

# ANALYSE AF NULEMISSIONSTOG PÅ LOKALBANERNE I REGION HOVEDSTADEN OG REGION SJÆLLAND



# FORMÅL

Movia har i samarbejde med Lokaltog udbudt en konsulentopgave finansieret af Region Hovedstaden og Region Sjælland for at afdække mulighederne for at indføre nulemissionstog på lokalbanerne i hhv. Region Hovedstaden og Region Sjælland.

Baggrunden for opgaven er dels et generelt politisk ønske om at gøre togdriften mere miljøvenlig og dels, at Lokaltog inden for relativ kort tid skal tage stilling til udskiftning eller levetidsforlængelse af materiel på flere strækninger.

Derfor er der behov for at få belyst, hvilke muligheder der kunne være ift. teknologi, og om der kunne være alternativer til diesel eller elektriske tog med køreledninger, som vil kræve elektrificerede strækninger.

Rapporten indgår i en række rapporter bestilt af Movia, der skal bidrage med information og ekspertviden til Movias materieludskiftning i 2025. Opgaven består blandt andet af en kortlægning af leverandører og teknologi samt mulige konsekvenser og udfordringer ved at indføre dem på lokalbanerne.



# AGENDA

- |    |  |    |                               |
|----|--|----|-------------------------------|
| 01 | Nulemissionsmarkedet                     | 06 | Internationale erfaringer     |
| 02 | Kompatibilitet med Lokaltogs strækninger | 07 | Ombygning af eksisterende tog |
| 03 | Total cost of ownership                  | 08 | Miljøeffekter                 |
| 04 | Forhold for kunder, personale og naboer  | 09 | Alternative drivmidler        |
| 05 | Markedets modenhed                       | 10 | Konklusion og anbefalinger    |

# 1. AFDÆKNING AF MARKEDET FOR NULEMISSIONSTOG

Af figuren fremgår tekniske specifikationer for det forskellige nulemissionsmateriel, som Rambøll har identificeret som relevant til brug på Lokalbanerne.

Rambøll har identificeret fire relevante leverandører af nulemissionsmateriel: Alstom, Bombardier, Stadler og Siemens. Disse leverandørers togmateriel er vist i togkataloget nedenfor. For sammenlignelighed holdes disse nulemissionstog op imod dieseltoget Alstom Coradia Lint 54, som er en større version af Lokaltogs nuværende dieseltog, Alstom Coradia Lint 41.

- Alle leverandørerne er anerkendte internationale togproducenter med mange års erfaring og gennemtestede produkter.
- De fire nulemissionstog opfylder Lokaltogs krav om hastighed, fritrumsprofil og perronhøjde.
- Begrænsninger: Ved sammenkobling af to tog i myldretiden vil længden overskride perronernes længde, men passagerernes indstigning vil ikke være påvirket.



Batteri

**Bombardier Talent 3**



**Stadler Wink**



**Siemens Mireo Plus B**



**Alstom Coradia iLint**



Brint

	Alstom Coradia Lint41 (Nuværende tog)	Alstom Coradia Lint54 (For sammenligning)	Alstom Coradia iLint	Bombardier Talent 3	Siemens Mireo plus B	Stadler Wink
Togtype	Dieseltog	Dieseltog	Brinttog	Batteritog	Batteritog	Batteritog
Længde	41.810 mm	54.000 mm	55.000 mm (To vogne)	56.200 mm (Tre vogne)	50.000 mm (To vogne)	63.200 mm (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

Tekniske specifikationer

Det skal bemærkes, at de overstående specifikationer er tilstedebagt igennem offentlige kilder og interviews med relevante togproducenter. Derfor skal de oplyste specifikationer ansues 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.

## 2. KOMPATIBILITET MED LOKALTOGS STRÆKNINGER

Der er anvendt et kvantitativt vægtningsystem til at vurdere togtypernes kompatibilitet til Lokaltogs nuværende infrastruktur. Togtypernes kompatibilitet med strækningerne er illustreret ved Harvey-kugler, hvor den summerede uvægtede score er angivet i blå.

### Opsummering Region Hovedstaden

- Ingen kompatibilitetsbegrænsninger ift. togvalg på Gribskov-Hornbækbanen, Gribskovbanen (Tisvildeleje) og Lille Nord.
- På Frederiksværkbanen er der allerede planlagt forbedringer, så dens maksimalt tilladte akseltryk i 2020 når op på 22 tons, hvorfor der ikke længere bør være begrænsninger ift. togvalg.
- Mht. Nærumbanen, anbefaler Rambøll, at opgradere broen over Mølleåen, så det maksimalt tilladte akseltryk kan øges til 20 tons. Desuden vil det ikke være muligt at sammenkoble to tog i myldretiden pga. perronlængden.
- Rækkevidde og opladning af de tre batteritog kan kræve køreplansændringer på Gribskov-Hornbækbanen, nærmere beskrevet på slide 7.

