ordinaer-drift>
87. Siemens Mireo Plus præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.vde.com/resource/blob/1852598/c2571af79d83e8e395d99a9fd89d2da9/3-3-steinbauer--siemens-mobility-brennstoffzelle-data.pdf>
88. Brintbranchen omkring Coradia iLint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://brintbranchen.dk/wp-content/uploads/2019/04/On-track-Hydrogen-and-Railways-Stefan-Schrank.pdf>
89. APTA Alstom præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): [https://www.apta.com/wp-content/uploads/Coradia-iLint-%E2%80%93-Hydrogen-Fuel-Cell-Train\\_James\\_Varney-1.pdf](https://www.apta.com/wp-content/uploads/Coradia-iLint-%E2%80%93-Hydrogen-Fuel-Cell-Train_James_Varney-1.pdf)
90. DW omkring Coradia iLint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.dw.com/en/worlds-first-hydrogen-train-rolls-out-in-germany/a-45525062>
91. Interview med Bombardier (29/01/2020) og Stadler (04/12/2019)
92. Bloomberg omkring batteriteknologiens fremtid (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>
93. Information omkring LTO-batterier (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.ev-power.eu/LTO-Tech/>
94. Rambøll eksperter
95. Bloomberg omkring solid-state batterier (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.bloomberg.com/press-releases/2019-07-09/blackstone-resources-to-build-world-class-solid-state-battery>
96. Bombardier præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): [http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330\\_RailCPH17-Trains-on-batteries\\_presentation\\_for-the-webpage\\_0.pdf](http://www.ig-nahverkehr.de/wp-content/uploads/2018/12/1330_RailCPH17-Trains-on-batteries_presentation_for-the-webpage_0.pdf)
97. The future of Hydrogen (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
98. Rambøll eksperter

99. Rail Gazette om udviklingen af Mireo Plus H (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/fuel-cell-mireo-multiple-unit-to-be-developed/45481.article>
100. Interview Bombardier og Stadler
101. Railway Technology omkring Coradia iLint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railwaytechnology.com/projects/coradia-ilint-regional-train/>
102. IEA - The future of Hydrogen (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
103. Hydrogen Europe omkring brint produktion (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://hydrogeneurope.eu/hydrogen-production-0>
104. Artikel omkring Coradia iLint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://ing.dk/artikel/saa-koerer-brinttoget-tyskland-214509>
105. Rambøll eksperter
106. Rambøll eksperter
107. Danmarks Radio omkring produktion af brint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.dr.dk/nyheder/viden/teknologi/teknologien-rykker-snart-saetter-flere-anlaeg-sol-og-vind-paa-flaske>
108. Stadler interview, 04/12/2019
109. IEA brint review (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
110. Bloomberg omkring fremtidens brint priser (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-08-21/cost-of-hydrogen-from-renewables-to-plummet-next-decade-bnef>
111. Allianz Pro Schiene omkring elektrisk infrastruktur (A) (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/daten-fakten/>
112. Allianz Pro Schiene omkring elektrisk infrastruktur (B) (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.allianz-pro-schiene.de/wp-content/uploads/2017/11/170928-Elektrifizierung-BL-2015.pdf>
113. Information omkring BEMU (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://alchetron.com/Battery-electric-multiple-unit>
114. Urban Transport Magazine om Stadler Flirt Akku (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://urban-transport-magazine.com/en/schleswig-holstein-orders-55-battery-electric-trains-with-stadler/>
115. The German Railway Industry Association (Sidst tilgået 17/01/2020): [https://bahnindustrie.info/fileadmin/Sonstiges/180919\\_VDB\\_InnoTrans\\_Convention\\_presentation.pdf](https://bahnindustrie.info/fileadmin/Sonstiges/180919_VDB_InnoTrans_Convention_presentation.pdf)
116. Stadler om Flirt order (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.stadlerail.com/en/media/article/stadler-supplies-55-battery-operated-flirt-trains-for-the-schleswig-holstein-local-transport-association/522/>
117. Mobilites Magazine omkring Mireo Plus B (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.mobilites-magazine.com/single-post/2019/08/28/Le-Bade-Wurtemberg-choisit-les-Mireo-Siemens-%C3%A0-batteries>
118. Alstom om Coradia iLint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.alstom.com/our-solutions/rolling-stock/coradia-ilint-worlds-1st-hydrogen-powered-train>
119. The Agility Effect omkring Coradia iLint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.theagilityeffect.com/en/article/hydrogen-powered-trains-from-technological-viability-to-economic-maturity/>
120. Siemens og Ballard samarbejde (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.ballard.com/about-ballard/newsroom/market-updates/siemens-announces-receipt-of-funding-for-fuel-cell-train-development-program-with-ballard>

