



Omstilling af jernbaneinfrastruktur til batteridrift

Elektrificeringsprogrammet

Februar 2021



Elektrificeringsprogrammet –
Omstilling af jernbaneinfrastruktur
til batteridrift
Februar 2021

Banedanmark
Carsten Niebuhrsgade 43
1577 København V
www.banedanmark.dk

1	Indledning og sammenfatning	4
1.1	Formål	4
1.2	Notatstruktur	4
1.3	Sammenfatning.....	4
2	Baggrund	7
2.1	Markedssituation for batteritog	7
2.2	Opladningsinfrastruktur	9
2.3	Klima og energi	16
2.4	Tidshorisont for etablering af ladeinfrastruktur	17
3	Analyse	19
3.1	Prisgrundlag	19
3.2	Overblik over udvalgte strækninger	20
3.3	Køge-Roskilde	20
3.4	Odense-Svendborg	21
3.5	Lindholm-Frederikshavn	22
3.6	Vejle-Struer	23
3.7	Struer-Thisted	24
3.8	Langå-Struer	25
3.9	Esbjerg-Skjern	26
3.10	Skjern-Holstebro	27
3.11	Skanderborg-Herning-Skjern	27
3.12	Bramming-Tønder.....	28
3.13	Samlet investeringsbehov og CO ₂ effekt	30
4	Bilag	32
4.1	Estimat af effektflow for opladning.....	32
4.2	Maksimal effekt på 10kV niveau.....	33
4.3	Estimat af længde for køretråd	33

1 Indledning og sammenfatning

1.1 Formål

Til brug for den videre stillingtagen til batteritog i Danmark på det ikke-elektrificerede statslige banenet, er der behov for at få et indtryk af omfanget af de nødvendige infrastrukturinvesteringer. Banedanmark har på foranledning af Transportministeriets departement udarbejdet dette notat, som belyser den nødvendige infrastruktur, investeringsbehov samt CO₂-effekt ved en batteritogsløsning sammenlignet med en konventionel elektrificering med køreledninger samt videreførelse af den eksisterende drift med dieseltog.

1.2 Notatstruktur

Notatet er inddelt i fire kapitler.

Kapitel 1 består af en indledning og sammenfatning.

Kapitel 2 giver en kort beskrivelse af markedssituation for batteritog i Europa, og hvordan det influerer på mulighederne for batteritogsdrift i Danmark. Der gives en beskrivelse af den nødvendige opladningsinfrastruktur og priser for dette. Desuden opgøres CO₂-effekten ved at gå fra dieseldrift til batteritogsdrift på de statslige banestrækninger. Endelig vurderes tidsaspektet ved indførelse af batteritogsdrift i Danmark.

Kapitel 3 beskriver 10 statslige jernbanestrækninger, hvor batteritog er en potentiel mulighed. Der gives her et konkret løsningsforslag for opladningsinfrastruktur med tilhørende estimat for investeringsbehov og CO₂-effekt.

Kapitel 4 indeholder baggrundsberegninger, som er vedlagt som bilag.

1.3 Sammenfatning

For at kunne implementere batteritogsdrift på de statslige jernbanestrækninger skal der etableres en infrastruktur til opladning af batteritogene. Det vurderes, at denne infrastruktur bedst etableres ved kombination af to typer af ladefaciliteter:

- Etablering af køreledning over en kortere strækning (op til 14 km), hvor toget oplades under kørsel
- Etablering af køreledning på stationer, hvor toget oplades under ophold (min. 7 minutter)

Hurtig ladestandere til opladning under ophold på station er også vurderet, men de er ikke teknisk tilgængelige på nuværende tidspunkt.

Ladefaciliteterne vurderes at kunne forsynes med strøm fra distributionsnettet ved elforsyningsnettets hovedstationer.

Der er identificeret 10 statslige banestrækninger, der ligger uden for det allerede besluttede elektrificerede banenet. For hver enkelt strækning er der udpeget en hensigtsmæssig lokalisering af nødvendig ladeinfrastruktur, hvor investeringsbehovet og CO₂-effekt er estimeret.

Der estimeres et samlet investeringsbehov til ladeinfrastruktur på knap 0,8 mia. kr. baseret på forudsætningen om en praktisk rækkevidde for batteritog uden ledninger på 80 km. Den samlede årlige CO₂-besparelse ved at konvertere fra drift med dieseltog til batteritog eller konventionelle eltog vil være på ca. 29.000 tons, hvis strømmen udelukkende bliver produceret ved vedvarende energi. Indtil da må der forventes en vis CO₂-effekt i forbindelse med elproduktionen. Til sammenligning estimeres investeringsbehovet ved fuld elektrificering af de samme strækninger at være ca. 13-14 mia. kr.

Resultatet for de enkelte strækninger er angivet i nedenstående tabel.

Strækning (prisindex 2021)	Estimerede investeringsbehov for batteritogsinfrastruktur ¹ (mio kr)	Estimerede investeringsbehov for konventionelt kørestrømsanlæg ² (mio kr)	Estimeret CO ₂ driftsbesparelse pr. år ift. dieseldrift (ton)
Køge - Roskilde	Ingen omkostninger ³	400	1.100
Odense-Svendborg	69	870	2.900
Lindholm-Frederikshavn	108	1.000-1.480	3.500
Vejle-Struer	235	1.700-2.300	4.600
Struer-Thisted	50	1.320	1.300
Langå-Struer	136	1.840	5.600
Esbjerg - Skjern	50	1.080	1.700
Skjern-Holstebro	Ingen omkostninger ⁴	1.280	1.500
Skanderborg-Herning-Skjern	50	2.030	4.800
Bramming-Tønder	50	1.220	2.500
Alle strækninger	750	12.740-14.000	30.000

Estimerede priser og CO₂ besparelser for de undersøgte strækninger.

1) Baseret på erfaringspriser tillagt 50 % korrektionstillæg.

2) Beregningen af omkostningen til kørestrømsanlægget tager udgangspunkt i realiserede priser på strækningen Køge-Næstved korrigeret for særlige forhold og tillagt 50 % korrektionstillæg. Der er ikke korrigeret for udbudsresultatet kan have været særligt fordelagtigt. For strækningerne Lindholm-Frederikshavn og Vejle-Struer afspejler den nedre del af intervallet den på daværende tidspunkt forudsatte anlægsomkostning i Togfonden.

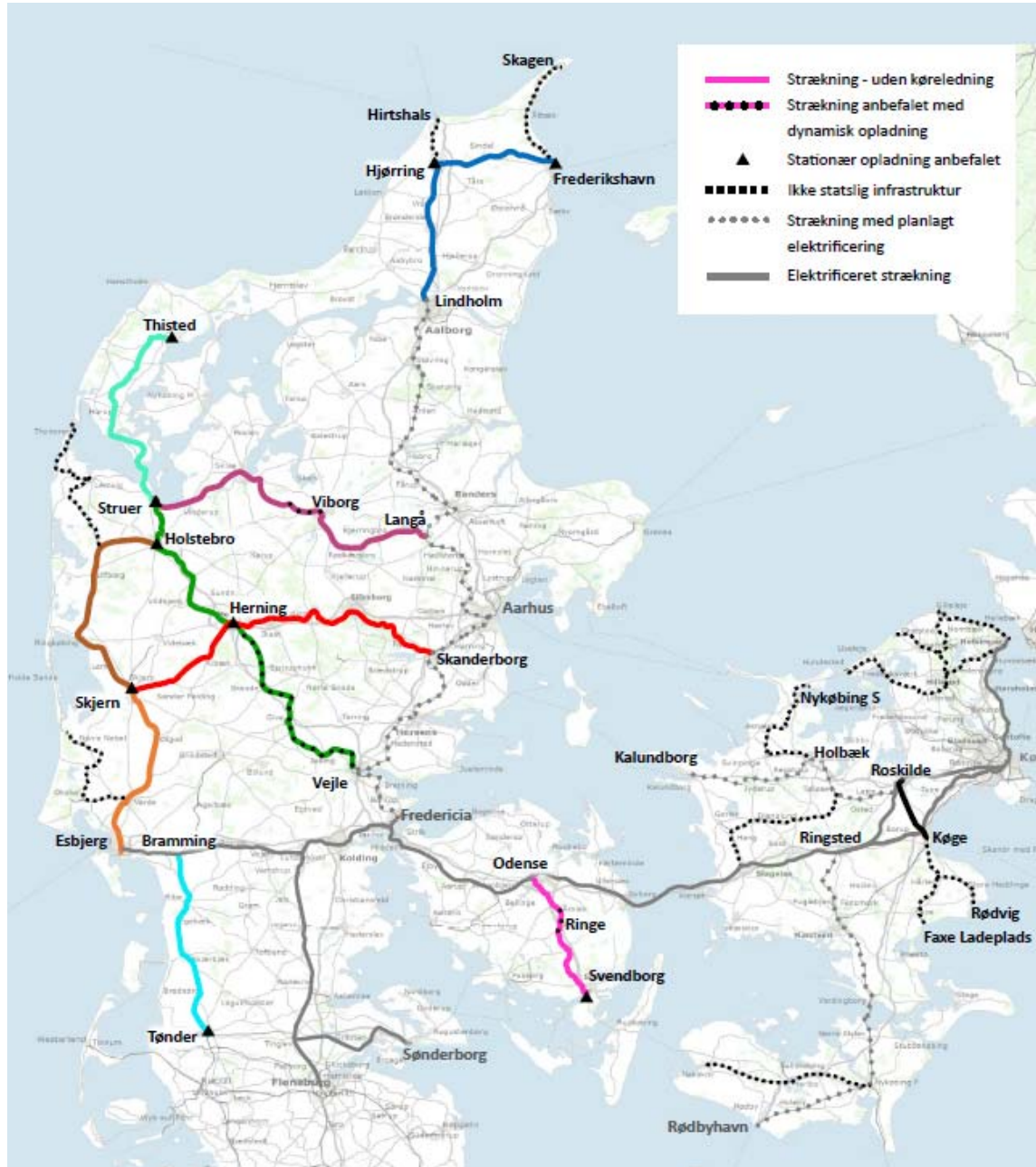
3) Dækkes af el i Roskilde og Køge.

4) Ladestationer er medregnet i tilstødende strækninger.