		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	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●

● Kompatibel ○ Ikke kompatibel

## 2. KOMPATIBILITET MED LOKALTOGS STRÆKNINGER

Der er anvendt et kvantitativt vægtningsystem til at vurdere togtypernes kompatibilitet til Lokaltogs nuværende infrastruktur. Togtypernes kompatibilitet med strækningerne er illustreret ved Harvey-kugler, hvor den summerede uvægtede score er angivet i blå.

### Opsummering Region Sjælland

- Alstom Coradia iLint og Stadler Flirt Akku lever ikke op til accelerationsbehovene på Østbanen og Odsherredsbanen, hvilket forventes at resultere i nødvendige køreplanændringer.
- Bombardier Talent 3 og Stadler Flirt Akku overholder pt. ikke Østbanens maksimale akseltryk, men dette forventes forhøjet til 22,5 tons inden 2023, hvor banen er forudsat renoveret.
- Rækkevidde og opladning af de tre batteritog kan kræve køreplansændringer på Lollandsbanen, Tølløsebanen og Odsherredsbanen, nærmere beskrevet på slide 7.

		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				

● Kompatibel ○ Ikke kompatibel

## 2. KOMPATIBILITET MED LOKALTOGS STRÆKNINGER

Nye batteritog vurderes til at kunne opretholde køreplanerne. Nogle banestrækninger er dog udfordrede fordi opladning af batteritog vil kræve lidt mere tid end der umiddelbart er til rådighed. Det vurderes, at disse udfordringer kan løses på forskellige måder, dog med afsæt i de enkelte strækninger og i forbindelse med et udbud.

### Flere løsninger til opladningsbehov

Der findes flere løsninger til opladningsbehov. Flere af disse vil have driftsmæssige konsekvenser og kræver investeringer.

- 1) Køreplanen ændres
- 2) Toget udrustes med et større batteri
- 3) Der etableres ekstra infrastruktur på modsatte endestation
- 4) Der etableres opladning på et stykke af strækningen hen til endestationen, så toget oplader før stilstand

### Region Hovedstad

På baggrund af den nuværende batterirækkevidde og opladningstid vil en køreplansændring sandsynligvis være nødvendig på Frederiksværkbanen, Gribskovbanen og Gribskov-Hornbækbanen.

### Region Sjælland

Det bør forventes, at køreplanen skal ændres, så der tilføjes 2-3 min ekstra vendetid på hhv. Odsherredsbanen i Holbæk og Tølløsebanen i Slagelse for at sikre tilstrækkelig opladningstid. Stoppene ved Nykøbing Falster og Nakskov er præcis lange nok til at sikre den nødvendige ladning, dog tages der ikke højde for evt. forsinkelser.

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
Gribskov-Hornbækbanen (Gilleleje)	50,4 km	Hillerød	5-6 min	11 min
Lille Nord	23,4 km	Helsingør	13 min	11 min
		Hillerød	12 min	5 min
		Helsingør	12 min	5 min
Nærumbanen	7,8 km	Nærum	4-14 min**	3 min
<b>Region Sjælland</b>				
Odsherredsbanen	49,4 km	Holbæk	7-9 min	11 min
		Nykøbing Sjælland	6-9 min	11 min
Løllandsbanen	50,2 km	Nykøbing Falster	12 min	11 min
		Nakskov	14 min	11 min
Tølløsebanen	50,8 km	Tølløse	12 min	11 min
		Slagelse	9 min	11 min
Østbanen	30,3 km	Køge	4-19 min***	7 min
		Roskilde	15 min	7 min

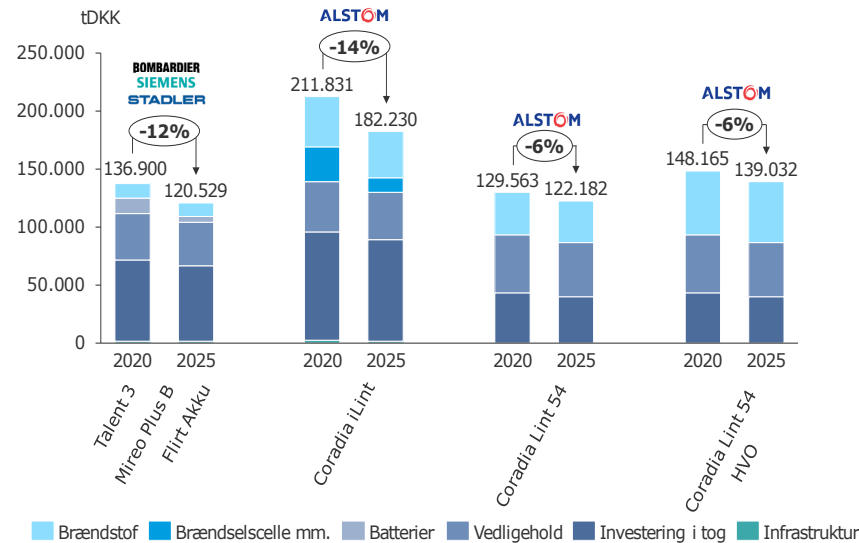
Kilde: Rambøll; \* Hurtigtog, \*\* I myldretid er der kun et stop på 1 minut, \*\*\* 4 min ved gennemfart fra Roskilde til Rødvig

[Udfordringer med nuværende køreplan](#)

# 3. TOTAL COST OF OWNERSHIP

Meromkostningerne ved at anskaffe batteritog er meget små i forhold til at anskaffe nye diesel tog. Meromkostningerne ved brinttog vurderes til at være store. Togene vil kunne bruges med nogle forholdsvis beskedne investeringer i infrastruktur til lade/påfyldning og i banestrækninger, fordi togene vil være tungere end de eksisterende.

