



Strategisk analyse af elektrificering af bane- nettet

- Opgave A, strategianalysen

NIRAS

banedanmark



Udført CNI
Kontrol KLB
Godkendt CNI



Udarbejdet af:

NIRAS A/S
Sortemosevej 2
3450 Allerød

banedanmark



Udarbejdet for:

Banedanmark
Anlægsudvikling
Amerika Plads 15
2100 København Ø

Strategisk analyse af elektrificering af banenettet

Indhold	Side
1 Indledning.....	9
1.1 Generelt	9
1.2 Den politiske baggrund.....	9
1.3 Den udførte opgave	10
1.4 Begrebsforklaringer.....	11
1.5 Foregående undersøgelser	11
1.6 Rapportstruktur	12
1.7 Scenariebegrebet.....	13
1.8 Kvalitetssikring.....	14
1.9 Baggrund for analysen	14
2 Konklusion	19
2.1 Generelt	19
2.2 Usikkerhed.....	19
2.3 De økonomiske resultater	20
2.4 Konsekvenser af elektrificering	30
2.5 Materielstrategi	31
2.6 Samtidig udrulning.....	31
3 Baggrund	33
3.1 Generelt	33
3.2 Projektbaggrund	33
3.3 Infrastrukturbaggrund	33

3.4	Trafikal baggrund	33
3.5	Elektrificeringsbaggrund	34
3.6	Kommissorium	36
4	Elektrificeringsstatus	38
4.1	Generelt	38
4.2	Status for elektrificering i Danmark	38
4.3	Status for elektrificering i Europa	38
4.4	Sammenhæng til nabobaner	39
5	Trafikale- og tekniske muligheder	42
5.1	Generelt	42
5.2	Trafikale muligheder	42
5.3	Tekniske muligheder	44
5.4	Markedsforhold	45
6	Overordnede krav, grundlag og forudsætninger	47
6.1	Generelt	47
6.2	Overordnede krav	47
6.3	Overordnet grundlag	48
6.4	Forudsætninger	48
6.5	Regelværk- og normgrundlag	49
7	Trafikale- og tekniske kravspecifikationer	50
7.1	Generelt	50
7.2	Trafikale kravspecifikationer	50
7.3	Tekniske kravspecifikationer	51
8	Elektrificeringselementer og -arbejder	52
8.1	Generelt	52
8.2	Infrastrukturelementer	52

8.3	Banetransformere	53
8.4	Forsyningskabler	53
8.5	Fordelingsstationer	54
8.6	Sugetransformersystemer.....	54
8.7	Kørestrømsmaster, -rammer og tværfelter.....	55
8.8	Køreledningsanlæg	56
8.9	Kørestrømsfjernstyring	57
8.10	Pladsbehov og fritrumsprofil	57
8.11	Naboanlæg m.m.	57
9	Sammenhæng med Signalprogrammet.....	59
9.1	Generelt	59
9.2	Formål og tidsplan	59
9.3	Immunisering generelt	60
9.4	Immunisering Lunderskov – Esbjerg	60
9.5	Samtidig udrulning.....	61
10	Sammenhæng til andre baneprojekter.....	63
10.1	Generelt.....	63
10.2	Beslutninger og undersøgelser	63
10.3	Ny bane København-Ringsted	64
10.4	Femern Bælt danske jernbanelandanlæg	64
10.5	Udbygning af Nordvestbanen	64
10.6	Fornyelses- og vedligeholdelsesprojekter	64
11	Elektrificeringsgennemførelse og -metoder	66
11.1	Generelt.....	66
11.2	Elektrificeringsarbejder	66
12	Elektrificeringsscenarier	69

12.1	Generelt.....	69
12.2	Kriterier	69
12.3	Metode	70
12.4	Scenarier og Signalprogrammet	70
12.5	Specifikt for Lunderskov – Esbjerg	71
13	Miljøkonsekvenser	73
13.1	Generelt.....	73
13.2	Energiforbrug	73
13.3	CO ₂ -udledninger	75
13.4	Emissioner	78
13.5	Støj.....	82
13.6	Magnetfelter	83
13.7	Natur, landskab og visuelle forhold	83
13.8	Arealer.....	86
13.9	Øvrige miljøeffekter.....	87
13.10	VVM forhold	89
14	Driftsaspekter.....	90
14.1	Generelt.....	90
14.2	Materielaspekter	91
14.3	Køretid	91
14.4	Driftspålidelighed	92
14.5	Øvrige effekter.....	92
15	Specifikt grundlag.....	93
15.1	Generelt.....	93
15.2	Trafikale analyser.....	93
15.3	Systemkøreplan	94

15.4	Passagertal.....	94
15.5	Driftslinjer.....	95
15.6	Beregningsforudsætninger.....	96
15.7	Beregningsmetode, sammenfatning.....	97
15.8	Beregningsresultater, trafikale analyser	98
15.9	Materielbehov	99
15.10	Materielpriser	99
15.11	Materiel driftsøkonomi.....	103
16	Anlægsøkonomi	109
16.1	Generelt.....	109
16.2	Historik og metode	109
16.3	Ændringer fra 2009 til 2011.....	110
16.4	Opbygning af overslaget og anvendte betegnelser.....	111
16.5	Anlægsoverslag for de enkelte scenarier	114
16.6	Anlægsoverslag for Lunderskov-Esbjerg	115
16.7	Anlægsoverslag for alle scenarier	116
16.8	Følgeinvesteringer.....	116
17	Samfundsøkonomisk analyse.....	119
17.1	Generelt.....	119
17.2	Tilgang	120
17.3	Forudsætninger.....	123
17.4	Anlæg og drift af det elektrificerede net	124
17.5	Materiel	126
17.6	Togskifte	139
17.7	Ikke værdisatte konsekvenser	141
17.8	Samfundsøkonomiske resultater	142

17.9	Statskasseeffekt	157
18	Følsomhedsberegninger	164
18.1	Generelt.....	164
18.2	Anlægsinvesteringer	164
18.3	Materielpriser	166
18.4	Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger	168
18.5	Miljøeffekter	169
18.6	Energipriser.....	169
18.7	Køretidsgevinster	173
19	Gennemførelsesstrategi.....	175
19.1	Generelt.....	175
19.2	Styrende parametre	175
19.3	Resultater	177
20	Materielstrategi	180
20.1	Generelt.....	180
20.2	Metodik.....	180
20.3	Resultat af materielstrategiens første trin.....	184
20.4	Resultatet af materielstrategiens andet trin	185
21	Referencer	186
22	Bilag	188

1 Indledning

1.1 Generelt

Nærværende kapitel angiver projektets baggrund med hensyn til følgende:

- Den politiske baggrund
- Den udførte opgave
- Det leverede produkt
- Begrebsforklaringer
- Foregående undersøgelser
- Rapportens struktur
- Baggrund mv. for analysen

1.2 Den politiske baggrund

Med loven om elektrificering af det daværende DSB's fjern- og regionalbaneanet fra 1979 blev en elektrificering af disse iværksat. Projektet har været sat i bero siden 2001, men loven er ikke blevet ophævet, og fra begyndelsen i 1979 til den foreløbigt sidste etape i 1995 er der elektrificeret ca. 470 km fjern- og regionalbaner.

Der har til stadighed, også i perioden efter 2001, været fokus på projektet fra mange sider, og blandt andet set i lyset af forløbet af IC4 leverancen til DSB, er der foretaget politiske vurderinger af muligheden for at genoptage projektet. Transportministeriet har i den forbindelse i 2009 ladet udarbejde en screeningsanalyse angående mulighederne for fortsat elektrificering, ref. [17].

Efterfølgende er der i den politiske aftale 'En grøn transportpolitik' af 29. januar 2009 truffet beslutning om at gennemføre en strategisk analyse af yderligere elektrificering af Banedanmarks banenet.

I den senere politiske aftale 'Bedre Mobilitet' af 26. november 2010 er det besluttet at opdele denne strategiske analyse i to faser, som følger.

- I fase 1 skal der udarbejdes en mulig gennemførelsesplan for elektrificering. Derudover skal der tilvejebringes et grundlag for endelig stillingtagen til gennemførelse af elektrificering af strækningen Lunderskov-Esbjerg. Fase 1 skal afrapporteres til Banedanmark i juni med henblik på en politisk behandling i efteråret 2011.
- I fase 2 skal der udarbejdes anlægsoverslag for de strækninger, der er højest prioriteret i gennemførelsesplanen med henblik på, at der træffes en endelig principbeslutning om elektrificering af banenettet i efteråret 2013.

Baggrunden er dels, at hovedbanen mellem Øresund og Padborg/Sønderborg allerede er elektrificeret, at projektet Ny bane København - Ringsted etablerer en ny elektrificeret strækning, og at projektet Femern Bælt danske jernbanelandanlæg foretager en elektrificering af strækningen fra Ringsted til den faste forbindelse over Femern Bælt og dels at det i aftalen 'En grøn transportpolitik' er gjort til et mål, at jernbanen på sigt skal gøres uafhængig af fossile brændstoffer.

Arbejdet i fase 1 er opdelt i to, som følger:

1. Opgave A: arbejdet med udarbejdelsen af en mulig gennemførelsesplan
2. Opgave B: arbejdet med udarbejdelsen af et begrundet¹ anlægsoverslag

Nærværende rapport dokumenterer resultatet af opgave A, som i det følgende betegnes som *analysen*.

Opgave B (anlægsoverslaget for elektrificering af strækningen Lunderskov-Esbjerg) dokumenteres i en særskilt rapport.

1.3 Den udførte opgave

På baggrund af en samfundsøkonomisk analyse er der udarbejdet følgende:

1. En vurdering af, hvilke strækninger der med fordel kan elektrificeres
2. En opstilling af det 'rentable' elektrificerede net
3. Den samfundsøkonomiske værdi af denne elektrificering
4. En materielstrategi knyttet til elektrificeringen
5. En gennemførelsesplan for elektrificeringen

Endvidere er følgende forhold belyst:

- En udrulningsplan for det elektrificerede net
- Eventuelle effekter i forhold til Signalprogrammet
- Begrebet 'grøn' elektricitet (kvote-systemet)
- Sammenhængen med allerede elektrificerede strækninger².
- Forholdene angående terminalstøj

Ovennævnte udrulningsplan betegnes i det følgende som elektrificeringsplanen.

¹ Termen 'begrundet' defineres i rapporten fra delopgave B.

² Forslaget fra rapporten fra Region Nordjylland [32] er medtaget som et scenarium.

1.4 Begrebsforklaringer

I rapporten benyttes en række trafikale, tekniske og økonomiske begreber, som nærmere defineres og forklares i Bilag 22.

1.5 Foregående undersøgelser

I 2009 har NIRAS udarbejdet en screeningsundersøgelse (i det følgende betegnet som undersøgelsen), ref. [49], hvori forudsætningerne samt en række scenarier for elektrificering af Banedanmarks banenet er undersøgt på et helt overordnet niveau med vægt på vurdering af anlægsøkonomi, driftsøkonomi og miljøeffekter.

Rapporten fra undersøgelsen konkluderer, at det økonomisk er mest hensigtsmæssigt at foretage en yderligere elektrificering af fjernbanenettet efter gennemførelsen af Signalprogrammet, hvilket (med undtagelse af strækningen Lunderskov – Esbjerg) også er lagt til grund for nærværende analyse.

Undersøgelsen adskiller sig i princippet fra nærværende analyse på en række punkter, herunder følgende:

- Der blev alene udført en sammenligning af forskellige scenarier for elektrificering på et overordnet niveau.
- Der blev ikke beregnet samfundsøkonomi eller statskasseeffekter.
- Metoderne beskrevet i reglerne for Ny Anlægsbudgettering (NAB) blev ikke benyttet.
- De konkrete lønsomheder og investeringsbehov mv. for de enkelte strækninger blev ikke beregnet.
- Der blev alene foretaget en sammenligning af udvalgte strækninger med en efterfølgende vurdering af, hvilke strækninger der eventuelt kunne overvejes elektrificeret.
- Der blev ikke foretaget nogen analyse af de tekniske og økonomiske konsekvenser af en elektrificering.
- Konkrete driftslinjer eller konkrete passagerestimater blev ikke benyttet

Undersøgelsen angav et investeringsbehov samt et niveau for de driftsøkonomiske effekter og beskrev miljøeffekterne, men undersøgelsen omfattede eksplicit ikke de samfundsøkonomiske effekter af en elektrificering eller statskasseeffekten af samme. Undersøgelsen blev udført som en screening, hvilket betyder, at der alene blev indsamlet, struktureret og behandlet kendt viden og kendte data.

Der er endvidere bl.a. følgende konkrete forskelle mellem 2009-undersøgelsen og nærværende analyse med hensyn til projektgrundlag:

- Det blev i undersøgelsen antaget, at diesel- og elmateriel har samme prisniveau, men det kan nu fastslås, at elmateriel, alt andet lige, er billigere end dieselmateriel.
- Undersøgelsens tidshorisont var begrænset til 2020, mens de samfundsøkonomiske beregninger i nærværende analyse er gennemført for en 60-årig tidshorisont (fra 2011 til og med 2071), hvor elektrificeringen er idriftsat de sidste 50 år af perioden.
- Undersøgelsen baserede sig på trafikmængderne i 2008, hvorimod nærværende analyse er baseret på prognoser for den trafikale udvikling fra 2020 og frem.

I 2009-undersøgelsen blev det foreslået, at der skulle foretages en nærmere analyse af de tekniske og økonomiske konsekvenser forinden en beslutning om elektrificering.

Nærværende rapport dokumenterer denne nærmere analyse.

1.6 Rapportstruktur

På baggrund af det omfattende kommissorium og kompleksiteten i opgaven er rapporten bygget op således, at der først bliver gennemgået en række tekniske forhold, hvorefter de økonomiske konsekvenser og mere strategiske aspekter bliver analyseret.

Konkret betyder det, at kapitlerne 4 til 11 primært har et teknisk indhold som følger:

- Kapitel 4 omfatter en beskrivelse af den nuværende status for elektrificering.
- Kapitel 5 redegør for de trafikale og tekniske muligheder ved elektrificering.
- Kapitel 6 redegør for de overordnede krav og forudsætninger, som analysen skal opfylde.
- Kapitel 7 redegør for de tekniske kravspecifikationer
- Kapitel 8 beskriver, hvordan elektrificering kan gennemføres.
- Kapitel 9 beskriver sammenhængen til signalprogrammet.
- Kapitel 10 er sammenhængen til andre relevante baneprojekter
- Kapitel 11 omfatter en beskrivelse af forskellige elektrificeringsmetoder.

I kapitel 12 bliver der opstillet forskellige scenarier for, hvilke strækninger der kan tænkes elektrificeret, og en evt. sammenhæng mellem disse.

Kapitlerne 13 til 16 beskriver forskellige konsekvenser af elektrificering som følger:

- Kapitel 13 indeholder en beskrivelse af de miljømæssige konsekvenser.
- Kapitel 14 redegør for de driftsøkonomiske konsekvenser.
- Kapitel 15 omhandler det specifikke (herunder det trafikale) grundlag
- Kapitel 16 omhandler de anlægsøkonomiske forhold.

Resultaterne fra kapitel 13 -16 samles i en samfundsøkonomisk analyse i kapitel 17, hvor de enkelte strækningers elektrificeringspotentialer bliver analyseret, ligesom kapitlet også indeholder en analyse af de statsøkonomiske konsekvenser af elektrificering af de enkelte strækninger. I kapitel 18 bliver det analyseret nærmere, hvilke parametre de samfundsøkonomiske resultater er særligt følsomme over for – og hvor følsomme de er over for ændringer i forudsætningerne bag analysen. På baggrund af de økonomiske analyser bliver der i kapitel 19 opstillet forslag til en gennemførelsesstrategi, og i kapitel 20 bliver denne koblet sammen med forslag til en materielstrategi.

1.7 Scenariebegrebet

Som nærmere angivet i kapitel 12 er de strækninger, som indgår i analysen, indsat i en konkret sammenhæng, som er betegnet et scenarium.

Scenarium	Strækning	Bemærkninger ³
1A-1	Lunderskov – Esbjerg	Til udførelse i 2015
1A-2	Lunderskov – Esbjerg	Til udførelse i 2022
1B	Fredericia – Aarhus	Til udførelse i 2022
2B-1	Aarhus – Aalborg	Til udførelse i 2022
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	Til udførelse i 2022
2B-3	(Fredericia – Aarhus) og Vejle – Struer	Til udførelse i 2022
1C	Hobro - Frederikshavn	Til udførelse i 2022
1D	Roskilde – Holbæk	Til udførelse i 2022
2D-1	Holbæk – Kalundborg	Til udførelse i 2022
1E	Køge Nord – Næstved	Til udførelse i 2022

Tabel 1: De analyserede scenarier.

³ Udførselsåret 2022 er valgt for at indikere en gennemførelse efter Signalprogrammet, og for at tilvejebringe samme sammenligningsgrundlag for alle scenarierne.

Som nærmere angivet i kapitel 12 er scenarierne udvalgt såvel på baggrund af ref. [49] samt forventningerne om deres elektrificeringspotentiale vurderet af projektets styre- og projektgruppe.

Scenarier som betegnes med tallet 1, kan betragtes som begyndelsesscenarier, mens scenarier, som betegnes med tallet 2 kan betragtes som fortsættelsesscenarier, som altså forudsætter en allerede udført elektrificering.

1.8 Kvalitetssikring

Grundlag, forudsætninger og resultater med hensyn til arbejdet i projektet er fremlagt, diskuteret og besluttet i projektets styregruppe, og er efterfølgende dokumenteret i mødereferaterne fra disse.

Endvidere er der foretaget følgende kvalitetssikringstiltag:

- Den departementale følgegruppe har afgivet kommentarer til grundlag, forudsætninger og resultater.
- Rapporten med bilag er i sin helhed kvalitetssikret internt af NIRAS jf. firmaets kvalitetssikringsregler.
- Der er foretaget en ekstern kvalitetssikring af forudsætningerne angående anskaffelses- og driftsomkostninger med hensyn til både diesel- og elmateriel af CIVITY Management Consultants GmbH & Co.
- Der har været en dialog med Banedanmark om passagertal, togenhedsforbrug (togenheder i stk.) samt togenhedsproduktion (kilometer pr. togenhed pr. år).
- Der er, i henhold til principperne i Ny Anlægsbudgettering, gennemført en ekstern kvalitetssikring af det samlede materiale (herunder de samfundsøkonomiske beregninger) vedrørende strækningen Lunderskov-Esbjerg. Denne eksterne kvalitetssikring er forestået af et konsortium bestående af JAA Consult og Rambøll.
- Forudsætninger vedrørende materielpriser og omkostninger til drift og vedligehold er vurderet af projektets styregruppe, herunder DSB, som har fundet det anvendte pris- og omkostningsniveau i overensstemmelse med det forventede.

1.9 Baggrund for analysen

Nærværende afsnit angiver baggrund og overvejelser om følgende:

1. Materielforhold
2. Andre styrende parametre
3. Samtidig udrulning af Signalprogrammet og elektrificering
4. Grundlæggende forudsætninger

1.9.1 Materielforhold

Der er for tiden tre betydende operatører på Banedanmarks fjernbanenet, nemlig følgende:

- DSBFirst
- DSB
- Arriva

For førstnævnte gælder, at operatøren ikke har trafik ud over det eksisterende elektrificerede net.

For sidstnævnte gælder, at operatøren dels ikke har trafik af signifikant betydning på de analyserede strækninger, og dels at denne trafik også efter en eventuel elektrificering vil ske med dieselmateriel.

For nærværende analyse er alene DSB som operatør således relevant.

Det gælder for DSB, at operatøren for tiden (2011) mangler materiel, dels som følge af, at nogle materieltyper i disse år nærmer sig (eller har overskredet) deres forventede udfasningstidspunkt og dels som følge af, at dieselmateriel af typen IC4 ikke er til rådighed i det forventede omfang.

Det gælder for følgende materieltyper, at de har nået (eller overskredet) deres udfasningstidspunkt:

- Diesellokomotiver af typen ME⁴
- Dieselmaterielsæt af typen MR⁵

Det gælder for dieselmateriel af typen IC3, at typen når sit udfasningstidspunkt fra ca. 2022 og frem til ca. 2025, og DSB er altså i den situation, at der snarest skal vælges mellem enten at investere i (eller leje) nyt diesel- eller elmateriel.

Situationen er således såvel kritisk med hensyn til materiellet som velegnet med hensyn til en beslutning om den fremtidige materielstrategi.

1.9.2 Andre styrende parametre

Banedanmark har iværksat en række anlægsprojekter, som alle influerer på beslutninger angående en eventuel elektrificering, nemlig:

1. Signalprogrammet
2. Ny bane København – Ringsted
3. Femern Bælt danske jernbanelandanlæg
4. Udbygning af Nordvestbanen

⁴ Typen er for tiden DSB's eneste lokomotivtype, og benyttes hovedsageligt i den sjællandske regionaltrafik i forbindelse med 2-etages Bombardiervogne.

⁵ Typen benyttes i den jyske regionaltrafik på de strækninger, hvor DSB er operatør, samt på Lille Sydbanen på Sjælland, hvor DSB også er operatør.

Ad 1) Signalprogrammet

Projektet etablerer nye sikrings- og linjeblokanlæg⁶ til afløsning af de eksisterende anlæg på alle Banedanmarks strækninger jf. en fastlagt udrulningsplan i ref. [14].

De nye sikrings- og linjeblokanlæg er, som følge af deres konstruktion, immune mod påvirkninger fra kørestrømsanlægget, hvilket står i modsætning til eksisterende sikrings- og linjeblokanlæg, som kræves immuniserede i forbindelse med en elektrificering.

I undersøgelsen fra 2009, ref. [49], blev det fastslået, at det er mest hensigtsmæssigt at elektrificere en given bane efter udrulningen af Signalprogrammet, og Signalprogrammet udrulningsplan er således afgørende for, hvornår elektrisk materiel tidligst kan tages i anvendelse på de enkelte strækninger; dog er strækningen Lunderskov – Esbjerg undtaget fra denne forudsætning, idet denne strækning delvist er immuniseret.

Ad 2) Ny bane København – Ringsted

Projektet etablerer en ny dobbeltsporet elektrificeret jernbane mellem København (Vigerslev station) og Ringsted station til færdiggørelse i 2018. Det påregnes, at transitgodstrafikken, som for tiden føres via Roskilde, omlægges til den nye bane, og at der indkøbes elektrisk materiel til passagertrafikken på den nye bane.

Projektets tidsplan bestemmer således, hvornår elektrisk materiel tidligst kan tages i anvendelse på strækningen.

Ad 3) Femern Bælt danske jernbanelandanlæg

Projektet udbygger den eksisterende Sydbane fra Ringsted til Femern Bælt Kyst-kyst til en dobbeltsporet elektrificeret jernbane. Det påregnes, at transitgodstrafikken omlægges til strækningen, og at der indkøbes elektrisk materiel hertil⁷.

Dette projekts tidsplan er således også bestemmende for, hvornår elektrisk materiel tidligst kan tages i anvendelse på strækningen.

Ad 4) Udbygning af Nordvestbanen

Projektet udbygger den eksisterende Nordvestbane til dobbeltspor mellem Lejre og Vipperød samt opgraderer hele strækningen Roskilde – Holbæk til 160 km/h til færdiggørelse i 2015. Projektet omfatter ikke elektrificerings- eller immuniseringsarbejder og alene fritrumsprofilarbejder i forbindelse med etablering af nye overføringer.

⁶ Begrebet 'linjeblokanlæg' videreføres næppe i Signalprogrammet.

⁷ Der er endnu ikke frigivet midler til indkøb af dette materiel.

Projektet er meget tidspresset og kan ikke forceres, ligesom det skønnes urealistisk at indarbejde immuniserings- og fritrumsprofilarbejder i projektet. Udrulningsplanen for Signalprogrammet bestemmer således, hvornår elektrisk materiel tidligst kan tages i anvendelse på denne strækning.

1.9.3 Forskelle mellem diesel- og elmateriel

Beregninger og resultater fra disse hviler på følgende afgørende begrundede forudsætninger og antagelser:

1. At elektrisk materiel, alt andet lige, er billigere i anskaffelse end tilsvarende dieselmateriel
2. At elektrisk materiel, alt andet lige, har lavere driftsomkostninger end tilsvarende dieselmateriel
3. At elektrisk materiel, alt andet lige, normalt har en højere driftssikkerhed end tilsvarende dieselmateriel
4. At levetiden for såvel el- som dieselmateriel forudsættes til 30 år

De konkrete forskelle i anskaffelses-, drifts- og forsikringsomkostninger er angivet i ref. [7] *Enhedsomkostninger for togdrift*. Effekterne er medtaget i de samfundsøkonomiske beregninger, kapitel 17.

Bemærk i det følgende, at alene traktionsteknikken i forbindelse med diesel- og eltogsæt (Diesel Multiple Units og Electrical Multiple Units), altså togsæt med motorer og transformere, transmission m.m. placeret under gulvet, som de findes på markedet p.t. betragtes i det følgende. Lokomotivtrukne tog lades altså ude af betragtning.

Ad 1) Anskaffelsespris

Elmateriel beregnet til kørsel med 200 km/h er billigere end dieselmateriel, hvilket hovedsageligt har markedsmæssige årsager, idet elmateriel, i vid udstrækning, findes som standardtyper, mens dieselmateriel, da efterspørgslen er beskeden, skal specialudvikles i forbindelse med hver leverance, hvilket fordyrer produktet, som beskrevet i afsnit 17.5.2.

Ad 2) Driftsomkostninger

Elektrisk materiel har normalt lavere driftsomkostninger, hvilket også kan begrundes ud fra en teknisk betragtning, idet dieselmateriellet er mere kompliceret og indeholder flere slidkomponenter, som dels kræver vedligeholdelse og dels skal udskiftes med jævne mellemrum. Dieselmotor og transmissionsenheder, som benyttes i det betragtede dieselmateriel, kan ikke forventes at holde til 30 års drift uden komponentudvekslinger (eller remotoriseringer) undervejs.

Ovenstående antagelser vurderes at være i overensstemmelse med DSB's erfaringer og praksis, hvor DSB har gennemført komponentudvekslinger (bl.a. i form af en remotorisering) af IC3-materiellet. Det skal tilføjes, at en remotorisering også indebærer fordele, idet nye og mere effektive mo-

tor/transmissionssystemer kan tages i anvendelse, hvilket netop er tilfældet i forbindelse med IC3-remotoriseringen.

Omkostninger til komponentudvekslinger eller remotorisering er medtaget i grundlaget for enhedsomkostningerne til togdrift og indgår således i de samfundsøkonomiske beregninger.

Ad 3) Driftssikkerhed

Elektrisk materiel har normalt højere driftssikkerhed, hvilket kan begrundes ud fra tekniske betragtninger, idet dieselmateriellet er mere kompliceret og indeholder flere slidkomponenter, som dels kan bryde ned og dels har en begrænset levetid.

DSB's erfaringer er ikke i fuld overensstemmelse med ovenstående, idet DSB bl.a. har erfaringer med mere driftsstabil dieselmateriel (IC3) og mindre driftsstabil elmateriel (Øresundstog). Det er dog opfattelsen, at DSB's erfaringer ikke nødvendigvis er i modstrid med ovenstående forudsætninger, idet betragtningerne er foretaget på grundlag af en 'alt andet lige' betragtning af traktionsteknikken alene samt erfaringer fra bl.a. en større britisk undersøgelse. I en egentlig driftssituation indgår andre parametre end parametre knyttet til traktionsteknikken i driftsstabilitetsregnskabet.

Ad 4) Levetid

For såvel diesel- som elmateriel er levetiden anslået til 30 år. Der findes en række eksempler på ældre materiel i drift, men det forudsættes, at ingen operatør fremover ønsker at tilbyde passagererne utidssvarende materiel.