Den her gennemførte analyse er af indledende karakter, som sigter på at give et skøn for størrelsesordenen for det forventede samlede investeringsbehov. Videre og mere detaljerede analyser forventes at kunne fastlægge de optimale løsninger på hver enkelt strækning med større præcision.

På den baggrund må den relative fordeling af omkostningerne på hver delstrækning tages med et større forbehold end usikkerheden på det samlede udgiftsskøn.

I forbindelse med eventuelle videre analyser vil det være naturligt at inddrage planer for tilstødende privatbaner.



2 Baggrund

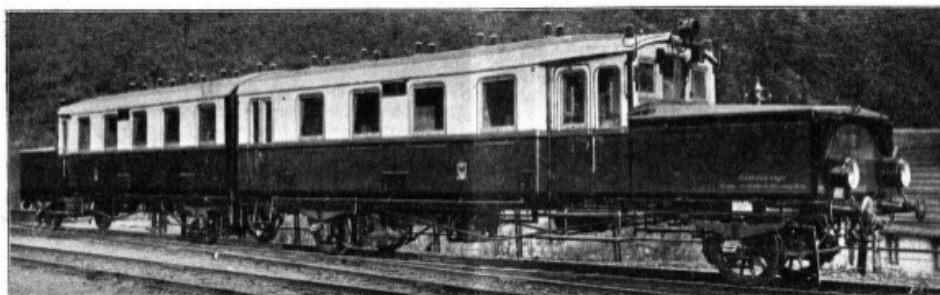
I dette kapitel gives en kort beskrivelse af markedssituationen for batteritog i Europa, og hvordan det influerer på udsigterne for batteritogsdrift i Danmark. Der gives en beskrivelse af de mulige løsninger for opladning af batteritog. Løsningerne er baseret på 2 løsningspakker, som kan kombineres på forskellig vis. Forud for realisering skal løsningspakkerne bearbejdes videre til konkrete skitseløsninger for hver station.

De mulige løsninger prissættes. Desuden beskrives CO₂-effekten ved at gå fra dieseldrift til batteritogsdrift på de statslige banestrækninger. Endelig vurderes tidsaspektet ved indførelse af batteritogsdrift i Danmark.

2.1 Markedssituation for batteritog

2.1.1 Generelt om udviklingen i Europa

Batteritog er ikke noget nyt. Blandt andet har Tyskland kørt med batteritog fra 1907 til 1995. Dette var tog med blybatterier, der blev ladet med jævnstrøm over natten.



Figur 1 – Batteritog med blybatterier

I de senere år ser vi en ny generation af batteritog udstyret med moderne batterier, der kan lades op under køreledning med vekselstrøm, og som kan lynoplades på 7-10 minutter. Udviklingen drives især af behovet i Tyskland, hvor man ønsker at køre med batteritog på en stor del af nettet. Sammenslutningen af tyske trafikelskaber – VDV – har stillet krav til togleverandører om emissionsfri tog. Senest fra 2024 vil der i Tyskland alene blive bestilt denne type tog.

Som følge af krav om emissionsfri tog er der allerede nu en meget begrænset interesse fra producenternes side i at levere dieseltog i lokalbane størrelse. Det vil sige 2-vognstog eller 3-vognstog med plads til omkring 120 eller 160 passagerer. 2-vogns togene kendes fra mange danske lokal- og sidebaner som Desiro og LINT/41.

Der er flere andre lande, såsom Østrig, Norge og Ungarn, som ligeledes arbejder med implementering af batteritog.

Togleverandørernes simuleringer af persontog med batteridrift bekræfter, at batteritog (med dagens batteriteknologi) kombineret med delvis elektrificering er en realistisk løsning for de fleste driftsoplæg.

2.1.2 Mulighederne på markedet

På den internationale jernbanemesse Innotrans i 2018 var der adskillige leverandører, der præsenterede batteritog, som et færdigt kommercielt produkt. Sikkerhedsmyndighederne i Tyskland stillede dog en række supplerende krav, som udsatte lanceringen af kommercielle batteritog. Det forventes at leverandørerne serieproducerer batteritog fra 2021.

På grund af den udsatte kommercielle lancering, er der i dag et stort opsparet behov for mindre batteritog. Allerede i 2018 var der en del lokal- og regionalbaner i Tyskland, som var klar til at investere i batteritog. De står nu med et opsparet behov. Der er derfor mange udbud i gang i forskellige faser. En stor del af udbuddene indeholder et betragteligt antal tog fordelt med et relativt lille antal i første leverance, suppleret af en rammeaftale eller optioner på yderligere tog.

Stadler er den eneste leverandør, som i dag har en egentlig produktion af batteritog. De øvrige leverandører, forventes først at komme i gang hen imod slutningen af 2021.

Leverandørerne oplyser, at der er en leveringstid på 2½ til 4 år fra kontraktindgåelse. Viser de igangværende testkørsler med batteritog sig at opfylde de positive forventninger, er det Banedanmarks vurdering at en leveringstid på 5 år eller mere vil være et mere sandsynligt scenarie. Dette er baseret på den stigende interesse.

2.1.3 Betydning for udviklingen i Danmark

Det tyske (og østrigske) marked er enormt i sammenligning med det danske. Det betyder at leverandørernes salgs- og udviklingsafdelinger vil have fokus rettet mod at opfylde behovet på disse markeder.

I Tyskland er der to hovedscenarier for drift med batteritog:

- 1) Ikke-elektrificeret sidebane, der slutter til elektrificeret hovedbane i rimelig nærhed af en stor by.

I dette scenarie oplades batterierne under kørsel på den elektrificeret hovedbane ved kørsel til og fra en større by. Når toget grener af til sidebanen, vil batterierne være fuldt opladt, og toget vil kunne køre frem og tilbage på sidesporet på batteridrift.

- 2) Ikke-elektrificeret net, hvor væsentlige løb køres uden at komme under køreledning.

I dette scenarie er der ikke en elektrificeret hovedbane, hvor toget kan oplade batterierne. I disse tilfælde må opladningen enten ske under længere ophold på stationer, hvor der lokalt etableres opladningsmulighed med ladere eller under kørsel, hvor der over kortere strækning etableres kørestrømsledning, som sikrer mulighed for opladning i 7-10 minutter under kørsel.

Med de to scenarier som muligheder, synes det som at alle relevante strækninger i Danmark kan passe ind i et af de to scenarier, eller i en kombination.

2.2 Opladningsinfrastruktur

Ved batteritogsdrift skal togets batterier med jævne mellemrum kunne oplades for at sikre robusthed i de driftsmæssige forhold, da batterierne har en begrænset rækkevidde. Et batteritog med fuld opladning forventes i dag at have en praktisk rækkevidde på 80 km. Den faktiske rækkevidde af batterierne er længere, men af hensyn til batteriets levetid accepteres batterierne kun afladet til et vist niveau. Det bør desuden sikres at toget altid vil kunne nå videre til en anden station, hvis strømforsyningen på en given lokalitet har svigtet.

Opladning af batterierne kan både ske under kørsel (dynamisk opladning) og under ophold (statisk opladning). Opladningen kan i teorien ske gennem en strømaftager fra køreledning, som vi kender det fra traditionelle eltog, eller opladning via ladestander, som vi kender det fra biler. Sidstnævnte beskrives nedenfor. Det optimale valg af ladeprincip er vist i Tabel 1.

	Hurtig opladning	Langsom opladning
Statisk	Strømaftager fra et lille stykke køreledning, mens toget holder stille	Ladestander via kabel og stik
Dynamisk	Strømaftager fra køreledning mens toget kører	Ikke relevant

Tabel 1 – Ladeprincipper for batteritog

I kommissoriet for denne undersøgelse skal der tages udgangspunkt i den aktuelle forventning om praktisk rækkevidde for batteritog med fuld opladning på 80 km.

Der er herudover taget udgangspunkt i følgende forudsætninger:

- Batteritog har et energiforbrug på 4kWh/km.
- Batterierne kan oplades til fuld kapacitet på 7 minutter.
- Hastigheden forudsættes til maksimalt 120km/t med en acceleration på 1m/s².

Forudsætningen om hastigheder anvendes til beregning af den nødvendige udstrækning af køreledninger for at sikre tilstrækkelig opladning ved dynamisk opladning. Højere hastighed er ikke noget teknisk problem, men kræver en længere strækning med køreledninger.

2.2.1 Statisk opladning gennem ladestander

Muligheden for opladningen med ladestander er undersøgt hos en række batteritogsleverandører. Konklusionen er, at opladning af batteritog via stik og ladestander ikke er realistisk på nuværende tidspunkt.

Skal opladning ske som hurtig opladning under kort ophold (7-10 min), vil det kræve en ladestander med meget stor ladekapacitet. Tilslutning af kabler og stik vil skulle automatiseres, da kablerne på grund af vægt ikke vil kunne håndteres manuelt. Der er på nuværende tidspunkt ikke relevante ladestander beregnet til at levere den ønskede høje

effekt. Ladestandere vurderes derfor ikke at være en mulighed i forbindelse med konkrete løsningsforslag for hurtigopladning.

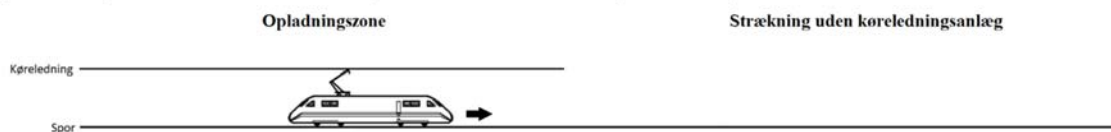
Det kan oplyses, at de eksisterende batteritog er forsynet med et mindre stik beregnet til at sikre forsyning til lys og varme, når toget parkeres hen over natten. Stikket tilsluttes via et kabel en stander med 400 V / 32 A CEE-forsyning. Denne type stander findes allerede i stort antal på alle mellemstore stationer, da de anvendes til dieseltog. Disse stik er dog kun beregnet for forsyning til lys og varme under parkering og er ikke egnet til opladning af togets batteri uden ombygning. Denne løsning vurderes derfor ikke at være en anvendelig mulighed i forbindelse med konkret løsningsforslag til ladeinfrastruktur

2.2.2 Statisk og dynamisk opladning gennem strømaftager

Opladning gennem strømaftager kan anvendes ved både statisk og dynamisk opladning.