## Finansiell sammenligning af totalomkostninger per tog med en levetid på 35 år



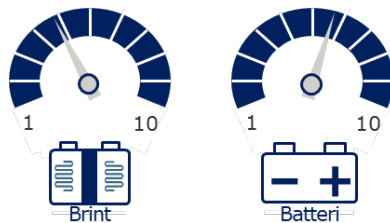
## Fremgangsmåde

Rambøll har vurderet totalomkostningerne ved togtyperne præsenteret i togkataloget og sammenholdt disse med de nuværende togtyper. Det understreges, at totalomkostningerne er afgrænset til summen af selve togmateriellet, driften og vedligehold heraf samt omkostninger relateret til etablering af infrastruktur. Alstoms investering er estimeret på baggrund af Rambølls egne eksperter. De tre batteritogsleverandører er lagt sammen, idet de har afgivet ens prisintervaller. Priserne er overslag fra leverandørerne og af Rambøll, hvorfor der ikke er taget højde for mængderabat og lignende faktorer, som positivt kan influere den endelige pris.

## Generelle konklusioner

Batteritogsleverandørerne kan qua mindre vedligehold og lave driftsomkostninger vise sig konkurrencedygtige over for dieseltog. Endvidere vurderer Rambøll, at brinttog vil være en betydelig dyrere løsning end batteritog. Dieseltog med HVO er også taget i betragtning, hvilket ligeledes vurderes til at være en mindre favorabel løsning.

## Overordnet score af totalomkostninger for brint på 4 og batteri på 6



## Region Hovedstaden

For batteridrevet togdrift i Region Hovedstaden bør 2 større og 1 mindre investering i opladningsstationer forventes at skulle til. Ved valg af brinttog bør der investeres i 4 tankstationer.

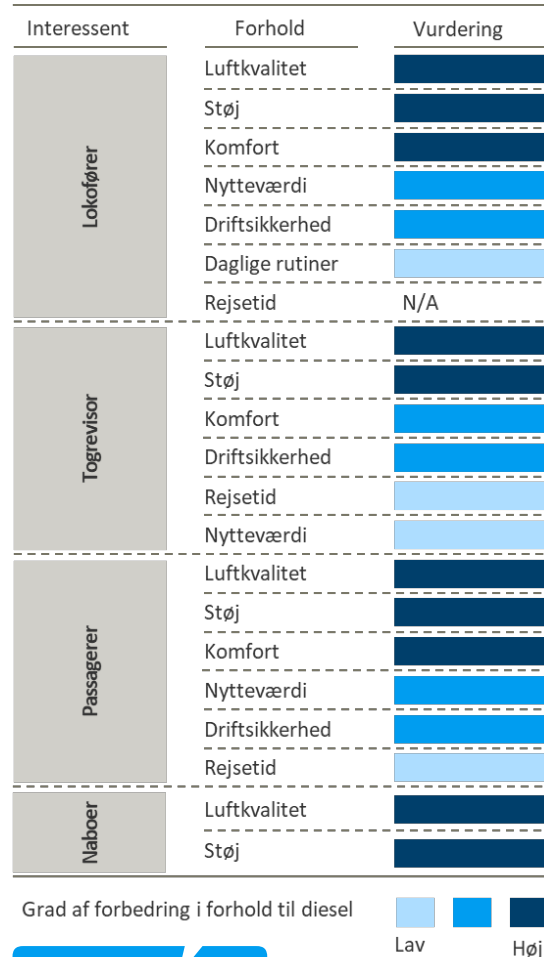
## Region Sjælland

For Region Sjælland vurderes det nødvendigt med 2 større og 1 mindre investering i opladningsstationer til batteridrift og 5 tankstationer ved valg af brinttog.



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

Der er betydelige fordele ved nulemissionstog set i forhold til kunder, personale og naboer. Disse stammer primært fra reduktion af forurening, støj og vibrationer.