2 Konklusion

2.1 Generelt

Nærværende kapitel angiver projektets hovedkonklusioner med hensyn til følgende:

- De økonomiske resultater (samfundsøkonomi og konsekvenser for statskassen)
- Det samlede elektrificerede banenet
- Konsekvenser af elektrificering
- Materielstrategi
- Samtidig udrulning af Signalprogrammet og elektrificering

Elektrificering influerer i begrænset omfang på IC4-planerne⁸ som følger:

- Strækningen Lunderskov – Esbjerg betjenes fremover med elektrisk materiel
- Strækningen Fredericia – Aalborg, og strækningerne nord og vest herfor betjenes med IC4-materiel, indtil en elektrificering er hensigtsmæssig

Uanset elektrificering skal der, set i lyset af såvel den nuværende anstrengte materielsituation som forventningen til fremtidens trafik, investeres i nyt materiel, men materieltypen (el- eller diesel) skal ses i sammenhæng med omfanget af elektrificerede strækninger.

2.2 Usikkerhed

Uanset om der er tale om anlægsinvesteringer, driftsudgifter, miljøeffekter, samfundsøkonomi mv. er tallene behæftet med usikkerhed. Det gælder også alle indtægter og udgifter i de enkelte år, samt ikke mindst at alle beløb er vurderet over en meget lang tidshorisont. Det betyder, at resultaterne snarest skal opfattes som indikationer på nogle størrelsesordener end som eksakte resultater med "to streger under".

Størrelsesordenen på den tilhørende usikkerhed er ikke estimeret, men i forbindelse med de samfundsøkonomiske beregninger er der udført følsomhedsberegninger på en række centrale parametre, som nærmere angivet i kapitel 18.

⁸ Planerne knyttet til benyttelse af IC4 har hidtil omfattet anvendelse af IC4 i al intercitytrafik, IC2 til anvendelse i den fynske og jyske regionaltrafik samt anvendelse af IC3 i den sjællandske regionaltrafik.

2.3 De økonomiske resultater

2.3.1 Samfundsøkonomien i elektrificering

De samfundsøkonomiske beregninger giver følgende resultat:

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi, mio. kr. [mio. kr.]		Intern rente	
		Basis	Vision	Basis	Vision
1A-1	Lunderskov – Esbjerg 2015	878	1.113	8,8 %	9,5 %
1A-2	Lunderskov – Esbjerg 2022	742	929	10,4 %	11,3 %
1B	Fredericia – Aarhus	1.645	2.320	10,3 %	12,1 %
1B-1	Fredericia – Aalborg	-608	-357	2,9 %	3,8 %
1B-2	Aalborg – Frederikshavn	-697	-545	-3,0 %	-1,1 %
2B-3	Vejle – Struer	-598	-470	1,4 %	2,4 %
1C	Hobro - Frederikshavn	-1.245	-1.082	-1,7 %	-0,8 %
1D	Roskilde – Holbæk	-145	15	2,5 %	5,3 %
2D-1	Roskilde – Kalundborg	392	258	11,7 %	9,4 %
1E	Køge Nord – Næstved	162	250	7,3 %	8,5 %

Tabel 2: Nutidsværdier og intern rente for de analyserede scenarier.

2.3.2 De rentable scenarier

Ud fra et samfundsøkonomisk perspektiv skiller fire scenarier sig ud som særligt interessante, nemlig følgende:

1. Lunderskov - Esbjerg
2. Fredericia – Aarhus
3. Roskilde - Kalundborg
4. Køge Nord – Næstved

Fælles for disse scenarier gælder, at man ved at elektrificere den pågældende strækning kan køre med elmateriel med mange passagerer på en længere strækning, end strækningen knyttet til scenariet, idet den allerede udførte elektrificering udnyttes.

Det skal bemærkes at der i de samfundsøkonomiske beregninger ikke er indregnet effekten af, at eldrevne tog på strækninger med mange stop, f.eks. Roskilde-Kalundborg, på grund af bedre accelerationsegenskaber kan reducere køretiden med nogle minutter.

Lunderskov – Esbjerg

Scenariet er opbygget anderledes end de øvrige scenarier som angivet i afsnit 12.5 og afsnit 17.8.2, idet scenariet medtager elektrisk togdrift på såvel strækningen Lunderskov – Esbjerg som strækningen Lunderskov – Padborg⁹.

Ved en elektrificering af denne strækning i 2015 med samtidig elektrisk drift af linjen København – Padborg/Flensborg/Sønderborg opnås et samfundsøkonomisk overskud på ca. 878 mio. kr. i basissituationen, svarende til en intern rente på 8,8 %. Samdriften med linjen København – Padborg bidrager positivt med ca. 900 mio. kr.

Ved en elektrificering i 2022 med samme forhold i øvrigt opnås et samfundsøkonomisk overskud på ca. 742 mio. kr. i basissituationen, svarende til en intern rente på 10,4 %. Samdriften med linjen København – Padborg bidrager positivt med knap 900 mio. kr.

Forrentningen skyldes, at der kan køres med elektrisk materiel på hele strækningen København – Esbjerg/København – Padborg. Ved at elektrificere 56 km bane kan man altså køre med elektrisk materiel på en 309 km lang strækning (København - Esbjerg), idet den elektrificerede 253 km lange strækning København – Lunderskov så kan udnyttes, ligesom det kan udnyttes at benytte elmateriel på hele den 330 km lange strækningen København – Padborg.

Scenariet bliver samfundsøkonomisk mere rentabelt, såfremt scenarium 1B Fredericia – Aarhus også realiseres, idet linje 42 Aarhus - Esbjerg i så fald kan betjenes med elmateriel.

Fredericia - Aarhus

Elektrificering af denne strækning giver et samfundsøkonomisk overskud på 10,3 % i basissituationen. Den høje forrentning skyldes, at en elektrificering af strækningens 109 km medfører, at der kan køres med elektrisk materiel på hele strækningen på 329 km mellem København og Aarhus.

Scenariet bliver samfundsøkonomisk mere rentabelt, såfremt scenarium 1A Lunderskov – Esbjerg også realiseres, idet linje 42 Aarhus - Esbjerg i så fald kan betjenes med elmateriel.

⁹ Driftslinjerne fra København mod (Tinglev)/Padborg fortsætter til Sønderborg/Flensborg, men alene Padborg som endestation er betragtet i nærværende analyse.

Roskilde – Kalundborg

Elektrificering af denne strækning giver et samfundsøkonomisk overskud på 11,7 % i basissituationen. Der skal elektrificeres 79 km bane, hvorefter der kan køres med elmateriel på strækningen på 111 km mellem København og Kalundborg.

For strækningen gælder, at den samfundsøkonomiske værdi stiger, såfremt hele strækningen elektrificeres, i stedet for at afslutte elektrificeringen i Holbæk. Hvis elektrificeringen afsluttes i Holbæk skal mange passagerer skifte tog, hvilket giver et samfundsmæssigt tab.

Køge Nord – Næstved

Elektrificering af denne strækning giver et samfundsøkonomisk overskud på 7,3 % i basissituationen. Der skal elektrificeres 45 km, hvorefter der kan køres med elmateriel på den 81 km lange strækning København – Køge Nord – Næstved.

For strækningen gælder, at den er enkel og forholdsvis billig at elektrificere, idet strækningen er enkeltsporet med et simpelt layout.

2.3.3 De mindre-rentable scenarier

Aarhus – Aalborg

Strækningen er forholdsvis lang og anlægsudgiften er således temmelig høj samtidig med, at passagergrundlaget er forholdsvis beskedent. Set ud fra en marginalbetragtning er en elektrificering således mindre rentabel. Forrentningen er dog på 2,9 % i basissceneriet og 3,8 % i visionssceneriet.

Bemærk, at der i den anvendte passagerprognose indgår effekter fra en hastighedsopgradering af delstrækningen Hobro – Aalborg.

Elektrificering af strækningen kan gennemføres af andre hensyn, idet elektrificeringen vil eliminere togskifte i Aarhus for gennemrejsende passagerer til f.eks. Randers og Aalborg.

2.3.4 De ikke-rentable scenarier

Fire af de analyserede scenarier skiller sig ud ved, at de ikke er samfundsøkonomisk rentable, nemlig følgende:

1. Aalborg – Frederikshavn
2. Hobro – Frederikshavn
3. Vejle – Struer
4. Roskilde – Holbæk

Aalborg – Frederikshavn

Passagergrundlaget på denne strækning er mindre end på strækningen Aarhus – Aalborg, og ud fra en marginalbetragtning er det således ikke rentabelt at elektrificere.

Hobro - Frederikshavn

En elektrificering af denne strækning medfører ingen fordele ved at kunne køre på allerede elektrificerede strækninger, og da passagergrundlaget samtidig er beskedent, er en elektrificering således urentabel.

Vejle – Struer

En elektrificering af denne strækning forudsætter en elektrificering af strækningen Fredericia – Aarhus, men set ud fra en marginalbetragtning er en elektrificering ikke rentabel, selvom strækningen er enkeltsporet med et simpelt layout. Det skyldes, at passagertallet er beskedent

Roskilde – Holbæk

Der er tilstrækkeligt mange passagerer på denne strækning til en elektrificering, men på grund af, at strækningen Holbæk – Kalundborg ikke påregnes elektrificeret, medfører scenariet, at forholdsvis mange passagerer skal skifte i Holbæk, hvilket medfører et så stort økonomisk tab, at scenariet bliver urentabelt.

Det gælder for ovennævnte scenarier, at der skal store gevinster til, før de, i sig selv, kan få en positiv nutidsværdi.

Selvom samfundsøkonomien er bedre i visionssituationen for de fleste af ovennævnte strækninger, er det ikke nok til at forbedre resultaterne særlig meget. Den kvalitative konklusion for de analyserede scenarier er således den samme i visionssituationen som i basissituationen.

2.3.5 Følsomhedsberegninger

Der er gennemført følsomhedsberegninger, som er nærmere beskrevet i kapitel 18, af de analyserede scenarier.

Overordnet set viser de, at:

- De samfundsøkonomiske resultater for de fire rentable scenarier: 1A Lunderskov – Esbjerg, 1B Fredericia - Aarhus, 2D-1 (Roskilde) – Holbæk - Kalundborg og 1E Køge Nord - Næstved, er forholdsvis robuste. Der skal således ændres en del på parametrene, for at konklusionerne ændrer sig.
- For de fem scenarier, der ikke er samfundsøkonomisk rentable: 1C Hobro - Frederikshavn, 1D Roskilde - Holbæk, 2B-1 Aarhus – Aalborg, 2B-2 Aalborg – Frederikshavn og 2B-3 Vejle - Struer, gælder også, at resultaterne er temmelig robuste over for ændringer i de vigtigste parametre.

2.3.6 Effekten for Statskassen

Scenarierne deler sig op i tre grupper, når man ser på effekterne for statskassen, jf. nedenstående tabel.

Den ene gruppe er de scenarier, der har en positiv virkning på Statskassen, nemlig:

- Lunderskov – Esbjerg
- Fredericia – Aarhus
- Roskilde - Holbæk
- Køge Nord – Næstved

Den anden gruppe er de scenarier, der vil belaste Statskassen, nemlig:

- Aarhus - Aalborg
- Aalborg – Frederikshavn
- Vejle – Struer
- Hobro – Frederikshavn
- Holbæk - Kalundborg

Man får således samme rangordning af scenarierne, uanset om man ser på samfundsøkonomi, eller om man ser på betydningen for Statskassen.

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi, mio. kr.	
		Basis	Vision
1A-1	Lunderskov – Esbjerg 2015	770	991
1A-2	Lunderskov – Esbjerg 2022	663	828
1B	Fredericia – Aarhus	1.452	2.169
2B-1	Aarhus – Aalborg	-557	-457
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	-597	-460
2B-3	(Fredericia – Aarhus) og Vejle – Struer	-398	-262
1C	Hobro – Frederikshavn	-1.047	-875
1D	Roskilde – Holbæk	240	420
2D-1	Holbæk – Kalundborg	-82	-169
1E	Køge Nord – Næstved	155	229

Tabel 3: Nutidsværdier for statskasseeffekten for de analyserede scenarier.

2.3.7 Det relevante elektrificeringsomfang og timingen af det

Udover den positive samfundsøkonomi medfører elektrificering af strækningerne Lunderskov - Esbjerg og Roskilde – Kalundborg nogle yderligere fordele, som ikke er medregnet i den samfundsøkonomiske analyse:

- Medvirken til afhjælpning af DSB's materielmangel
- Frigørelse af dieselmateriel til brug på andre strækninger

Ud fra en økonomisk synsvinkel kan der således blive tale om at elektrificere følgende strækninger, jf. tabel 4 herunder:

- Lunderskov - Esbjerg
- Fredericia – Aarhus
- Roskilde – Kalundborg
- Køge Nord - Næstved

Såfremt det vurderes, at der er andre grunde til at elektrificere strækningen Aarhus-Aalborg, opnås en samfundsøkonomisk forrentning på 2,9 % i basissituationen og 3,8 % i visionsituationen..

Skal en elektrificering gennemføres er det vigtigt at fastlægge, hvornår de enkelte strækninger skal elektrificeres, hvilket i praksis også hænger sammen med behovet for nyt materiel.

Analyserne af samfundsøkonomi og konsekvenserne for Statskassen tager udgangspunkt i, dels at der bliver elektrificeret i 2022 og dels at der skal købes nyt materiel.

DSB mangler – og kommer yderligere til at mangle – materiel, hvilket får betydning for, hvornår elektrificering mest hensigtsmæssigt kan gennemføres.

I Tabel 4 er angivet de tidligst mulige etableringsår for elektrificering af de økonomisk mest interessante strækninger:

Scenarium	Strækning	Etableringsår	Investering [mio. kr.]
1A-2	Lunderskov – Esbjerg	2015	1.184
1E	Køge Nord – Næstved	2018	620
2D-1	Roskilde – Kalundborg	2021	1.155
1B	Fredericia – Aarhus	2020	2.224
2B-1	Aarhus-Aalborg	2020	2.663

Tabel 4: Tidligst mulig elektrificering

Gennemførelsen er her afstemt efter tidspunktet for udrulning af signalprogrammet.

Såfremt strækningerne Køge Nord – Næstved, Roskilde – Kalundborg samt Lunderskov – Esbjerg bliver elektrificeret som angivet i tabellen, passer det med, at der alligevel skal købes nyt materiel på det tidspunkt.

For Lunderskov Esbjerg er der angivet et ibrugtagningsår forud for signalprogrammet, idet strækningen er delvist immuniseret. Afventes signalprogrammet vil det tidligst mulige etableringsår være 2020.

Elektrificering af strækningen Køge Nord - Næstved er styret af Ny bane København – Ringsted, således at elektrificeringen af denne strækning tages i brug samtidig med ibrugtagningen af Ny bane København – Ringsted. Strækningen er desuden en 'early deployment'-strækning for Signalprogrammet, hvorfor elektrificeringen kan være gennemført 1 år efter det nye signalsystem er udrullet.

På strækningerne Fredericia - Aarhus og Aarhus - Aalborg er ikke indregnet effekten af evt. afskrivning af IC4-materiel ved elektrificering i 2020.

Såfremt IC4-togene bliver leveret og sat i drift som planlagt på strækningen København – Aarhus –, Aalborg vil det først være relevant at overveje at elektrificere strækningerne Fredericia – Aarhus og Aarhus – Aalborg på et senere tidspunkt. Det kan være når IC4-togene er teknisk afskrevet, eller hvis

IC4-togene på et tidspunkt bliver anvendt på nogle af Banedanmarks mindre trafikerede strækninger.

Situationen vedrørende IC4 er derfor en væsentlig usikkerhedsfaktor for den optimale gennemførelsesplan for elektrificeringen, for så vidt angår strækningerne Fredericia – Aarhus og Aarhus – Aalborg. For øvrige strækninger, hvor elektrificering er vurderet rentabelt, er behovet for nyanskaffelse af materiel med den nuværende og forventede efterspørgsel så stort, at de ikke er påvirket af IC4-problemstillingen.

2.3.8 Lunderskov - Esbjerg

For strækningen gælder, at en elektrificering, før udrulningen af Signalprogrammet, samfundsøkonomisk set er nogenlunde neutral.

Der gælder også det forhold, at banens elektrificering har særlig status jf. den politiske aftale *Bedre mobilitet* ref. [16], hvor følgende angives: *Parterne er principielt enige om at gennemføre en elektrificering af strækningen Esbjerg – Lunderskov. Der tages endelig stilling hertil i efteråret 2011.*

Banen synes mest hensigtsmæssigt elektrificeret efter scenarium 1D; altså efter afslutningen af elektrificeringen af Sjælland jf. kapitel 19.

Elektrificering før udrulningen af Signalprogrammet kan ske hensigtsmæssigt, såfremt andre kriterier lægges til grund, som f.eks. den anstrengte materiel-situationen eller en anden prioritering af elektrificeringsplanen, men det skal pointeres, at der i så fald skal foretages immuniseringsarbejder, som det er beskrevet i afsnit 9.4.

Linje 13 København – Esbjerg er omfattet af IC4-planerne, men der kan med fordel købes andet materiel til denne linje, idet IC4-materiellet i så fald kan anvendes i scenarium 1B Fredericia - Aalborg.

2.3.9 Fredericia – Aarhus

For strækningen gælder, at elektrificeringen, såfremt samfundsøkonomien alene lægges til grund, bør gennemføres i afhængighed af IC4-materiellet.

Såfremt IC4-materiellet ikke leveres som forudsat eller disponeres på andre strækninger kan elektrificeringen med fordel gennemføres allerede i 2020.

Driftslinjerne 11 København - Aalborg, 12/14 København – Aarhus er omfattet af IC4-planerne, og såfremt strækningen elektrificeres forinden IC4-materiellet forfalder til reinvestering, bliver dette materiel til overs.

I scenariet vil mange gennemrejsende passagerer skulle skifte tog på Aarhus H, hvilket vil opleves som en kvalitetsforringelse, hvorfor en såkaldt 'skiftestraf' er indregnet i de samfundsøkonomiske beregninger. Rejsetiden forøges imidlertid ikke, da alle gennemkørende tog, uanset elektrificering eller ej,

vender køreretning på Aarhus H, og den tid det tager at vende køreretning forudsættes anvendt til togskifte¹⁰.

Da driftslinjerne afkortes i Aarhus, vil det medføre udgifter af en størrelsesorden på ca. 125 mio. kr. til udvidelse af kapaciteten på Aarhus H, som omtalt i afsnit 16.8 og afsnit 17.8.4. Disse udgifter er indregnet i anlægsoverslaget.

2.3.10 Roskilde – Kalundborg

For strækningen gælder, at den for tiden opgraderes af projektet Udbygning af Nordvestbanen omtalt andetsteds. Det anbefales, at en elektrificering etableres således, at den kan tages i brug 1 år efter Signalprogrammets udrulning på strækningen.

Banen anbefales elektrificeret i sammenhæng med scenarium 1E, således at elektrificeringen af Sjælland kan afsluttes.

Der skal under alle omstændigheder indkøbes nyt materiel til driftslinjerne 31/33 København – Kalundborg samt 32/34 København – Holbæk, idet linjerne ikke er omfattet af IC4-planerne; en elektrificering af strækningen kan således ske uafhængig af disse.

En fordel ved at medtage strækningen i det rentable elektrificerede net er, at der i så fald ikke længere er dieseldrift på Banedanmarks (og DSB's) sjællandske driftslinjer til/fra København.

Såfremt strækningen Roskilde - Holbæk elektrificeres mens strækningen Holbæk – Kalundborg ikke gør, skal sidstnævnte bane i så fald både overgå til en anden driftsform og betjenes af dieselmateriel, hvilket vil medføre andre komplikationer, som ligger uden for analysens rammer¹¹.

2.3.11 Køge Nord – Næstved

En elektrificering foreslås etableret således, at den kan tages i brug samtidig med projektet Ny bane København – Ringsted, hvilket passer med 1 år efter Signalprogrammets udrulning på strækningen. Da banen er ukompliceret vurderes dette som muligt.

Der er en grænseflade til følgende anlægsprojekter:

- I Køge Nord er der en grænseflade til projektet Ny bane København – Ringsted, som etablerer forbindelsen Køge Nord – Køge, men som ikke elektrificerer denne.

¹⁰ Togsiftetiden anslås til 8 min., som er den tid som er afsat til at vendekøreretning i køreplanen.

¹¹ En eventuel samdrift af strækningen Holbæk – Kalundborg med Regionstog, som er operatør af to andre baner udgående fra Holbæk vurderes som nærliggende, men behandlingen af dette spørgsmål ligger uden for rammerne af analysen og behandles derfor ikke yderligere.

- I Næstved er der en grænseflade til projektet Femern Bælt danske jernbanelandanlæg, som elektrificerer Næstved station.

Der skal under alle omstændigheder indkøbes nyt materiel til driftslinjerne 35/36 København – Køge Nord - Næstved, idet linjerne ikke er omfattet af IC4-planerne; en elektrificering af strækningen kan således ske uafhængig af disse.

Elektrificering af strækningen medfører en ændret driftsform på strækningen Roskilde – Køge. En mulighed er at delstrækningen Roskilde – Køge betjenes som lokalbane i samdrift med Østbanen.

2.3.12 Det samlede elektrificerede banenet

Såfremt ovenstående lægges til grund, består det samlede elektrificerede banenet således af følgende strækninger:

1. Det eksisterende net Helsingør/Øresund – Padborg/Sønderborg
2. Ny bane København – Ringsted
3. Ringsted – Femern Bælt
4. Lunderskov – Esbjerg
5. Fredericia - Aarhus
6. Roskilde – Kalundborg
7. Køge Nord – Næstved
8. (Aarhus-Aalborg)

Det samlede elektrificerede banenet er illustreret i Bilag 3.

Det elektrificerede net foreslås, i afhængighed af de vedtagne projekter, etableret i nedennævnte sekvens og etableringsår.

Sekvens	Strækning	Etableringsår	Bemærkninger
0	Lunderskov – Esbjerg	2015	
1	København – Køge Nord – Ringsted	2018	Etableres af anlægsprojektet Ny bane København – Ringsted
2	Køge Nord – Næstved	2018	-
3	Ringsted – Femern Bælt	2020	Etableres af anlægsprojektet Femern Bælt jernbane-landanlæg
4	Roskilde – Kalundborg	2021	-
5	Fredericia – Aarhus	2020	Etableringsår skal ses i sammenhæng med IC4
6	(Aarhus-Aalborg)	(2020)	(Etableringsår skal ses i sammenhæng med IC4)

Tabel 5: Elektrificeringsplan, sekvens og etableringsår

Det ses, at strækningen Esbjerg-Lunderskov foreslås elektrificeret først, at banerne på Sjælland foreslås elektrificeret umiddelbart efter, og at strækningen Fredericia – Aarhus og eventuelt Aarhus-Aalborg foreslås elektrificeret når det er hensigtsmæssigt i forhold til udnyttelsen af IC4-materiellet.

For uddybning af elektrificeringsplanen, se kapitel 19.

2.4 Konsekvenser af elektrificering

Lægges ovenstående til grund, skal der elektrificeres ca. 429 km bane, hvilket vil føre til en række fordele og ulemper.

Af fordele gældende for det elektrificerede net ses følgende, i ikke-prioriteret rækkefølge:

1. Den danske transportsektors samlede CO₂-udledning falder med ca. 2 %, da CO₂-udledningen fra drift af det elektrificerede banenet bliver omfattet af kvotesystemet¹².
2. CO₂-udledningen fra det elektrificerede net kan sættes til 0.
3. Støj på perroner, stationer og klargøringsterminaler formindskes
4. Emissionsproblematikken på stationer på det elektrificerede net forsvinder
5. Lavere køretider eller bedre rettidighed muliggøres
6. Der bliver adgang til et langt større materielmarked
7. Der bliver mulighed for stordrift for flere operatører
8. Regenerativ bremsning giver mulighed for energibesparelser
9. Der kan opnås driftsbesparelser for operatørerne

Endelig bringes Danmark nærmere mod den klimapolitiske målsætning, at landet skal være uafhængigt af fossile brændsler senest i 2050.

Det bemærkes, at fordelene angivet under 3, 4 og 5 også gælder for det eksisterende elektrificerede net.

For at opnå ovenstående fordele kræves en infrastrukturinvestering på i alt ca. 5,2 mia. kr.

Elektrificeringen vil også føre til udfordringer i forhold til at:

1. Landskab, natur og visuelle forhold påvirkes.
2. Passagerer gennem Aarhus H skal skifte.
3. Passagerer gennem Vejle til/fra Herning/Holstebro/Struer) skal skifte.

Såfremt der også elektrificeres på den 140 km strækning mellem Aarhus og Aalborg skal der investeres yderligere 2,7 mia. kr. I denne situation elimineres togskiftet i Aarhus.

¹² Det er her en forudsætning, at CO₂-kvoten er fuldt udnyttet.

2.5 Materielstrategi

Som angivet ovenfor er det afgørende for den samfundsøkonomiske værdi af det samlede elektriske banenet, at indkøb af elmateriel tilrettelægges i sammenhæng med en elektrificering.

Indkøb af elmateriel til de strækninger, som foreslås elektrificeret i nærværende analyse, bør derfor ske i tæt sammenhæng med det materielindkøb der bliver nødvendigt i forbindelse med færdiggørelsen af projekterne Ny bane København – Ringsted og Femern Bælt danske jernbanelandanlæg.

Der er udarbejdet et forslag til en materielstrategi, som nærmere omtales i kapitel 20, ligesom Bilag 18 angiver forslaget til denne strategi i detaljer.

Materielstrategien er bl.a. udviklet på baggrund af operatøren DSB's materiel-situation, som er præget af udpræget materielmangel, samt ovenstående elektrificerede banenet og etableringsår. På baggrund af de scenarier der er fundet samfundsøkonomisk mest rentable, er der i materielstrategien foreslået en indkøbsplan, som angiver forslag til indkøbspakker baseret på de forskellige scenariers behov, eksisterende materiel og generel passagertilvækst. Indkøbspakkerne er delt op i tre dele som dækker de forskellige behov.

2.6 Samtidig udrulning

Udrulning af Signalprogrammet og etablering af kørestrømsarbejderne knyttet til en elektrificering samtidig på samme strækning må frarådes, idet en række forhold taler imod. Navnlig bør det forhold, at Signalprogrammets sikre gennemførelse er af afgørende betydning for banens drift og -renommé tillægges stor betydning, hvorfor gennemførelse af Signalprogrammet ikke bør kompliceres eller bringes i afhængighed af andre projekter.

Det vurderes, at en elektrificering ikke bør lægges tættere på Signalprogrammet end 1 år, således at ibrugtagningen af en givet elektrificeret strækning først kan ske tidligst 1 år efter udrulningen af Signalprogrammet.

Derimod er der intet som taler imod, at energiforsyningsarbejder m.m. knyttet til elektrificering kan gennemføres i samme tidsrum som udrulningen af Signalprogrammet på samme strækning.

Konkret vurderes det som mulig at udføre bl.a. følgende arbejder samtidigt med udrulningen af Signalprogrammet:

- Opmålinger
- Geotekniske- og andre forundersøgelser
- Etablering af banetransformere og fordelingsstationer
- Fritrumsprofilarbejder (hovedsageligt broarbejder)

Forholdet er nærmere belyst under afsnit 9.5.

3 Baggrund

3.1 Generelt

Nærværende kapitel redegør nærmere for analysens baggrund med hensyn til følgende:

- Projektet
- Infrastruktur
- Trafik
- Elektrificering
- Kommissorium

3.2 Projektbaggrund

Projektet tager udgangspunkt i de to politiske aftaler [15] og [16] samt rapporten fra Transportministeriet ref. [17].

3.3 Infrastrukturbaggrund

Projektet skal principielt basere sig på den eksisterende infrastruktur, som den foreligger, og der indregnes således ikke omkostninger til f.eks. hastighedsopgraderinger, funktionalitetsforbedringer eller moderniseringer i øvrigt.

Projektet skal dog indregne omkostninger til infrastrukturmodifikationer af hensyn til overholdelse af love, standarder, normer og anlægsforskrifter som elektrificeringen nødvendiggør.

3.4 Trafikal baggrund

Projektet tager udgangspunkt i køreplanerne fra Banedanmarks projekt Kapacitet 2020, som opererer med 2 situationer, nemlig følgende:

- Basissituationen: hvor passagertallene er estimeret på basis af køreplanen i projektet *Kapacitet 2020*¹³
- Visionssituationen: hvor passagertallene opskrives, så de i 2030 udgør dobbelt så mange passagerkilometer som i 2008

¹³ Se Bilag 22

Følgende generelle vækstrater er benyttet mht. udviklingen i antallet af togrejser¹⁴.