Ved statisk opladning igennem strømaftageren, oplader toget sine batterier under ophold på station. Der skal opsættes en mindre strækning af køreledningsanlæg ved perron eller depotspor, hvor toget gør ophold. En almindelig strømaftager er designet til anvendelse, mens toget er i drift. Strømaftageren skal derfor udvikles, så den understøtter en statisk anvendelse. Alle store batteritogsproducenter mener imidlertid at have en løsning klar.

Ved dynamisk opladning igennem strømaftageren, oplader toget sine batterier, imens det kører under et almindeligt køreledningsanlæg, som samtidigt, og på helt traditionel vis, leverer energi til toget. Herved kan mængden af kørestrømsanlæg begrænses til ikke at dække hele strækningen, men i stedet blive placeret på strategiske lokationer, så opladningen bliver tilstrækkelig til at hele strækningen, kan gennemkøres.



Figur 2 – Opladningszone og strækning uden kørestrømsanlæg

Endvidere kan eksisterende kørestrømsanlæg anvendes i kombination med yderstrækninger, der ikke er elektrificeret. Eksempelvis kan batteritoget oplade på strækningen Aarhus-Skanderborg og anvende den opladte energi på strækningen Skanderborg-Herning.

Det eksisterende kørestrømsanlæg er ikke dimensioneret for opladning af batteritog. Der kan derfor være behov for forstærkning af strømforsyningen til kørestrømsanlægget i form af ekstra transformere med tilhørende tilslutningspunkt.

2.2.3 Køreledningsanlæg

Kvantifisering af køreledningsanlæg

Længden af køreledning er essentiel for at sikre tilstrækkelig opladning ved dynamisk opladning. Jo længere køreledningsanlæg, jo længere tid kan batteritoget oplade.

Banedanmark har i Bilag 4.3 estimeret længden af nødvendig køretråd på hhv. åbenstrækning og ved endestationer for at sikre en fuld opladning.

Type	Køreledningslængde [km]
Køretrådslængde på åben strækning	14
Køretrådslængde ved endestop	0,5

Tabel 2 – Mængde af nødvendig køreledning for at opnå en fuld opladning

Mængden på 14 km køreledning ved fri strækning er baseret på en gennemsnitsfart på 120 km/t med en opladningstid på 7 minutter. Det er forudsat, at de 14 km køreledning kan etableres på strækning uden krydsende broer.

Hvis køreledning afbrydes på grund af krydsende bro, hvor der ikke er frihøjde nok til at etablere køreledning under broen, skal toget ved passage af broen sænke strømaffageren. Køreledningen skal i så fald forlænges med op til 2 km, så der er plads til nedbremsning af toget, hvis strømaffageren ikke sænkes som ønsket. Alternativt skal broen hæves, så køreledning kan etableres under broen. Disse ekstra tiltag er ikke forudsat og prissat i dette notat.

Mængden på 0,5 km ved en station, er baseret på at det tager 7 minutter at vende toget, og der derfor kun behøves køreledningsanlæg lige over perronen. Der er regnet med ledninger over 2 spor a 250 meter.

Placering af køreledninger skal så vidt muligt placeres på strækninger, hvor der ikke er overførte broer, idet broer i de fleste tilfælde ikke har frihøjde nok til at eftermontere køreledningsanlæg.

Prissætning

Prissætningen af køreledningsanlæg tager udgangspunkt i realiserede priser korrigeret for særlige forhold og tillagt 50% korrektionstillæg. Prissætningen inkluderer styringsomkostning. Der er ikke korrigeret for udbudsresultatet kan have været særligt fordelagtigt.

Fri strækning – 14km

På fri strækning, estimeres en anlægspris på 7,5 mio. kr. pr. km enkelt spor. For en strækning på 14 km giver det en samlet estimeret anlægspris på 105 mio. kr.

Station – 0,5km

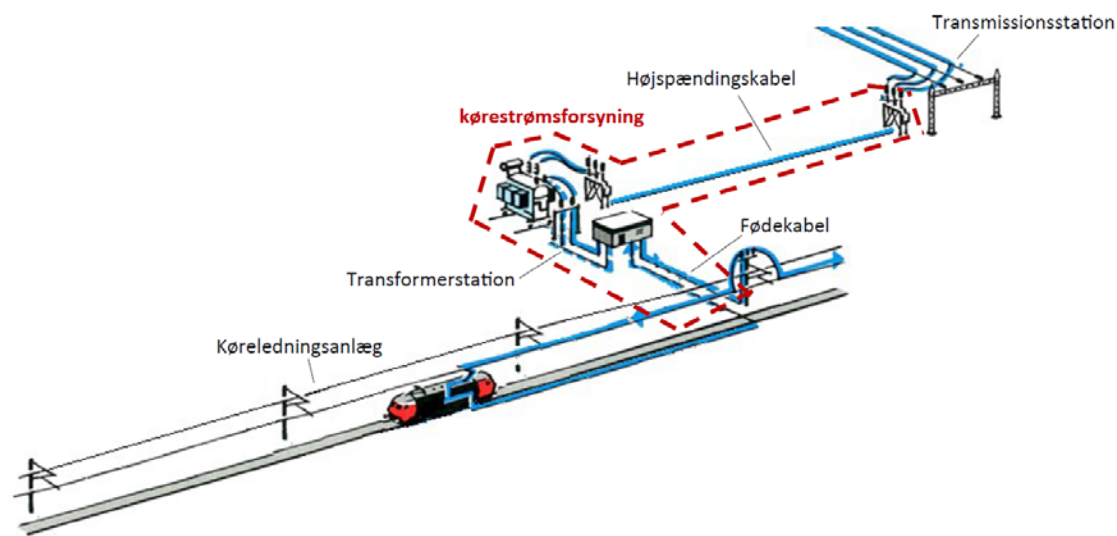
På stationen estimeres en samlet anlægspris på 19 mio. Kilometerprisen her er langt højere end på fristrækning, hvilket bl.a. skyldes at mængden af elektriske koblere, master og BPU er større pr. km.

Type	Etableringsomkostning
14 km køreledningsanlæg på åben strækning	105 mio. kr
Køreledningsanlæg på station (500 m)	19 mio. kr

2.2.4 Kørestrømsforsyning

Mellem elforsyningsnettet og køreledningsanlægget skal der etableres kørestrømsforsyning.

Da køreledningssystemet ikke har samme spændingsniveau som elforsyningsnettet er der behov for en transformerstation, der kan transformere spændingen. Derved forsynes toget med en spænding på 25kV, hvilket det er designet til. Transformerstation med tilhørende kabling udgør kørestrømsforsyningen, som angivet på Figur 3.



Figur 3 – Kørestrømsforsyning

Transformerstationen kan bestå af transformere med tilhørende tilslutningspunkt afhængig af det samlede behov for effekt. Af hensyn til forsynings sikkerheden og mulighed for servicering af anlægget etableres der en ekstra transformer med tilhørende tilslutningspunkt, således at der altid er transformer med tilhørende tilslutningspunkt i reserve.

Elforsyningsnettet består af et transmissionsnet ejet af Energinet og et distributionsnet ejet af de lokale elnetselskaber. Transmissionsnettet har spændingsniveauer på 132 kV, 150 kV og 400 kV, mens distributionsnettet har spændingsniveauer fra 0,4 kV til 60 kV.

Det er ikke uvæsentlig hvilket spændingsniveau kørestrømssystemet tilsluttes. Høje spændingsniveauer kan klare store belastninger, samtidig er de også meget omkostningstunge, imens tilslutning på lave spændingsniveauer er væsentlig billigere, samtidig er den tilladte elektriske belastning ligeledes mindre.

2.2.4.1 Nettilslutning på transmissionsnettet

Køreledningsanlæg til fjernbanen forsynes traditionelt via en transformerstation som vist i Figur 4.



Figur 4 – Kildebrønde transformerstation [2 x 60 MVA]. Ny bane København-Ringsted

Disse transformerstationer tilsluttes transmissionsnettet på 132/150 kV niveau.

Transformerstationen skal ideelt placeres et sted, hvor den både ligger nær banen og nær en af transmissionsnettets transmissionsstationer. Dette kan være en udfordring, da mængden af transmissionsstationer er begrænset, som angivet (med sorte prikker) i Figur 5.



Figur 5 – Transmissionsstationer i Danmark

Prisestimat for forsyningsstation til fjernbane

Der skal udføres to afgangsfelter ved nærmeste transmissionsstation. Det er her transformerstationen tilsluttes, og det kan populært sagt sammenlignes med to store stikkontakter. Prisen på disse felter anslås samlet til ca. 20 mio. kr. baseret på erfaringspriser fra Banedanmarks øvrige forsyningsstationer. Det maksimalt tilladte effekttræk fra en sådan tilslutning kan være over 100 MVA.

Hertil kommer omkostninger til selve transformerstationen. Baseret på erfaringer fra det igangværende Elektrificeringsprogram og Moderniseringsprojekt koster en sådan station i omegnen af 113 mio. kr. Hertil skal lægges styrsomkostninger samt risikotillæg.

2.2.4.2 Nettilslutning til distributionsnettet

Køreledningsanlæg til S-bane, letbane og metro forsynes traditionelt via omformerstationer som vist i Figur 6.



Figur 6 – Trustrup omformerstation, Århus Letbane

I modsætning til fjernbanens transformerstationer, kan disse omformerstationer tilsluttes distributionsnettet, da effektbehovet er mindre. Omformerstationer tilsluttes på 10kV niveau, men kan kun tilsluttes ved hovedstationer, hvor der også er højere spændingsniveauer til rådighed.

Disse hovedstationer er mere finmaskede end transmissionsnettet, og derfor er det lettere at finde et passende sted til omformerstationer, som både ligger nær banen og nær en af forsyningsnettets distributionsstationer. Den højst tilladte elektriske belastning for sådanne tilslutninger ligger på maksimalt 10 MVA, pr. tilslutning (se bilag 4.2)

Den nødvendige opladningseffekt for to batteritog estimeres til 6 MVA, som anslået i bilag 4.1.

Den elektriske effekt, der kan trækkes på 10kV niveau, anslås derfor at være tilstrækkelig til at oplade to batteritog ad gangen. Hvis der er behov for at oplade flere batteritog, skal der etableres flere tilslutninger.