## Luftkvalitet

- Fjernelse af sundhedsskadelig partikelforurening og CO<sub>2</sub>-udledninger ved brugspunktet
- Primært forbedring for naboer og passagerer som venter på perronen

## Støj

- Væsentlig forbedring for passagerer og naboer
- Forbedret arbejdsmiljø for lokoførere og togrevisorer

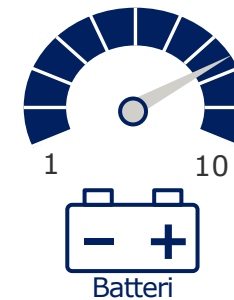
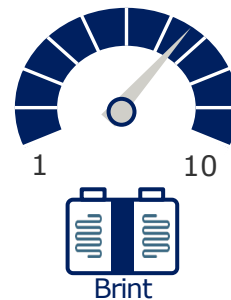
## Komfort

- Væsentlig reduktion af vibrationer
- Intet behov for gearskifte

## Øvrige

- Oplevet sikkerhed højere ved batteri- end brinttog
- Reduceret køreplansfleksibilitet ved batteritog pga. opladning

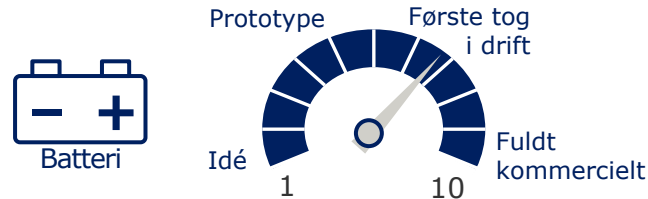
Overordnet score af forhold for kunder og personale for brint på 7 og batteri på 8



# 5. EN VURDERING AF MARKEDETS MODENHED

Markedet specielt for batteritog vurderes til at være rimelig modent, så der vil kunne gennemføres sikre udbud. Forskellen fra brinttog skyldes bl.a., at der er draget gavn af forskning og udvikling af batteriteknologi fra andre industrier, herunder bilindustrien.

## Modenheds score på 7 for batteri og 6 for brint

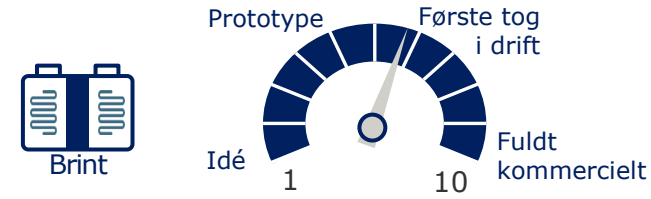


### Infrastruktur og nuværende modenhed

- I dag har batteritogene en rækkevidde på 40-100 km afhængig af hvor store batterier, der kan påmonteres toget uden at overskride banestrækningernes krav for maksimalt akseltryk.
- Batterierne har en levetid på 2000 fulde opladningscykluser – svarende til 7-10 år, hvorefter de bør udskiftes.
- Da batterierne udgør en væsentlig del af TCO, er det essentielt, at prisen på lithium-ion-batterier er faldet med 85% fra 2010 til 2018.

### Fremtidige egenskaber

- De udvalgte leverandører forventer at opnå en rækkevidde på 120-130 km inden 2025 samt en levetid på 10-15 år.
- Prisen på lithium-ion-batterier forventes fortsat at falde frem til 2050.
- Ny batteriteknologi, herunder Lithium Titanat Oxid (LTO), lover betydelig længere levetid end den nuværende teknologi. Teknologiens relevans vil dog kræve en tilsvarende udvikling i priser som set med Lithium-ion-batterier.



### Infrastruktur og nuværende modenhed

- Nuværende brændselsceller estimeres til at have en brugbar levetid på 5 år.
- Infrastrukturen til brintoptankning vil være nødvendig at få på plads. I Tyskland har mobile brintstationer vist sig fordelagtige i opstartsfasen, idet de tilfører fleksibilitet mellem baner. Det er fordelagtigt at minimere transport af brinten ved produktion tæt på anvendelsesområdet, da dette er mere krævende end ved konventionel dieseltransport.
- Kompression af brinten udgør en stor del af omkostningerne ved brintproduktion, hvorfor prisen varierer substantielt af den daglige volumen der produceres.

### Fremtidige egenskaber

- Brændselsceller forventes ikke at få en markant bedre ydeevne end i dag.
- Ligesom med batteriteknologien forskes der primært i prisreduktion. Forsyningssiden er her det primære fokus, hvor særligt kompressionen af gasen er forbundet med et omkostningstungt energitab og relativt højt CO<sub>2</sub>-aftryk.

# 6. EN KORT REDEGØRELSE OVER ERFARINGER

Der er allerede i Europa indgået en række kontrakter på større leverancer af batteri- og brinttog. Det første brinttog er i testdrift i Niedersachsen i Tyskland.

## Opsummering af igangværende nulemissionsprojekter

Efter interviews med bl.a. den tyske myndighed Fahma, der er flådeforvalter for trafikelskabet RMV i Frankfurt, kan visse tendenser udledes. Generelt er der tendens til, at en batteriløsning vælges i de indkøb, hvor strækningens distance er inden for batteriets rækkevidde. Endvidere er tendensen også, at nulemissionsudbud, hvor drivmidlet ikke er specificeret, oftest ender med valg af batteritog.

Der blev også fundet bred enighed om, at en trinvis indførelse af den nye batteriteknologi ses som favorabel for en driftssikker overgang. Derfor anbefales det, at udskiftningen af materiel sker på en strækning ad gangen samt et tog ad gangen på strækningens niveau. Det nuværende dieselmateriel vil således kunne understøtte det nye materiel i opstartsfasen. Dette udelukker ikke mængderabat ved ordreplacering på et større antal nye tog.