Beregnings-situation	Grundlag	Udgangsåar for passager-tal	Passagervækst p.a. 2020 – 29	Passagervækst p.a. 2030 - 39
BASIS	Systemkøreplan 2020	2020	1,5 %	1 %
VISION	Systemkøreplan 2020	2030	-	1 %

Tabel 6: Illustration af den trafikale baggrund.

Godstrafikken er ikke medtaget i beregningen, hvilket skyldes følgende forhold:

- At over 90 % af al godstrafik i Danmark er transittrafik mellem Sverige og Tyskland.
- At al transittrafik mellem Sverige og Tyskland kører på banen Øresund – Padborg.
- At al transitgodstrafik for tiden fremføres med elektrisk traktion
- At transitgodstrafikken overføres til den elektrificerede Femernforbindelse i 2020.

Forhold i forbindelse med godstrafik influerer således ikke på analysen.

3.5 Elektrificeringsbaggrund

Den overordnede tanke med elektrificering er at gøre det muligt at køre med elektrisk drevne tog i stedet for tog, der kører på dieselolie.

I dag er fjernbanen mellem Helsingør/Øresund og Padborg/Sønderborg elektrificeret, og derudover vil den nye bane mellem København og Ringsted blive elektrificeret, ligesom der i projektet Femern Bælt danske jernbanelandanlæg foretages en elektrificering af strækningen fra Ringsted til den faste forbindelse over Femern.

Det samlede banenet og de allerede elektrificerede og planlagte elektrificerede strækninger fremgår af Bilag 2.

¹⁴ Samme forudsætninger anvendes, som er lagt til grund for andre store trafik- og infrastrukturprojekter, f.eks. Ny bane København-Ringsted, Timemodellen og Femern Bælt danske jernbanelandanlæg).

For at gennemføre en elektrificering er det nødvendigt at udstyre banelinjerne med ledninger over sporene (køreledninger), som forsyner togene med elektricitet. Dette kræver en række supplerende foranstaltninger, som følger:

- Der skal være det nødvendige fritrum til ledningerne, hvilket kræver, at en række broer skal hæves, eller at banerne under dem skal sænkes.
- Der skal etableres transformer- og fordelingsstationer langs banelinjerne, og signalsystemerne skal immuniseres, så sikrings-, radio- og teleanlæg mv. ikke bliver forstyrret af elektrisk støj fra banen.
- Der skal være elektriske tog, der kan udnytte køreledningerne.

Elektrificeringen bør således ideelt set tilrettelægges, så genanskaffelse af dieselmateriel minimeres (eller undgås), ligesom der skal være materiel til rådighed, så det er muligt at køre med elektrisk materiel umiddelbart efter at de enkelte banestrækninger er blevet elektrificeret.

Elektrificering vil have en række konsekvenser, hvoraf de væsentligste er følgende:

- Eldrevet togmateriel er billigere i anskaffelse end dieselmateriel, hvilket bl.a. skyldes, at elmateriel, i den relevante kvalitet, i langt højere grad findes som færdigudviklede produkter
- Der er et større udvalg i elektrisk togmateriel på markedet.
- Driftsomkostningerne for operatørerne bliver lavere.
- Togenes energiforbrug kan nedsættes signifikant på grund af muligheden for regenerativ bremsning
- Togtrafikken gøres uafhængig af olie som primær energikilde.
- Det samlede CO₂-udslip bliver reduceret, fordi elproduktion er omfattet af kvotesystemet. En del af transportsektorens CO₂-udslip bliver således kvotebelagt.
- Banens samlede kapitalapparat bliver større og mere kompleks, hvilket fører til højere vedligeholdelsesomkostninger.
- Banen bliver mere følsom over for driftsforstyrrelser hidrørende fra infrastrukturen (f.eks. strømsvigt), men effekterne for det rullende materiel er modsat rettede, idet elmateriel har bedre driftsstabilitet end dieselmateriel.
- Elmateriel kan accelerere hurtigere end dieselmateriel.
- Togenes støjmission ved lavere hastigheder vil blive lavere.
- Lokal udledning af emissionspartikler undgås.
- En lang række banearbejder bliver vanskeligere, da der skal tages hensyn til kørestrømssystemet.

Endvidere kan yderligere elektrificering medføre følgeinvesteringer i det eksisterende net, f.eks. i form af omkostninger til udbygning af energiforsyningen, som angivet i afsnit 16.8.

Konsekvenserne af elektrificering er således omfattende, hvilket bliver analyseret/udddybet i de efterfølgende kapitler denne rapport, og der udføres en samlet vurdering af, hvilke strækninger det samfundsøkonomisk bedst kan betale sig at elektrificere, og hvornår det i givet fald mest hensigtsmæssigt kan ske.

3.6 Kommissorium

NIRAS udarbejdede i 2009 rapporten *Fortsat elektrificering af banenettet, screeningsundersøgelse*, som behandlede fordele, ulemper økonomiske aspekter mv. på et forholdsvis overordnet niveau, men da en elektrificering kræver store investeringer, og da konsekvenserne af elektrificering er omfattende, er en screeningsundersøgelse ikke tilstrækkelig, og det er nødvendigt at analysere de mange aspekter af og elementer i elektrificering mere detaljeret forinden der træffes beslutning.

Nærværende analyse er derfor iværksat med følgende kommissorium:

Med baggrund i screeningsrapporten fra 2009, udarbejdes i fase 1 en analyse af materielforudsætninger samt trafikale, miljømæssige og økonomiske aspekter af elektrificering af banenettet. På den baggrund opstilles en mulig gennemførelsesplan for elektrificering.

Derudover analyseres omkostningerne for elektrificering af strækningen Lunderskov - Esbjerg før udrulning af signalprogrammet og besparelsen ved udrulning efter signalprogrammet vurderes.

Materielforudsætninger og strategi.

- Analysen skal afdække sandsynlige anskaffelses- og driftsomkostninger for sammenlignelige el- og dieselmaterieltyper, som vil være velegnede til indsættelse på de relevante strækninger samt til at indgå i det samlede trafiksystem.
- Der opstilles et sandsynligt anskaffelsesprogram for nyt materiel under hensyntagen til skrotning af det nuværende dieselmateriel og udrulning af IC4 samt behovet for anskaffelse af mere materiel. Behovet for materiel vurderes på baggrund af den forudsatte trafikvækst som følge af besluttede projekter og samfundsudvikling i øvrigt frem til 2020 og den politiske vision om fordobling af transportarbejdet på bane frem til år 2030.

Trafikale aspekter

- Analysen skal afdække elektrificeringens betydning i forhold til Timemodellen, herunder sammenhængen mellem eldrift og reduceret rejsetid.
- Analyse af frafald af passagerer ved eventuelle afbrydelser af direkte togforbindelser såvel midlertidigt som permanent pga. skifte fra el- til dieseldrift.
- Afdækning af andre trafikale aspekter, herunder regularitetseffekter.

Miljømæssige aspekter

- Analysen skal på et overordnet niveau indeholde en opgørelse over brutto/nettoenergiforbrug og opgørelse af CO₂-effekten, herunder ændrede materielforudsætninger.
- Analysen skal indeholde følgende scenarier:
 - Den fysiske udledning af CO₂.
 - Påvirkning af Danmarks CO₂-regnskab under det nuværende kvotesystem.
 - Vurdering af andre miljøeffekter såsom støj og partikelforurening samt påvirkning af landskab og natur m.v.

Økonomiske aspekter og gennemførelsesstrategi

- Fremtidige driftsomkostninger for såvel køreledningsanlæg som materiel
- Vurdering af driftsomkostninger ved forskellige scenarier for udviklingen i olie- og elpriser
- Samfundsøkonomisk analyse af elektrificeringen af alle delstrækninger hhv. det optimale elektriske net.
- Afdækning af den optimale gennemførelsesstrategi (rækkefølge og udførelsesår) under hensyn til anlægsudgifter og reinvesteringsbehov.

Anlægsoverslag Lunderskov - Esbjerg

- Udarbejdelse af anlægsoverslag med afsæt i priser fra det igangværende arbejde med Femern landanlæg.
- Anlægsoverslagene for etablering af køreledninger og tilpasning af infrastrukturen baseres på en forudsætning om gennemførelse efter udrulning af det nye signalsystem, hvorved immunisering af bestående signalanlæg kan undgås.

4 Elektrificeringsstatus

4.1 Generelt

Nærværende kapitel indeholder en redegørelse for følgende:

- Elektrificeringsstatus i Danmark
- Elektrificeringsstatus i Europa
- Sammenhæng til nabobaner

4.2 Status for elektrificering i Danmark

Elektrificering af fjernbanenettet blev vedtaget i Folketinget ved lov nr. 201 af 23. maj 1979, i hvilken det blev fastslået, at det daværende DSB's fjernbanenet skulle elektrificeres med vekselstrøm og systemet 25 kV 50 Hz¹⁵.

Loven giver bemyndigelse til at elektrificere DSB's fjernbanenet, i alt 1.120 km. Af forskellige årsager er elektrificeringen ikke gennemført fuldstændigt og status er, at elektrificeringsomfanget på fjernbane- og regionalbanenettet i 2011 andrager ca. 470 km bane¹⁶, svarende til ca. 42 % af dette net.

Se Bilag 1 for en oversigt over nuværende elektrificeringsomfang.

4.3 Status for elektrificering i Europa

Elektrificering af det europæiske banenet begyndte i begyndelsen af det 20. århundrede, og var indtil midt i 1950'erne, hvor dieseldrift i større omfang blev mulig, det eneste betydningsfulde alternativ til dampdriften.

Adgang til billig energi fra vand- eller atomkraft (og eventuelt manglen på adgang til kul eller olie) har i mange lande været et væsentligt argument for elektrificering, og i modsætning til Danmark er elektrificeringen i andre europæiske lande fortsat, på trods af mulighederne for dieseldrift.

I Bilag 24 er udbredelsen af elektrificering på det samlede jernbanenet i Europa ved udgangen af 2005 [39] angivet. Elektrificeringsudbredelsen i Danmark er angivet til 28¹⁷ % af det samlede net¹⁸.

Som det fremgår, er det kun i få lande, at elektrificerede jernbaner har lavere udbredelse end i Danmark. Schweiz ligger højest med en elektrificeringsudbredelse på 100 %.

¹⁵ Hvilket er i modsætning til Sverige og Tyskland, som af historiske årsager anvender systemet 15 kV 16 2/3 Hz.

¹⁶ Inklusiv Øresundsforbindelsen fra København H – Peberholm samt Hvidovre Fjern – Kalvebod.

¹⁷ Angivelsen er korrekt for såvidt hele banenettet betragtes, men såfremt alene Banedanmarks strækninger betragtes er andelen ca. 34 %.

¹⁸ Det samlede net inkluderer i denne sammenhæng såvel hoved-, regional-, lokal- og S-baner.

Lande som f.eks. Tyskland, Holland, Belgien, Sverige og Italien har en højere udbredelse af elektrificering end Danmark målt i procent af det samlede banenet. I disse lande er intercitylinjerne fuldt elektrificeret, mens der også anvendes dieselmateriel på regional- og lokalbaner.

Elektrificering i Danmark svarer i høj grad til situationen i Storbritannien, hvor elektrificeringen er igangsat sent, og hvor den kun omfatter en begrænset del af banenettet. Som i Danmark undersøges det for tiden i Storbritannien, om den eksisterende elektrificering skal fortsætte¹⁹.

4.4 Sammenhæng til nabobaner

4.4.1 Interoperabilitet og det transeuropæiske jernbanenet

EU arbejder for at etablere et fælleseuropæisk jernbanenet, hvor tekniske og regelbaserede forhindringer for en sikker og uhindret bevægelighed af togtrafik er fjernet. Den sikre og uhindrede trafik (navnlig over grænser) betegnes som interoperabel trafik.

Med henblik på at opnå den ønskede operationalitet er der udarbejdet såvel interoperabilitetsdirektiver som Tekniske Specifikationer for Interoperabilitet (TSI'er) knyttet til direktiverne.

Endvidere er der udpeget et transeuropæisk jernbanenet også kaldet TEN²⁰-jernbanenettet, som er en delmængde af det transeuropæiske transportnet TEN-T, som omfatter bl.a. veje, jernbaner og vandveje.

De enkelte EU-medlemsstater er forpligtet til at arbejde hen imod, at deres del af TEN-jernbanenettet, samt baner med forbindelse til dette, opfylder kravene opstillet i TSI'erne; således at de forhindringer, der står i vejen for den frie konkurrence på jernbanen, fjernes.

4.4.2 Interoperabilitetsdirektiverne

I direktivet 2008/57/EC samles de eksisterende regler for det interoperable jernbanesystem i EU (TEN-jernbanenettet) for henholdsvis højhastighedsbaner (96/48/EC) og konventionelle baner (2001/16/EU), samt ændringerne til disse direktiver fra direktiv 2004/50/EC.

Direktivet beskriver bl.a. forhold angående Kyoto-aftalen²¹, hvor EU har forpligtet sig til at reducere udledningen af CO₂, hvilket bl.a. kan opnås ved overflytning af trafik fra vej og luftfart til jernbanen.

¹⁹ Der er i foråret 2011 taget beslutning om at elektrificere nogle specifikke strækninger vest for London.

²⁰ Trans European Network

²¹ Direktiv 2008/57/EC – punkt 3.

Direktiverne stiller ingen formelle krav om, at eksisterende TEN-strækninger uden kørestrøm skal elektrificeres, idet det er køretøjerne, som skal opfylde de tekniske og regelbaserede krav, den pågældende banestrækning stiller, men i praksis er det dog sådan, at langt størstedelen af det eksisterende TEN-net er elektrificeret.

Det er heller ikke et krav i forbindelse med direktiverne, at lande som allerede har etableret kørestrømsystemer skal skifte til et bestemt system, men for højhastighedsstrækninger gælder, jf. tabel 4.2.2 i TS ENE HS, at der skal elektrificeres med systemet 25 kV 50 Hz medmindre særlige forhold gør sig gældende²².

4.4.3 TEN-jernbanenettet

TEN-jernbanenettet skal sikre EU's indre marked mobilitet af høj kvalitet for passagerer og gods på acceptable økonomiske vilkår, og består af såvel højhastighedsbaner som konventionelle strækninger.

I Danmark er følgende baner udpegede til at udgøre det danske TEN-jernbanenet:

1. Øresund – København - Fredericia/Taulov-Padborg/Sønderborg
2. Fredericia – Aarhus H – Aalborg – Frederikshavn
3. Lunderskov – Esbjerg
4. Ringsted – Rødbyhavn
5. Hjørring – Hirtshals
6. Nykøbing Falster – Gedser
7. København - Klampenborg

Af de ovennævnte strækninger er alene strækning 1 elektrificeret jf. Bilag 1, mens driften på strækning 6 er nedlagt.

4.4.4 Grænseoverskridende trafik

1) Eksisterende forhold

Den grænseoverskridende trafik til/fra Danmark domineres af godstransport, hvorimod den internationale passagertrafik, med trafikken over Øresund som en markant undtagelse, er af begrænset betydning.

Den betydningsfulde del af den grænseoverskridende godstrafik (mere end 90 %) køres via korridoren Øresund-Padborg, og næsten al denne trafik fremføres med el-traktion, idet såvel Sverige som Tyskland har elektrificeret hele vejen fra de betydningsfulde industricentre til Øresund hhv. Padborg.

2) Fremtidige muligheder

²² Tabellen angiver: I lande med netværk, der allerede benytter en energiforsyning på 15 kV AC, 16 2/3 Hz, kan dette system benyttes til nye strækninger. Samme system kan også anvendes i nabolande, hvis det er økonomisk forsvarligt.

En elektrificering af en større del af det danske net giver i større grad mulighed for at betragte Banedanmarks net som en del af det nordeuropæiske net, hvilket giver driftsfordele for operatørerne, navnlig med hensyn til den grænseoverskridende trafik. Årsagen er, at de betydende baner, som støder op til Banedanmarks net, er elektrificerede eller påregnes at blive elektrificerede.

Forskellige kørestrømsystemer medfører ikke længere problemer mht. interoperabiliteten, idet 2-systemstog til 25 kV/50 Hz hhv. 15 kV/16 2/3 Hz i dag er teknisk uproblematisk jf. f.eks. Øresundstogens og DB Schenkers lokomotivers uproblematisk passage af den tekniske systemgrænse 25kV 50 Hz / 15 kV 16 2/3 Hz ved Lernacken. Se venligst afsnit 6.4.3.

5 Trafikale- og tekniske muligheder

5.1 Generelt

Nærværende kapitel indeholder en redegørelse for følgende:

- Trafikale muligheder
- Tekniske muligheder
- Markedsforhold

5.2 Trafikale muligheder

Alt andet lige har elmateriel følgende tre trafikale fordele frem for dieselmateriel:

1. Bedre acceleration eller rettidighed
2. Normalt bedre pålidelighed
3. Lavere støjniveau ved lave hastigheder

Ad 1) Acceleration

Accelerationsfordelen betyder, at en elektrificering kan medføre enten en køretidsbesparelse eller en bedre rettidighed (med samme køreplan som et tilsvarende dieselmateriel).

Til belysning af dette er trafikken simuleret med en egentlig køretidsberegning²³ på to konkrete strækninger, med to typer næsten ens materiel i henholdsvis en diesel- og en elektrisk version. Konklusionen er, at der er en køretidsgevinst ved at skifte til elektrisk drift, hvilket er sammenfaldende med angivelserne bl.a. fra [30] og [31].

Gevinsten er stærkt afhængig af kørselsmønsteret, idet gevinsten hovedsagelig, men ikke udelukkende, er forbundet med acceleration ud over initialaccelerationen²⁴. Ved trafik med standsning ved alle stationer, eller en strækning med mange faste hastighedsnedsættelser, kan fordelene derfor være betydelig, mens den ved gennemgående trafik, på en strækning uden faste hastighedsnedsættelser, som regel er marginal. Der er i de foretagne samfundsøkonomiske beregninger ikke indregnet effekt fra en sådan køretidsgevinst, da realiseringen af denne gevinst vil afhænge af en del andre faktorer, men en elektrificering åbner muligheden.

²³ Køretidsberegningen er foretaget af Trafikstyrelsen.

²⁴ 'Alt andet lige' betyder elmateriellets større effekt, at accelerationsforløbet, efter igangsætning, sker hurtigere.

Følgende kan lægges til grund for betragtningerne angående danske forhold:

- Ved intercitydrift kan køretidsforskellen udgøre 2 - 4 %
- Ved regionaltogdrift kan køretidsforskellen udgøre 5 - 15 %

Ovenstående angivelser er fundet på basis af køretidsberegninger for intercitystrækningen København – Aarhus H og regionaltogstrækningen København – Kalundborg, se Bilag 17.

Køretidsbesparelsen øges med højere maksimalt tilladt strækningshastighed og/eller hyppige standsninger/hastighedsnedsættelser.

Alt andet lige betyder signifikante køretidsbesparelser (eller mulighederne for samme) følgende muligheder:

- At passagerantallet stiger
- At materielbehovet formindskes
- At rettidigheden forbedres
- At flere standsningssteder kan betjenes
- At personaleforbrug formindskes

Ikke alle fordele kan dog opnås samtidig.

Ad 2) Bedre pålidelighed

Et omfattende studie fra Storbritannien, hvor pålideligheden af dieselmateriel og elektrisk materiel er sammenlignet, er gennemgået. Studiet omfatter 1.500 materielenheder fra et større antal operatører.

Studiets samlede konklusion er, at antallet af fejl der forårsager en væsentlig forsinkelse er ca. 80 % højere for diesel- end for elmateriel.

En 'ny' fejltype, der introduceres med elektrisk drift, er risikoen for køreledningsnedrivning. Denne type uheld får altid opmærksomhed i medierne, fordi en køreledningsnedrivning næsten altid medfører omfattende driftsforstyrrelser²⁵. Totalt set er påvirkningen af trafikken imidlertid af mindre betydning end et stort antal materielle fejl, idet fejltypen er sjælden.

Det kan tilføjes, at Banedanmark/DSB i færd med at etablere en pantograf-overvågning, og at dette tiltag forventes at nedbringe antallet af køreledningsnedrivninger væsentligt.

Det skal endvidere tilføjes, at den bedre pålidelighed gælder for 'alt andet lige' betragtninger for sammenlignelige togenheder, og at betragtningerne kun gælder togenhedernes traktionsudstyr.

²⁵ Da elektrificeringen af Banedanmarks F-banenet omfatter banen vest for København, hvor alle IC-tog passerer, rammer en eventuel køreledningsnedrivning også dieseldrevne IC-tog.

Ad 3) Lavere støjniveau

For dieselmaterielenheder gælder, at dieselmotoren bidrager mest til det samlede støjbillede, og at dieselmotorstøjen er mest fremherskende ved acceleration og lave hastigheder, mens hjul/skinne støjen er mere dominerende ved højere hastigheder. Ved egentlige højhastighedstog (over 200 km/h) er vindstøjen den dominerende.

Ved stilstand og lavere hastigheder, hvor hjul/skinne støjen ikke er specielt dominerende, er støjniveauet fra et elektrisk tog markant lavere end fra et tilsvarende dieselmateriel.

Ved højere hastigheder bliver hjul/skinne støjen et så dominerende element i det samlede støjbillede, at der ikke er stor forskel på el og dieselmateriel.

Det skal bemærkes, at elmateriel også har støj fra køleblæsere og lignende ved stilstand, men at bidraget er væsentligt lavere end ved tilsvarende dieselmateriel.

5.3 Tekniske muligheder

Energien fra et bremsende tog kan anvendes til traktion af andre tog, som befinder sig indenfor den samme kørestrømssektion²⁶ som dette; den såkaldte regenerative bremsning.

Regenerativ bremsning giver i princippet betydelige energibesparelsmuligheder, men benyttes alligevel ikke altid, idet der til anvendelse af princippet er knyttet nogle omkostninger ligesom der, som angivet ovenfor, helst skal være et energiforbrug indenfor kørestrømssektionen (som er ca. 15 km lang), det vil sige, at der ideelt set skal være en betydelig togtæthed.

Såfremt energien ikke kan udnyttes indenfor den enkelte kørestrømssektion kan energien tilbagesendes til det offentlige 132/150 kV net, hvilket også sker; Banedanmark modtager dog for tiden ikke betaling for dette.

Banedanmark har udført kontrollerede forsøg med regenerativ bremsning på Kystbanen, og disse har vist, at mere end 20 % af togenes bevægelsesenergi²⁷ kan tilbageføres til køreledningen.

Regenerativ bremsning benyttes for tiden af Banedanmark i vid udstrækning, og det er forventningen, at man i fremtiden bør kunne opnå betaling for den energi, som sendes tilbage i forsyningsnettet.

²⁶ Forbruget skal ske indenfor samme samme fase, som er begrænset af køreledningsnettets neutralsektioner.

²⁷ Forsøget viste, at 23 % af energien kunne tilbageføres til nettet.

5.4 Markedsforhold

Som følge af den stadige udbredelse af elektrificering på det europæiske banenet er der på markedet et bredt udvalg af elektriske lokomotiver og togenheder til såvel højhastigheds-, intercity-, og regionaltrafik.

Der er endvidere også et bredt udvalg af dieselmateriel til såvel regional- som lokaltrafik, mens udvalget med hensyn til dieselmateriel af en kvalitet, som kan anvendes i dansk intercitytrafik, er begrænset. Der er kun et beskedent udvalg af dieselmateriel til kørsel med hastigheder over 160 km/h²⁸, og et lille udbud af strækningsdiesellokomotiver til høje hastigheder.

Det vurderes som muligt at opretholde trafikken med materieltyperne IC3 og IR4 indtil et stykke efter 2020. Det vurderes endvidere som muligt at købe eller indleje materiel (enten lokomotiv og vogne eller togsæt) af en tilfredsstillende kvalitet til brug for den sjællandske regionaltrafik indtil et stykke efter 2020.

Specifikt vurderes det som muligt at benytte 2-etagers vogne af samme type som de Bombardiervogne der for tiden er indlejet, indtil dette tidspunkt.

Derimod vurderes det som betænkeligt at benytte de nuværende lokomotiver af typen ME som trækraft indtil 2020, og alternativer, f.eks. renovering eller leje af andet materiel, skal derfor vurderes.

Når man betragter markedet for elektrisk rullende materiel, er der ingen tvivl om, at det for IC- og regionaltogsmateriel gælder, at der er et væsentligt større udbud af materieltyper, og at de er bygget i et større antal serier end sammenligneligt dieselmateriel.

For lokaltogsmateriel er situationen omvendt, idet der her udbydes en lang række typer dieselmateriel.

De betragtede scenarier (navnlig begyndelsesscenarierne 1-) omfatter strækninger, der i vid udstrækning trafikeres af IC og/eller regionaltogsmateriel.

Ved kommende udbud af rullende materiel vil dette have flere positive effekter, f.eks. følgende:

- Der vil være et større antal leverandører, der vil være interesseret i at byde
- Der vil være en større erfaring hos leverandøren med at bygge tilsvarende tog
- Der vil være en større sandsynlighed for, at en eller flere leverandører kan koble produktionen af en given togordre sammen med andre ordrer af tilsvarende materiel

²⁸ Kilde [2].

Disse faktorer vil have en positiv indflydelse på følgende:

- Prisen
- Leveringstiden
- Leveringssikkerheden
- Antallet af børnesygdomme
- Pålideligheden i drift

Udtrykket 'hyldevarer' om IC- og regionaltogsmateriel er misvisende, idet hver ordre på materiel af sådanne typer er individuel, men hviler på en udstrakt grad af en gennemarbejdet teknisk basis, som man så giver sit særpræg på områder, der ikke har indflydelse på pålideligheden.

Yderligere informationer er angivet i Bilag 18.

6 Overordnede krav, grundlag og forudsætninger

6.1 Generelt

Nærværende kapitel redegør for følgende:

- Overordnede krav
- Overordnet grundlag
- Forudsætninger
- Regelværker og normgrundlag

Krav, grundlag og forudsætninger for analysen er angivet i detaljer i notatet SAE_P005 Projektgrundlag, ref. [18], og angives overordnet herunder.

6.2 Overordnede krav

Analysen har håndteret aspekter knyttet til følgende:

- Der er beregnet samfundsøkonomi for de opstillede scenarier
- Miljø- og klimaforhold, herunder støj, partikler, CO₂-udledning og -regnskab er vurderet
- Natur, landskab og visuelle forhold er vurderet på et mere overordnet niveau.
- Alle Banedanmarks ikke-elektrificerede strækninger, med undtagelse af Sydbanen (som elektrificeres som et led i Femern Bælt danske jernbanelandanlæg), er håndteret i analysen, og en afgrænsning til relevante scenarier er foretaget.
- En belysning af passagerfracfald på eventuelt fremtidige omstigningsstationer er foretaget.
- Data fra 2020-undersøgelsen med hensyn til følgende er benyttet:
 - Passagerprognoser
 - Systemkøreplan
 - Trafikale forudsætninger
- Der er opstillet følsomhedsberegninger for specifikke parametre som angivet i kapitel 1
- Elektrificering af strækningen Lunderskov-Esbjerg er vurderet såvel før som efter Signalprogrammet
- Elektrificering af øvrige strækninger er vurderet efter Signalprogrammet.
- Mulige besparelser ved samtidig udførelse med Signalprogrammet er belyst.
- Det er vurderet, om et koordineret udbud af kørestrømsanlæg for strækningerne København – Ringsted, Femern Bælt danske jernbanelandanlæg og Lunderskov – Esbjerg (og evt. andre strækninger) er muligt og fordelagtigt.

6.3 Overordnet grundlag

Overordnet set er der taget udgangspunkt i screeningsundersøgelsen af fortsat elektrificering fra 2009 [17]. Analysen bygger videre på denne undersøgelse med viden fra anlægsprojekterne Ny bane København-Ringsted, Femern Bælt danske jernbanelandanlæg samt tilgængelig viden fra anden side, herunder to tilsvarende elektrificeringsundersøgelser fra Storbritannien, nemlig [30] og [31].