Prisestimat for forsyningsstation til fjernbane

Der skal udføres et afgangsfelt ved nærmeste distributionsstation. Det er her ladestationen tilsluttes. Prisen vil være ca. 3,5 mio. kr. for et tilslutningssted.¹

Hertil kommer omkostningerne til selve ladestationen, tilslutningskabler etc. I modsætning til omkostningsniveauet for tilslutning af de store effekter på 150 kV niveau, har Banedanmark ikke aktuel markedspriserfaring at basere et skøn på.

Med udgangspunkt i nedenstående, estimeres en ladestation at beløbe sig til 12 mio. kr.

¹ Radius 2020 priser 6

- Ladespænding skal leveres som 25 kV / 50 Hz, dvs. som på et standard køreledningsanlæg
- Belastningen skal være 3-faset symmetrisk på 10 kV niveau
- Nedskalering af priser på hovedkomponenter kendt fra transmissionstilslutningerne.

Prissætningen inkluderer styringsomkostninger og et korrektionstillæg på 50%.

2.2.5 Løsningsforslag

Tilslutning til distributionsnettet har en række fordele. Der er langt flere muligheder for tilslutningspunkter, hvilket giver en mere fleksibel placering af kørestrømsforsyningen. Tilslutning til distributionsnettet er samtidig noget billigere end tilslutning til transmissionsnettet

På baggrund af det estimerede effektbehov, anbefaler Banedanmark at ladeinfrastrukturen tilsluttes til 10 kV distributionsnettet ved hovedstationer.

Banedanmark er på baggrund af ovenstående kommet frem til to løsningsforslag til forsyning ladestationer:

1. *Forsyning der understøtter opladning af op til to batteritog på samme tid*
Her oprettes der en omformerstation med to komplette 10 MVA tilslutningspunkter.
Pris i alt 31 mio. kr.
2. *Forsyning der understøtter opladning af op til fire batteritog på samme tid*
Her oprettes der en omformerstation med tre komplette 10 MVA tilslutningspunkter.
Pris i alt 47 mio. kr.

2.2.6 Øvrige forhold

Immunisering

Immunisering af nærførte signalanlæg er en forudsætning for at strækningen kan elektrificeres med køreledning. Det betyder i praksis, at signalanlæg, som ligger i områder, hvor der sættes køreledningsanlæg op skal immuniseres. Dette for at undgå, at de påvirkes af elektromagnetisk støj fra køreledningsanlægget.

Banedanmark udruller i øjeblikket et nyt digitalt signalsystem ERTMS på alle strækninger, som understøtter denne immunitet. Det nye signalsystem forventes at være udrullet på alle de berørte strækninger i 2026². Prissætning af immunisering er derfor ikke medtaget i dette notat.

Værksteder for tog

Forhold omkring værksteder, samt ombygning af værksteder og samdrift mellem strækninger knyttet til et værksted ligger uden for denne analyse. Det samme gælder alle forhold vedrørende drift og vedligeholdelse af togene.

² <https://www.bane.dk/da/Borger/Publikationer/Anlaegsplan>

2.3 Klima og energi

2.3.1 Baggrund

Den samlede CO₂-udledning fra dieselforbruget i hele togtrafikken i Danmark inkl. privatbaner og godstog er opgjort til 247.000 tons i 2019³. I Energistyrelsens basisfremskrivning forventes udledningen efter planlagt elektrificering af størstedelen af det statslige jernbanenet at falde til 70.000 tons CO₂ i 2030. Det udgør altså potentialet ved yderligere at indføre elektrisk togdrift på hele det danske banenet.

Den nuværende CO₂-udledning fra dieseltog til persontrafikken på den statslige jernbane udgør cirka 208.000 tons CO₂ årligt⁴. Det inkluderer al persontrafik hos DSB og Arriva.

I 2030 vil den tilbageværende persontogtrafik på statens infrastruktur med diesel primært være regionaltrafikken i Midt- og Vestjylland og Svendborgbanen, og CO₂-udledningen herfra udgør i dag 8 pct.⁵ af sektorens samlede udledning – i størrelsesorden 19.000 tons CO₂ årligt.

Gennemføres der hastighedsopgradering på regionalbanerne vil den større hastighed med eksisterende materiel medføre øget dieselforbrug, og en forventet årlig merudledning på cirka et tusind tons CO₂.

2.3.2 Klimafordele i driften ved batteritog

Batteritog vil give en klar klimagevinst sammenlignet med dieseldrift. Fremstilling af elektricitet bliver grønnere de kommende år baseret på høj grad af vedvarende energi, og det at energiudnyttelsen ved dieseldrift er ringe.

Batteritog vejer mere end et konventionelt elektrisk tog. Det vil medføre øget energiforbruget, men omvendt opsamler batteritog bremseenergien uden større tab. Batteritog medfører dermed en vis mulighed for udjævning af energiforbruget. Vurderingen er at batteritog vil være 2-3 gange mere energieffektive end dieseltog.

Baseret på kendskab til elektricitetsforbruget fra konventionelle elektriske tog, samt tidligere analyser og producentoplysninger, sættes energiforbruget til 4 kWh per tog kilometer (120 pladser batteritog). Med den forventede brændselssammensætning i elforsyningen i 2030, bliver den indirekte CO₂ udledning fra batteritog cirka 70 gram CO₂ per tog kilometer. For et standard dieseltog (Lint 41) er brændstofforbruget sat til 0,774⁶ liter per tog kilometer, hvilke giver en udledning på 2.070⁷ gram CO₂. Ved at erstatte dieseltog med batteritog opnås altså en klimagevinst på 2 kilo CO₂ for hver tilbagelagt togkilometer.

2.3.3 Klimabelastning knyttet til infrastrukturen

Klimabelastningen ved fremstilling af togmateriel indgår ikke i denne analyse. For batteritog vil produktionen af batterierne være forbundet med en vis miljøbelastning, og må forventeligt skulle udskiftes gennem togenes levetid.

³ Energistyrelsens basisfremskrivning 2019

⁴ Baseret på togoperatørernes egne opgørelser

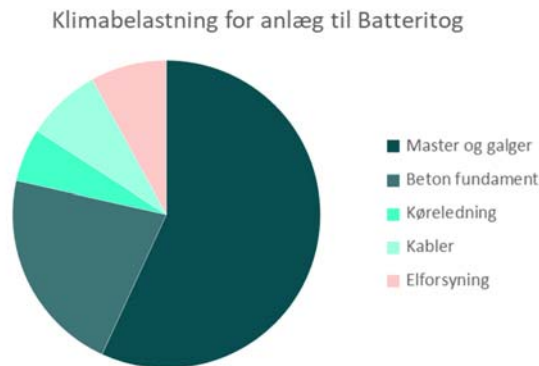
⁵ Serviceeftersyn af jernbanen

⁶ Anvendt i analysen af batteritogsdrift i Nord-vestsjælland, og i overensstemmelse med operatøroplysninger

⁷ Der modregnes ikke for eventuel iblanding af biodiesel i 2030

Ved anlæg af ny infrastruktur til at understøtte batteritog skal der bruges materialer som stålmaster, køreledninger og beton, og der skal lægges kabler. Der vil derfor med de produktions- og anlægsmetoder, der er tilgængelige i dag ske en udledning af CO₂. Baseret på en tidligere vurdering af belastningen fra elektrificering af jernbanen, og antagelse om tættere afstand mellem køreledningsmasterne, er sat et generelt skøn på 90 kilo CO₂ for de spormeter, hvor der opsættes køreledninger til opladning og elforsyning af batteritogene. I Figur 7 er vist hvor klimabelastningen ved anlæg af den nødvendige infrastruktur, som udgangspunkt forventes at stamme fra, men de konkrete løsningsmuligheder vil kunne variere og påvirke det generelle skøn.

Klimabelastningen fra infrastrukturen stammer især fra køreledningsmasterne og betonfundamentet. Set over infrastrukturens levetid vil klimabelastningen fra anlæg kun udgøre en lille del i forhold til de årlige driftsmæssige klimagevinsterne ved at gå fra diesel til elektricitet.



Figur 7 - Fordeling af CO₂ udledningen fra anlæg af infrastruktur til batteritog

2.4 Tidshorisont for etablering af ladeinfrastruktur

Etablering af ladeinfrastruktur kræver en række processer til at infrastrukturen står klar. Nedenfor er estimeret den nødvendige tidshorisont for etablering af ladeinfrastruktur for en enkelt strækning.

Der er i det hidtidige arbejde tale om indledende analyser, hvor mange forudsætninger er usikre og en række forhold skal belyses og løsningsrummet indsnævres. Det vil derfor være for tidligt at gå i dybden med få scenarier for infrastrukturen, idet der vil være overhængende fare for at projektet bliver overhalet teknologisk inden ibrugtagning.

Banedanmark vurderer derfor, at der er behov for at først at gennemføre en strategisk analyse på NAB fase 1-niveau, der skal belyse især de teknologiske aspekter og de heraf følgende muligheder for trafikering samt behov for ladeinfrastruktur. Herefter vil der kunne gennemføres en evt. VVM-analyse og projektdetaljering af ét eller flere scenarier på NAB fase 2-niveau.

Samtidig vil en strategisk analyse eksempelvis kunne inddrage mulige synergieffekter med privatbanerne og evt. busser mht. energiforsyning, transformerstationer mv.

Det skal gennem analysen desuden afklares på hvilke strækninger og med hvilken trafikering der forventes drift med batteritog. Især de trafikale aspekter er vigtige ift. vurdering af den nødvendige ladeinfrastruktur og placeringen heraf, ligesom der skal kortlægges hvordan infrastrukturen undgår at skabe yderligere bindinger i den fremtidige trafikale planlægning. Ligeledes skal den forventede materielsituation og de teknologiske udviklinger belyses yderligere. Ikke mindst har materiellets ladetider og batterikapacitet ligeledes stor indflydelse på både køreplans- og kapacitetsmæssige forhold samt omfang og placering af ladeinfrastruktur.

Det vurderes at en strategisk analyse af ovenstående kan gennemføres på 1 til 1½ år.

Efter en strategisk analyse kan der gennemføres en VMM-analyse. Hvis projektet vurderes at være VMM-pligtig, skal der udarbejdes en VMM-redegørelse. Varigheden er ½ - 1 ½ år.

Sideløbende med VMM-screening/VMM-redegørelse gennemfører Banedanmark projektgrundlag og kontrahering med rådgiver. Varighed er ca. 1 år.