121. Artikel omkring nulemissions materiel i Tyskland (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://railco-lornews.com/2016/08/18/de-zero-emission-passenger-trains-in-germany-the-plans-and-projects/>
122. Information omkring brændselsceller og brint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://shift2rail.org/wp-content/uploads/2019/05/FCH-HydrogenTrain-Study-Workshop.pdf>
123. Brintens udbredelse i Tyskland (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/04/f62/fcto-h2-at-rail-workshop-2019-hof.pdf>
124. Allianz Pro Schiene omkring elektrisk infrastruktur (A) (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/daten-fakten/>
125. Artikel omkring opgradering til batteri i Østrig (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://ing.dk/artikel/oestrigsk-togselskab-dropper-diesel-opgraderer-tog-med-batterier-228745>
126. Color News omkring ÖBB CityJet Eco (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://railco-lornews.com/2019/08/26/at-obb-cityjet-eco-approved-for-commercial-service-in-austria/>
127. EMU's i Østrig (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railjournal.com/fleet/austrian-federal-railways-seeks-more-emus/>
128. Hydropole omkring Stadler brint tog i Zillertal (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://hydropole.ch/en/stadler-rail-gewinnt-den-auftrag-der-zillertalbahn-fuer-die-neuen-zuege-mit-wasserstoffantrieb/>
129. Railway Gazette omkring brinttog (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.railwaygazette.com/traction-and-rolling-stock/zillertalbahn-selects-hydrogen-train-supplier/46461.article>
130. Stadler interview, 04/12/2019
131. Hydropole omkring Stadler brint tog i Zillertal (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://hydropole.ch/en/stadler-rail-gewinnt-den-auftrag-der-zillertalbahn-fuer-die-neuen-zuege-mit-wasserstoffantrieb/>
132. Præsentation fra konference i Geneve (Sidst tilgået 17/01/2020): [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/sc2/Mr.\\_Wolfgang\\_Koestinger\\_Presentation\\_%C3%96BB\\_V02.pptx](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/sc2/Mr._Wolfgang_Koestinger_Presentation_%C3%96BB_V02.pptx)
133. Urban Transport Magazine om Siemens Desim ML ÖBB City jet ECO (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.urban-transport-magazine.com/en/siemens-obb-cityjet-eco-achieves-approval-for-passenger-operation/>
134. Biopress omkring Coradia iLint (Sidst tilgået 17/01/2020): <http://www.biopress.dk/PDF/verdens-forste-brinntog-er-nu-i-ordinaer-drift>
135. Information omkring brændselsceller og brint (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://shift2rail.org/wp-content/uploads/2019/05/FCH-HydrogenTrain-Study-Workshop.pdf>
136. Alstom præsentation (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/04-Alstom-Ulrich-Gahl-final.pdf>
137. Alstom om ny teknologi (Sidst tilgået 17/01/2020): <https://www.alstom.com/press-releases-news/2018/9/abellio-alstom-nasa-and-rolls-royce-implement-new-hybrid-drive-solution>
138. Movia interne estimer (møde 22/01/20)
139. Netværk for Transport og Miljø, TINV om DS/EN16258 (sidst tilgået 05/02/2020): [https://static1.squarespace.com/static/56fe742fab48de7987accef8/t/575ace212b8dde9e4e9cc413/1465568807753/Ha%CC%8Andbog\\_Vejledning+EN+16258.pdf](https://static1.squarespace.com/static/56fe742fab48de7987accef8/t/575ace212b8dde9e4e9cc413/1465568807753/Ha%CC%8Andbog_Vejledning+EN+16258.pdf)
140. Energistyrelsen (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/noegletal-og-internationale-indberetninger>
141. The Guardian (Sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.theguardian.com/global-development/2018/oct/12/phone-misery-children-congo-cobalt-mines-drc>
142. Rambøll ekspertudsagn
143. Rambøll ekspertudsagn
144. BEK no 1044 af 07/09/2017, § § 6-9

145. BEK no 1044 af 07/09/2017, § § 6-9

146. Eurotransport.de (Sidst tilgået 31/01/2020): <https://www.eurotransport.de/artikel/biokraftstoff-ohne-anreize-hvo-nicht-mehr-rentabel-fuer-logistiker-10291554.html>

147. Agora Verkehrswende, Agora Energiewende and Frontier Economics (2018): Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels., p. 81

148. EU JEC, Well-to-wheel analysis, 2016: <https://ec.europa.eu/jrc/en/jec/activities/wtw>

149. Banedanmark Elektrificeringsplan, 2020 (sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.bane.dk/-/media/Bane/Borger/Baneprojekter/Elektrificeringsprogrammet/kortEP20jan.png?la=da&hash=4B686D8210A4F4989BEEAFF21F9FF0E69C1F632E>

150. Banedanmark Elektrificeringsplan, 2020 (sidst tilgået 05/02/2020): <https://www.bane.dk/-/media/Bane/Borger/Baneprojekter/Elektrificeringsprogrammet/kortEP20jan.png?la=da&hash=4B686D8210A4F4989BEEAFF21F9FF0E69C1F632E>