6.4 Forudsætninger

6.4.1 Overordnede forudsætninger

- Elektrificering og anskaffelsesprogram for materiel er baseret på den basisprognose og vision, der er udarbejdet i projektet Kapacitet 2020, idet efterspørgslen i basisprognosen forventes realiseret i 2020, mens fordoblingen af transportarbejdet på banen er visionen frem til 2030.
- Tilrettelæggelse af fremtidige udbud behandles ikke, men evt. bindinger afledt af elektrificeringen beskrives.
- Rettidighed, herunder forhold angående uforudsete hændelser (f.eks. motornedbrud og køreledningsnedrivninger) beskrives.
- Støj og emissioner fra terminalområder (klargøringsanlæg og opstillingsspor) beskrives.
- Forhold angående drift og vedligeholdelse af såvel materiel som infrastruktur beskrives.
- Grænseflader til det nuværende kørestrømssystem, navnlig for strækningen Lunderskov - Esbjerg, beskrives.

6.4.2 Specifikke infrastrukturforudsætninger

- Signalprogrammet etablerer immuniserede sikringsanlæg, som angivet i udrulningsplanen
- Det hidtil anvendte system 25 kV 50 Hz anvendes fortsat
- Højden på alle overføringer (broer) bygget før elektrificeringsloven af 1979 er for lav. Disse broer skal som følge heraf hæves, eller banen under dem skal sænkes.
- Alle broer bygget efter implementeringen af elektrificeringsloven af 1979 har tilstrækkelig frihøjde til etablering af kørestrøm.
- Der elektrificeres langs banernes nuværende linjeføring, og der foretages ingen linjeføringsforbedringer.

6.4.3 Specifikke materielforudsætninger

- Elektriske togenheder og lokomotiver til kørsel med såvel 160 km/h som 200 km/h findes som færdigt udviklet materiel²⁹.
- Dieselmaterielenheder og lokomotiver til kørsel med 160 km/h findes som færdigt udviklet materiel.
- Dieselmaterielenheder og lokomotiver til kørsel med 200 km/h findes ikke som færdigt udviklet materiel, og skal forudsættes at være IC4.
- Kun 'rene dieselmaterielenheder/-lokomotiver eller 'rene elmaterielenheder/-lokomotiver' skal omfattes af analysen og hybridmateriel skal således ikke betragtes³⁰.
- I materielstrategien ses der både på togsæt og på løsninger med lokomotiver og vogne, som betegnes med fællesbetegnelsen *togenheder*.
- Alt fremtidigt elmateriel påregnes være 2-strøms 25 kV 50 Hz/15 kV 16 2/3 Hz
- Det forudsættes, at de nuværende operatører fortsætter med samme driftsform, som benyttes i dag

6.5 Regelværk- og normgrundlag

Regelværk- og normgrundlaget er angivet i [18].

²⁹ Termen 'hyldevare' benyttes ofte, men er misvisende, idet de enkelte operatørers togmateriel altid adskiller sig fra hinanden. De enkelte operatørers materiel kan derimod basere sig på samme færdigt udviklede materielgrundlag.

³⁰ Hybridmateriel er fravalgt på projektgruppemøde 21. marts 2011, idet sådant materiel, så vidt vides, ikke er færdigt udviklet eller i ordinær drift nogetsteds.

7 Trafikale- og tekniske kravspecifikationer

7.1 Generelt

Nærværende kapitel opstiller de trafikale- og tekniske kravspecifikationer, som projektet baseres på.

7.2 Trafikale kravspecifikationer

Der er følgende kravspecifikationer til køreledningsanlægget for hver enkelt bane betragtet i analysen.

Strækning	Scenarium	TIB ³¹ - hastighed ³² [km/h]	Specifikations- hastighed ³³ [km/h]
Køge Nord – Køge	1E	-	120
Køge – Næstved	1E	120	120
Roskilde – Kalundborg	1D/2D-1	120	160
Fredericia – Aarhus H	1B	140/160/180	200
Aarhus H – Aalborg	1C/2B-1	160/180/120	200
Aalborg – Frederikshavn	1C/2B-2	120	200
Lunderskov – Esbjerg	1A	180	200
Holstebro – Vejle	2B-3	120	200

Tabel 7: Kravspecifikationer til køreledningsanlægget.

³¹ TIB (Tekniske Informationer om Baneinfrastrukturen)

³² TIB-hastigheden er den for tiden tilladte strækningshastighed i scenariumt.

³³ Ny TIB-hastighed er den dimensionerende hastighed til kørestrømsanlægget i scenariumt.

7.3 Tekniske kravspecifikationer

Det forudsættes generelt, at kørestrømsanlægget skal specificeres, jf. kravene i projekterne Ny Bane København-Ringsted og Femern Bælt danske jernbanelandanlæg, som følger:

- For den dimensionerende hastighed 120 km/h specificeres en modificeret udgave af Banedanmarks nuværende system Bane 160, som tillader kørsel med 160 km/h. Det modificerede system Bane EU 160 tillader endvidere kørsel med Europastrømaftageren.
- For den dimensionerende hastighed 200 km/h specificeres et nyt system Bane EU 250, som tillader kørsel med 250 km/h og med Europastrømaftageren.

Årsagen til, at der allerede ved hastigheden 200 km/h vælges et system, som kan håndtere 250 km/h er følgende:

- At prisforskellen vurderes som marginal, f.eks. er mastefstanden i visse systemer til 250 km/h større end for Bane 200, hvilket reducerer virkningen af øvrige prisforskelle.
- At Banedanmark fremover kun skal operere med to systemkonstruktioner³⁴

For baner, hvor den dimensionerende hastighed er 200 km/h forudsættes således en anden og mere avanceret køreledningskonstruktion end den hidtil anvendte.

Forudsætningen er overensstemmende med udenlandske erfaringer og 'state of the art'-principper, og indeholder en margin til en fremtidig hastighedsopgradering til 160 km/h henholdsvis 250 km/h.

³⁴ Valg af system har været vurderet indgående projekterne Ny bane København-Ringsted og Femern Bælt danske jernbanelandanlæg. Specifikationen er i overensstemmelse med konklusionen fra disse projekter.

8 Elektrificeringselementer og -arbejder

8.1 Generelt

Nærværende kapitel indeholder en opstilling af elektrificeringens hovedelementer samt en beskrivelse af, hvilke arbejdsopgaver der skal udføres.

Der tages udgangspunkt i følgende:

- Banedanmarks standardsystem Bane160³⁵
- Projektet Ny bane København – Ringsted
- Benchmarkingundersøgelsen af priser på køreledningsanlæg, som for tiden sker i projektet Femern Bælt danske jernbanelandanlæg³⁶

8.2 Infrastrukturelementer

Elektrificering består principielt i, at en given banestrækning udstyres med køreledninger over sporene til forsyning af togene med elektricitet (kørestrøm) som energi, og at dette køreledningsanlæg energiforsynes fra det offentlige forsyningsnet og at hele anlægget overvåges og fjernstyres fra KC Fjernstyringscentralen.

Selve kørestrømsanlægget består mere konkret og hovedsageligt i etablering af følgende elementer:

- Banetransformere
- Forsyningskabler
- Fordelingsstationer
- Sugetransformere hhv. autotransformere
- Et køreledningsanlæg (kørestrømsmaster, -rammer og tværfelter)
- Et kørestrømsfjernstyringsanlæg

Der indgår også andre elementer i anlægget, herunder neutralsektioner, men det er vurderet, at det er uden relevans at omtale alle elementer i detaljer.

For alle elementer knyttet til etablering af elektrificering gælder, at de kan specificeres af Banedanmark og indkøbes som standardvarer fra flere leverandører.

³⁵ På Storebæltsbroen (Vestbroen) benyttes en undertype kaldet Bane 200.

³⁶ Ikke alle oplysninger fra benchmarkingsanalysen er kendt af NIRAS.

8.3 Banetransformere

Banetransformere transformerer spændingen fra det offentlige forsyningsnets spænding 132-/150 kV 50 Hz til banens netspænding 25/50 kV 50 Hz³⁷.

Netspændingen 25 kV benyttes i forbindelse med den hidtidige elektrificering, som også, med undtagelse af strækninger parallelt med S-banen, benytter såkaldte sugetransformere³⁸ (boostertransformere).

Netspændingen 50 kV (2 * 25 kV)³⁹ benyttes, såfremt energibehovet er så stort, at det såkaldte autotransformerprincip skal benyttes. Princippet, som endnu ikke er benyttet af Banedanmark, overvejes for tiden i projekterne Ny bane København-Ringsted og Femern Bælt danske jernbanelandanlæg.

Da det vurderes, at autotransformerprincippet kun har relevans på strækningen København-Femern Bælt på grund af den forventede store godstrafik på denne strækning, ligesom Banedanmarks teknisk systemansvarlige har fra-valgt autotransformerprincippet i nærværende sammenhæng, benyttes sugetransformerprincippet til prissætning i nærværende analyse.

For den hidtil udførte elektrificering gælder, at banetransformerne er specificeret, indkøbt og ejet af Banedanmark, og at de er placerede på elforsynings-selskabernes transformerstationer.

For fremtidige elektrificeringer forventer Banedanmark, at nye banetransformere fremover skal placeres på et areal ved fordelingsstationerne, se Bilag 4, hvorfor det forudsættes i nærværende analyse ligesom det også gøres i projekterne Ny bane København-Ringsted og Femern Bælt danske jernbanelandanlæg.

8.4 Forsyningskabler

For den hidtil gældende elektrificering gælder, at forbindelsen mellem banetransformer og fordelingsstation sker ved hjælp af en 25 kV kabelforbindelse, som af hensyn til driftstabet, helst skal være mindre end 3 km lang og maks. må være 7 km lang.

Hidtil er banetransformere i de fleste tilfælde været placeret hos forsynings-selskaberne, men forsynings-selskaberne er ikke længere interesserede i dette og pålægger fremover tidsbegrænsede lejemål af arealer. Derfor planlægges der i projektet Femern Bælt danske jernbanelandanlæg med placering af banetransformerne på eksproprierede arealer i nærheden af fordelingsstationerne.

³⁷ Køreledningsspændingen er altid 25 kV 50 Hz.

³⁸ Sugetransformere har til formål at begrænse feltet fra køreledningsanlægget.

³⁹ Betegnet som + 25 kV/-25 kV

Såfremt banetransformerne ved fremtidige elektrificeringer placeres ved fordelingsstationerne, skal der i stedet etableres en 132/150 kV kabelforbindelse mellem det offentlige forsyningsnets transformerstation og banetransformeren, hvilket i øvrigt giver mindre driftstab, idet tabet ved 132/150 kV er mindre end ved 25 kV for samme overført effekt.

Omkostningsniveauet for etablering af en 132/150 kV kabelforbindelse vurderes til at være i samme størrelsesorden som en 25 kV kabelforbindelse, idet arbejdet er det samme, medens kablet for den højere spænding kræver mere isolering, men kræver dog samtidig en mindre mængde ledermateriale i form af kobber eller aluminium.

8.5 Fordelingsstationer

Fordelingsstationerne, se Bilag 4, udgør koblingen mellem energiforsyningen og køreledningsanlægget, og sætter køreledningsanlægget under spænding med 25 kV 50 Hz.

Da spændingen falder med afstanden fra fordelingsstationen og effektforbrugeren i den pågældende kørestrømssektion, og da spændingsfaldet ikke må være for stort, er der en grænse for, hvor lang en kørestrømssektion kan være. Den typiske længde i Banedanmark ca. 15 km.

Det offentlige forsyningsnet er 3-faset og køreledningsanlægget er kun 1-faset. For at tilstræbe en nogenlunde ligelig belastning af faserne i det offentlige net forsynes de enkelte kørestrømssektioner derfor fra hver sin fase. Da der skal være en fuldstændig adskillelse mellem faserne, er de enkelte sektioner adskilt af en såkaldt neutralsektion, som er et spændingsløst stykke køreledning.

Neutralsektioner er således placeret dels ved fordelingsstationerne og dels midt mellem 2 fordelingsstationer, og afstanden mellem neutral-sektionerne er således typisk ca. 15 km.

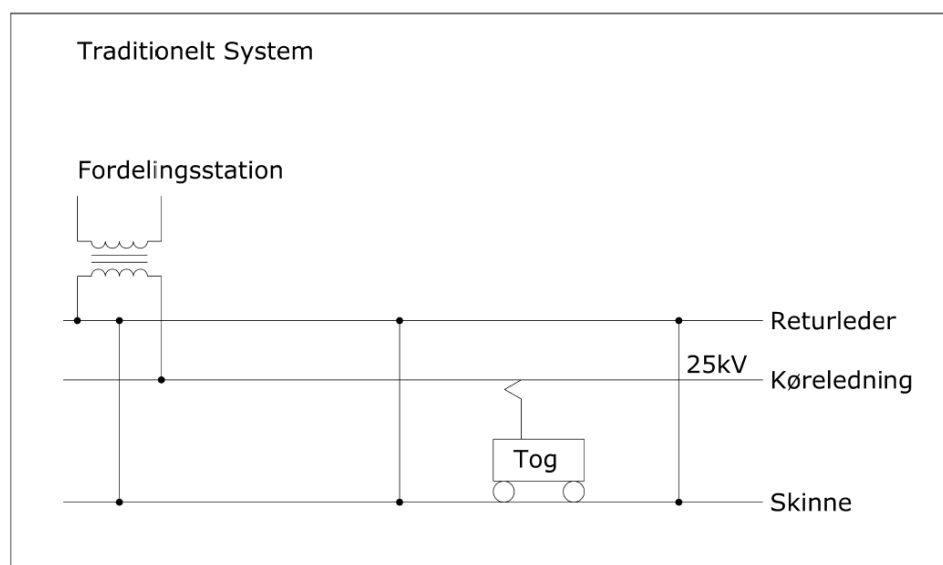
8.6 Sugetransformersystemer

Traditionelt er elforsyningen til køreledningsanlægget sket ved at forsyne køretråden med 25 kV kun ved fordelingsstationen. Fra toget returnerer strømmen til fordelingsstationen via skinner og returleder.

Det eksisterende køreledningsnet er udført således, og er endvidere, med undtagelse af Hovedstadsområdet og Storebæltsforbindelsen, etableret som et sugetransformersystem, og er udstyret med sugetransformere⁴⁰ for hver ca. 3 km langs banen. Formålet med disse er at dirigere returstrømmen fra at løbe i skinnerne (og jorden) op til at løbe i returlederen, hvilket reducerer magnetfeltet omkring banen og dermed påvirkningen af omgivelserne.

Sugetransformerne har dog den ulempe, at køreledningsanlægget effektivitet nedsættes, idet der sker et tab i sugetransformerne.

Nedenstående figur viser denne standardkørestrømsforsyning (sugetransformeren er ikke illustreret):



Figur 1: Traditionel kørestrømsforsyning

Det forudsættes, at yderligere elektrificering sker jf. ovenstående princip.

8.7 Kørestrømsmaster, -rammer og tværfelter

Køreledningen (køretråden) skal placeres i den korrekte position over sporet, og til dette formål anvendes kørestrømsmaster, se Bilag 4, kørestrømsrammer, se Bilag 4, (eventuelt udført som gitterrammer) eller tværfelter. Endvidere benyttes førnævnte konstruktioner også til at ophænge returleder, sugetransformere, koblere og køreledningsopfang m.m.

Kørestrømsmaster, -rammer og tværfelter kan udføres på mange måder og i mange materialer. Banedanmark benytter som standard firkantstålrørskonstruktioner i det korrosionstræge stålmaterialer Corten.

En kørestrømsmast kan bære et- eller flere ophæng, og kan endvidere være udformet som en såkaldt galgekonstruktion, såfremt masten skal bære ophæng over flere spor.

⁴⁰ På engelsk er betegnelsen 'boostertransformer'.

8.8 Køreledningsanlæg

8.8.1 Komponenter og materialer

Køreledningsanlægget består af følgende komponenter:

- Selve køretråden (som er det element, der har kontakt med togets strømaftager)
- Bæretov
- Hængere
- Ledningsophæng
- Isolatorer m.m.

Anlægget kan udføres på mange måder, men følgende materialer benyttes som hovedregel:

- Køretråd: Kobberbronze
- Bæretov: Bronze
- Hængere: Bronze
- Ledningsophæng: Stål eller aluminium
- Isolatorer: Glas eller keramik

8.8.2 Efterspændings- og vekselfelter

Køreledning og bæretov er opspændt i et såkaldt 'efterspændingsfelt' over en længde på maks. 1.600 meter. Ledningerne holdes udspændt ved hjælp af et hjul med et sæt lodder (tilsammen kaldet et 'opfang') i hver ende. Midt i efterspændingsfeltet er et fikspunkt, et såkaldt 'fast opfang', hvor køretråd og bæretov fastholdes i længderetningen. Det område hvor et efterspændingsfelt afløses af et andet strækker sig over 3 til 5 mastefelter, og tilsammen kaldes dette et vekselfelt.

8.8.3 Ramper

I forbindelse med krydsning under broer kan, afhængig af system, indføres ramper i køreledningen, hvilket vil sige, at køretråd og bæretov lokalt sænkes fra normalhøjden⁴¹ på fri strækning til en lavere, men stadig anvendelig højde under broen.

Ramper nedsætter systemets dynamiske kvalitet i forhold til strømaftagningen, og anvendes derfor så vidt muligt ikke, og kun for systemer til hastigheder under 200 km/h.

⁴¹ Køreledningshøjden i det for tiden anvendte system er 5.500 mm, men det forventes, at køreledningshøjden i et eventuelt nyt system sænkes til 5.300 mm.

8.9 Kørestrømsfjernstyring

Kørestrømsanlægget forsynes med et kørestrømsfjernstyringsanlæg tilknyttet Kørestrømscentralen (KC), således at anlæggets tilstand kan overvåges, og som gør det muligt at ind- og udkoble kørestrømmen i specifikke sektioner, således at der kan udføres arbejder på-, under- eller i nærheden af køreledningsanlægget.

Fjernstyringen af kørestrømsanlægget skal også omfatte fordelingsstationer, hvor parametre som spænding og strøm overvåges til KC. Endvidere skal parametre fra udkoblingsrelæer på fordelingsstationerne sendes til KC, således at fejlsteder (f.eks. en jordslutning) hurtigt kan lokaliseres for udbedring.

8.10 Pladsbehov og fritrumsprofil

Køreledningsanlægget optager plads både over og omkring banen. Dels optager køreledningssystemet plads i sig selv, og dels er det på, grund af den elektriske spænding nødvendigt med sikkerhedsafstande fra køreledningsanlæggets elementer til banens andre elementer. Det kræver derfor, at der er mere plads omkring sporet, når det elektrificeres; det såkaldte fritrumsprofil skal derfor udvides.

Udvidelsen af fritrumsprofilet vil helt sikkert medføre behov for ét eller flere af følgende tiltag:

- Ekspropriationer af arealer og bygninger
- Pålæggelse af servitutter⁴² for tilstødende arealer og bygninger
- Hævning af eksisterende broer
- Nedrivning og evt. genopførelse af eksisterende broer
- Sporsænkninger af banen under broer, som ikke kan hæves

8.11 Naboanlæg m.m.

Kørestrømmen påvirker naboer og naboanlæg og kræver immunisering, pålæggelse af servitutter etc.

Kørestrømmen forårsager et magnetfelt omkring banen, som påvirker næromgivelserne. På grund af de store strømme og systemets geometri, har dette magnetfelt en betydelig størrelse og udbredelse og det er derfor nødvendigt at begrænse effekten af disse påvirkninger.

Begrænsningen sker dels ved at immunisere omkringliggende systemer overfor disse påvirkninger, hvilket er nærmere uddybet i afsnit 9.3, således at de sikres mod funktionssvigt og -fejl.

⁴² Den såkaldte eldriftsservitut.

Det er endvidere nødvendigt at pålægge servitutter på naboarealer, idet banedriften ikke må kompromitteres (af bygninger, beplantning og beskaffenhed af træer mv.) ligesom magnetfelterne omkring køreledningskonstruktionen ikke må påvirke beboere tæt på banen negativt.

9 Sammenhæng med Signalprogrammet

9.1 Generelt

Nærværende kapitel giver en redegørelse for sammenhæng, tidsfølge og restriktioner i forhold til Signalprogrammet.

Endvidere giver kapitlet en kort redegørelse for immunisering og begreber knyttet til samme.

9.2 Formål og tidsplan

Banedanmarks Signalprogram har til formål at foretage en totaludskiftning af samtlige Banedanmarks sikrings- og linjeblokanlæg, fjernstyringscentraler, kommunikation langs banen m.m..

Projektet indeholder såvel en implementeringsstrategi og en implementeringstidsplan (i det følgende betegnet som udrulningsplanen).

Signalprogrammets udrulningsplan for de strækninger, som har relevans for nærværende projekt, er angivet i nedenstående Tabel 8.

Strækning	Scenarium	Ibrugtagningsår	Bemærkninger
Køge Nord – Næstved	1E	2017	
Roskilde – Kalundborg	1D/2D-1	2020	
Fredericia – Aarhus H	1B	2019	
Aarhus H – Aalborg	1B	2019 (hele strækningen)	Langå-Aalborg 2018
Aalborg – Frederikshavn	1C/2B-2	2018	
Lunderskov – Esbjerg	1A	2019	
Holstebro – Vejle	2B-3	2020	

Tabel 8: udrulningsplan for Signalprogrammet⁴³

⁴³ Kilde [1]: 2021 scenariet.

9.3 Immunisering generelt

Etablering af elektrificering giver anledning til elektrisk støj og anden elektrisk påvirkning af en strækings sikrings- og linjeblokanlæg, hvilket kan give anledning til farlige eller u hensigtsmæssige fejl. Strækningens sikrings- og linjeblokanlæg skal derfor, såfremt denne funktionalitet ikke er indbygget, forsynes med en sådan beskyttelse forinden et kørestrømssystem sættes under spænding; den såkaldte immunisering.

Strækings- og linjeblokanlæggene i de undersøgte scenarier er, med strækningen Lunderskov - Esbjerg som en delvis undtagelse, ikke forsynet med en sådan beskyttelse, men de anlæg som Signalprogrammet etablerer, vil blive forsynet med dette.

Elektrificering af en strækning forinden udrulningen af Signalprogrammet medfører, at sikrings- og linjeblokanlæggene på den pågældende strækning skal immuniseres, hvilket medfører meromkostninger. Det er derfor besluttet, at en eventuel elektrificering først skal gennemføres når udrulningsplanen, for en specifik strækning, er gennemført.

Undtagelsen fra dette er strækningen Lunderskov – Esbjerg, som i et betydeligt, men ikke fuldstændigt, omfang allerede er immuniseret.

9.4 Immunisering Lunderskov – Esbjerg

Med hensyn til immunisering gælder, at strækningen er delvist immuniseret som følger:

- Alle linjeblokanlæg
- Sikringsanlæggene i Vejen og Tjæreborg

Strækningens immunisering omfatter ikke følgende sikringsanlæg på strækningen:

- Holsted
- Bramming
- Esbjerg

Endvidere resterer immunisering af linjeblokanlæggene på de tilstødende strækninger Bramming - Gredstedbro og Esbjerg - Guldager, sikringsanlæggene i Gredstedbro og Guldager samt strækningens fjernstyrings-, radio- og passagerinformationsanlæg, m.m.

Med hensyn til immunisering er der således endnu omkostninger knyttet til strækningen; hvilket der redegøres for i opgave B.

9.5 Samtidig udrulning

9.5.1 Generelt

Det er nærliggende at undersøge, om der er fordele ved en samtidig etablering af nye sikrings- og linjeblokanlæg (udrulningen af Signalprogrammet) og elektrificering på en given strækning.

Fordele forventes kun i forbindelse med de arbejder som inddrager selve banearealet, idet elektrificering omfatter såvel etablering af energiforsyning (etablering af banetransformere, forsyningskabler og fordelingsstationer) som etablering af køreledninger (master, rammer, selve køreledningsanlægget over sporet m.m.). Alene køreledningsarbejderne har berøringsflade med selve banearealet og kan have en grænseflade til arbejderne udført under Signalprogrammet.

9.5.2 Fordele

Der synes at være følgende forhold, som peger på fordele:

- Driftsforstyrrelser, sporspæringer etc. bliver koncentreret i et og samme tidsrum.

9.5.3 Ulemper

Der synes at være følgende forhold, som angiver ulemper:

- Signalprogrammet skal foretage en række test og prøvekørsler af det færdige anlæg, hvilket ikke kan kombineres med andre entreprenørers brug af spor og sikringsanlæg
- Driftsforstyrrelser, sporspæringer etc. forårsaget af Signalprogrammet, vil primært være relateret til arbejdet med at trække kabler langs banen, samt af testfasen forud for drift, hvorimod driftsforstyrrelser, sporspæringer etc. forårsaget af elektrificeringsplanen primært vil være forårsaget af arbejdet med at etablere master og med at trække køreledning og andre luftledninger. Disse arbejder kan komme i konflikt, såfremt de skal udføres i samme spærring
- Arbejderne relateret til Signalprogrammet hhv. elektrificeringsplanen vil have været i udbud, og er formodentlig givet til forskellige entreprenører. Det vil sige, at de to entreprenører skal deles om plads og sporkapacitet, hvilket kan åbne for et antal berettigede claims.
- En kombineret testfase kan medføre, at der vil opstå fejl i det færdige anlæg, der ikke umiddelbart kan henføres til kun det ene af de to systemer. Dette kan medføre konflikter i projektorganisationen, samt spildtid i fejludbedring.
- En parallel projektering af signalanlægget og elektrificeringen, vil skulle koordineres meget tæt, da begge projekter medfører ændringer i infrastrukturen, som vil påvirke det andet projekt. Dette kan resultere i friktion, spildtid og claims mod bygherren.

- Når projekter med forskelligt formål skal udføres samtidigt på samme sted af forskellige entreprenører uden sammenfaldende interesser vil komplikations- og konfliktniveauet stige. Dette kan resultere i friktion, spildtid og claims mod bygherren.

10 Sammenhæng til andre baneprojekter

10.1 Generelt

Nærværende kapitel redegør for sammenhæng, tidsfølge og restriktioner i forhold til de store jernbaneprojekter og visioner, nemlig følgende:

- Projektet Ny bane København – Ringsted
- Projektet Femern Bælt danske jernbanelandanlæg
- Projektet Udbygning af Nordvestbanen

Endvidere behandles større fornyelses og vedligeholdelsesprojekter.

10.2 Beslutninger og undersøgelser

Folketinget har som bekendt vedtaget at gennemføre ovenstående tre baneprojekter, og disse influerer derfor direkte på vurderingen af, hvorledes en eventuel elektrificering kan gennemføres mest hensigtsmæssigt.

For såvel Ny bane København – Ringsted som Udbygningen af Nordvestbanen gælder, at Folketinget har vedtaget en egentlig anlægslov.

For Femern Bælt danske landanlæg gælder, at der er underskrevet en traktat mellem Danmark og Tyskland, at der er vedtaget en projekteringslov og at en anlægslov forventes vedtaget i Folketinget i 2013.

Der er endvidere opstillet en politisk vision om en timemodell for hovedbanenettet mellem København og Odense (etape 1), Aarhus H og Aalborg (etape 2) samt Aarhus H og Odense (etape 3). I de kommende år udarbejdes beslutningsgrundlag for delstrækninger i timemodellen, som skal behandles i Folketinget forud for en eventuel beslutning om gennemførelse.

Desuden udarbejdes et beslutningsgrundlag for anlæg af et ekstra spor mellem Vamdrup og Vojens samt elektrificering af samme.

Endelig er der udarbejdet strategiske analyser af en fast forbindelse over Kattegat, som kan få betydning for gennemførelsen af en elektrificering.

Ingen af ovenstående visioner indgår i nærværende analyse, som tager afsæt i den eksisterende infrastruktur og de besluttede projekter.

10.3 Ny bane København-Ringsted

Anlægsprojektet omfatter bygningen af en ny elektrificeret bane fra København (Vigerslev station) over Køge Nord til Ringsted station, og omfatter endvidere en forbindelse (men ikke elektrificeringen af samme) fra Køge Nord til den nuværende Køge station.

Scenarium 1E, Lille Syd banen, delstrækningen Køge Nord - Næstved, knytter sig til dette projekt.

Scenariet forudsætter følgende driftslinjerne, der er vist skematisk i Bilag 10:

- 11: København H – Aalborg (Lindholm)
- 12/13: København H – Esbjerg/Aarhus
- 14/15: København H – Padborg/Sønderborg
- 21: København H – Rødby (Femern)
- 35/36: København H – Køge Nord – Næstved

Banen forudsættes etableret i 2018.