Efter VMM-screening/VMM-redegørelse skal der ske arealerhvervelse. Varighed 1 år.

Sideløbende med arealerhvervelsen skal der enten udarbejdes et detailprojekt til udbud i hovedentreprise eller et udbudsprojekt til udbud i totalentreprise. Ved detailprojekt er varigheden 1 - 1½ år, mens det ved totalentreprise er ca. ½ år.

Herefter skal der ske udbud og kontrahering. Varighed ca. ¼ år.

Udførelsen af projektet vil ligeledes være afhængig af, om projektet er udbudt i hoved- eller totalentreprise. Ved hovedentreprise er der en mobiliseringsperiode på ½-1 år, hvor entreprenøren bestiller og få leveret materialer. Herefter er der en udførelsesperiode på 1-2 år afhængig af strækningens længde. Ved totalentreprise er der en design og mobiliseringsperiode på 1-1½ år samt udførelsesperiode på 1-2 år afhængig af strækningens længde.

I alt er tidshorizonten 6 - 8 år for etablering af ladeinfrastruktur for en enkelt strækning. Dette passer godt sammen med en sandsynlig tidshorizont på 5 år fra bestilling til levering af batteritog.

Hvis flere strækninger besluttet på en gang, vil kapacitetsproblemer kunne forlænge den samlede tidshorizont.

Hvis der kun er tale om etablering af en statisk opladning, som etableres inden for bestående stationsarealer forventes tidshorizonten at kunne blive kortere. Det er i alle tilfælde en forudsætning, at det nye signalsystem er rullet ud på den pågældende strækning for at undgå behov for immunisering af det hidtidige signalsystem.

3 Analyse

Der er identificeret 10 statslige jernbanestrækninger, der ligger uden for det allerede besluttede elektrificerede banenet. I dette kapitel gives en kort beskrivelse af de enkelte strækninger og der præsenteres et konkret løsningsforslag for etablering af ladeinfrastruktur med tilhørende estimat for investeringsbehov og CO₂-effekt.

I forbindelse med valg af løsningsforslag for ladeinfrastrukturen er følgende overvejet:

- Strækninger, der kan betragtes rimeligt isoleret, er der mulighed for at vælge frit mellem de forskellige tekniske løsninger.
- På nogle strækninger er der afhængighed mellem løsninger på de enkelte delstrækninger. Dette gælder specielt for strækningerne i Vestjylland. Derfor bør der, ved en eventuel beslutning om kun delvis konvertering, ses på området som helhed og foretage eventuelle justeringer herefter.
- På strækningen Skjern – Holstebro har Midtjyske Jernbaner selvstændige planer om drift med batteritog. Forudsætninger om ladeinfrastrukturen foreligger ikke oplyst.

For alle strækninger er der en eksisterende køreplan og et mønster for den daglige drift. Dette er brugt som beregningsgrundlag for valg af investeringer. Derudover har det været en prioritet, at de foreslåede investeringer ikke vil være en begrænsning for fremtidige køreplaner og driftsmønstre (se dog afsnit 3.8).

3.1 Prisgrundlag

Etableringsomkostningerne på de enkelte strækninger er estimeret i Kapitel 2 og opsummeret i Tabel 4.

Kategori	Type	Pris
Kørestømsforsyning	Opladning af to tog	31 mio. kr
	Opladning af fire tog	47 mio. kr
Køreledningsanlæg	0,5 km ved station	19 mio. kr
	14 km på fri strækning	105 mio. kr

Tabel 4 – Prisgrundlag for løsningsforslag

3.2 Overblik over udvalgte strækninger

Notatet har betragtet alle relevante statslige banestrækninger som angivet i Tabel 5.

Strækning	Delstrækning	Længde [km]	Operatør	Antal togsæt på strækningen pr. år
Køge - Roskilde	-	22,4	Lokaltog	23.870
Odense-Svendborg	Odense-Ringe	22,4	Arriva	37.320
	Ringe-Svendborg	25,8	Arriva	23.410
Lindholm-Frederikshavn	Lindholm-Hjørring	45,6	Nordjyske Jernbaner	22.869
	Hjørring-Frederikshavn	36,7	Nordjyske Jernbaner	19.048
Vejle-Struer	Vejle-Herning	73,0	Arriva+DSB	15.100
	Herning-Holstebro	41,2	Arriva+DSB	20.870
	Holstebro-Struer	15,5	Arriva+DSB	23.044
Struer -Thisted	Struer-Thisted	73,6	Arriva	8.674
Langå-Struer	Langå-Viborg	40,2	Arriva	21.233
	Viborg-Skive	30,3	Arriva	15.963
	Skive-Struer	31,9	Arriva	15.025
Esbjerg-Skjern	Esbjerg-Varde	17,5	Arriva	20.618
	Varde-Skjern	42,4	Arriva	11.226
Skjern-Holstebro	Skjern-Vemb	52,6	Midtjyske Jernbaner	10.800
	Vemb-Holstebro	18,4	Midtjyske Jernbaner	10.300
Skanderborg-Herning-Skjern	Skanderborg-Herning	71,9	Arriva	21.170
	Herning-Skjern	40,7	Arriva	10.674
Bramming-Tønder	Bramming-Ribe	16,7	Arriva	20.848
	Ribe-Tønder	47,3	Arriva	10.674
	Tønder-Niebull	3,9	NEG	7.214

Tabel 5 – Data for relevante strækninger. Alle strækninger er enkeltsporede.

3.3 Køge-Roskilde

3.3.1 Strækingsbeskrivelse

Strækningen vil blive betjent af Lokaltog.

Både Roskilde Station og Køge Station er elektrificerede.

Strækningen er 22,4 km, hvilket medfører at et batteritog uden problemer kan pendle mellem Køge og Roskilde og lades op ved vending på de to stationer.

Særlige forhold for strækning

Strækningen Køge – Roskilde betjenes sammen med Østbanen, Østbanen opererer med tog mellem Roskilde via Køge til først Haarlev (Km 12,7 fra Køge) hvorefter der grenes ud til enten Faxe Ladeplads (Km 30,6 fra Køge) eller Rødvig (Km 31,7 fra Køge)

Dermed er strækningen Roskilde – Køge – Hårlev – Faxe Ladeplads, 53 km, mens strækningen Roskilde – Køge – Hårlev – Rødvig er 54,1 km.

Selv med opladning under ophold på Køge Station er der ikke tilstrækkelig rækkevidde af batteritog. Så enten skal der etableres endnu en mulighed for opladning under ophold i Hårlev, hvor der er et lidt længere stationsophold, eller der skal etableres lademulighed, når toget vender i henholdsvis Rødvig eller Faxe Ladeplads. Da strækningerne fra Køge til Rødvig og Faxe Ladeplads ikke er en del af det statslige jernbanenet, er ladeinfrastrukturen ikke medtaget i nedenstående løsningsforslag.

3.3.2 Løsningsforslag

Strækningen Roskilde – Køge kræver ingen infrastruktur, da der er køreledning på begge stationer.

Ved samdrift med Østbanen kræves supplerende ladeinfrastruktur uden for statens banenet.

3.3.3 Klimaaftryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 1.100 tons/år.

3.3.4 Prisestimat

Ingen investering for staten.



3.4 Odense-Svendborg

3.4.1 Strækningsbeskrivelse

Strækningen trafikeres fra december 2020 af Arriva. Hvert andet tog kører til Ringe, hvert andet kører til Svendborg.

Strækningens totale længde er 48,2 km, mens strækningen Odense – Ringe er 22,4 km. En tur frem og tilbage mellem Odense og Svendborg er 96,4 km.

Spor 8, som togene til Svendborg oftest bruger, er ikke elektrificeret.

Odense – Ringe retur kan køres på en opladning fra Odense.

3.4.2 Løsningsforslag

Først og fremmest skal Spor 8 på Odense Station have køreledning, så togene er fuldt opladet når de forlader Odense.

Der er yderligere to muligheder for opladning.

Enten installeres en stationær lademulighed i Svendborg, der kan lade toget op mens det vender. Alternativt installeres der en dynamisk lademulighed for både gennemkørende og vendende tog i Ringe. Dette kan gøres lige nord for Ringe, men strækningen er kort og der er to niveauoverskæringer, hvilket er en komplikation.



En stationær lademulighed i Svendborg anbefales og bliver basis for budget.

3.4.3 Klimaaffryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 2.900 tons/år.

3.4.4 Prisestimat

500 m køreledning på Odense Station, Spor 8. 19 mio kr.

500 m køreledning på Svendborg Station plus en omformerstation til to tog. 50 mio kr.

Investeringsbehov: 69 mio. kr.

3.5 Lindholm-Frederikshavn

3.5.1 Strækningsbeskrivelse

Strækningen trafikeres i dag af Nordjyske Jernbaner.

Hele strækningen er 82,3 km. Det vil sige, at strækningen er for lang til at betjene uden opladning undervejs, da forudsætningen for denne undersøgelse er en rækkevidde på op til 80 km.

Med en ganske kort køreledning i Hjørring, vil der kunne opnås den smule ekstra opladning, der er nødvendig for at kunne køre i ekstra 2,2 km, ud over den nominelle forudsatte rækkevidde. Fra Lindholm og sydover bliver der etableret køreledning, hvilket medfører at et tog kan vende på Aalborg Station og være fuldt opladet, når det passerer Lindholm, nordgående.

Særlige forhold for strækning

Forholdet til Nordjyske Jernbaner (NJ) skal afklares, herunder om de har planer for batteritog. En del af denne afklaring vil være grænsefladen mod de to NJ-strækninger; Hirtshalsbanen og Skagensbanen.

3.5.2 Løsningsforslag

Der skal etableres stationær lademulighed i Frederikshavn.

Da den forudsatte rækkevidde på 80 km er næsten tilstrækkeligt til hele strækningen, er der i løsningsforslaget suppleret med et kort stykke køreledning der kan sikre opladning tilstrækkeligt til de få ekstra kilometer. Behovet skal dog nøje overvejes, når der er nærmere kendskab til de batteritog, som ønskes anvendt på strækningen



3.5.3 Klimaaffryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 3.500 tons/år.

3.5.4 Prisestimat

500 meter køreledning på Frederikshavn Station plus en omformerstation til to tog, 50 mio. kr.