Når valget er faldet på en brintdrevet flåde, har det primært baseret sig på, at der allerede var en etableret kilde til brint i området, og at afstanden til allerede eksisterende elektrificering var lang. Det bør dog bemærkes, at selve optankningsinfrastrukturen krævede godkendelse, samt at prisen for brint endte med at blive højere end først antaget.

### Tyskland



**Frontløber:** Relativ høj udbredelse af nulemission. Tester f.eks. løsninger fra flere store producenter inkl. Alstom's Coradia iLint og Bombardier Talent 3. Tyskland er samtidig det eneste Europæiske land i 2019 med brintdrevne passagertog i testdrift.

### Østrig



**Frontløber:** 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% nulemissions drift fra 2035. Yderligere udbud om leje af brinttog er offentliggjort i 2019 (ikke tildelt).

Togtypers Status på drift	Togtype	Tyskland		Østrig	
		Batteri	Brint	Batteri	Brint
Togtypers Status på drift	Alstom Coradia iLint		2018: Testdrift 2021: Kommerciel drift (forv.)		
	Bombardier Talent 3		2019: Godkendt til testdrift 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 2019: Kommerciel drift	
	Stadler Flirt Akku		2022: Forventes idriftsat		
	Stadler Flirt H2				2020: Prototype leveres (1 tog) 2022: kommerciel drift (+4 tog)

# 7. MULIGHEDERNE FOR OMBYGNING AF DE EKSISTERENDE LINT 41 DIESELTOG

Det vurderes, at det næppe kan betale sig at ombygge eksisterende togsæt på lokalbanerne til batteri eller brintdrift. Det kan sikkert teknisk lade sig gøre, men togene, der kunne være relevante (Lint41), vil på tidspunktet for deres eventuelle ombygning være nået midtvejs i deres levetid.

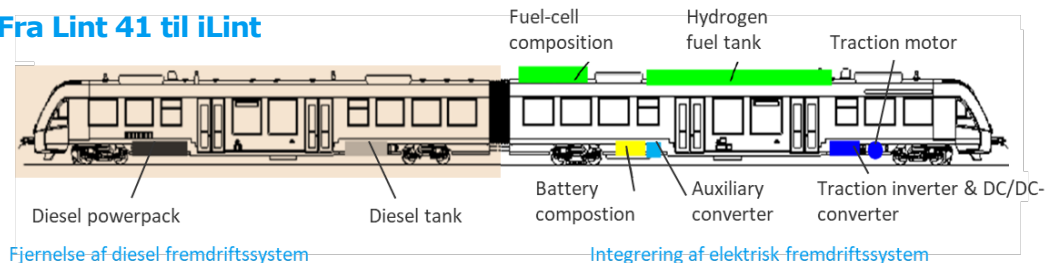
## Formål med ombygning af eksisterende tog

- Udskyde en investering i nye togsæt
- Togene vil blive brugt deres levetid ud
- Reduktion af produktions- og leveringstid

## Teknisk tilstand af den eksisterende Lint 41 flåde

- Lint-flåden har en gennemsnitsalder på 12-14 år
- Kun enkelte større fejl som ikke får nogen betydning for togenes forventede levetid

## Fra Lint 41 til iLint



## Teknisk vurdering: Teknisk muligt men frarådes

Ombygning til brinttog (Alstom Coradia iLint)

- Alstom Coradia iLint er baseret på den 13 meter længere Lint 54 version, hvorfor homologering vil skulle laves på ny
- Sandsynligvis ikke tilstrækkelig plads til brændselscellerne og brinttankene pga. størrelsen på Lint 41 og strækningernes krav om maksimalt akseltryk

Diesel/batteri-hybrid alternativ (to fortilfælde):

- Albellio, Alstom, Nahverkehrsservice Sachsen-Anhalt GmbH og Rolls-Royce. Begrænset miljøgevinst pga. vedhold af dieselmotor
- Siemens Desiro ML ÖBB Cityjet Eco. Baseret på nyt togsæt, som også er meget større end Lint 41 således, at der er rigelig tagplads til batterier

## Konklusion

- Det er uvist hvor stor en rækkevidde Lint 41 togene vil kunne opnå ved tilføjelse af batterier, uden at overskride strækningernes maksimalt tilladte akseltryk
- Lokaltogs togmateriel har en alder, som udgør en afgørende faktor for ombygningens tvivlsomme gennemførlighed

# 8. EN VURDERING AF DE SAMLEDE MILJØEFFEKTER

Der er meget store miljømæssige gevinster ved at skifte fra dieseldrift til batteri eller brintdrift. Batteridrift vurderes til at give betragtelig større miljøgevinster end brintdrift.

## Fremgangsmåde

Livscykluscreeningen følger det metodiske grundlag i DS:ISO 14040/14044 og omfatter tre faser: Materialer, herunder udvinding og forarbejdning af råstoffer; Produktion af komponenter; og Drift (well-to-wheel) i en forventet levetid på 35 år. Bortskaffelsesfasen er valgt fra pga. industriens høje krav til genanvendelighed.