10.4 Femern Bælt danske jernbanelandanlæg

Anlægsprojektet omfatter en fast forbindelse mellem Danmark og Tyskland over Femern Bælt, herunder etablering af såvel dobbeltspor på delstrækningen Vordingborg - Rødbyhavn (Storstrømsbroen undtaget) som elektrificering af hele strækningen Ringsted - Rødbyhavn.

Det indgår som en fast forudsætning, at anlægget tages i brug som elektrificeret strækning i 2020, idet selve tunnelen først tages i brug i 2020.

Der knytter sig ingen scenarier til dette projekt, men materielanskaffelser til strækningen indgår i materielstrategien.

10.5 Udbygning af Nordvestbanen

Anlægsprojektet omfatter bygning af et ekstra spor mellem Lejre og Vipperød, ombygninger af eksisterende sikringsanlæg samt nedlæggelse af overkørsler m.m.

10.6 Fornyelses- og vedligeholdelsesprojekter

Der er ikke kendskab til fornyelses- eller vedligeholdelsesprojekter af et omfang som nødvendiggør, at der tages særlige hensyn i nærværende forbindelse, men set i elektrificeringens langsigtede perspektiv må det forventes, at en række brofornyelser af broer på berørte strækninger er gennemført inden

elektrificeringsarbejderne, hvilket vil medføre, at projekterne kan blive billigere. Forholdet behandles nærmere i opgave B.

11 Elektrificeringsgennemførelse og -metoder

11.1 Generelt

Nærværende kapitel redegør for den praktiske håndtering af en elektrificering i marken.

11.2 Elektrificeringsarbejder

Elektrificeringsarbejder omfatter i hovedtræk følgende arbejder i den angivne sekvens:

1. Udfærdigelse af servitutter og gennemførelse af ekspropriationer m.m.
2. Udførelse af fritrumsprofilarbejder
3. Udførelse af Immuniseringsarbejder
4. Etablering af jording- og potentialudligning
5. Etablering af strømforsyning
6. Etablering af kørestrømsanlægget
7. Etablering af kørestrømsfjernstyring

Ad 1) Etablering af servitutter og ekspropriationer m.m.

I forbindelse med etablering af kørestrømsanlægget skal der sikres plads til, at anlægget kan placeres langs banen, at der er den nødvendige respekt afstand (5 m) til de spændingsførende dele og at kørestrømsanlæggets sikre funktion ikke bringes i fare. Til dette formål kan det blive nødvendigt at ekspropriere arealer, således at anlægget kan opføres, og den nødvendige plads og respekt afstand etableres.

På alle matrikler i banens umiddelbare nærhed pålægges servitutter angående placering af bygninger, herunder specielt beboelse, beplantning samt beskaffenhed af træer m.m.

Endelig skal den eksisterende beplantning langs banen sandsynligvis beskæres, dels for at sikre profilet omkring banen, og dels for at sikre at træer ikke vælter ind i de spændingsførende dele.

Ad 2) Udførelse af fritrumsprofilarbejder

De ældre broer, tunneler samt visse bygninger på de eksisterende strækninger er ikke forberedt for elektrificering. Fritrumsprofilarbejderne omfatter således udvidelse af fritrumsprofilet, og medfører sædvanligvis hævning af eksisterende broer, nedrivning og evt. genopførelse af eksisterende broer, sporsænkninger og nogle få ekspropriationer af eksisterende bygninger.

Ad 3) Udførelse af immuniseringsarbejder

Immunisering skal foretages på alle naboanlæg overalt, hvor der skal elektrificeres, og immuniseringen skal være udført før køreledningsanlægget sættes under spænding.

Præcist hvilke anlæg, der skal immuniseres, afhænger dels af deres placering i forhold til kørestrømsanlægget og dels hvor stor risiko, der er forbundet med svigt i disse anlæg. Som følge heraf skal især sikringsanlæg, men også f.eks. telefonanlæg og andre installationer med kabler bestående af metalliske ledere langs banen, samt tilstødende ikke-elektrificerede banestrækninger, immuniseres.

Ad 4) Etablering af jording og potentialudligning

Forinden der etableres kørestrøm på en strækning, skal der omkring publikumsvendte områder fastlægges et såkaldt BPU-område (Beskyttelses og potentialudligningsområde). Inden for dette område skal der udføres jording og potentialudligning af elektrisk ledende genstande. Derudover skal der etableres galvanisk adskillelse mellem BPU-området og omverdenen.

Ovenstående tiltag udgør endvidere de nødvendige forholdsregler mod vagabonderende strømme.

Ad 5) Etablering af strømforsyning

Køreledningsanlægget energiforsynes fra det offentlige højspændingsnet ved at der uden for banens areal eller på dette etableres banetransformere til transformering mellem netværksspændingen på det offentlige net (132 kV øst for Storebælt og 150 kV vest for Storebælt) og køreledningsspændingen (25 kV).

Der etableres kabelforbindelse mellem banetransformerne og fordelingsstationerne langs banen. Disse fordelingsstationer sætter kørestrømsanlægget under spænding, og er placeret i en indbyrdes afstand bestemt af hensyn til spændingsniveau og effektbehov. For tiden andrager afstanden typisk ca. 30 km.

Ad 6) Etablering af kørestrømsanlæg

Selve kørestrømsanlægget består af følgende hovedbestanddele:

- En køretråd (som har kontakten med togets strømaftager), bæretov, ledningsophæng, koblere, kørestrømsmaster, fundamenter m.v.
- Et returstrømkredsløb som udgøres af skinner, returleder og nedledere (som forbinder skinner med returlederen i masterne) samt sugetransformere (som sikrer at returstrømmen fortrinsvis løber i returlederen).
- Et særligt strømkredsløb såfremt sikringsanlægget anvender skinneisolationer

De mest synlige komponenter er følgende:

- Kørestrømsmasterne, som er placeret langs banen i en afstand af 50 m – 60 m.
- Ledningsophæng, som er placeret på hver mast.
- Køreledning og bæretov, som er ført på langs af banen.

Først når de forudgående arbejder, herunder immuniseringsarbejder, er udført, kan der sættes 25 kV spænding på køreledningsanlægget.

Ad 7) Etablering af kørestrømsfjernstyring

Elforsynings- og kørestrømsanlægget skal overvåges og styres fra Kørestrømscentralen (KC) i København, og i forbindelse med såvel drift som vedligeholdelse og uheld skal herfra gives mulighed for at ind- og udkoble anlægget helt eller delvist.

12 Elektrificeringsscenarier

12.1 Generelt

Nærværende kapitel beskriver, hvilke strækninger der er medtaget i analysen, begrundet hvorfor strækningerne er medtaget og begrundet endvidere, hvorfor nogle er valgt fra i første omgang.

De strækninger, som indgår i analysen, er indsat i en konkret sammenhæng, som er betegnet et scenarium.

For yderligere oplysninger se Bilag 11.

En oversigt over scenarierne og sammenhængen mellem disse er illustreret herunder.



Figur 2: Illustration af scenarierne.

12.2 Kriterier

Udvælgelsen af de enkelte strækninger til scenarierne er grundlæggende sket på følgende grundlag jf. bilag Bilag 11:

- Elektrificeringen skal give åbenlyse trafikale fordele for ét af følgende områder:
 - Den sjællandske regionaltrafik
 - Intercitytrafikken
 - Den jyske regionaltrafik
- Elektrificeringen skal være sammenhængende med den eksisterende elektrificering, således at nye strækninger, der elektrificeres, ligger i forlængelse af allerede elektrificerede strækninger⁴⁴.
- Elektrificeringen skal bygge på så stor genanvendelighed af IC4-/IC2-materiellet som muligt.
- Elektrificeringen skal foretages således, at en hel intercity- eller regionaltogslinje kan drives elektrisk.
- Elektrificeringen skal minimere (og helst helt eliminere) kørslen med dieselmateriel på elektrificerede strækninger, således at kørestrømsanlægget anvendes mest muligt.

⁴⁴ Der formuleres yderligere et scenarium, hvor elektrificering påbegyndes i Jylland nordfra, det såkaldte "Ø-scenarium". Årsagen er, at Region Nordjylland har foreslået et sådant scenarium.

Der er således foretaget et implicit tilvalg af de strækninger som forventes at være rentable og et implicit fravalg af strækninger, som forventes at være urentable. Til- og fravalgene er sket med udgangspunkt i ref. [49], og de samfundsøkonomiske beregninger er udført til kontrol af dette valg.

12.3 Metode

Scenarierne angiver et forslag til udbygning af den eksisterende elektrificering, jf. kriterierne i det foregående, som følger:

1. Hvorfra og hvortil kan udbygningen begyndes?
2. Hvorfra og hvortil kan udbygningen herefter fortsættes?

Ad 1) Udbygningsbegyndelse

Vurderingen af den mest hensigtsmæssige udbygningsbegyndelse er angivet i [29], hvor det entydigt angives, at en udbygning skal være sammenhængende med en eksisterende elektrificering. Denne konstatering er bestyrket i undersøgelserne fra Storbritannien jf. [30] og [31], som når samme konklusion.

Ad 2) Udbygningsfortsættelse

Scenarierne for fortsat udbygning (scenarierne med betegnelsen 2) danner en sekvens, således at et scenarium forudsætter det næste. Eksempelvis er det nødvendigt først at elektrificere strækningen Fredericia - Aarhus H, såfremt strækningen Vejle - Herning/Holstebro/Struer skal elektrificeres, og scenarierne for fortsat udbygning kan således opfattes som sekvenser i et forløb.

For såvel forslagene nævnt under 1 som under 2 er det, med én undtagelse, forsøgt at opstille scenarier, der elektrificerer så lidt som muligt (en kort strækning) oven på så meget som muligt (det allerede elektrificerede net), således at elektrificeringen udnyttes bedst muligt. Undtagelsen er det scenarium, som bygger på forslaget fra Region Nordjylland, og som omfatter elektrificering af strækningen Hobro - Aalborg - Frederikshavn⁴⁵.

12.4 Scenarier og Signalprogrammet

Scenarierne er opstillet i afhængighed af Signalprogrammet, således at elektrificeringen ibrugtages 1 år efter Signalprogrammets udrulning.

⁴⁵ Forslaget fra regionen opererer med en etapedeling i 3 etaper, og medtager endvidere elektrificering af lokalbanerne Hirtshalsbanen og Skagensbanen. Etapedeling er ikke medtaget i analysen, idet en sådan ikke påvirker det overordnede samfundsøkonomiske resultat. Endvidere er elektrificering af sidstnævnte baner fravalgt i analysen, idet lokalbaner ikke er omfattet af denne.

Afhængigheden af Signalprogrammets udrulningsplan kan illustreres som følger:

Signalprogrammet	Aktiviteter Signalprogrammet	Aktiviteter Elektrificering
Udrulningsår – 2	-	<ul style="list-style-type: none"> • Forundersøgelser • Opmålinger • Projektering
Udrulningsår -1	Forberedende arbejder	<ul style="list-style-type: none"> • Projektering • Udbud og kontrahering
Udrulningsår	Ibrugtagning	<ul style="list-style-type: none"> • Etablering af fritrumsprofil (broarbejder m.m.) • Etablering af kørestrømsforsyning (banetransformer og fordelingsstationer m.m.)
Udrulningsår +1	Oprydning af huse, hytter, signaler, master, kabler m.m.	<ul style="list-style-type: none"> • Etablering af kørestrømsanlæg (køreledninger, neutralsektioner, koblere m.m.) • Afprøvning, tests m.m. • Ibrugtagning

Tabel 9: scenariernes afhængighed af Signalprogrammet

Det skal pointeres, at afhængigheden ikke er fastlåst fuldstændigt, og at alene afprøvning, tests og ibrugtagning først kan ske efter ibrugtagning af immuniserede sikrings- og linjeblokanlæg.

12.5 Specifikt for Lunderskov – Esbjerg

Scenariet Lunderskov – Esbjerg er opbygget således, at scenarier medtager elektrisk togdrift på både strækningen København – Esbjerg og København – Padborg⁴⁶. Der køres således i samdrift af linierne udgående fra København indtil Kolding, hvor toget deles i to, som angivet i Bilag 10.

Det er vurderingen, at det er hensigtsmæssigt at behandle scenariet mere detaljeret end de øvrige scenarier idet:

1. Det er et eksplicit ønske, at elektrificering i 2015 af denne strækning skal analyseres nærmere.
2. Kendskabet til forholdene knyttet til scenariet er større, idet bl.a. anlægsoverslaget er udarbejdet på et mere sikkert grundlag, ligesom scenariet til udførelse i 2015 med hensyn til samdrift med linjen Kø-

⁴⁶Driftslinjerne fra København mod (Tinglev)/Padborg fortsætter til Sønderborg/Flensborg, men alene Padborg som endestation er betragtet i nærværende analyse.

benhavn – Padborg baserer sig på nutidig praksis og allerede truffne beslutninger⁴⁷.

3. DSB varetager for tiden kørslen på linjen København – Padborg med dieseldrevet IC3-materiel selvom banen er elektrificeret hele linjen⁴⁸[3]. DSB har et ønske om at frigøre det anvendte IC3-materiel til andre strækninger.
4. Indkøb af 2-strøms elmateriel til linjen København – Padborg kan med fordel kobles sammen med de planlagte indkøb af 2-strøms elmateriel til brug for projekterne Ny bane København – Ringsted og Femern Bælt danske jernbaneland anlæg.

⁴⁷[2] DSB har indgået en aftale om betjening af linjen København – Flensborg frem til 2023.

⁴⁸[3] Årsagen er, at DSB ikke råder over 2-strøms elmateriel med såvel dansk som tysk sikkerhedsudstyr.

13 Miljøkonsekvenser

13.1 Generelt

Nærværende kapitel omfatter en beskrivelse af elektrificeringens miljøkonsekvenser med hensyn til følgende:

- Energiforbrug
- CO₂-udledning
- Emissioner
- Støj
- Magnetfelter
- Natur og landskab
- Arealer
- Øvrige miljøeffekter

13.2 Energiforbrug

Til togets fremførelse anvendes diesel- eller elektrisk traktion. Elektrisk traktion har den fordel, at der kan etableres såkaldt regenerativ bremsning, hvilket betyder, at en stor del af togets bevægelsesenergi kan sendes tilbage i forsyningsnettet, når toget bremser og således genanvendes af andre tog [19]. Se også afsnit 5.3.

For såvel diesel- som eldrevet traktion gælder endvidere, at førerens køreteknik påvirker energiforbruget væsentligt. Dette medfører, at et stigende antal operatører er i færd med at indføre en såkaldt 'Green Box', som er et GPS baseret elektronikmodul, der ud fra position og køreplan kan vejlede lokoføreren i den mest økonomiske kørestil. Effekten kan være betydelig, men da det danske banenet allerede i dag mange steder er overbelastet, og da den politiske målsætning prioriteres, at flere passagerer skal transporteres med tog, hvilket fremover vil øge belastningen, samt at rettidighed er mere afgørende for togdriften end grøn kørsel, forudsættes effekten af implementering af grøn kørsel at være 5 %.

Med udgangspunkt i TEMA2010 [20] og suppleret med data fra DSB [19] er der i Tabel 10 opstillet nøgletal for energiforbrug for forskelligt togmateriel.

Betegnelse	Fremdrift	Elforbrug MJ/plkm*	Energi MJ/plkm
Desiro/lint	Diesel		0,228
IC3	Diesel		0,184
IC2**	Diesel		0,287
IC4	Diesel		0,212
IR4	Elektrisk	0,068	
Referencetog	Elektrisk	0,104***	
ME/dobbeltdekkervogn	Dieselektrisk		0,286
MR	Diesel		0,241

Tabel 10: Energinøgletal for diesel- og elmateriel, ref. [19] og [20]

*Plkm = pladskm

** Omregnet fra opgivet IC4 forbrug

*** Baseret på Bombardiens Regina togsæt i den version der er under levering til SJ i Sverige.

Energiforbruget for dieselmateriel er angivet som brændværdien af det dieselbrændstof, der forbruges ud fra DSB's registrering af dieselforbruget ved tankning. Det anvendte omregningstal er 37,3 MJ per liter diesel. Svind fra tanke fordeles også på togene.

Energiforbruget for elektriske tog er målt på toget eller på en fordelingsstation. Energiforbruget angives som nettoenergiforbrug (kWh_M) leveret til kørestrømsnettet. I de tilfælde, hvor målingerne er foretaget i selve toget, er der tillagt 5 %, svarende til transmissionstabet fra elværk til pantograf.

Energiforbruget inkluderer el til traktion, varme, ventilation og belysning, rangering og opstilling af tog. For de togtyper, som er i stand til at regenerere energi (IR4) i forbindelse med bremsning, er besparelsen fratrukket.

Der er for tiden betydeligt fokus på at reducere energiforbruget, hvilket også må forventes i fremtiden at have en effekt i forhold til togenes energiforbrug. Det er imidlertid ikke muligt at forudsige reduktionen i energiforbrug for fremtidige nye tog, hvorfor energiforbruget for togene i hele perioden fastholdes på det nuværende niveau.

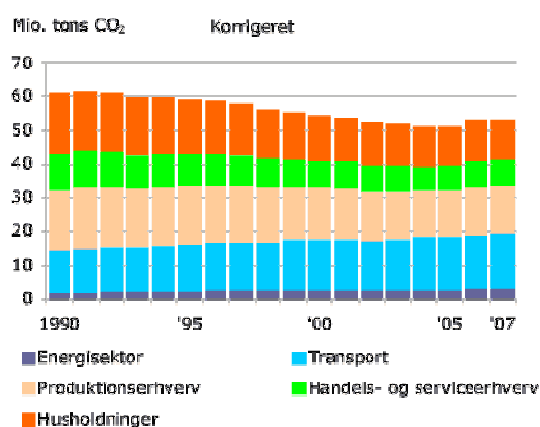
Umiddelbart forventes denne antagelse ikke at medføre den store divergens i den samfundsøkonomiske vurdering, idet en reduktion af energiforbruget forventes at være ensartet for diesel og elmateriel.

13.3 CO₂-udledninger

13.3.1 Generelt

CO₂ udledningen fra det samlede energiforbrug i Danmark udgjorde i 2007 ca. 52 mio. tons. Heraf udgjorde transportsektorens CO₂-udledning ca. 16,5 mio. tons, svarende til ca. 31 %, jf. Figur 3: CO₂-emissioner ved slutforbrug af energi [21]

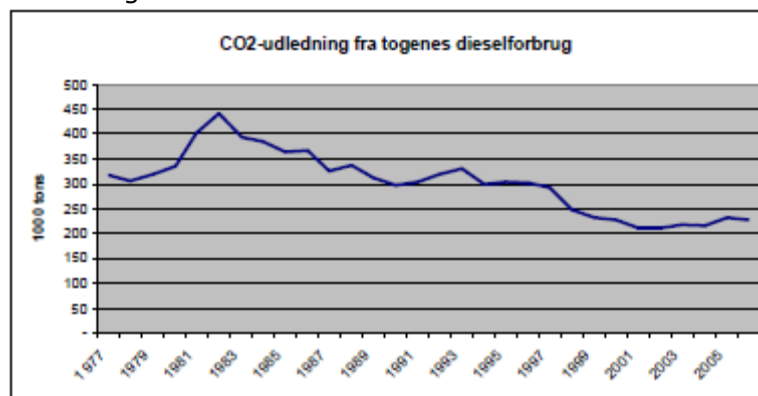
CO₂-udledningen fra transport er siden 1990 vokset med ca. 31 %, mens der for de øvrige sektorer er sket et fald. Togenes andel af transportsektorens udledninger udgør en meget begrænset del - under 2 %.



Figur 3: CO₂-emissioner ved slutforbrug af energi [21]

I modsætning til vejtransporten har CO₂-udledningen fra togenes dieselforbrug været faldende siden starten af 1980'erne, jf. Figur 3, til trods for at transportarbejdet for jernbanen (især persontransporten) har været stigende gennem perioden. DSB udledte 178.100 ton CO₂ fra dieselmateriel i 2009 [19]. CO₂-emissionen fra andre operatører er ikke kvantificeret.

Årsagen til det betydelige fald er, at en betydelig del af passagertrafikken og næsten hele godstrafikken nu sker med eldrift på eksisterende elektrificerede strækninger.



Figur 4: CO₂ udledning fra togenes dieselforbrug [22]

Det miljømæssigt mest interessante aspekt i forbindelse med elektrificering er betydningen for CO₂-udledningen. For det første giver eldrevne tog anledning til mindre CO₂ end dieseldrevne tog, og for det andet vil elektrificering medføre, at en del af transportsektorens CO₂-udslip kommer ind under CO₂ kvotesystemet, idet elproduktion er inden for kvotesystemet. P.t. er hvor forholdet p.t. er, at togenes dieselforbrug er uden for den kvotebelagte sektor. Da elproduktion er inden for kvotesystemet, vil elektrificering betyde, at togenes energiforbrug kommer inden for kvoten.

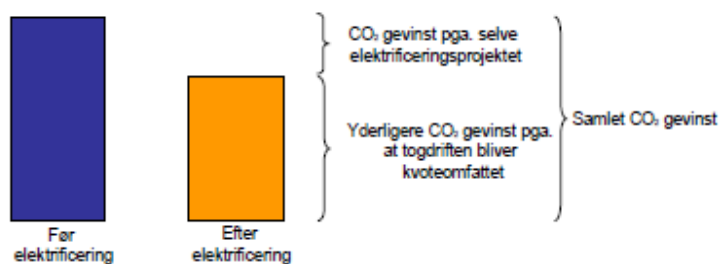
13.3.2 CO₂-kvotesystemet

40 % af Danmarks drivhusgasudledning er i dag omfattet af EU's kvoteordning. Det er primært el- og varmeproducenter samt de energitunge virksomheder, som er omfattet. At de er kvoteomfattet betyder, at der fra EU er fastsat et samlet loft for hvor stor den samlede drivhusgasudledning må være. De virksomheder, som hører ind under kvotesystemet, får tildelt en mængde kvoter og såfremt de udleder mere CO₂ end de har kvoter til, skal virksomheden købe et tilsvarende antal kvoter på kvotemarkedet. Reducerer de deres CO₂ udledning er det derimod muligt for virksomhederne at sælge deres kvoter. Da den samlede mængde kvoter er konstant, betyder det, at den samlede CO₂ udledning forbliver konstant uanset om de kvotebelagte virksomheder øger eller mindsker deres udledning. EU's kvotedirektiv gælder foreløbigt indtil 2020. Herefter er det usikkert i hvilken form CO₂ reguleringen vil have.

Landbruget, transportsektoren, husholdninger, affald og mindre dele af industrien og energisektoren er ikke omfattet kvotedirektivet og deres CO₂ udledning reguleres nationalt. For CO₂ udledningen uden for den kvotebelagte sektor står transportsektoren for ca. 1/3 af den samlede CO₂ udledning. Den altovervejende udledning sker fra vejtransport. Jernbanetransport står for under 2 % af den samlede udledning fra transportsektoren⁴⁹.

Elektrificeringen vil betyde, at togdriften går fra at være uden for kvotesystemet til at komme ind under dette, idet elproduktion er kvoteomfattet. På grund af kvotesystemet vil den samlede CO₂ udledning ikke øges i den kvotebelagte sektor. Dette er også illustreret i Figur 5. Den første søjle (blå) viser CO₂ udledningen såfremt togdriften baseres på diesel. Den anden søjle (orange) viser CO₂-udledningen såfremt togdriften baseres på el. Selve skiftet i brændsel fra diesel til el vil resultere i en mindre CO₂-udledning. Denne CO₂ gevinst kan ses som forskellen mellem de to søjler.

⁴⁹ Kilde: [EUs Eionet Central Data Repository](http://cdr.eionet.europa.eu/dk/Air_Emission_Inventories/Submission_UNFCCC/coltmeqza/envtmerwa/DNK-2010-2008-v1.8.xls/manage_document). http://cdr.eionet.europa.eu/dk/Air_Emission_Inventories/Submission_UNFCCC/coltmeqza/envtmerwa/DNK-2010-2008-v1.8.xls/manage_document



Figur 5: CO₂ gevinst som følge af elektrificering

Den samlede CO₂ udledning fra den kvotebelagte sektor kan pr. definition ikke øges. Det betyder, at virksomhederne i den kvotebelagte sektor samlet skal reducere deres CO₂-udledning med en mængde svarende til togdriftens CO₂-udledning efter elektrificering (den orange søjle)⁵⁰. Samlet set vil elektrificeringen derfor medføre at den fysiske CO₂-udledning reduceres med den mængde CO₂, som dieselmaterieldriften udleder⁵¹.

CO₂-emissionerne fra transport udgør en stor og stigende andel af den samlede emission, både i Danmark og globalt, hvilket gør transporten til en særlig udfordring i forbindelse med løsning af klimaproblemerne [21].

13.3.3 CO₂ – udledning fra dieselmateriel

CO₂ fra dieselmateriel er ikke kvotebelagt. På baggrund af energiforbruget for dieselmateriel har DSB angivet nøgletal for udledningen af CO₂ pr. pladskm jf. Tabel 11 [19], [20].

Betegnelse	Traktion	CO ₂ g/plkm
Desiro/Lint	Diesel	16,871
IC3	Diesel	13,618
IC2**	Diesel	21,201
IC4	Diesel	15,661
ME/ Dobbeltdekkervogn	Diesel	21,133
MR	Diesel	17,813

Tabel 11: CO₂ nøgletal for dieselmateriel, ref. [19] og [20]

*Plkm = pladskm

** Omregnet fra IC4 forbrug

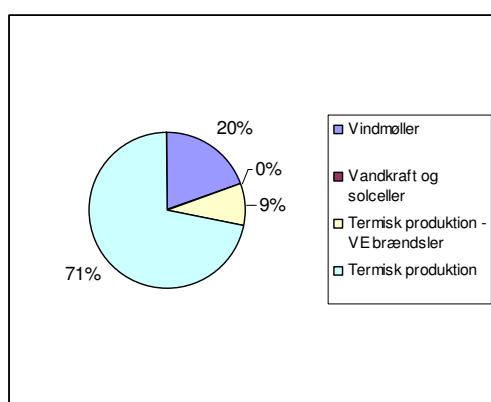
⁵⁰ DSB er af den opfattelse, at forskellen i CO₂ gevinst pga. ændret brændstoftype er reel, men mindre end angivet her.

⁵¹ Det er her en forudsætning, at CO₂-kvoten er fuldt udnyttet.

Emissionen af CO₂ fra dieselmateriel må forventes reduceret efterhånden som nye tog gøres mere energieffektive. Dansk klima- og energipolitik sigter mod at gøre Danmark uafhængigt af fossile brændsler i 2050, og det må endvidere forventes, at der som for biler udvikles motorer, der kan køre på biodiesel. Der forefindes ingen fremskrivning af dieselforbruget for tog, hvorfor det i scenarierne fastholdes, at togene kører på diesel frem til 2071.

13.3.4 CO₂ – udledning for eldrevne tog

I Danmark produceres el på kraftvarmeværker ud fra vedvarende og ikke-vedvarende brændsler samt på vindmøller, vandkraft og solceller mv. Vedvarende brændsler er biomassebrændsler som skovflis, træpiller, træ- og biomasseaffald, halm, lossepladsgas, biogas samt den bionedbrydelige andel af affald. Ikke-vedvarende brændsler omfatter fossile brændsler som kul, olie, naturgas, raffinaderigas samt den ikke-bionedbrydelige andel af affald. Elproduktionen fordeler sig på produktionsform som angivet i Figur 6.



Figur 6: El- og kraftvarmeproduktion i Danmark i 2010 fordelt på produktionsform [23]

Elektrificeringen vil betyde, at togdriften går fra at være uden for kvotesystemet til at komme ind under kvotesystemet, idet el-produktion er kvoteomfattet. Elektrificeringen vil betyde, at det samlede elforbrug i Danmark øges, men pga. kvotesystemet vil den samlede CO₂ udledning ikke øges i den kvotebelagte sektor. Netto-udledningen af CO₂ er således 0.