1.500 meter køreledning på og omkring Hjørring Station plus en omformerstation til to tog, 50 mio. kr. plus en ekstra kilometer køreledning á 8 mio. kr.

Investeringsbehov: 108 mio. kr.

3.6 Vejle-Struer

De følgende strækninger 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 og 3.11 udgør et sammenhængende net. Det er muligt at vælge kun at dele af nettet for batteritogsdrift, men det kan medføre justeringer afhængigt af hvilke strækninger der fravælges.

3.6.1 Strækningsbeskrivelse

Strækning vil fra december 2020 trafikeres af Arriva, suppleret med fire gennemgående DSB tog, der kører imellem Struer og København.

Strækningen er 129,7 km.

Vejle – Herning; 73,0 km

Herning – Holstebro; 41,2 km

Holstebro – Struer; 15,5 km

I Vejle vil der være køreledning, således at tog der afgår fra, eller har vendt i Vejle, vil være fuldt opladet.

Det vil sige at med lademuligheder i Herning og Struer er det muligt at gennemføre trafik med batteritog.

Særlige forhold for strækning

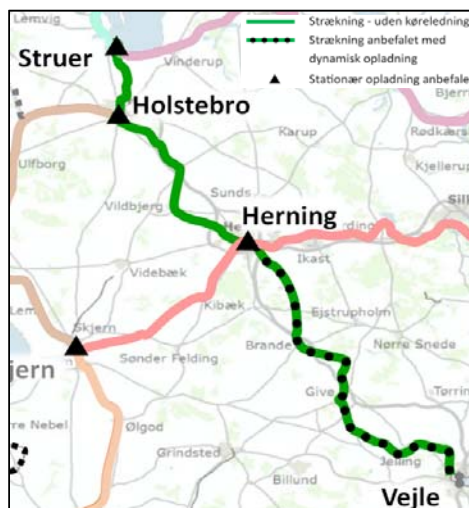
Midtjyske Jernbaner forventer at komme til at betjene strækningen Skjern – Holstebro med batteritog. Investering af eventuel ladeinfrastruktur i Holstebro skal koordineres med Midtjyske Jernbaner.

3.6.2 Løsningsforslag

Der skal være udstyr til stationær ladning i de store byer; Herning og Struer. Ladeanlæg i Holstebro er medtaget af hensyn til Holstebro – Skjern og for at kunne lade tog i tilfælde af forstyrrelser.

Herning Station er et knudepunkt, som også betjener andre strækninger. Ladeinfrastrukturen på Herning Station skal derfor etableres på en større del af stationen. Løsningen skal sammentænkes med etablering af løsning for strækningen Skanderborg-Herning-Skjern.

Da der ikke opnås fuld opladning i Herning på grund af kort opholdstid, skal der suppleres med en dynamisk strækning mellem Vejle og Herning. Denne behøver ikke have længde til en fuld opladning. Supplerende ladning til rækkevidde på 25 km er tilstrækkeligt. 5 km køreledning vil være tilstrækkeligt.



Dette stræk kan som eksempel placeres ved Kølkeær, hvor der er meget få naboer til banen.

3.6.3 Klimaaftryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 4.600 tons/år.

3.6.4 Prisestimat

5 km køreledning mellem Vejle og Herning plus omformerstation (37,5 mio. kr. + 31 mio. kr.)

Køreledningsanlæg i Herning samt en omformerstation til 4 tog (Da mange tog mødes her og udveksler passagerer) (19 mio. kr. + 47 mio. kr.) Her tilføjes en ekstra kilometer køreledning (5 mio. kr.) da der er 4 spor, der skal dækkes.

Køreledningsanlæg på 500 meter plus en omformerstation i Holstebro (50 mio. kr.)

Køreledningsanlæg på 500 meter plus en omformerstation i Struer; (50 mio. kr.)

Samlet investeringsbehov: 235 mio. kr.

3.7 Struer-Thisted

3.7.1 Strækningens beskrivelse

Strækning vil fra december 2020 trafikeres af Arriva.

Strækningen Struer – Thisted er 73,6 km

Med lademulighed i Struer og i Thisted er det muligt at gennemføre trafik med batteritog.

3.7.2 Løsningsforslag

Der skal være udstyr til stationær ladning i Struer suppleret med stationær ladning i Thisted. Ladeinfrastrukturen i Struer er behandlet i afsnit 3.6.

Det er forudsat at holdetiden i Struer er tilstrækkelig til opladning.

3.7.3 Klimaaffryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 1.300 tons/år.

3.7.4 Prisestimat

Køreledningsanlæg på 500 meter plus en omformerstation i Thisted (50 mio. kr.).



Samlet investeringsbehov: 50 mio kr.

3.8 Langå-Struer

3.8.1 Strækningsbeskrivelse

Denne strækning betjenes i dag af Arriva, med tog der fortsætter til Aarhus. En del tog vender i Viborg, og kører således Aarhus – Langå – Viborg retur

Strækningen er 102,4 km lang, og er dermed over den forudsatte rækkevidde for et batteritog.

Med en dynamisk opladestrækning omkring Viborg vil strækningen være velegnet til batteritog, der kører Struer – Viborg – Langå – Aarhus og kan lade op på strækningen Langå – Aarhus på den køreledning, der etableres her.

Strækningen Langå – Viborg er nominelt 40,2 km, således at et tog med rækkevidde 80 km, ikke kan klare et returløb. Imidlertid er de første 250 meter fra Langå mod Syd udstyret med køreledning, da strækningerne mod hhv. Aarhus og Viborg først skilles lidt syd for perronerne. Dermed kommer en kørsel Langå – Viborg, retur, lige under den kritiske grænse, så der ikke er behov for at lade i Viborg.

Særlige forhold for strækning

Der er ikke umiddelbart særlige forhold. Trafikken på denne bane skal dog koordineres med løsningen på Vejle – Struer og Struer Thisted strækningerne.

3.8.2 Løsningsforslag

Der er lademulighed fra køreledning i Langå, og i afsnit 3.6 er angivet et anlæg til stationær ladning i Struer.

Der skal etableres anlæg til dynamisk opladning et sted omkring midten af banen. Det kunne som eksempel være mellem Viborg og Stoholm. Strækningshastigheden er her 120 km/t.



3.8.3 Klimaaftryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 3.600 tons/år.

3.8.4 Prisestimat

14 km køreledning samt en omformerstation.

Investeringsbehov: 136 mio. kr.

3.9 Esbjerg-Skjern

3.9.1 Strækningsbeskrivelse

Strækningen trafikeres i dag af Arriva. Esbjerg Station er elektrificeret, så der umiddelbart kan lades op når toget vender.

Strækningen er 59,9 km, og kan dermed betjenes, hvis der etableres en lademulighed på stationen i Skjern.

Særlige forhold for strækning

Tiltag omkring ladeinfrastruktur skal koordineres med Midtjyske Jernbaner, der vil have Skjern som vendestation.

3.9.2 Løsningsforslag

Der skal etableres en mulighed for stationær ladning på stationen i Skjern.

3.9.3 Klimaaftryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 1.700 tons/år.

3.9.4 Prisestimat

500 m køreledning samt en omformerstation til to tog på Skjern Station.

Investeringsbehov: 50 mio. kr.



3.10 Skjern-Holstebro

Denne strækning er speciel, da Midtjyske Jernbaner har fremskredne planer for etablering af ladeinfrastruktur. Disse planer kendes ikke i detaljer.

3.10.1 Strækningsbeskrivelse

Strækningen er 71 km.

Med start i december 2020 trafikeres strækningen af Midtjyske Jernbaner.

Det er muligt at betjene strækningen med batteritog, hvis trafikken kører som pendeltog mellem Holstebro og Skjern, og der etableres ladeinfrastruktur til ladning i Holstebro og Skjern.

Særlige forhold for strækning

Midtjyske Jernbaner forventes at udsende et udbud efter batteritog i begyndelsen af 2021, og har fremskredne planer om etablering af ladeinfrastruktur. Disse planer omfatter indledningsvis kun Lemvigbanen, men det er ambitionen, at dette skal udvides til også at omfatte strækningen Holstebro – Skjern.

3.10.2 Løsningsforslag

I afsnit 3.6 er defineret en stationær løsning i Holstebro.

I afsnit 3.9 er defineret en stationær løsning i Skjern.

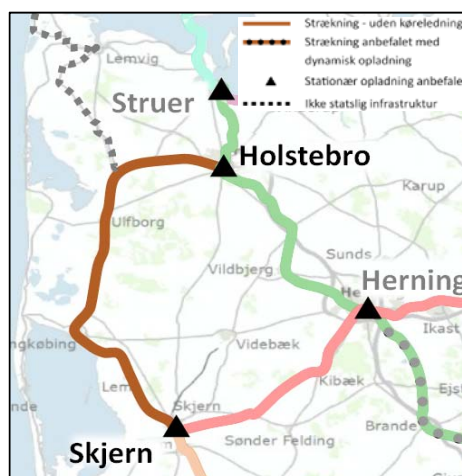
Der er ikke behov for yderligere infrastruktur.

3.10.3 Klimaaftryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 1.500 tons/år.

3.10.4 Prisestimat

Investering er inkluderet i andre strækninger.



3.11 Skanderborg-Herning-Skjern

3.11.1 Strækningsbeskrivelse

Strækningen trafikeres i dag af Arriva.

Den totale længde er 112,6 km. Dette kan dog ikke umiddelbart betragtes som en sammenhængende strækning, da det klart er en mulighed at have separate løb Esbjerg – Skjern – Herning og Herning – Silkeborg – Skanderborg – Aarhus.

Skanderborg – Herning er 71,1 km. Tog til og fra Aarhus kan lade op under den køreledning på hovedbanen Aarhus – Skanderborg, der bliver installeret. Det medfører at der kan køre

tog Herning – Silkeborg – Skanderborg – Aarhus med en lademulighed på stationen i Herning. Under forudsætning af at ophold på Herning er længe nok til at opnå fuld batteriopladning.

Strækningen Herning – Skjern er 40,7 km.

Særlige forhold for strækning

I Skjern skal forholdet til Midtjyske Jernbaner og deres løsning for ladning, afklares.