## Antagelser

Togenes egenskaber er fastsat ud fra forventninger til markedets modenhed i 2025. Livscykluscreeningen tager udgangspunkt i Energistyrelsens basisfremskrivning fra 2019, hvori 100% vedvarende energi forventes opnået i 2028.

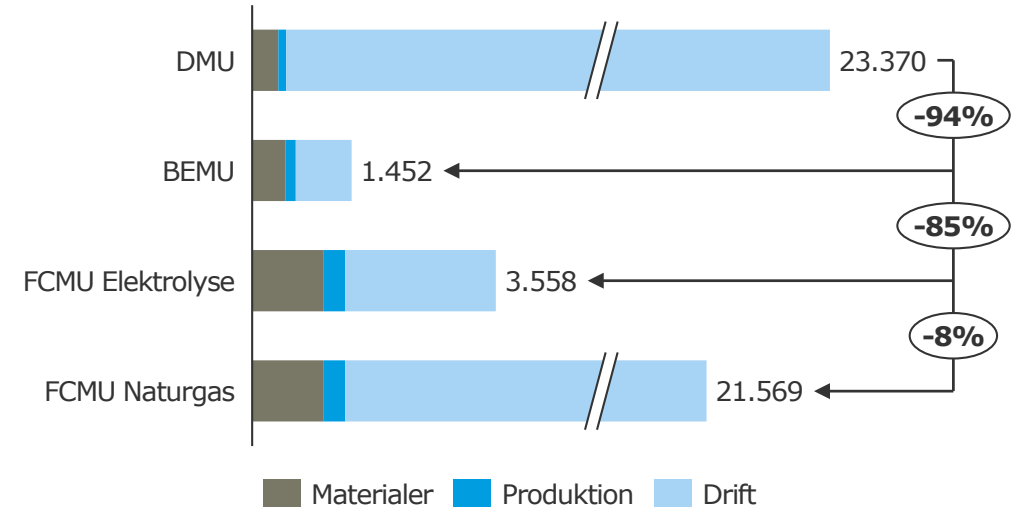
## Batteri (BEMU)

Batterisystemet giver en CO<sub>2</sub>-ækv. reduktion på ca. 94% i forhold til det nuværende dieseltogssystem. Resultatet afhænger af den elektricitet, der anvendes til opladning af batterierne.

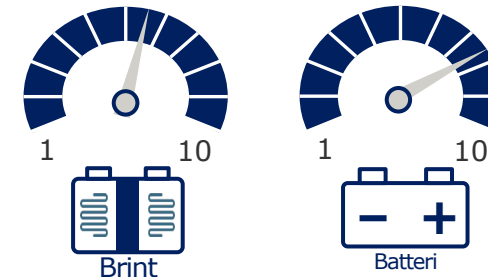
## Brint (FCMU)

Den samlede screening viser, at elektrolyseproduceret brint kan lede til ca. 85% reduktion. Teknologiens anvendelse afhænger af, at der samtidig investeres i infrastruktur til brintproduktion ved elektrolyse. De samlede udledninger ved elektrolyse-brint svarer til 2½ gange udledningerne ved et batteritog.

## Livscykluscreening (tons CO<sub>2</sub>-ækvivalenter)



Inden for miljøpåvirkning gør batteritog det bedst igen og får en score på 8 over for Brint med en score på 6



# 9. FORDELE OG ULEMPER VED AT BENYTTE ALTERNATIVE DRIVMIDLER

Vil man gøre de eksisterende tog "grønnere", kan benyttelsen af det CO2-neutrale brændstof HVO være en mulighed. Det er dog relativt dyrt.

## Hovedsageligt tre øvrige alternative drivmidler

- HVO (hydrogenerede vegetabiliske olier).
- RME (rapsfrø/canola-methyleret ester).
- Electrofuel (flydende el, Power-to-liquid).

HVO er det alternative drivmiddel, som klarer sig bedst i vores sammenligning og kunne bruges som overgangsløsning.

## Teknisk

- Intet behov for ændringer på togene eller ændringer i infrastrukturen for drift med alternative drivmidler.
- Til gengæld findes drivmidlerne i meget begrænsede mængder. Electrofuel er desuden endnu ikke testet på jernbane.

## Miljø

- Ud fra et helhedsperspektiv (well-to-wheel) er der begrænsede drivhusgasemissioner.
- Dog fjernes den lokale skadelige forurening ikke på brugspunktet. Der anvendes desuden madressourcer, i en betydelig grad, til produktion af HVO og RME.

## Økonomisk

- Alternative drivmidler er relativt dyre i sammenligning med diesel. Dette skyldes begrænsede leverancer og komplicerede produktionsrutiner.
- Prisen for electrofuel er den højeste af de tre alternative drivmidler og er især dyr i ramp-up perioden – forventes at være det dobbelte af dieselolie i 2030.
- Fordelen ved disse drivmidler er, at de muliggør at udskyde investering i nye togsæt, til de eksisterende tog har nået deres fulde levetid.