13.4 Emissioner

13.4.1 Generelt

Forureningen med ultrafine partikler i byerne og nedfaldet af kvælstof i natur- og havområder er blandt de mest aktuelle luftforureningsproblemer i Danmark. Togdrift bidrager til luftforureningen med bl.a. kulilte (CO), kvælstofoxid (NO_x), svovldioxid (SO₂) og kulbrinter (HC) samt partikler og støv. Luftforureningen er bl.a. årsag til luftvejssygdomme og hjertekarsygdomme. Endvidere kan udledningen bidrage til eutrofiering og sur nedbør.

Emissioner kan både have lokale og regionale effekter, hvorfor det ved sammenligning af emissioner fra el- og dieselmateriel også er relevant at se på,

hvor emissionerne sker og ikke kun størrelsen af emissioner. Der gælder således følgende for diesel- hhv. elmateriel:

- For dieselmateriel vil emissionen ske lokalt, det vil sige, hvor toget kører, altså dels i bymæssig bebyggelse dels i det åbne land.
- For elmateriel vil emissionen ske i forbindelse med elproduktion, dvs. typisk på kraftvarmeværker, altså i 'skorstenshøjde og kunne påvirke regionalt.

13.4.2 Emissioner fra dieselmateriel

Emissioner fra dieselmateriel bestemmes af brændslet og forbrændingsprocessen. I Tabel 12 er opstillet nøgletal for emissioner fra dieselmateriel [19], [20].

Betegnelse	Fremdrift	CO g/plkm	HC g/plkm	NO _x g/plkm	SO ₂ g/plkm	Partikler g/plkm
Desiro/Lint	Diesel	0,047	0,018	0,135	0,0001	0,002
IC3	Diesel	0,009	0,004	0,077	0,0000862	0,001
IC2**	Diesel	0,013	0,007	0,120	0,000134	0,001
IC4	Diesel	0,010	0,005	0,089	0,0000991	0,001
ME/ Dobbelt-dækkervogn	Diesel	0,065	0,017	0,421	0,0001338	0,01378
MR	Diesel	0,071	0,037	0,274	0,0001127	0,01466

Tabel 12: Nøgletal for emissioner fra dieselmateriel, ref. [19] og [20]

*Plkm = pladskm

** Omregnet fra IC4 forbrug

Ved nye dieselmotorer kan der formentlig optimeres på denne, men såfremt emissionerne fra dieselmateriel virkelig skal reduceres, skal togene konsekvent udstyres med filtre eller katalysatorer.

Det er imidlertid ikke muligt at forudsige hvornår sådant emissionsreducerende udstyr vil blive monteret på togene⁵², hvorfor emissioner for togene i hele perioden fastholdes på det nuværende niveau.

I Tabel 13 er angivet DSB's estimater for, hvor meget disse tiltag vil reducere de forskellige emissioner [20].

⁵² DSB har januar 2010 besluttet at forsyne 20 ME lokomotiver med partikelfiltre. Da status for lokomotiverne er usikker, er effekten af dette tiltag ikke indregnet.

Reduktionstype	CO ₂ %	CO %	HC %	NO _x %	Partikler %
Filter + oxidationskatalysator	-	80-95	80-95		80-95
Filter + SCR (UREA)	0-10	80-95	80-95	70-90	80-95
Oxiderende katalysator (ME og MR)	-	80-95	80-95		30-60

Tabel 13: Reduktioner af emissioner fra dieselmateriel afhængig af reduktionstiltag [20]

13.4.3 Emissioner fra eldrevne tog

Det diskuteres ofte hvorvidt der skal anvendes emissionsfaktorer fra den gennemsnitlige el-produktion eller fra den marginale el-produktion. Set i lyset af, at emissionerne i den samfundsøkonomiske analyse af elektrificeringen fremskrives til 2071 og den danske klima- og energipolitik har som mål, at Danmark er uafhængig af fossile brændsler i 2050 [24], anvendes emissionsfaktorer fra Energistyrelsen baseret på en gennemsnitsbetragtning.

Emissionsfaktorerne for el-produktion baseret på en gennemsnitsbetragtning er af Energistyrelsen fremskrevet til 2030. Bag beregningen ligger en forudsætning om nettab på 7 %. Ændringer i brændselsforbruget har kun en begrænset betydning for udledning af SO₂ og NO_x, da disse også udledes ved forbrænding af biomasse [25]. Det samme må antages at gøre sig gældende for partikler, der således sættes til 31 mg/kWh [21]. Fra 2030 og frem til 2071 fastholdes emissionerne på niveauet fra 2030.

År	SO ₂ mg/kWh	NO _x mg/kWh
2011	195	479
2012	202	489
2013	215	471
2014	231	448
2015	235	459
2016	200	474
2017	197	490
2018	207	497
2019	202	504
2020	203	522
2021	198	515
2022	204	519
2023	220	500
2024	197	467
2025	184	458
2026	175	443
2027	181	447
2028	189	454
2029	191	456
2030	193	458

Tabel 14: Emissionsfaktorer for el fra Energistyrelsen baseret på en gennemsnitsbetragtning [25]

13.5 Støj

På trods af tiltag til at reducere støjpåvirkningen for mennesker, der bor tæt på banen, ved bl.a. støjpuljen og en fremadrettet strategi om at reducere støjen ved kilden ved bl.a. skinneslibning, vil der fortsat være naboer til banen, der bliver generet af støjen fra togene.

Ifølge WHO er støj sundhedsskadelig. Støj kan medføre hovedpine, stress, kommunikationsbesvær og forhøjet blodtryk. Ved længere tids påvirkning kan støj føre til egentlige helbreds-problemer, herunder en forøget risiko for hjertekarsygdomme.

Den støj, man oplever, når et tog kører forbi, stammer hovedsagelig fra kontakten mellem hjul og skinne, og skyldes hovedsageligt, men ikke udelukkende, små ujævnheder på både hjul og skinner. Når disse ujævnheder mødes, opstår der svingninger, som overføres til luften i form af støj.

Støj fra forbigående tog øges med togets hastighed, ligesom støjens karakter ændres med denne. Når toget kører langsomt, det vil sige under 30-50 km/h, dominerer støjen fra togets motor og udstødning, senere dominerer hjul/skinnestøjen og ved høje hastigheder over 200 km/h vil den aerodynamiske støj fra luftmodstanden, især fra strømaftagere og vognmelletrum være den dominerende.

I vurderingen af støjforskellen mellem elektriske tog og dieselmateriel er det væsentligt at holde sig for øje, at sammenligningen ikke sker i forhold til det nuværende dieselmateriel, men i forhold til nye og mere støjsvage tog. Udskiftningen af det eksisterende togmateriel vil derfor i sig selv resultere i mindre støjbelastning langs banen, uanset om der elektrificeres eller ej.

Elmateriel støjer mindre end dieselmateriel, navnlig når der er tale om hastigheder under ca. 40 km/h, ligesom de støjer mindre, når det holder stille på perroner og lign. Ved en yderligere elektrificering af jernbanenettet vil gevinsten i forhold til støj derfor hovedsageligt bestå af signifikant mindre støj i bymæssig bebyggelse omkring stationer, på perroner samt omkring klargøringsspor, depotspor, værksteder og lignende.

Specielt på terminalområder, hvor togenes motorer i forbindelse med den første opstart af et tog om morgenen holdes i gang i længere tid for tjek af en række tekniske og sikkerhedsmæssige forhold, forventes genevirkningen for naboerne at kunne reduceres væsentligt ved elmateriel.

13.6 Magnetfelter

Den kørestrøm, der løber i hhv. køretråd, bæretov, returleder og til dels i skinner/jord, skaber et magnetfelt omkring banen. Man har i mange år forsket i om sådanne magnetfelter fra højspændingsanlæg udgør en sundhedsrisiko, men endnu ikke fundet et entydigt svar.

Konklusionerne fra de danske sundhedsmyndigheder og Verdenssundhedsorganisationen (WHO) er derfor, at børn, der udsættes for særligt høje 50 Hz magnetfelter (mere end 0,4 μT i gennemsnit over tid), muligvis har en øget risiko for leukæmi. De danske sundhedsmyndigheder og WHO vurderer, at der bør anvendes et forsigtighedsprincip, som bl.a. anbefaler, at nye højspændingsanlæg ikke opføres tæt på eksisterende boliger og børneinstitutioner.

Magnetfeltet på et givet sted af en banestrækning er proportionalt med strømstyrken i kørestrømsanlægget på det pågældende tidspunkt. Strømstyrken varierer meget og afhænger bl.a. af togets effektforbrug.

For kørestrømsanlæg med sugetransformere på strækninger med stor trafik-tæthed svarer 0,4 μT som et gennemsnit til en afstand på ca. 10 meter fra returlederen, hvilket svarer til 13 m fra spormidte. På strækninger med mindre trafik-tæthed svarer 0,4 μT som et gennemsnit til en afstand på ca. 7 meter fra returlederen, hvilket svarer til 10 m fra spormidte [26]⁵³.

Inden for denne afstand fra spormidte påregnes beboelsesejendomme eksproprieret til anden anvendelse end beboelse. Oftest vil disse ejendomme alligevel skulle eksproprieres i henhold til eldriftservituten.

13.7 Natur, landskab og visuelle forhold

13.7.1 Natur

I henhold til bestemmelserne i eldriftservituten jf. afsnit 13.8.2 kan det, afhængig af type- og højde af træer, blive nødvendigt at fælde eller beskære disse langs med banen indenfor en afstand af op til 19 m fra spormidte. Det antages, at der jf. gældende regler skal ske fældning af træer indenfor en afstand af 6 m fra spormidte. Afstanden kan på sigt blive øget, da man i andre lande af hensyn til driften af køreledningsanlægget er begyndt at fælde træer i større afstand fra spormidte. Fældning af træer indenfor arealer, der er fredskovsnoterede sker efter nærmere aftale med Naturstyrelsen. Erstatningskov udlægges som udgangspunkt i forholdet 2:1.

⁵³ Kravet i Sverige er sat op til 15 m. Det vides ikke, om kravet skærpes i Danmark. Det skærpede krav i Sverige skyldes muligvis, at der er en større udbredelse af mindre stormfaste træer (som f.eks. gran og fyr) end i Danmark, og/eller dårlige erfaringer fra de senere års voldsomme storme.

Såfremt træer skal fældes indenfor Natura 2000 områder, skal det dokumenteres, at indgrebet ikke medfører påvirkning af områdets udpegningsgrundlag eller der skal etableres afværgeforanstaltninger f.eks. i form af erstatningsnatur. Natura 2000 områder, hvor udpegningsgrundlaget f.eks. skovnaturtyper langs banen, flagermus mv. kan blive påvirket, er vist i figur 7.



Figur 7: Natura 2000 områder, hvor udpegningsgrundlaget kan blive påvirket ved elektrificering af banen (røde).

I Habitatdirektivets artikel 12 er en streng beskyttelse af række dyre- og plantearter (bilag IV arter), uanset om de forekommer inden for et af de udpegede Habitatområder eller udenfor. Beskyttelsen indebærer bl.a. forbud mod at beskadige og ødelægge yngle- og rasteområder for arterne. Det vurderes, at det af disse arter primært vil være flagermus, som kan blive påvirket af elektrificering, som følge af fældning af træer. Markfirben er også beskyttet at bilag IV, og denne art forekommer ofte på solåbne vej- og jernbaneskråninger. Det vurderes, at påvirkning af denne art vil være begrænset, da anlægsarbejdet udføres fra banen med minimal påvirkning af selve bane-skråningen. De skrån timer, hvor der skal fældes træer, er ikke relevante levesteder for markfirben, netop på grund af træerne.

Der er 14 arter af flagermus i Danmark, som alle er beskyttet af Habitatsdirektivets artikel 12, bilag IV. De mest sjældne arter er udvalgt: damflagermus, skægflagermus, Brandts flagermus, Bechsteins flagermus, frynseflagermus, pipistrelflagermus, troldflagermus og langøret flagermus. En eller flere af disse arter har deres udbredelse på alle de strækninger af banenettet, der overvejes elektrificeret.

De enkelte flagermusbestande færdes i en radius af flere km fra dagopholdsstederne. Flagermusenes aktivitet på det enkelte sted varierer gennem natten, fra nat til nat og gennem sæsonen. Dette skyldes bl.a., at vejr og vind påvirker insekternes fordeling. I områder med forekomst af flagermus kan beplantning langs banen både udgøre raste- og fødesøgningsområder samt ledelinjer for flagermus. Når der fældes træer langs banen kan der således ske en påvirkning af flagermus.

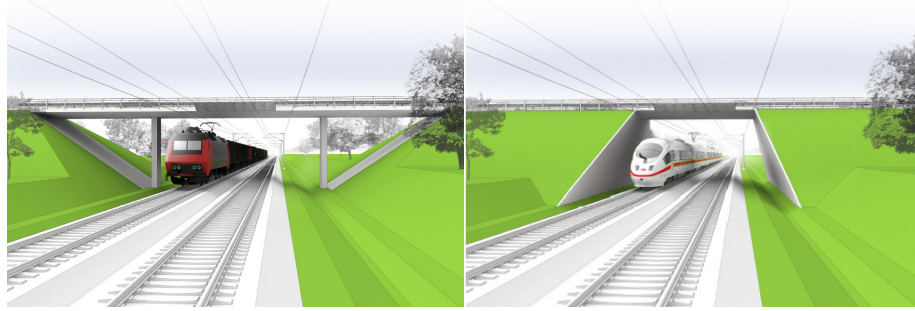
13.7.2 Landskab og visuelle forhold

Den største visuelle påvirkning af omgivelserne ved en elektrificering sker i forbindelse med etableringen af kørestrømsmaster og ved fjernelse af en stor del af den eksisterende bevoksning langs banen. Især på de åbne strækninger vil køreledningsmasternes faste takt udgøre en væsentlig ændring af banens nuværende fremtræden.

Introduktionen af et fremtrædende tema som dette gør, at banen optræder mindre diskret end den opleves i dag. Fra at have været strækninger, hvor banen diskret strejfer landskabet, bliver det nye anlæg til et element i landskabet af teknisk karakter, der står i kontrast til dette.

En elektrificeret bane bliver således et moderne indslag i de naturområder eller de åbne, landbrugsprægede arealer, som den gennemskærer. Oplevet over åbne eller delvist åbne strækninger vil banens kørestrømsmaster udgøre et samlet visuelt forløb. I byområderne vil introduktionen af kørestrømsmaster være af langt mindre betydning, da banen er pakket ind i beplantning, omgivet af bygninger og andre tekniske anlæg, konstruktioner og byudstyr.

Ved elektrificering skal nogle af de eksisterende overføringer som bekendt ombygges for at sikre tilstrækkelig frihøjde. Et elektrificeret baneanlæg skal ses som ét samlet forløb, der i høj grad knytter sig til det eksisterende baneanlæg. Overføringer bør tage afsæt i lokale forhold, da de er med til at give et område karakter. Valget af brotyper bør således tage udgangspunkt i banens funktion samt i det omgivne miljø. For at sikre en designmæssig helhed på banerne bør ombygning af overføringer være bundet op på en fælles designstrategi. Der vil forventeligt komme en variation i udtrykket samtidig med, at der dannes en designmæssig helhed. Eksempel på en rammebro og en trefagsbro vist i Figur 8.



Figur 8: Princip for rammebro og trefagsbro

Opstilling af transformere vil i det åbne land udgøre et markant teknisk element, hvis visuelle påvirkning afhængig af det omgivende landskab bør minimeres ved etablering af afskærmende beplantning. Ved placering i erhvervsområder eller andre områder med tekniske anlæg vil påvirkningen være mindre betydende.

13.8 Arealer

13.8.1 Ekspropriationer

Ved elektrificering skal der ske en permanent arealerhvervelse ved ekspropriation til etablering af fordelingsstationer og banetransformere samt adgangsveje hertil. Fordelingsstationer og banetransformere placeres med ca. 30 km interval. Arealbehovet til fordelingsstation og til transformere er for hver ca. 0,1 ha [27].

Til arbejdsareal for etablering af kabler til fordelingsstationer og transformatorer skal der midlertidigt eksproprieres areal i en bredde af 2 m på hver side af kabelmidte i hele kablets længde.

Som beskrevet under afsnit 13.6 skal der eksproprieres ejendomme til beboelse, der kan blive påvirket af magnetfelter fra kørestrømsanlægget.

13.8.2 Servitutter

I forbindelse med elektrificeringen skal alle naboejendomme til banen pålægges servitut om eldrift. Servituten pålægger restriktioner med hensyn til højde og nærhed på bevoksning, bygninger og lignende i forhold til ledningsanlæggene. Banedanmark tillægges endvidere ret til at beskære bevoksning på tredjemands ejendom, hvis bestemmelserne ikke overholdes.

Generelt har servitutten om el-drift følgende ordlyd:

Inden for de nedenfor nævnte afstande, målt vandret fra nærmeste elektrificerede spormidte, må følgende ikke findes på ejendommen:

- Inden for 10 meter: Maskiner og arbejdskøretøjer højere end 2 meter, tilskuerpladser, oplagspladser og bygninger, stakke, stilladser stiger samt andre genstande og indretninger, der på grund af højde eller manglende stabilitet kan frembyde gene for køreledningsanlægget.
- Inden for 14 meter: Flagstænger og brønde til vandforsyning med stift pumperør.
- Inden for 19 meter: Tråde hørende til hegn i større højde end 2 meter over det terræn, hvorpå hegnet står, trådformede antenner med tilhørende bærende konstruktioner og barduner eller træer, der ved væltning kan komme i kontakt med eller beskadige spændingsførende dele af køreledningsanlægget.

Banens ledningsanlæg på tredjemands grund skal sikres med almindelige ledningsservitutter, der fastlægger et beskyttelsesbælte omkring ledningerne med begrænsninger i retten til byggeri, udgravning og beplantning. Ved elektrificering vil der typisk være tale om kabler fra koblingsstationer til forsyningsstationer.

Pålæg af servitutter erstattes normalt med et beløb pr. m², der står i forhold til restriktionens omfang. Servitut om eldrift pålægges i et bælte på op til 19 m fra nærmeste spormidte. Det forudsættes, at arealerne, der berøres af servitutten, udgør 13 m fra skel på hver side af banen [27].

Derudover skal der betales erstatning, hvor servitutterne medfører ændring af eksisterende forhold f.eks. beskæring af træer, flytning af udhuse, plankeværk og flagstænger.

13.9 Øvrige miljøeffekter

Elektrificering medfører støj fra almindelige anlægsaktiviteter i forbindelse med nedrivning, bygning hhv. ombygning af overføringer samt etablering af fordelingsstationer og banetransformere. Påvirkningerne vil hovedsagelig bestå i støj, vibrationer og luftemissioner fra anlægsarbejdet.

Etablering af køreledningsanlægget udføres som oftest fra sporet, hvorfor der i anlægsfasen vurderes at være forholdsvis få påvirkninger af omgivelserne ud over de allerede beskrevne; dog adskiller nedramning af fundamenter for køreledningsmaster sig fra dette, såfremt denne arbejdsmetode finder anvendelse. Nedramning af fundamenter er således en støjende, men også kortvarig proces.

En angivelse af lydeffektniveauet ved aktiviteterne er anført i Tabel 15.

Anlægsэлемент	Aktivitet	Forudsætninger	Samlet lydeffekt Law	Varighed
Overføringer: Etablering af ny- eller ombygning af eksisterende overføring.	Anlægsaktiviteter	Samtidig drift af 2 gravemaskiner/gummihjulslæssere og 3 lastbiler	109 dB	4 – 12 måneder.
Overføringer: Nedrivning af eksisterende overføring.	Nedrivningsaktiviteter	Hydraulisk saks eller betonhammer og samtidig drift af en gravemaskine/gummihjulslæsser og 2 lastbiler.	108 dB	Få dage – en uge pr. lokalitet.
Fordelingsstationer og banetransformere: Etablering af fordelingsstation/opstilling af banetransformer.	Anlægsaktiviteter	Samtidig drift af 2 gravemaskiner/gummihjulslæssere og 3 lastbiler	109 dB	1 - 4 måneder.
Køreledningsanlæg	Nedramning af fundamenter for køreledningsmaster	Nedramning af køreledningsmaster.	115 dB	Få minutter - få timer pr. mast.
Køreledningsanlæg	Opsætning af køreledningsmaster, ledningsophæng og køreledning	Samtidig drift af sporkørende materiel, 2 troljer og 1 tårntrolje	109 dB	1 – 2 timer pr. mast.

Tabel 15: Samlet lydeffekt for de mest støjende anlægsaktiviteter [28].

Med forventede grænseværdier for anlægsarbejder på 70/40 dB ved boliger i henholdsvis dagperioden og aften-/natperioden må det forventes, at grænseværdien kan overholdes ved boliger beliggende i afstanden mere end 20 m fra anlægsarbejdet i dagperioden, mens nedramning først kan overholde grænseværdien ved boliger beliggende mere end 40 m fra banen.

Støj kan også påvirke fugle, der er specielt sårbare i ynglesæsonen. I og i nærheden af fuglebeskyttelsesområder skal det vurderes, om støj fra anlægsarbejdet kan påvirke støjfølsomme arter.

Vibrationer fra anlægsarbejderne giver sjældent anledning til vibrationsgener eller bygningsbeskadigelse. Det anbefales, at der forinden anlægsarbejder igangsættes, gennemføres en fotoregistrering af nærliggende ejendomme (ca. 20 – 30 m fra anlægsarbejdet).

Naboerne til anlægsprojekterne bør desuden løbende blive informeret om anlægsaktiviteterne, suppleret med særskilt information inden igangsættelse af anlægsarbejder, der især kan medføre støj- eller vibrationsgener.

Anlægsaktiviteterne kan give anledning til gener fra støv samt emissioner fra entreprenørmateriel, der kan påvirke luftkvaliteten i området. Luftkvaliteten vil afhænge af baggrundsbelastningen i området, områdets karakter samt mængden af emissioner pr. tidsenhed. I det åbne land og byområder vurderes anlægsaktiviteterne ikke at kunne give anledning til væsentlige gener, medmindre anlægsarbejdet sker i lukkede gaderum.

Banestrækningerne i Danmark forløber gennem fredede områder, kulturmiljøer og naturområder beskyttet iht. Naturbeskyttelseslovens § 3, og langs banen ligger fredede fortidsminder, diger mv. Ved projektering af elektrificering af den enkelte strækning skal der tages hensyn til disse områder, således at arbejdsarealer og fordelingsstationer og transformere så vidt muligt ikke berører fredede eller beskyttede områder eller interesser.

13.10 VVM forhold

Jævnfør VVM bekendtgørelsen, bilag 2, skal der i forbindelse med anlæg af jernbane altid udføres en VVM screening til afklaring af, om det konkrete anlæg må antages at kunne få væsentlig indflydelse på miljøet og dermed være VVM pligtigt jf. ref. [50].

VVM screeningen er en indledende vurdering af anlæggets mulige miljøpåvirkninger ud fra de oplysninger, som findes om anlægget.

Dersom det på baggrund af en udført screening vurderes at gennemførelse af anlægsprojektet vil kunne medføre væsentlig indflydelse på miljøet, vil der, jf. den gældende præcedens for udførelse af større jernbaneprojekter, skulle gennemføres en VVM proces, som en del af grundlaget forud for vedtagelse af en anlægslov for projektets udførelse.

VVM bekendtgørelsen, bilag 3, angiver i detaljer, hvilke forhold der skal vurderes i forbindelse med en screening.

De foregående afsnit i kapitel 13 betragtes som en VVM screening, og på baggrund af disse afsnit vurderes det, at elektrificering af en given strækning er VVM-pligtigt, idet elektrificeringen skønnes at have en væsentlig indflydelse på miljøet, navnlig med hensyn til følgende forhold:

- Anlæggets fysiske fremtoning i landskab og byrum
- Påvirkning af faunaen (herunder bl.a. fugle og flagermus)
- Påvirkning af det nære miljø omkring banen med et magnetfelt

Det må således forventes, at der i et eventuelt elektrificeringsforløb skal udarbejdes VVM redegørelser for hver enkelt strækning.

14 Driftsaspekter

14.1 Generelt

Nærværende kapitel omfatter driftsaspekter med hensyn til følgende:

- Materiel
- Køretid
- Driftspålidelighed
- Energiforbrug
- Øvrige effekter

Elektrificering vil samlet set medføre en række konsekvenser, som beskrevet herunder.

Fordele

- Togtrafikken kan gøres uafhængig af olie som primær energikilde.
- Driftsomkostningerne for selve togdriften vil blive lavere, idet elmateriel er billigere i fremførsel, vedligeholdelse og værkstedsaktiviteter end dieselmateriel.
- Elmateriel kan normalt accelerere hurtigere, hvilket potentielt kan give enten lidt kortere rejsetider eller bedre rettidighed.
- Togenes energiforbrug kan nedsættes.
- CO₂-udslippet fra jernbanedriften bliver reduceret.
- Udledning af emissionspartikler bliver mindre.
- Støjniveauet ved lave hastigheder (f.eks. på perroner) vil blive lavere.

Ulemper

- En række banearbejder bliver vanskeligere, da der skal tages hensyn til køreledningsanlægget.
- Banens samlede kapitalapparat bliver større og dermed mere komplekst, hvilket fører til højere vedligeholdelsesomkostninger af infrastrukturen.
- Banen bliver mindre fleksibel, idet elmateriel kun kan anvendes på det elektrificerede net, mens dieselmateriel kan anvendes overalt.

Neutrale effekter

- Banedriften bliver mere følsom overfor driftsforstyrrelser hidrørende fra infrastrukturen (f.eks. strømsvigt), mens effekterne for det rullende materiel er modsat rettede, idet elmateriellet har bedre driftspålidelighed end dieselmateriel⁵⁴.

Ovenstående driftsrelaterede konsekvenser uddybes i det følgende.

⁵⁴ Se dog også angivelserne om DSB's erfaringer i afsnit 1.9.3.

14.2 Materielaspekter

Det er i nærværende arbejde forudsat, at IC4 og IC2 togene leveres efter den plan, der er lagt tilbage i 2009, hvilket er håndteret i materielstrategien Bilag 18.

I gennemførelsesplanen er der dog også set på det tidligst mulige etableringsår forudsat at IC4-materiellet ikke ibrugtages eller disponeres på anden vis. Dette har alene betydning for gennemførelse af elektrificeringen af strækningerne Fredericia - Aarhus og evt. Aarhus - Aalborg.

14.3 Køretid

Med eltraktion er det muligt at opnå såvel høje effekter som højt effekt/vægt forhold, således at det med eltraktion potentielt er muligt at opnå hurtigere acceleration, højere hastighed samt højere trækraft på stigninger.

Såvel elmateriel som moderne dieselmateriel, som f.eks. IC3, har høj acceleration ved lavere hastigheder, men ved højere hastigheder er accelerationen ved eltraktion større end for dieseltraktion. Årsagen er, at eltraktionseffekten ikke er begrænset af den medbragte motor (men af forsyningsnettet), og at eltraktionen har mulighed for at yde høj effekt i det korte tidsinterval, accelerationsforløbet varer.

Størrelsen af de kortere køretider er afhængig af strækningens natur, men bl.a. er hyppige stationsophold, faste hastighedsnedsættelser samt stejle stigninger til gunst for elektrisk traktion med hensyn til køretid. Hyppige stationsophold er karakteristisk for metroer og forstadsbaner, og som følge af bedre acceleration af eltraktion er praktisk taget alle metroer og forstadsbaner (herunder S-banen) elektrificerede, og en betjening af f.eks. S-banen med dieselmateriel er næppe teknisk mulig. Det skal dog her pointeres, at det danske fjernbanenet bl.a. er karakteriseret ved, at stationerne ligger forholdsvist tæt sammenlignet med udenlandske forhold. Faste hastighedsnedsættelser, som er en lokal permanent nedsættelse af strækningshastigheden (ofte benævnt "knaster"), findes også på så godt som alle strækninger.

Som følge af bedre acceleration af eltraktion kan elektrisk materiel opnå lavere køretid på disse strækninger end tilsvarende dieselmateriel, og investeringer i udbedringer af disse knaster kan i højere grad undgås. Det danske fjernbanenet er bl.a. karakteriseret ved, at der er en række faste hastighedsnedsættelser, som er kostbare (eller umulige) at fjerne.