3.11.2 Løsningsforslag

Der skal være anlæg til stationær opladning i Herning. Mest muligt af stationsområdet bør have køreledning, idet dette er til gavn for både togene på strækning 35 (Denne strækning) og strækning 33; Holstebro – Vejle (Den skrå bane).



Der skal være anlæg til stationær opladning i Skjern.

Se yderligere om Herning i afsnit 3.6.

3.11.3 Klimaaftryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 3.900 tons/år.

3.11.4 Prisestimat

500 meter køreledning og en omformerstation på Silkeborg Station.

Investeringsbehov: 50 mio. kr.

Investering for stationær opladning i Herning er medtaget under strækningen Vejle – Struer.

3.12 Bramming-Tønder

3.12.1 Strækningsbeskrivelse

Strækningen trafikeres i dag af Arriva, med tog der løber Esbjerg – Bramming – Tønder.

Esbjerg – Bramming er elektrificeret, så der kan lades op på denne strækning.

Strækningen Bramming – Tønder er 64 km. Der er yderligere 3,9 km til landegrænsen. Dette sidste stykke trafikeres i dag i samdrift mellem Arriva og NEG (Norddeutsche Eisenbahn Gesellschaft)

Strækningen kan trafikeres med batteritog med den forudsatte rækkevidde, hvis der etableres lademulighed på stationen i Tønder og toget ikke fortsætter mod Syd.

Hvis der skal tages højde for at der er tog der løber Esbjerg – Bramming – Tønder – Nieböll og omvendt, så skal der etableres en lademulighed i Nieböll. Strækningen fra Bramming til Nieböll er 81,1 km, hvilket kan klares hvis der lades kortvarigt under stationsophold i Tønder.

Etablering af en lademulighed i Nieböll vil være et Tysk anliggende.

Særlige forhold for strækning

Eventuelle initiativer omkring ladeinfrastruktur skal koordineres med NEG på den anden side af grænsen.

3.12.2 Løsningsforslag

Tog på denne strækning kører fra og til Esbjerg, og kan således lade op under køreledning.

Der skal etableres anlæg til stationær opladning i Tønder.

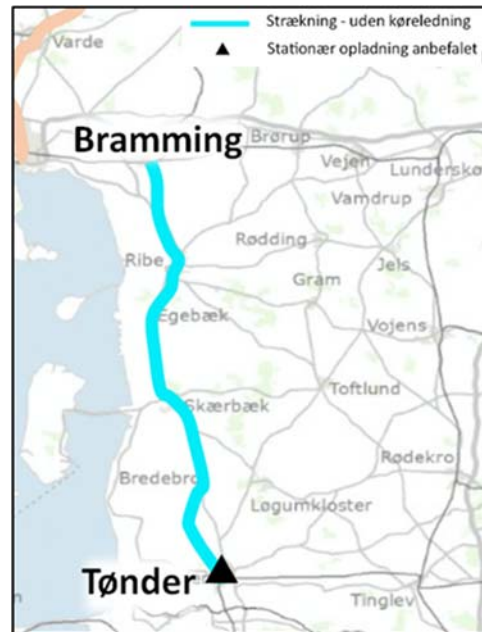
3.12.3 Klimaaftryk

CO₂ besparelse ved omstilling fra dieseltogs drift til batteritogsdrift på 1.700 tons/år.

3.12.4 Prisestimat

500 meter køreledning og en omformerstation på Tønder Station.

Investeringsbehov: 50 mio. kr.



3.13 Samlet investeringsbehov og CO₂ effekt

Tabel 6 opsummerer de estimerede etableringsomkostninger og sammenligner disse med tilsvarende estimater for elektrificering med konventionelle kørestrømsanlæg. Herudover opsummeres de driftsmæssige CO₂-besparelser for hver af de undersøgte strækninger:

Strækning (prisindex 2021)	Estimerede investeringsbehov for batteritogsinfrastruktur ¹ (mio kr)	Estimerede investeringsbehov for konventionelt kørestrømsanlæg ² (mio kr)	Estimeret CO ² driftsbesparelse pr. år iff. dieseldrift (ton)
Køge - Roskilde	Ingen omkostninger ³	400	1.100
Odense- Svendborg	69	870	2.900
Lindholm- Frederikshavn	108	1.000-1.480	3.500
Vejle-Struer	235	1.700-2.300	4.600
Struer-Thisted	50	1.320	1.300
Langå-Struer	136	1.840	5.600
Esbjerg - Skjern	50	1.080	1.700
Skjern-Holstebro	Ingen omkostninger ⁴	1.280	1.500
Skanderborg- Herning-Skjern	50	2.030	4.800
Bramming- Tønder	50	1.22	2.500
Alle strækninger	750	12.740-14.000	30.000

Tabel 6 – Estimerede priser og CO₂ besparelser for de undersøgte strækninger.

1) Baseret på erfaringspriser tillagt 50% korrektionstillæg.

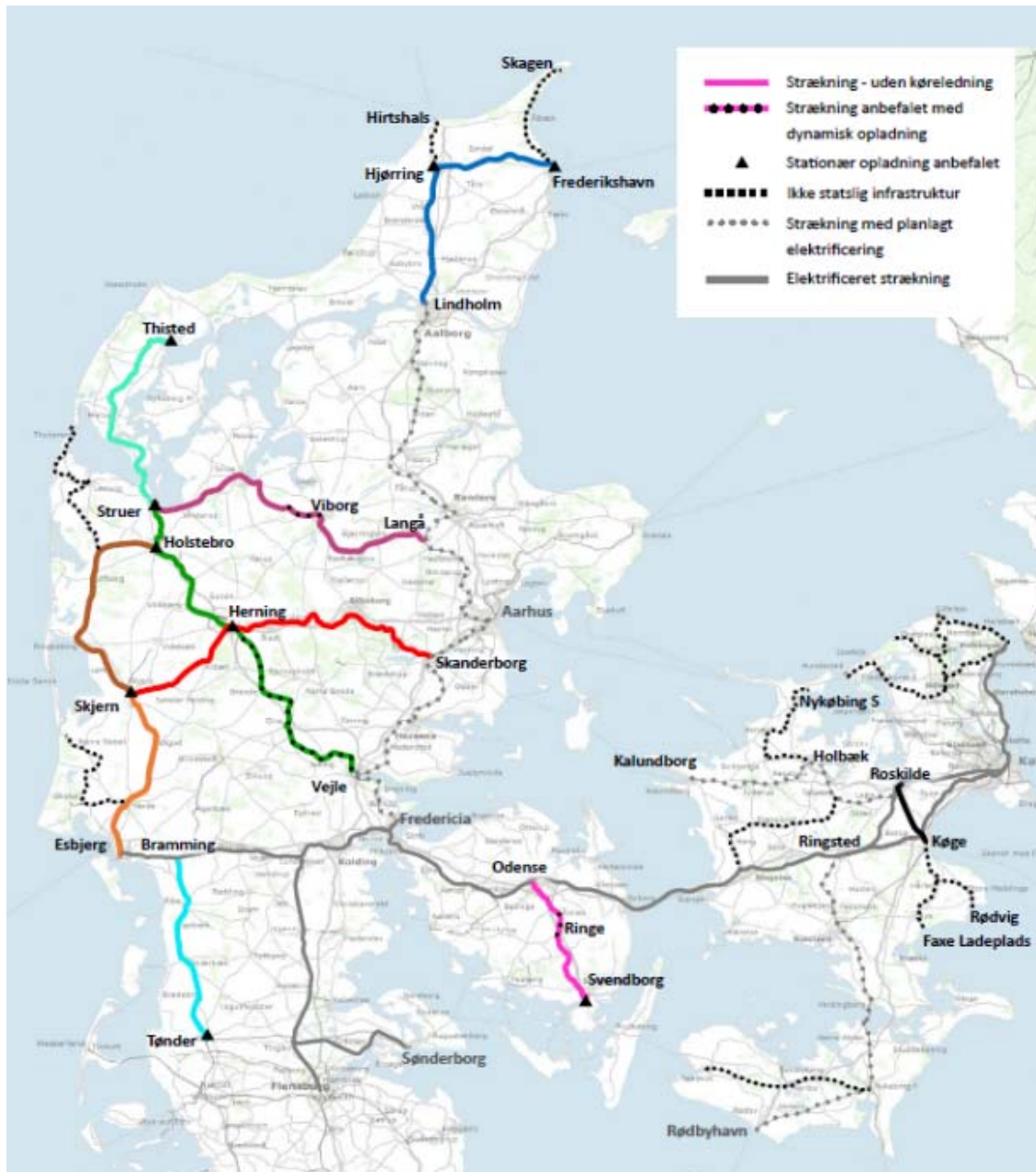
2) Beregningen af omkostningen til kørestrømsanlægget tager udgangspunkt i realiserede priser på strækningen Køge-Næstved korrigeret for særlige forhold og tillagt 50 % korrektionstillæg. Der er ikke korrigeret for udbudsresultatet kan have været særligt fordelagtigt. For strækningerne Lindholm-Frederikshavn og Vejle-Struer afspejler den nedre del af intervallet den på daværende tidspunkt forudsatte anlægsomkostning i Togfonden.

3) Dækkes af el i Roskilde og Køge.

4) Ladestationer er medregnet i tilstødende strækninger.

Den samlede CO₂ udledning i forbindelse med etablering af batteritogsinfrastruktur kørestrømsanlæg estimeres med udgangspunkt i 90 kg/km bestemt i afsnit 2.3. CO₂ udledningen i forbindelse med etablering af tilsvarende konventionelt køreledningsanlæg, baseres på erfaringstal fra Elektrificeringsprogrammet.

Etablering af konventionelle kørestrømsanlæg på de 10 banestrækninger med konventionel kørestrømsanlæg estimeres til at ville udlede samlet 39.000 tons. En elektrificering af de samme 10 strækninger til batteritog estimeres at udlede samlet 4.100 tons



4 Bilag

4.1 Estimat af effektflow for opladning

I dette bilag estimeres den nødvendige elektriske kapacitet for at kunne oplade et batteritog indenfor tidsrammerne.