## Operationelt og vedligeholdsmæssigt

- Sandsynligvis behov for mindre vedligehold grundet de alternative brændstoffers lavere brændværdi.
- Til gengæld kan der være behov for hyppigere udskiftning af brændstoffiltre og tætninger ved brug af RME.

Sammenligning	HVO	RME	Electrofuel
Tekniske aspekter	➔	➔	➘
Miljømæssigt	➔	➔	➔
Økonomisk	➘	➘	➘
Operationelt og vedligehold	➔	➔	➔
<b>Sum (uvægtet)</b>	➔	➘	➘

# 10. KONKLUSIONER

01

## Markedets modenhed

Der findes i dag afprøvede batteri- og brinttog på markedet, som kunne være relevante for lokalbanerne. Der er også en tendens til, at udbuddet vil blive større indenfor få år.

02

## Kompatibilitet med Lokaltogs strækninger

De nye tog vil kræve relativt beskedne investeringer, som inkluderer lade-/påfyldningsinfrastruktur samt mindre investeringer i infrastruktur på grund af højere akseltryk. De nye tog vurderes at kunne opretholde eksisterende køreplaner. Nogle banestrækninger er dog udfordrede, fordi opladning af batteritog vil kræve lidt mere tid end der umiddelbart er til rådighed. Det vurderes, at disse udfordringer kan løses f.eks. ved at etablere ekstra opladningskapacitet.

03

## Total cost of ownership

Meromkostningerne ved at anskaffe batteritog er marginale i forhold til at anskaffe nye dieseltog, når man indregner alle direkte omkostninger over hele togets levetid. Meromkostningerne ved brinttog vurderes tilsvarende til at være større end for batteritog, og brinttog er derfor økonomisk mindst attraktiv. Ved omkostningsberegningen er gevinster ved miljø, komfort, rejsetid og driftssikkerhed ikke indregnet.

04

## Forhold for kunder, personale og naboer

Der er betydelige fordele ved nulemissionstog i forhold til kunder, personale og naboer. Disse stammer primært fra mindre støj, mere komfortabel kørsel uden vibrationer og gearskifte mv. og fra at de oplevede udstødningsgener ved diesel vil forsvinde.

05

## Internationale erfaringer

Der er allerede i Europa indgået en række kontrakter på større leverancer af batteri- og brinttog. For både batteritog og brinttog gælder at de første tog er i testdrift. De første erfaringer med ibrugtagning er positive, men der er for øjeblikket meget begrænsede erfaringer fra drift over længere perioder.

06

## Ombygning af Lint tog

Det vurderes, at det næppe kan betale sig at ombygge eksisterende togsæt på lokalbanerne til batteri- eller brintdrift. Det kan teknisk lade sig gøre, men togene, der kunne være relevante (Lint 41), vil på tidspunktet for deres eventuelle ombygning være nået midtvejs i deres levetid. Desuden er forhold omkring ombygning med store risici og usikkerheder, bl.a. økonomi og tidsplan for sikkerhedsgodkendelse.

07

## Miljøeffekter

Der er meget store miljømæssige gevinster ved at skifte fra dieseldrift til batteri- eller brintdrift, især ift. emissioner men også i mindre omfang ift. støj, vibrationer og lokal luftkvalitet. Batteridrift vurderes til at give betragteligt større miljøgevinster end brintdrift, da produktion af brint har et andet energiforbrug end produktion af el..

08



## Alternative drivmidler

Vil man gøre de eksisterende tog grønnere, kan benyttelsen af det CO2-neutrale brændstof HVO være en mulighed. Det er dog relativt dyrt, og vil derfor primært være interessant i en overgangsperiode indtil nulemissionstog er fuldt ud markedsmodne og mere attraktive ift. TCO.

# 10. ANBEFALINGER TIL TEKNOLOGIVALG

Det er muligt at købe nulemissionsmateriel i 2025 til anvendelse på Lokalbanelne. Baseret på analysen anbefaler Rambøll at indkøbe batteritog.

## Endelig scoring

	 Batteri	 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>

## Totalløsning

- Baseret på interviews med togproducenter finder Rambøll, at det bliver mere udbredt at tilrettelægge 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.