Stejle stigninger er karakteristisk for baner i bakke- og bjerglande, og som følge af mulighederne for at opnå en langt højere traktionseffekt end tilsvarende dieselmateriel, kan elektrisk materiel opnå højere hastighed op ad disse stigninger. Forholdet er navnlig gældende for godstog, og da det danske

fjernbanenet, med få undtagelser, har beherskede stigninger, har forholdet næppe betydning i nærværende sammenhæng.

14.4 Driftspålidelighed

En elektrificeret bane vil alt andet lige være på et højere komplikationsniveau end en ikke-elektrificeret bane. De ekstra anlægskomponenter, som elektrificeringsinfrastrukturen udgør, sammenholdt med den slitage på komponenterne som kontakten mellem togmateriellet og køretråden medfører, vil i et eller andet omfang medføre nedbrud som f.eks. køreledningsnedfald og materieldefekter, som i sagens natur ikke kan optræde ved dieselmaterieldrift.

Risiko for køreledningsnedrivning og materieldefekter skal dog sammenholdes med en forbedring af driftspålideligheden af togene, idet elmateriel alt andet lige har en højere opetid end dieselmateriel, og f.eks. kan et motornedbrud ikke forekomme i et elmateriel.

Effekten på driftspålidelighed kan således ikke estimeres i denne screening, men den vurderes som beskeden, og synes ikke at have indflydelse på andre infrastrukturforvalteres forhold til implementering af elektrificering.

14.5 Øvrige effekter

Effekter for godstog er ikke medtaget, idet al betydende godstrafik på jernbanen allerede fremføres med eltraktion, ligesom det er besluttet at overflytte den fremtidige transitgodstrafik til Femern Bælt korridoren.

Der kører andre togsystemer end de i scenarierne betragtede, men disse systemer er ikke relevante for scenarierne og er derfor ladet ude af betragtning.

Der er en særlig problematik knyttet til overkørsler på elektrificerede baner, idet køretrådens placering giver en begrænsning i højden på bilerne. For tiden er begrænsningen 4,5 m, men ved en lavere køretrådshøjde bliver begrænsningen forøget.

15 Specifikt grundlag

15.1 Generelt

Nærværende kapitel omfatter det specifikke grundlag med hensyn til følgende:

- Trafikale analyser
- Systemkøreplan
- Passagerbelastninger
- Driftslinjer
- Beregningsforudsætninger
- Beregningsmetode
- Modelresultater
- Materielbehov
- Materielpriser
- Materieldriftsøkonomi

15.2 Trafikale analyser

De trafikale analyser er foretaget for de enkelte scenarier, og danner grundlag for den efterfølgende materielstrategi og de samfundsøkonomiske analyser.

De trafikale analyser gennemføres for hvert scenarium for en referencesituation, hvor omfanget af elektrificerede strækninger er som i dag plus vedtagne projekter⁵⁵; samt for en projektsituation med et varierende antal elektrificerede strækninger, se kapitel 12.

Analyserne omfatter dels fastlæggelse af driftsmæssige forhold som køretider, vendetider, omløbstider og materielbehov, samt passagermæssige forhold såsom ændringer i passagemængder, rejsetider, skift mv. Passagermæssige forhold indgår dog kun i scenarier, projektsituationen (i forhold til referencesituationen) medfører at passagerer skal skifte tog og får forlænget rejsetiden.

Resultatet af den trafikale kalkulationsmodel er således dels driftsproduktionen, dvs. antallet af togenheder, årlige togenheds-km, togenhedstimer og pladskm; dels eventuelle passagereffekter som beregning af passagerfracald og rejstidsforlængelse.

⁵⁵ Ny bane København – Ringsted samt Femern Bælt danske jernbanelandanlæg.

15.3 Systemkøreplan

Projektet Kapacitet 2020 har leveret systemkøreplan for den trafikale situation i 2020 Basis⁵⁶. Køreplanen danner grundlag for analyser af relevante driftslinjer i de enkelte scenarier, herunder driftslinjernes køretider.

Systemkøreplanen danner grundlag for en oversigt af driftslinjernes kørsel og traktion i de enkelte scenarier. Visse driftslinjer "klippes over", hvilket medfører, at passagerer på enkelte driftslinjer skal skifte mellem diesel- og elmateriel. Der henvises til Bilag 10 for den samlede oversigt.

Systemkøreplanen lægges til grund for analyserne i såvel Basis- som Visions-situationen.

15.4 Passagertal

På baggrund af den udarbejdede systemkøreplan har projektet Kapacitet 2020 foretaget trafikmodelberegninger vha. systemet VISUM.

Der foreligger således for beregningsåret (2020 for Basis, 2030 for Vision) estimater fra VISUM på det maksimale antal passagerer hver enkelt afgang, for alle driftslinier.

Endvidere foreligger fra VISUM-beregningerne oversigter over rejsestrømme og passagemængder, til brug for estimering af antallet af berørte passagerer i tilfælde hvor en driftslinie "skæres over". For hvert strækingsafsnit på hovednettet er antallet af rejser i hver retning på et hverdagsdøgn udlagt. Rejserne er opdelt i fire tidsperioder:

- Morgenmyldretid (kl. 07-09),
- Dagtrafik (kl. 09-15),
- Eftermiddagsmyldretid (kl. 15-18),
- Aften/nat (kl. 18- 01 samt kl. 05-07)

På døgnniveau er rejsemængderne i de to retninger så godt som symmetriske. På hovedparten af de dimensionsgivende strækingsafsnit, dvs. i Hovedstadsområdet og omkring Aarhus H, er morgenmyldretiden den mest belastede tidsperiode. Rejsestrømmene ses af Bilag 20 og Bilag 21.

Vedrørende estimaterne på det antal passagerer, som berøres af et togskifte i Holbæk fra el- til dieseltog (eller omvendt) gælder, at de trafikmodelresultater som ligger til grund, medfører tæt på samme antal passagerer i Basis- og Visions-situationen, selv om det er forventeligt at tallet er større i Visions-situationen. Dette vurderes dog at være uden betydning for analysens samlede overordnede konklusioner. For nærmere forklaring se afsnit 17.6.

⁵⁶ Systemkøreplan 2020, "køreplanseksempler k10 og k20.xls"

15.5 Driftslinjer

De berørte driftslinjer i de valgte scenarier er angivet i nedenstående tabel.

Scenarium	Elektrificerings-strækning	Berørte driftslinjer	Passageromstigning
1A	Lunderskov-Esbjerg	13 København-Esbjerg 16 København-Padborg	-
1B	Fredericia-Aarhus H	11 København-Aalborg 12 Odense-Aarhus H 14 København-Aarhus H 42 Esbjerg-Aarhus H	Passagerskift i Aarhus H (linje 11)
1C	Hobro-Frederikshavn	44 Hobro-Lindholm 45 Skørping-Lindholm 46 Aalborg-Frederikshavn 47 Aalborg-Hjørring	-
1D	Roskilde-Holbæk	31/33 Roskilde-Kalundborg 32/34 København-Holbæk	Passagerskift i Holbæk (linje 31/33)
1E	Køge N – Næstved	35/36 København-Næstved	-
2B-1	Aarhus H-Aalborg	11 København-Aalborg 12 Odense-Aarhus H 14 København-Aarhus H 42 Esbjerg-Aarhus H 43 Aarhus H-Aalborg 44 Hobro-Lindholm 45 Skørping-Lindholm	-
2B-2	Aalborg-Frederikshavn	11 København-Aalborg 12 Odense-Aarhus H 14 København-Aarhus H 42 Esbjerg-Aarhus H 43 Aarhus H-Aalborg 44 Hobro-Lindholm 45 Skørping-Lindholm 46 Aalborg-Frederikshavn 47 Aalborg-Hjørring	-
2B-3	Kolding-Struer	11 København-Aalborg 12 Odense-Aarhus H 14 København-Aarhus H 42 Esbjerg-Aarhus H 48 Kolding-Struer	Passagerskift i Aarhus H (linje 11)
2D-1	Holbæk-Kalundborg	31/33 Roskilde-Kalundborg 32/34 København-Holbæk	-

Tabel 16: Berørte driftslinjer i de enkelte scenarier

15.6 Beregningsforudsætninger

Det har i den trafikale kalkulationsmodel været nødvendigt at opstille en række beregningsforudsætninger, som beskrives i det følgende.

Ved analyse af hvert enkelt scenarium er det forudsat, at trafikken i den "ikke-elektrificerede" referencesituation præsteres af IC4-dieselmateriel, mens trafikken i den "elektrificerede" projekt-situation præsteres af helt tilsvarende eldrevet materiel, dvs. IC4 i en elektrisk udgave. De konkrete materielstrategier for scenarierne er således ikke lagt til grund, fordi disse omfatter subjektive valg, som kan foretages på flere måder, og som hver især vil give forskellige resultater mht. behov for investeringer i nyt materiel. Med den valgte forudsætning, at IC4-diesel hhv. IC4-el konsekvent lægges til grund, vil man opnå en analyse af hver enkelt stræknings elektrificeringsegnethed i situationen 'alt-andet-lige'.

Derudover er følgende forudsætninger lagt til grund:

- Der er regnet med samme køretider for diesel- og elmateriel, selv om der kan opnås en vis køretidsgevinst ved anvendelse af elmateriel, se afsnit 14.3.
- Vendetider er vurderet med hensyntagen til behov for op- og nedgradering, samt under forudsætning af faste minuttal jf. systemkøreplanen.
- Ved dimensioneringen af antal nødvendige togenheder i myldretid er der forudsat en belægningsgrad (siddeplads) på 100 %. Dette betyder i praksis, at der i myldretid vil være enkelte stående over kortere distancer, specielt i pendlertrafikken til/fra København.
- Effekter for godstog er ikke medtaget, idet al betydende godstrafik allerede køres med eltraktion, ligesom det er besluttet at overflytte den fremtidige transitgodstrafik til Femern Bælt korridoren.
- Udenlandske erfaringer dokumenterer generelt, at elmateriel kører længere mellem nedbrud end dieselmateriel. I beregningen af det nødvendige antal togenheder er materielreserven derfor differentieret mellem de to traktionstyper. Der er således forudsat en konservativ vurdering af materielreserven for dieselmateriel på 15 % og 10 % for elmateriel.
- I basissituationen er passagertallene fremskrevet fra 2020 til 2029 med 1,5 % p.a. I perioden 2030 til 2039 fremskrives passagertallene med 1,0 % p.a. Fra 2040 og frem forudsættes ingen vækst i passagertallet.
- I visionssituation (dvs. i VISUM-beregningen) er passagertallene fremskrevet, således at antallet af passagerkilometer er fordoblet i år 2030⁵⁷. Den procentvise stigning i passagerantallet fra 2030 antages at forløbe ens i basis- og visionssituationen⁵⁸.

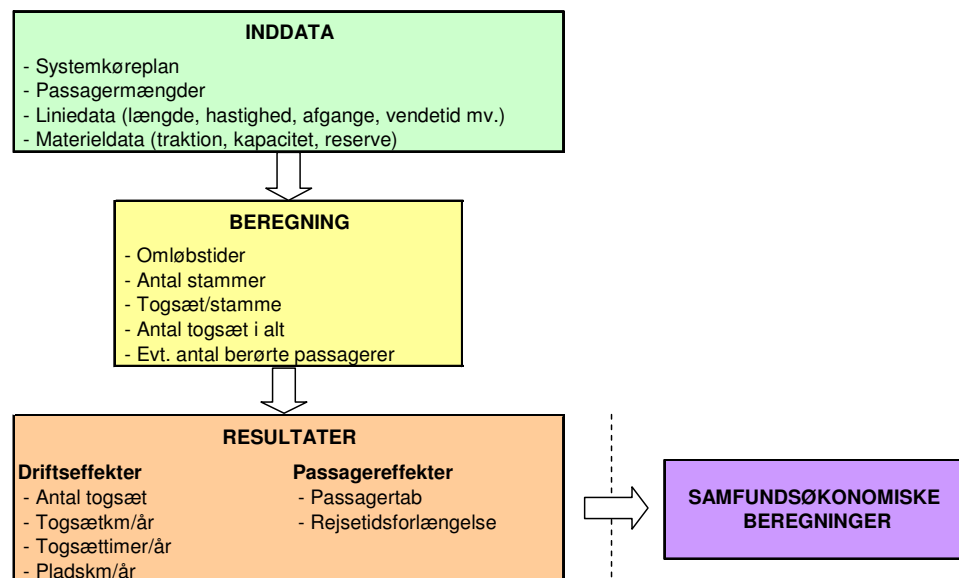
⁵⁷ Analysen ser ikke på hvorledes dette visionsscenario kan opfyldes. Da fokus udelukkende er at se på forskellen mellem diesel- og eldrift er det i denne sammenhæng ikke relevant at se på, hvilke transportmidler de "nye" passagerer kommer fra.

⁵⁸ I Bilag 20 og Bilag 21 er et passagerkort, som viser passagerbelastningen i basis- og visionssituationen.

- Materielbehov og -produktion er beregnet i 2022, 2030 og 2040, på basis af omløbstider og deraf afledt nødvendigt stammebehov iht. systemkøreplanen og vurderede vendetider, samt ud fra max. passagerbelastning på hver enkelt afgang iht. VISUM-beregningen (fremskrevet til pågældende år). For Esbjerg-scenariet er dette endvidere beregnet i 2015,
- Eventuelle passageromstigninger sker i henhold til systemkøreplanen alene i hhv. Aarhus H (scenarium 1B) eller Holbæk (scenarium 1D). Der er således en række scenarier, hvor der ikke indgår passagereffekter. I køreplanen er der for den pågældende linje indlagt opholdstid i Aarhus H på 8 min.; skiftende passagerer her får således ikke forlænget rejsetid, men alene en skiftestraf. Ved omstigning i Holbæk er der ikke på samme måde indlagt en opholdstid i køreplanen; her får de skiftende passagerer således en rejsetidsforlængelse på 5 min.
- Omstigning vil medføre et passagerfrafald på den pågældende driftslinje, dels pga. den reducerede komfort, dels pga. den forlængede rejsetid. Passagertabet beregnes ved brug af en rejsetidselasticitet på -0,4.⁵⁹
- Opregning fra hverdagsdøgn til årstrafik sker ved multiplikation med 360, dog for driftslinier med megen pendlertrafik med 320 (Nordvestbanen samt København-Køge-Næstved-banen), i overensstemmelse med nuværende køreplaner.

15.7 Beregningsmetode, sammenfatning

Den trafikale kalkulationsmodel er opbygget i et regneark, som for såvel Basis- som Visionssituationen benytter den principielle beregningsmetode illustreret i nedenstående figur.



Figur 9: Principiel beregningsmodel for det trafikale grundlag

⁵⁹ I trafikmodeller anvendes typisk rejsetidselasticiteter mellem 0,2-0,6, hvorfor det her er valgt at anvende en middelværdi. En 10 % forøgelse af rejsetiden vil således resultere i et passagertab på $(-0,4 * 10 \% =) 4\%$.

15.8 Beregningsresultater, trafikale analyser

Resultaterne er præsenteret således, at der for hvert beregningsscenario er angivet de driftsmæssige resultater, der præsteres af hhv. diesel- og el-materiel. Endvidere er angivet differencen – dvs. besparelsen – for den del af produktionen, der præsteres af dieselmateriellet i hhv. en referencesituation og scenariesituationen. Det er disse driftsmæssige besparelser, der angiver det direkte input til de samfundsøkonomiske beregninger.

Resultaterne af de drifts- og passagermæssige effekter af kalkulationsmodellen i beregningsårene 2022, 2030 og 2040 er vedlagt som Bilag 12 og Bilag 13. I nedenstående tabel er præsenteret udvalgte resultater for Basissituationen i 2022.

Basis 2022		Materielbehov		Togenhedskm/år	
Scenarium	Strækning	Diesel	El	Diesel	El
1A-1	Lunderskov-Esbjerg	12	11	5.923.200	5.923.200
1A-1	Lunderskov-Esbjerg	12	11	5.923.200	5.923.200
1B	Fredericia-Aarhus	32	33	15.121.920	15.121.920
2B-1	Aarhus – Aalborg	50	47	20.987.520	20.987.520
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	56	53	22.738.560	22.738.560
2B-3	Vejle – Struer	38	38	17.359.680	17.359.680
1C	Hobro-Frederikshavn	12	11	2.916.000	2.916.000
1D	Roskilde-Holbæk	27	28	6.739.200	6.739.200
2D-1	Holbæk-Kalundborg	35	33	8.156.160	8.156.160
1E	Køge Nord-Næstved	28	26	6.666.240	6.666.240

Tabel 17: Resultat af materielbehov samt togenhedskm i Basissituationen 2022

Det ses, at materielforbruget ved elektrisk drift er mindre, hvilket skyldes at materielreserven kan mindskes, som angivet i afsnit 15.6. Når det i tabellen i enkelte tilfælde ikke er tilfældet, er årsagen, at dieselmateriellet indgår i en større sammenhæng, nemlig den eksisterende dieselmaterieelpulje.

15.9 Materielbehov

Det indgår som en specifik forudsætning, at DSB, selvom IC4 forudsættes at blive idriftsat som planlagt, har akut materielmangel. Forholdet belyses nærmere i afsnit 20.1, og er endvidere bekræftet af DSB på projektets styregruppemøder.

15.10 Materielpriser

15.10.1 Generelt

I nærværende afsnit gives en uddybning af grundlaget for de enhedspriser vedrørende anskaffelse af rullende materiel, der er anvendt i de samfundsøkonomiske analyser.

Materielomkostninger omfatter i nærværende sammenhæng alene omkostninger forbundet med indkøb af materiel, og således ikke den løbende drift, som behandles i afsnit 15.11.

Der fokuseres alene på det materiel, der er relevant for hovedrapporten; dvs. sammenligneligt diesel- og elmateriel af IC4-typen, defineret som en diesel- eller elmaterielenhed med samme passagerkapacitet som IC4 (ca. 200 siddepladser), længde ca. 80 m og maksimal hastighed 200 km/h. Der er tale om togheder, dvs. et tog med egen traktion og med førerrum i begge ender⁶⁰.

15.10.2 Beregningsgrundlag

Estimatet for materielomkostningerne er baseret på notatet Enhedsomkostninger ved persontogsdrift, som er udarbejdet af NIRAS for Trafikstyrelsen i 2007, og er revideret til brug for nærværende analyse i maj 2011, ref. [47].

Materielomkostningerne er efterfølgende vurderet i forhold til andre kilder, herunder rapporterne fra Railway Safety and Standards Board ref. [30] og Network Rail ref. [31].

Alle priser er angivet i prisniveau 1. januar 2011, med mindre andet er angivet.

⁶⁰ Togheden kan således være konfigureret enten som et togsæt med traktion fordelt langs toget eller som et lokomotiv fast sammenkoblet med vogne uden traktion.

I de økonomiske analyser er følgende materielpriser benyttet:

Materiel	Pris [mio. kr.]
IC4-diesel	62
IC4-el	53

Tabel 18: Benyttede priser

Opmærksomheden henledes på, at den eksakte materielpris (altså prisniveauet) i forhold til analysen, ikke er af afgørende betydning, men at prisforskellen mellem de to materieltyper derimod er afgørende.

Ovenstående omkostningsniveau er estimeret i ref. [7] samt udenlandske analyser, på basis af realiserede omkostninger fra diesel- og elmateriel, jf. nedenstående⁶¹.

Materiel	Pris, mio. kr./togenhed	Pris opgjort pr. plads, kr./plads (siddepladser)	Pris opgjort pr. m tog ⁶² , kr./togenhed-m
IC3	Ca. 45	311.000	844.000
IC4	Ca. 62	302.000	775.00
Gennemsnit dieselmateriel		306.500	809.500
IR4	Ca. 55	243.000	779.000
Øresundstog	Ca. 64	270.000	877.000
Gennemsnit, elmateriel		256.500	828.000
El/diesel		84 %	102 %

Tabel 19: Priser

Som det ses, er billedet er ikke entydigt, og de angivne togtyper er af meget forskellig karakter mht. indretning og udrustning, ligesom det er uklart, hvad der indgår i prisoplysningerne. Det er lagt til grund, at elmateriel, alt andet lige, er billigere end tilsvarende dieselmateriel⁶³, hvilket også underbygges af erfaringer fra udlandet. Som det angives i afsnit 1.8 og afsnit 15.10.4 er dette forhold vurderet og sanktioneret af styregruppen, herunder DSB.

⁶¹ Beløbsstørrelserne er sanktioneret af DSB.

⁶² kr / (togsæt x (toglængde - 6 m)) idet der er fradraget for førerrum mv.

⁶³ Tendensen underbygges ikke af tabellen.

I de for nyligt afsluttede undersøgelser af fortsat elektrificering af banestrækninger i Storbritannien, ref.[31] lægges følgende beregningspriser til grund:

Materiel NG-EMU-typen⁶⁴	Årlig kapitalomkostning GBP/togenhed/år
Dieselmateriel	110.000
Elmateriel	90.000
El / diesel	82 %

Tabel 20: Kapitalomkostninger, Network Rail

På basis af overstående er det i analysen valgt at benytte en pris for elmateriel, som er 15 % mindre end prisen for det tilsvarende dieselmateriel.

15.10.3 Usikkerhed

Materielpriser for togmateriel er meget svært tilgængelige, idet en række faktorer gør sig gældende, bl.a.:

- De enkelte operatørers materiel er forskelligt
- De enkelte leverandører og operatører angiver priser forskelligt
- De enkelte leverandørers prispolitik er uigennemsigtig (og politisk)
- De enkelte leverandører opgiver kontraktstørrelser forskelligt
- De enkelte ordrestørrelser er meget forskellige
- Forudsætningerne for priserne er uigennemsigtige (og forskellige)
- Der er ikke adgang til kontrakter, betingelser og forudsætninger
- Mængderabatter m.m. er uigennemsigtige

Der knytter sig således en ikke kvantificeret usikkerhed til de angivne materielpriser, ligesom der også tilknyttes subjektive valg, men ovennævnte priser er estimeret i ref. [47] på basis af danske erfaringer, men understøttes af internationale erfaringer bl.a. angivet i ref. [31], side 31.

15.10.4 Kvalitetssikring

Analyserapportens angivelser af materielpriser er vurderet af projektets styregruppe, herunder DSB, som har fundet, at såvel materielprisen (altså prisniveauet) som forholdet mellem elmaterielprisen og dieselmaterielprisen er rimeligt og i overensstemmelse med det forventede.

⁶⁴ New Generation Electric Motor Unit, altså elektriske togsæt af moderne type, som er anskaffet inden for de seneste år.

Banedanmark har ladet analyserapportens angivelser af materielpriser underkaste en ekstern kvalitetssikring af firmaet Civity, og konklusionen fra dette firma er, at der, på baggrund af indhentning af priser for en række togenheder af forskellig type, ikke kan ses nogen prisforskel mellem el- og dieselmateriel.

15.10.5 IC4-diesel

IC4-materiellet er referencetoget, idet der for denne togtype foreligger oplysninger om en konkret kontrakt med tilhørende investeringsomfang fra adskillige kilder, f.eks. følgende:

1. Kontrakten mellem DSB og AnsaldoBreda blev indgået i 2000, og fra adskillige kilder angives til 4,6 til 5,0 mia. kr. for 83 togsæt, hvilket giver min. ca. 55 mio. kr./togetsæt i 2000 priser.
2. I maj 2009 offentliggjorde DSB i en pressemeddelelse⁶⁵, at der var indgået forlig med AnsaldoBreda, der betød, at "DSB foruden 83 IC4-tog og 23 IC2-tog modtager 2,25 mia. kr. i kompensation ud af en samlet kontraktsum på 5,4 mia. kr."⁶⁶ Altså betalte DSB 3,15 mia. kr. for den samlede levering.

Denne sum omfatter dog ikke, at togene leveres i en standard, hvorved de direkte kan indgå i jernbanetrafikken. Det er derfor vurderet, at prisedslaget er anvendt til at opgradere togene til den forudsatte standard, og der ses bort fra dette.

Fra ref. [5] findes angivelsen 800 mio. kr./23 togsæt, hvilket giver ca. 35 mio. kr./sæt i 2002 priser. Det har ikke været muligt at indhente detaljeret information om prisforholdet mellem IC4 og IC2, men ud fra togtypernes kapacitet er det vurderet, at to stk. IC2 togsæt koster ca. 20 % mere end et IC4-togsæt.

På den baggrund fastholdes prisen for de 83 IC4-tog til ovennævnte ca. 55 mio. kr. i 2000-priser.

Da prisindekset fra 2000 til 2011 er steget ca. 25 % skulle prisen i 2011 udgøre ca. 69 mio. kr., men da det er usikkert, om materielpriserne følger prisindekset i øvrigt, fastholdes en konservativ vurdering til ca. 12,5 %, hvilket giver en pris på ca. 62 mio. kr./togetsæt, hvilket stort set er overensstemmende med angivelsen i [47], som angiver 61 mio. kr.

Det er således vurderingen, at prisen på IC4-dieselmateriel ikke er estimeret for højt.

⁶⁵ DSB Presseklip, 21. maj 2009

⁶⁶ Hvoraf de 800 mio. kr. angiveligt skulle dække 23 IC2 tog.

15.10.6 IC4-el

Som det beskrives i afsnit 17.5.2 er der markedsmæssige grunde til, at elmateriel, alt andet lige, kan forudsættes som billigere en dieselmateriel, men der er ikke gennemført en uddybende analyse af forskellen mellem prisen på sammenligneligt el- og dieseldrevet materiel, der kan køre 200 km/h. Dette skyldes i høj grad, at det er vanskeligt at finde direkte sammenligneligt materiel med forskellige traktionstyper.

Rapporten, ref. [47], indikerer – på baggrund af sammenligninger af materielpriser for forskellige tog- og traktionstyper, at forskellen mellem anskaffelsesprisen for nyt eldrevet materiel udgør ca. 85 % af investeringsbehovet for et sammenligneligt dieselmateriel, hvilket underbygges af internationale erfaringer, bl.a. ref. [31].

På den baggrund anslås prisen for et elektrisk 2-strøms togenhed med tilsvarende kapacitet at andrage ca. 53 mio. kr.

15.11 Materiel driftsøkonomi

15.11.1 Generelt

I nærværende afsnit gives en uddybning af grundlaget for visse enhedspriser, der er anvendt i de samfundsøkonomiske analyser, herunder enhedsprisen driftsomkostninger for materiellet.

Materielomkostninger omfatter i denne sammenhæng alene omkostninger forbundet med den løbende drift og vedligehold af togmateriellet, og i analysen tages udelukkende højde for de omkostninger til drift og vedligehold som er forskellige mellem de to materieltyper, nemlig:

1. Vedligehold
2. Forsikring
3. Energi

Forhold angående forsikring er af mindre betydning, og behandles ikke nærmere, mens forhold angående materielpriser behandles i afsnit 15.10.

Der fokuseres alene på det materiel, der er relevant for hovedrapporten; dvs. sammenligneligt diesel- og elmateriel af IC/4-typen, defineret som en diesel- eller elmaterielenhed med samme passagerkapacitet som IC/4 (ca. 200 siddepladser), længde ca. 80 m og maksimal hastighed 200 km/h. Der er tale om togenheder, dvs. et tog med egen traktion og med førerrum i begge ender⁶⁷.

⁶⁷ Togenheden kan således være konfigureret enten som et togsæt med traktion fordelt langs toget eller som et lokomotiv fast sammenkoblet med vogne uden traktion.

15.11.2 Beregningsgrundlag

Estimeringen af materielomkostningerne er baseret på notatet *Enhedsomkostninger ved persontogdrift*, som er udarbejdet af NIRAS for Trafikstyrelsen i 2007, og er revideret til brug for nærværende analyse i maj 2011, ref. [47]. Materielomkostningerne er endvidere vurderet i forhold til andre kilder, herunder rapporterne fra *Railway Safety and Standards Board* [30] og *Network Rail* [31]. Det nævnte notat baserer sig på oplysninger om materiel af typerne IC3, IC/4, IR4, LINT, Øresundstoget (ET), S-tog af 4. generation samt forventede fremtidige togtyper.

Rapporten, ref. [47] håndterer følgende emner:

1. Personaleomkostninger
2. Energiomkostninger
3. Vedligeholdelsesomkostninger
4. Forsikringsomkostninger
5. Kapitalomkostninger

Som angivet i indledningen kommenterer nærværende notat alene emnerne angivet under 2 og 3.