Følgende forudsætninger og antagelser ligger til grund for beregningerne:

Variabel	Værdi	Beskrivelse
D_{tog}	80km	Antaget maksimale rækkevidde på batteritog
ΔE_{tog}	$4 \frac{kWh}{km}$	Antaget energiforbrug på batteritog
T_{oplad}	7min	Opladningstid på batteri
PF	0,9	Antaget power faktor for batteritog

Tabel 7 – Antaget forudsætninger for beregninger

Den samlede nødvendige energimængde for at køre 80km bestemmes i Eq 1:

$$\text{Eq 1} \quad E_{80km} = 80km \cdot \frac{4kW}{km} = 320kWh$$

Opladningstiden omregnes til timer:

$$\text{Eq 2} \quad T_{oplad} = 7min = \frac{7min}{60min} = 0,117h$$

Den nødvendige aktive ladeeffekt for at opnå 80km på 7 min bestemmes:

$$\text{Eq 3} \quad P_{oplad} = \frac{E_{batteri}}{T_{oplad}} = \frac{320kWh}{0,117h} = 2743 \text{ kW}$$

Den nødvendige tilsyneladende ladeeffekt bestemmes:

$$\text{Eq 4} \quad S_{oplad} = \frac{P_{oplad}}{PF} = \frac{2743 \text{ kW}}{0,9} = 3028kVA$$

Ladeeffekten omregnes til en strømstyrke på 25kV niveau:

$$\text{Eq 5} \quad I_{oplad,25kV} = \frac{S_{oplad}}{V_{nom,25kV}} = \frac{3028 \text{ kVA}}{25 \text{ kV}} = 122 \text{ A}$$

4.1.1 Resultater

I Tabel 8 fremgår den nødvendige effekt for opladning af batteritog indenfor tidsrammen på 7 min. Bemærk at resultaterne er afrundede, da disse i forvejen afhænger af flere antagelser og forudsætninger.

Antal tog som oplader	Effekt	Strømstyrke [A] på 25kV niveau
1 stk.	~3MVA	~120A
2 stk.	~6MVA	~240A
3 stk.	~9MVA	~360A
4 stk.	~12MVA	~480A

Tabel 8 – Effektbehov for kørestrømsforsyning

4.2 Maksimal effekt på 10kV niveau

I dette afsnit estimeres den maksimale effekt der kan trækkes i et 10kV på en hovedstation. Estimatet er relevant for at fastlægge forudsætningen om hvorvidt infrastrukturen kan tilsluttes på 10kV niveau.

Det antages at der kan trækkes 600A pr. afgangsfelt i hovedstationen. Den maksimale effekt estimeres i Eq 6:

Eq 6

$$S_{10kV} = V_{nom} \cdot I_{nom} \cdot \sqrt{3} = 10kV \cdot 600A \cdot \sqrt{3} \approx 10MVA$$

4.3 Estimat af længde for køretråd

I dette afsnit estimeres den nødvendige længde af køreledningsanlæg, der skal til for at oplade de 32kWh som er angivet i Eq 1.

Længden af køreledningsanlæg afhænger af hastighed og tiden toget gør ophold. Der opsættes derfor følgende tre scenarier, hvor længden af køreledningsanlæg estimeres:

- Estimering af køretrådslængde på åben strækning
- Estimering køretrådslængde ved trinbræt
- Estimering af køretrådslængde ved endestop

Følgende forudsætninger og antagelser ligger til grund for beregningerne:

V_{tog}	120km/h (36,67m/s)	Maksimal hastighed på batteritog
$T_{endestop}$	7min (0,117h)	Estimeret pause ved endestation
T_{stop}	1min	Estimeret pause ved trinbræt
a_{start}	1m/s ²	Estimeret acceleration 0-120km/h
a_{stop}	-1m/s ²	Estimeret deceleration 120-0km/h

Tabel 9 – Antaget forudsætninger for beregninger af længde på køreledningsanlæg

4.3.1 Estimering af køretrådslængde på åben strækning

I første scenarie udføres en beregning af længden på det nødvendige køreledningsanlæg under forudsætning af at toget kører på åben strækning med en konstant hastighed på 120km/t som skitseret i Figur 8:



Figur 8 – Køreledningslængde på åbenstrækning

Den nødvendige længde køreledningsanlæg bestemmes i Eq 7:

Eq 7

$$D_{\text{køretråd}} = V_{\text{tog}} \cdot T_{\text{oplad}} = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot 0,117\text{h} = 14\text{km}$$

4.3.2 Estimering køretrådslængde ved trinbræt

I dette scenarie antages det, at toget ankommer til et trinbræt midt på strækningen.

Toget oplader på vej ind imod trinbrættet, her holder det stille i 1 min, imens opladningen fortsætter. Efter et minuts ophold forlader toget trinbrættet, og opladningen stopper når køretråden ophører som skitseret i Figur 9



Figur 9 – Køreledningslængde ved trinbræt

I Figur 9 ses punkterne A, B, C, D, E og F som repræsenterer følgende:

- Køretråden starter og toget starter opladning
- Toget begynder at bremse
- Toget holder stille
- Toget starter accelerationen igen
- Toget rammer strækningshastighed (120km/t)
- Køretråden ophører og toget stopper opladningen

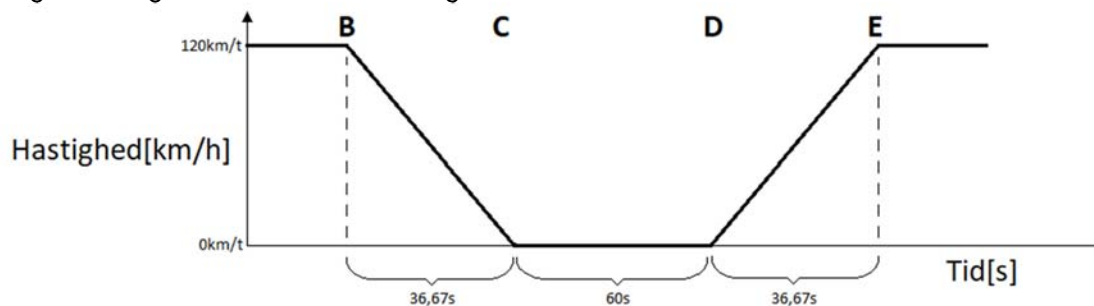
Tiden hvorpå toget accelererer fra D til E bestemmes i Eq 8:

Eq 8

$$t_{D,E} = \frac{V-V_0}{a} \rightarrow t_{D,E} = \frac{36,67\text{m/s}-0\text{m/s}}{1\text{m/s}^2} = 37\text{s}$$

Hvor t er tiden, V er hastighed (120km/t), V_0 er starthastigheden (0km/t) og a er acceleration (1m/s^2)

Togets hastighedsforløb skitseres i Figur 10:



Figur 10 – Hastighedsforløb ved trinbræt

Gennemsnitshastigheden fra punkt B til punkt E bestemmes:

Eq 9

$$V_{AVG,AB} = \frac{37s \cdot 60km/h + 60s \cdot 0km/h + 37s \cdot 60km/h}{37s + 60s + 37s} = 33,00km/t$$

Tiden toget anvender for at komme fra punkt B til punkt E bestemmes:

Eq 10

$$t_{BE} = 37s + 60s + 37s = 134s = 0,037h$$

Den samlede længde af køretråd fra Punkt B til punkt E beregnes:

Eq 11

$$D_{køretråd, BE} = V_{BE} \cdot t_{oplad, BE} = 33,00km/h \cdot 0,037h = 1,22km$$

Længde af køretrådem fra Punkt A til punkt B samt punkt E til punkt F kan ligeledes beregnes:

Eq 12

$$D_{køretråd, AB+EF} = V_{AB, EF} \cdot t_{oplad, AB+EF}$$

$$D_{køretråd, AB+EF} = 120km/h \cdot (0,117 - 0,03704h) = 9,6km$$

Den samlede længde af køretråd fra A til F bestemmes i Eq 13:

Eq 13

$$D_{køretråd, AF} = D_{køretråd, AB+EF} + D_{køretråd, BE} = 1,22km + 9,65km = 10,8km$$

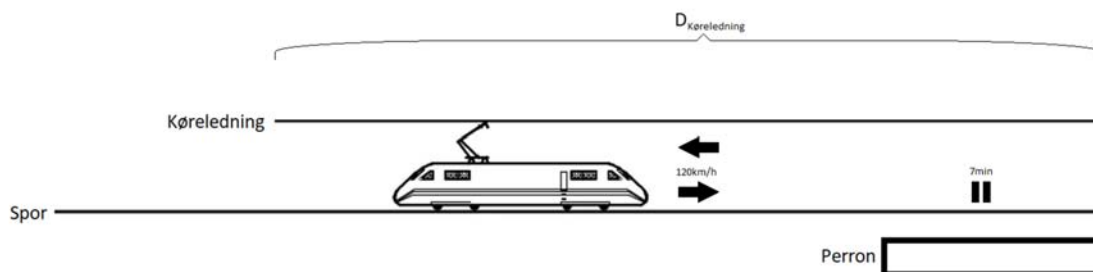
Der er kun relativ lille besparelse i køretråd ved at etablere denne ved trinbræt i forhold til åben strækning. Da det må forventes at være dyrere at etablere køretråd ved trinbræt, hvor

der ofte er sporskifte og overhalingsspor, vurderes dette scenarie ikke at være relevant og vil derfor ikke medtage i de følgende vurderinger.

Estimering af køretrådslængde ved endestop

I praksis vil toget vende på endestationen og vil derfor både have mulighed for at oplade på vej til og på vej fra endestationen.

Herudover vil det gøre et stop i enden, inden det vender og kører retur som skitseret i Figur 11:



Figur 11 - Køreledningslængde ved endestation

Opholdet ved endestationen er estimeret til 7 minutter i Tabel 9. Dette kan normalt opfylde køreplanerne på lokalbanerne, og vurderes også som en acceptabel binding på fastlæggelse af mindste vendetider i fremtidige køreplaner.

Da den estimeret opladningstid ligeledes er estimeret til 7 minutter i Tabel 7, betyder det at der kun er behov for køreledningsanlæg over perronen, da hele opladningen kan ske imens toget holder stille.

Der estimeres med en samlet mængde køreledningsanlæg på 500 m for stationer, hvilket muliggør etablering af køreledningsanlæg ved flere perronspor og rangerspor.

4.3.3 Resultater

Den estimeret mængde af køreledningsanlæg for de to cases sammenlignes i Tabel 10:

Type	Køreledningslængde [km]
Køretrådslængde på åben strækning	14
Køretrådslængde ved endestop	0,5

Tabel 10 – Køreledningsbehov