## Batteritog

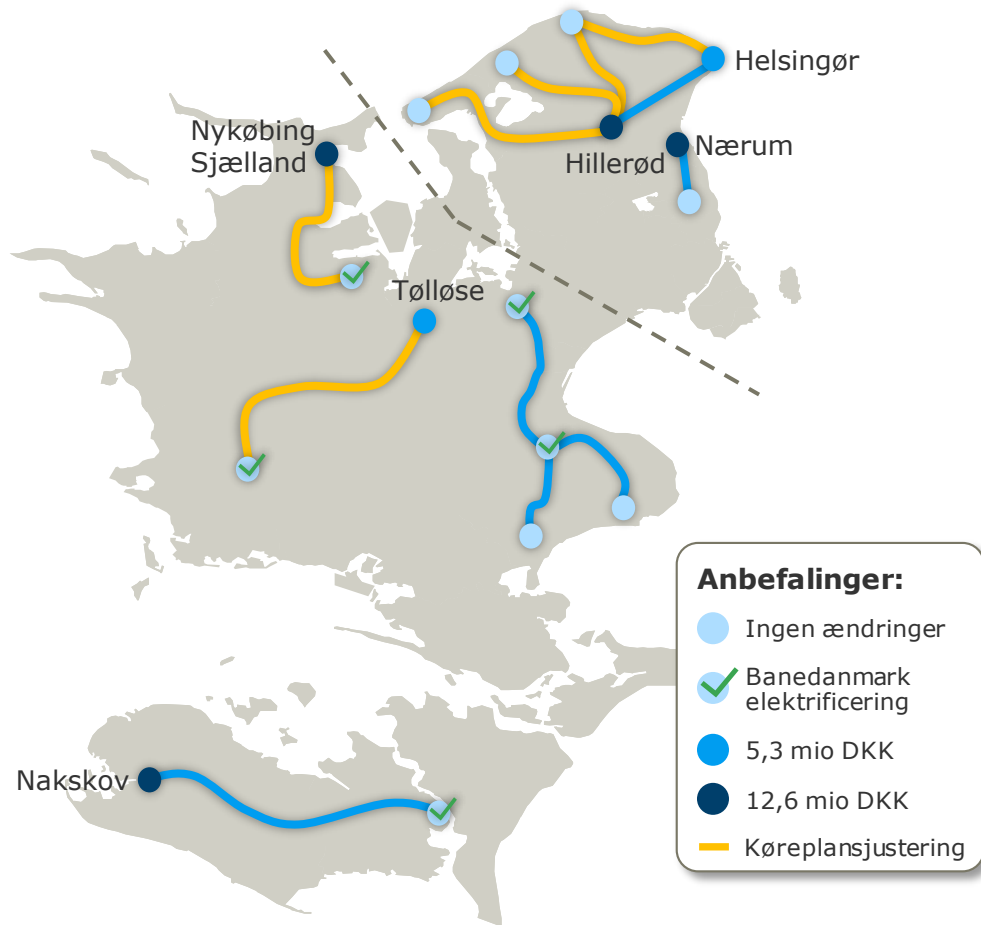
- Batteritog er den billigste løsning vedr. indkøb af nyt nulemissionsmateriel, idet totalomkostningerne er konkurrencedygtige ift. dieseltog takket være lavere omkostninger til drift og vedligeholdelse.
- Desuden har batteritog den laveste påvirkning på miljøet. I alt reduceres CO<sub>2</sub>-udledningerne med 94% ift. dieseltog.
- Batteritog forventes i 2020 at gå i drift på forskellige europæiske strækninger med positive resultater i form af reduktion af vibrationer, støj og lokal forurening.

## Brinttog

- Brinttog er kun en bæredygtig løsning, hvis der anvendes brint, som er produceret ved elektrolyse. Selv ved elektrolyse udleder et brinttog i alt 2½ gange flere CO<sub>2</sub>-ækv. end et batteritog – dog stadig 85% mindre end et dieseltog.
- Økonomisk er brinttog den dyreste løsning og koster 50% mere end batteritog ud fra et totalomkostningsperspektiv.
- Markedet har i 2020 endnu ikke opnået fuld kommerciel modenhed, idet teknologien kun er i brug på forsøgsniveau. Tilsvarende til batteritog, er der en væsentlig reduktion af støj og vibrationer.



# 10. ANBEFALINGER TIL OPLADNINGS-INFRASTRUKTUR



## Region Hovedstaden

- Lokaltog vil til dels kunne drage nytte af Banedanmarks eksisterende fjernbane-elektrificering i Helsingør. Der skal dog stadig laves en mindre investering til Gribskov-Hornbækbanen.
- I Hillerød og Nærums er der behov for investering i fuld infrastruktur.
- Investeringer i broen over Mølleåen og opgradering på Frederiksværkbanen er nødvendige for at kunne køre med de nye tog.

## Region Sjælland

- Lokaltog vil kunne drage nytte af Banedanmarks elektrificeringsplan, som vil etablere infrastruktur til ladning af batteritog i hhv. Nykøbing Falster, Roskilde og Holbæk, foruden den allerede etablerede infrastruktur i Køge og Slagelse.
- 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.

# KONTAKT OS FOR YDERLIGERE INFORMATION



## **Claus Klitholm**

Claus er manager i Strategy and Sustainability Advisory, med mere end 30 års erfaring fra transportsektoren.

M +45 5161 4902

ckli@ramboll.com



## **Roman Graber**

Roman er associate manager i Strategy and Sustainability Advisory med mere end 8 års erfaring fra transportsektoren.

M +45 5161 3245

roman@ramboll.com

## **Rambøll Management Consulting**

Hannemanns Allé 53,  
DK-2300 København S  
Danmark

[www.ramboll.com](http://www.ramboll.com)



Bright ideas. Sustainable change.