Analysen benytter følgende vedligeholdelsesomkostninger (alle priser er angivet i prisniveau 1. januar 2011, med mindre andet er angivet).

Materiel	Vedligeholdelsesomkostninger kr./togenhedkm/år
IC/4-diesel	15,38
IC/4-el	10,77

Tabel 21: Benyttede vedligeholdelsesomkostninger

Ovenstående omkostningsniveau er estimeret i ref. [47] på basis af realiserede omkostninger fra dansk diesel- og elmateriel, jf. nedenstående⁶⁸.

⁶⁸ Beløbsstørrelserne er sanktioneret af DSB.

Materiel	Vedligeholdelseskostninger, kr/togenhedkm	Opgjort pr. plads, kr/pladskm (siddepladser)	Opgjort pr.m tog⁶⁹, kr/togenhedkm/m
IC3	16,39	0,114	0,309
IC/4	15,38	0,075	0,192
Gennemsnit dieselmateriel		0,095	0,251
IR4	11,99	0,053	0,169
Øresundstog	10,88	0,046	0,145
Gennemsnit elmateriel		0,050	0,157
El / diesel		53 %	63 %

Tabel 22: Realiserede enhedspriser vedrørende vedligehold

Som det fremgår, er realiserede enhedspriser vedr. vedligehold for elmateriel markant mindre end tilsvarende tal for dieselmateriel.

Denne konklusion underbygges af udenlandske analyser og erfaringer. I analyserne som ligger til grund for nylige undersøgelser af elektrificering af banestrækninger i Storbritannien, Ref. [31], lægges følgende omkostninger til grund:

Materiel NG-EMU-typen⁷⁰	Vedligeholdelseskostninger GBP/togenhedkm
Dieseltraktion	0,60
Eltraktion	0,40
El / diesel	67 %

Tabel 23: Vedligeholdelseskostninger, Network Rail

⁶⁹ kr / (togsætkm x (toglængde - 6 m)) idet der er fradraget for førerrum mv.

⁷⁰ New Generation Electric Motor Unit, altså elektriske togsæt af moderne type, som er anskaffet inden for de seneste år.

Analyserne er baseret på angivelser af energiforbrug og energiomkostninger fra ref. [47] som følger:

Materiel	Energiforbrug l/togenhedskm	Energiforbrug kWh/togenhedskm
IC/4-diesel	1,41	-
IC/4-el	-	6,55

Tabel 24: Energiforbrug

Materiel	Forbrug l/ togenhedkm	Forbrug kWh/ togenhedkm	Energiom- kostninger kr/togenhed km	Opgjort pr. plads kr/pladskm	Opgjort pr. m tog1 kr/ (togenhedkm* m)
IC3	1,06	-	4,24 kr	0,0294	0,080
IC/4	1,41	-	5,64 kr	0,0275	0,071
Gennemsnit dieselmateriel				0,0285	0,076
IR4	-	6,55	3,10 kr	0,0137	0,044
Øresund	-	6,55	3,10 kr	0,0131	0,043
Gennemsnit elmateriel				0,0134	0,044
El / diesel				47 %	58 %

Tabel 25: Energipriser

15.11.3 Usikkerhed

Vedligeholdelsesomkostninger for togmateriel er svært tilgængelige, idet en række faktorer gør sig gældende, bl.a. følgende:

- De enkelte operatørers materiel er forskelligt
- De enkelte operatørers flåde har meget forskellig størrelse og sammensætning
- Konkurrencehensyn gør, at oplysningerne hemmeligholdes
- Omkostningerne opgøres forskelligt af de forskellige operatører
- Forudsætninger m.m. er uigennemsigtige (og forskellige)

Der knytter sig således en ikke kvantificeret, usikkerhed til de angivne omkostninger, ligesom der også knytter sig subjektive vurderinger og valg, men de ovenfor nævnte omkostninger understøttes af internationale erfaringer.

15.11.4 Kvalitetssikring

Analyserapportens angivelser af driftsomkostninger er vurderet af projektets styregruppe, herunder DSB, som har fundet, at såvel prisniveauet som forholdet mellem prisniveauerne er rimeligt og i overensstemmelse med det forventede.

Banedanmark har ladet analyserapportens angivelser af driftsomkostninger underkaste en ekstern kvalitetssikring af firmaet Civity, og konklusionen fra dette firma er, at driftsomkostningerne for elmateriel i forhold til dieselmateriel er endnu lavere end de i analysen angivne.

Analysens angivelser fastholdes.

15.11.5 IC4-diesel

Såfremt der udelukkende fokuseres på traktionsenhederne kan de højere driftsomkostninger for dieselmateriel begrundes med en teknisk betragtning, idet dieselmateriel, alt andet lige, er mere kompliceret og indeholder flere slidkomponenter, som dels kræver vedligeholdelse og dels skal udskiftes med jævne mellemrum, end elmaterielsenheder.

Der gælder navnlig, at de dieselmotorer og transmissionsenheder, som benyttes i det betragtede dieselmateriel, ikke kan forventes at holde til 30 års drift uden komponentudvekslinger (eller remotoriseringer) undervejs. Årsagen er, at der benyttes standardmotorer og – transmissionsenheder fra lastbilindustrien, og at disse motorer og transmissionsenheder er konstrueret til lastbil drift, og ikke til 30 års jernbanedrift.

Ovenstående forhold er et bevidst valg fra leverandører og operatørers side med det formål, at kunne anvende prisgunstige standardløsninger.

Ovenstående antagelser vurderes at være i overensstemmelse med DSB's erfaringer og praksis, hvor DSB har gennemført komponentudvekslinger (bl.a. i form af en remotorisering) af IC3-materiellet.

Omkostninger til komponentudvekslinger eller remotorisering er medtaget i Enhedspriser for togdrift [47].

Med hensyn til 'større' eftersyn gælder for dieselmateriel, at motorer og gear skal efterses og vedligeholdes regelmæssigt, samt at udveksling af slidkomponenter er nødvendige.

15.11.6 IC4-el

Rapporterne ref. [47] og [31] angiver, at driftsomkostningerne for elmateriel, alt andet lige, udgør ca. 70 % af driftsomkostningerne for dieselmateriel.

Såfremt der udelukkende fokuseres på traktionsenhederne kan de lavere driftsomkostninger for elmateriel begrundes med en teknisk betragtning. For elmateriel gælder, alt andet lige, at det er mindre kompliceret, og at det indeholder færre slidkomponenter, som dels kræver vedligeholdelse og dels skal udskiftes med jævne mellemrum, end dieselmaterielenheder.

Der gælder for elmateriellet, at de komponenter, som er knyttet til traktionen i det betragtede elmateriel, nemlig transformere, kraftelektronik samt banemotorer og gear er enkle, driftsikre og forventes at kunne fungere i 30 år uden gennemgribende ændringer undervejs.

Med hensyn til 'større' eftersyn gælder for elmateriel, at pantografer, transformere, kraftelektronik, banemotorer og gear⁷¹ ikke er egentlige slidkomponenter⁷², og at disse komponenter traditionelt dimensioneres til en levetid på mere end 30 år.

⁷¹ 'Gear' i elmateriel kan ikke sammenlignes med 'gear' i mekaniske transmissionsenheder knyttet til dieselmateriel.

⁷² En undtagelse udgør pantografens kulbane, altså selve strømaftagningskomponenten, som er en egentlig slidkomponent, og som skal fornyes regelmæssigt. Dette håndteres i forbindelse med et 'lille' eftersyn, og kræver ingen øvrige komponentudskiftninger eller tiltag.

16 Anlægsøkonomi

16.1 Generelt

Nærværende kapitel omfatter anlægsøkonomi med hensyn til følgende:

- Historik og metode
- Ændringer fra 2009 til 2011
- Opbygningen af anlægsoverslaget
- Anlægsoverslag, alle strækninger
- Anlægsoverslag, Lunderskov – Esbjerg
- Anlægsoverslagsoversigt
- Følgeinvesteringer

16.2 Historik og metode

Til brug for en vurdering af de anlægsøkonomiske konsekvenser af en elektrificering af banenettet, er der foretaget en beregning af anlægsoverslaget for de enkelte scenarier, som oplistet i kapitel 12.

En elektrificering medfører ikke i sig selv fornyelse eller opgradering af eksisterende infrastruktur, men det kan vise sig nødvendigt at foretage mindre tilpasninger som følge af elektrificeringen bl.a. ud fra en nærmere gennemgang af SODB-bestemmelsernes betydning for anlæggene. Disse tilpasninger prissættes i så fald særskilt i Fase 2.

De hidtidige anlægsoverslag fra 2009, som angivet i [17], har ikke den struktur og sporbarhed der kræves i dag i henhold til Ny Anlægsbudgettering (NAB), ref. [37] og ref. [38], hvorfor overslagene er opstillet på ny.

Desuden er der på nogle af strækningerne sket ændringer i forudsætninger eller fysik, som også nødvendiggør en opdatering.

De følgende afsnit behandler forhold knyttet til anlægsoverslaget som følger:

- Afsnit 16.3 beskriver ændringer i forhold til undersøgelsen fra 2009.
- Afsnit 16.4 beskriver opbygning af overslagene og de betegnelser der anvendes.
- Afsnit 16.5 omhandler overslagene for alle scenarier med undtagelse af overslag for Lunderskov-Esbjerg
- Afsnit 16.6 angiver anlægsoverslaget for Lunderskov - Esbjerg.
- Afsnit 16.7 angiver en samlet oversigt for alle scenarier.
- Afsnit 16.8 beskriver de følgeinvesteringer, der anses for nødvendige som følge af elektrificering af de scenarier, der indgår i analysen, men som ikke er en del af dette projekt.

16.3 Ændringer fra 2009 til 2011

I afsnit 1.5 angives de overordnede forskelle mellem screeningsundersøgelse fra 2009 og nærværende analyse, men for en række scenarier er der sket ændringer i forudsætning eller fysik, som beskrives specifikt i det følgende.

16.3.1 Scenarium 1A Lunderskov – Esbjerg

Denne strækning skal som den eneste prissættes for situationen, hvor elektrificering sker enten før eller efter udrulning af ERTMS. Overslaget skal desuden være 'begrundet', hvilket udmøntes i et mere detaljeret overslag, som beskrevet i afsnit 16.6.

16.3.2 Scenarium 1C Hobro – Frederikshavn (Ø-scenariet)

Denne strækning er ny og er sammensat af strækningen Aarhus H - Aalborg og Aalborg - Frederikshavn. Strækningen Hobro - Aalborg er vurderet til at svare til 35 % af strækningen Aarhus H - Aalborg målt i sporkilometer og samme andel (fordelingsnøgle) er derfor anvendt på overslaget for Hobro-Aalborg.

16.3.3 Scenarium 1D Roskilde – Holbæk

Denne strækning er en del af strækningen Roskilde-Kalundborg med en fordelingsnøgle på 61 % heraf, idet strækningen Lejre-Vipperød nu er forudsat dobbeltsporet mod tidligere enkeltsporet på de fri strækninger mellem stationerne.

16.3.4 Scenarium 1E Køge N – Næstved

Strækningen Køge-Næstved er udvidet med forbindelsen mellem Køge Nord station og Køge station, som udføres i forbindelse med Ny bane København-Ringsted. Projektet elektrificerer imidlertid ikke forbindelsen. Banedata er baseret på projektmateriale på programfaseniveau og anses for tilstrækkeligt til formålet.

16.3.5 Scenarium 2D-1 Holbæk – Kalundborg

Denne strækning er en del af strækningen Roskilde-Kalundborg med en fordelingsnøgle på 39 % heraf, idet strækningen Lejre-Vipperød nu forudsat dobbeltsporet mod tidligere enkeltsporet på de fri strækninger mellem stationerne.

16.4 Opbygning af overslaget og anvendte betegnelser

Opbygningen af de opstillede overslag er baseret på opbygning af overslag i Femern Bælt danske jernbanelandanlæg og kan ses af Bilag 14, Bilag 15 og Bilag 16, hvor der anvendes betegnelser defineret i det følgende.

16.4.1 Priskatalog - Enhedspriser og mængdedefinitioner

Priskataloget lægges i anlægsoverslaget som en fane for sig med samtlige anvendte enhedspriser og de tilhørende mængdedefinitioner samt kildehenvisninger. Tillige er anført sumposter, som ikke kan sammensættes entydigt ved multiplikation af en enkelt enhedspris og mængdepost. Sumposterne henviser endvidere til særlige bilag i anlægsoverslaget.

16.4.2 Post nr.

Postnummeret er hovedpostens, mellempostens eller postens unikke nummer, der kan genfindes i anlægsoverslaget.

16.4.3 Betegnelse

Kort beskrivelse af posten. Der er i videst muligt omfang benyttet benævnelser, som anvendes i Banedanmarks normer, som angivet i [18]. En uddybende forklaring kan findes under Mængdedefinition.

16.4.4 Enhed

Enhed er mængdebetegnelsen for posten. I enkelte tilfælde anvendes en sum, som er nærmere beskrevet i et til posten hørende bilag.

16.4.5 Enhedspris kr

Den faktiske pris efter indeksering. Denne pris anvendes i anlægsoverslaget pr. enhed.

16.4.6 Projektprisindeks 2010

Projektprisindekset er indhentet fra Danmarks Statistik for jord- og anlægsarbejder pr. 2010K4.

Andre prisindekser har været overvejet og vurderet, men det er vurderingen (i lighed med vurderingen i projektet Femern Bælt danske jernbanelandanlæg), at prisindekset for jord- og anlægsarbejder er det mest retvisende.

Der er endvidere foretaget en særskilt vurdering af, om udviklingen indenfor råvareprisen på kobber skulle nødvendiggøre en anden indeksering. En sådan er fravalgt, idet mængden af kobber udgør en så lille andel af det samlede overslag, at det i sammenhæng med den generelle usikkerhed ikke vurderes at påvirke indekseringen nævneværdigt, selvom kobberprisen har svinget voldsomt i den seneste tid.

16.4.7 Indeksbasis

Basisindekset refererer til det pågældende årstal, som basisenhedsprisen er fra.

16.4.8 Enhedspris basis kr

Er prisen hentet fra et tidligere projekt indskrives den her, og kan således fremskrives vha. basisindekset og projektindekset.

16.4.9 Kildehenvisninger

Her angives kilden til enhedsprisen og om oplysningen kan føres tilbage til et tidligere projekt, notat, regneark, mail eller andet.

16.4.10 Mængdedefinition

En detaljeret beskrivelse (med definition) af hvad betegnelsen indeholder.

16.4.11 Banedata for strækningerne

Til brug for vurdering af mængder anvendes banedata opgjort ud fra TIB samt brotegninger og strækningsvideoer. Opgørelsen over sporkilometer er gengivet herunder.

Strækning	Fra km	Til km	Længde	Sporantal	Sporlængde
Roskilde – Kalundborg	33	111	78	1/2	112
Roskilde – Lejre	33	41	8	2	16
Lejre – Vipperød	41	61	20	2	41
Vipperød – Holbæk	61	67	6	2	12
Holbæk - Kalundborg	67	111	44	1	44
Roskilde – Holbæk	33	67	34	2	68
Køge N – Næstved	54	93	45	1	45
Køge N - Køge*	0	6	6	1	6
Køge – Næstved	54	93	39	1	39
Lunderskov – Esbjerg	1	56	55	2	110
Fredericia – Aarhus H	1	109	107	2	214
Aarhus H – Aalborg	109	248	140	2	280
Aarhus H – Hobro	109	199	91	2	181
Hobro – Aalborg	199	248	49	2	99
Aalborg - Frederikshavn	248	333	85	1	85
Struer – Vejle	202	333	130	1	130
Holstebro – Struer	187	202	16	1	16
Holstebro – Vejle	0	114	114	1	114

* Lokal stationering angivet

Tabel 26: Opgørelse over sporkilometer

16.5 Anlægsoverslag for de enkelte scenarier

Anlægsoverslagene for de enkelte scenarier (på nær Lunderskov-Esbjerg, som beskrives i afsnit 16.6) opgøres efter principperne i Ny Anlægsbudgettering (NAB) på mellempostniveau, som ifølge denne metode kan anvendes i nærværende fase. Når der er sket et valg af de strækninger, der skal arbejdes videre med i næste fase af delopgave B vil overslagene blive udarbejdet på det mere deltaljerede postniveau. Overslagene i nærværende fase tillægges 50 % iht. NAB, som det også var tilfældet i 2009.

16.5.1 Poststruktur for scenarierne

Poststrukturen er som angivet efterfølgende, idet nummerering af hovedposter (angivet med tal) og mellemposter (angivet med bogstaver) følger det i Bilag 4 til [38] angivne med enkelte tilføjelser:

- 01 SPORANLÆG
 - D Sporsænkning
- 02 ANLÆGSARBEJDER
 - D Nedrivning af betonbroer
- 03 BROER OG KONSTRUKTIONER
 - G Ny bro
 - H Hæve bro
- 04 KØRESTRØM
 - A Forsyningsanlæg
 - B Køreledningsanlæg
 - C Fjernstyring
- 05 STÆRKSTRØM (anvendes ikke)
- 06 SIKRING OG FJERNSTYRING
 - D Immunisering
- 07 TELE (anvendes ikke)
- 08 BYGNINGER (anvendes ikke)
- 09 AREALER
 - A Ekspropriationer
- 10 FORST (anvendes ikke)
- 11 ANDET (anvendes ikke)
- 12 BYGHERREADMINISTRATION
 - A Bygherreadministration

Poststrukturen fremgår også af selve overslagene, som angivet i Bilag 15.

16.5.2 Enhedspriser og mængder

De anvendte enhedspriser og mængdedefinitioner er baseret på overslag fra andre projekter, primært Femern Bælt danske jernbanelandanlæg, men er opgjort på et mere aggregeret niveau.

Prisen for kørestrømsanlæg har været vurderet nøjere, idet denne post udgør en væsentlig del af overslagene. Priser på kørestrømsanlæg har igennem mange år, også i overslagene fra 2009, været baseret på en fremskrivning af priser fra bl.a. udbygning til dobbeltspor i Sønderjylland og projekteringen af strækningen Fredericia - Aarhus H i 1990'erne. I nærværende projekt er den anvendte kilometerpris i stedet baseret på et nærmere studie i forbindelse med Ny Bane København-Ringsted projektet, hvor der blev inddraget erfaringer fra bl.a. England til prisestimeringen. I dette projekt er prisen derfra dog korrigeret, idet hastighedskravene er lavere og kompleksiteten mindre.

Enhedspriser, mængder og kildehenvisning til de enkelte poster er angivet i Bilag 15.

16.6 Anlægsoverslag for Lunderskov-Esbjerg

Anlægsoverslaget for Lunderskov – Esbjerg er behandlet i rapporten fra opgave B, og angiver et 'begrundet' anlægsoverslag.

Anlægsoverslaget, som altså adskiller sig fra de andre anlægsoverslag, er angivet i Bilag 16.

Strækningen er den eneste der overvejes udført enten før eller efter udrulningen af Signalprogrammet, hvorfor begge situationer er prissat.

Scenarium 1A-1 betegner situationen, hvor elektrificering sker før udrulning af SP, mens scenarium 1A-2 betegner situationen, hvor en elektrificering sker efter udrulning af Signalprogrammet.

16.7 Anlægsoverslag for alle scenarier

De samlede anlægsoverslag for de opstillede scenarier er som følger:

Scenarium	Strækning	Anlægssum [mio. kr]
1A-1	Lunderskov – Esbjerg (elektrificering 2015)	1.184
1A-2	Lunderskov – Esbjerg (elektrificering 2022)	1.064
1B	Fredericia – Aarhus	2.224
2B-1	Aarhus - Aalborg	2.663
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	1.015
2B-3	Vejle – Struer	1.490
1C	Hobro – Frederikshavn	1.967
1D	Roskilde – Holbæk	699
2D-1	Holbæk – Kalundborg	456
1E	Køge N – Næstved	620
Alle	Følgeinvesteringer	Ukendt sum

Tabel 27: Anlægsoverslag, alle scenarier, inklusiv omkostninger til VVM og med 50 % tillæg jf. NAB

Bemærk, at anlægsoverslagene for scenarium 1A, Lunderskov – Esbjerg er udført som 'begrundede', og hermed adskiller sig fra de øvrige.

16.8 Følgeinvesteringer

Elektrificering af de analyserede strækninger kan medføre et behov for investeringer i den omfattede delstrækning eller andre dele af banenettet.

På nuværende tidspunkt er der identificeret behov for at undersøge følgende nærmere i fase 2:

1. Stationsudformning af f.eks. de stationer, der eventuelt skal fungere som skiftestationer mellem el- og dieselmateriel (herunder Aarhus H og Holbæk)
2. Stationsudformning generelt f.eks. i forbindelse med elektrificering af vende-, opstillings- og klargøringsspor
3. Energiforsyningssituationen på det eksisterende net

Ad 1) Skiftestationer mellem diesel- og elmateriel

På de stationer, som skal fungere som skiftestationer mellem el- og dieseldrift kan en ændring af stationens sporlayout blive nødvendig, hvilket muligvis medfører omkostninger ud over elektrificeringsomkostningerne til modificering af stationens eksisterende sporlayout.

For Aarhus H gælder, at stationen er indrettet til at gennemgående tog vender køreretning, men det er usikkert, om stationen, i dens nuværende udformning, er velegnet som begyndelses- og endestation for alle linjer. Det gælder endvidere, at stationens kapacitet allerede er fuldt udnyttet, og at tiltag i øvrigt er nødvendige, såfremt trafikken skal forøges markant.

For Aarhus H gælder dog endvidere, at stationen allerede p.t. betjener vendende tog, og at 2020 køreplanen også forudsætter dette, og kun angiver 1 gennemkørende linje, nemlig linje 11 København – Aalborg.

Idet scenarium 1B forudsætter, at der skal foretages togskitte mellem el- og dieseltog på Aarhus H, vurderer Banedanmark, at der skal investeres op mod ca. 125 mio. kr (inkl. 50 % tillæg) til en ny forbindelse mellem perron- og opstillingsspor samt en evt. ny perron, hvilket er indarbejdet i anlægsoverslaget for scenariet.

For Vejle gælder, at linje 48 Fredericia – Struer begynder i Fredericia, og at særlige tiltag på stationen derfor ikke er nødvendige.

Ad 2) Stationsudformning

Det påregnes at elektrificere vende- opstillings- og klargøringsspor i nødvendigt omfang, og at layoutændringer, ud over det som kræves i forbindelse med en elektrificering, ikke håndteres i nærværende sammenhæng.

Ad 3) Energiforsyningssituationen på det eksisterende net

Det vides f.eks., at energiforsyningskapaciteten på Sjælland er begrænset, idet en fordelingsstation i Ringsted mangler, ligesom kapaciteten på Vestfyn er begrænset, idet fordelingsstationen i Gelsted er overbelastet. Banedanmark er for tiden i færd med en undersøgelse af problematikken, som derfor endnu er uafklaret.

Analysen medtager mulige følgeinvesteringer i anlægsoverslagene, men relaterer dem ikke til et bestemt scenarium i samfundsøkonomiberegningerne.

17 Samfundsøkonomisk analyse

17.1 Generelt

Nærværende kapitel indeholder en samfundsøkonomisk analyse af de enkelte scenarier med hensyn til følgende:

- En beregning af scenariets samfundsøkonomiske værdi
- En opgørelse af scenariets effekter for Statskassen

Kapitlet indledes med at beskrive følgende:

- Tilgang, herunder:
 - Tidshorisont
 - Reference
- Forudsætninger
- Anlæg og drift af kørestrømsnettet
 - Anlægsinvesteringer
 - Omkostninger til drift og vedligehold
- Materiel, herunder:
 - Anskaffelse
 - Drift og vedligehold
 - Energi
 - Miljø
- Togskifte
- Ikke værdisatte konsekvenser
 - Støj
 - Driftspålidelighed
 - Øvrige konsekvenser

Herefter redegøres for resultaterne for de enkelte scenarier med hensyn til de samfundsøkonomiske effekter og statskaseffekten.

Scenarierne og udvælgelseskriterierne for disse er nærmere beskrevet i kapitel 12. Der skelnes som nævnt mellem to typer af scenarier – begyndelses-scenarier og fortsættelsesscenarier. Fortsættelsesscenarierne (med betegnelsen 2-) adskiller sig ved, at de bygger "ovenpå" et begyndelsesscenarium. I dette kapitel vises resultaterne for fortsættelsesscenarierne, dels som et samlet resultat for både fortsættelsesscenariet og det begyndelsesscenarium det bygger ovenpå, dels for fortsættelsesscenariet alene.

17.2 Tilgang

17.2.1 Generelt

Elektrificering af banenettet vil have en lang række konsekvenser. Der er en række direkte konsekvenser, f.eks. anlægsinvesteringer og driftsomkostninger, hvilke forholdsvis enkelt kan prissættes. Og der er en række afledte konsekvenser, som typisk er mere diffuse, f.eks. øget driftspålidelighed, som er mere vanskelige at kvantificere og prissætte.

I tabellen nedenfor er en række konsekvenser som følge af elektrificering op-listet. Konsekvenser markeret med * angiver at de prissættes og medregnes i de samfundsøkonomiske analyser.

De øvrige konsekvenser beskrives udelukkende kvalitativt enten i nærværende kapitel eller i kapitlet vedrørende den pågældende konsekvens.

De konsekvenser, som indgår i beregningen af statskasseeffekten, er ikke helt sammenfaldende med de konsekvenser, som indgår i den samfundsøkonomiske analyse. F.eks. indgår værdien af miljøeffekter ikke i opgørelsen af effekten for statskassen. Det betyder, at resultaterne – og dermed rangordningen – af de enkelte scenarier ikke nødvendigvis bliver den samme i analysen af statskasseeffekten som i den samfundsøkonomiske analyse.

Direkte konsekvenser	
Fordele	Ulemper
Billigere elektrisk materiel*	Anlæg af infrastruktur*
Lavere omkostninger til drift og vedligehold af elektrisk materiel* Lavere energiforbrug for elektrisk materiel*	Drift og vedligehold af infrastruktur*
	Skatteforvridningsomkostninger*
Afledte konsekvenser	
Fordele	Ulemper
Mindre støj i driftsfasen ved lave hastigheder (terminaler/klargøringscentre og stationer)	Visuelle/landskabelige effekter
Mindre udledning af CO ₂ , NO _x og partikler*	Sundhedsmæssige konsekvenser (magnetfelter)
Ændret driftspåidelighed/driftsforstyrrelser	Tvunget togskifte*
Rejsetidsgevinst pga. bedre acceleration	Øget SO ₂ udledning i driftsfasen*
Flere operatører på markedet kan give større konkurrence ved udbud og dermed potentielt lavere omkostninger	Driftsforstyrrelser pga. nedrevne køreledninger
	Miljø/naturpåvirkninger i anlægsfasen (støj, udledning af CO ₂ , partikler, mm.)
	Miljø/naturpåvirkninger i driftsfasen (flagermus og fugle)

Tabel 28: Konsekvensskema

* Effekter der indgår direkte i den samfundsøkonomiske analyse

17.2.2 Tidshorisont

Fælles for samtlige scenarier er, at de sammenlignes for en 50-årig driftsperiode⁷³, og at ibrugtagningsåret for elektrificeringen er i 2022.

Den samfundsøkonomiske analyse gennemføres således for en 60-årig tidshorisont (fra 2011 til og med 2071), hvor elektrificeringen er idriftsat de sidste 50 år af perioden.

⁷³ Denne tidshorisont svarer til anlæggets levetid jf. nøgletallene i TERESA, og levetiden svarer dermed til Transportministeriets anbefalinger.

Såfremt scenarierne var tidsuafhængige ville man kunne sammenligne dem på tværs uanset igangsættelsestidspunktet, og samtlige scenarier vil da blive diskonteret tilbage til deres idriftsættelsestidspunkt⁷⁴. I dette projekt er der imidlertid et tidsafhængigt element, nemlig passagerantallet, som antages at stige over tid. Derfor har det betydning for rentabiliteten af et projekt, hvornår det igangsættes. Jo senere et projekt sættes i gang, desto flere passagerer vil blive berørt.

I beregningerne er lagt til grund, at ibrugtagingsåret 2022, hvilket er to år efter at Signalprogrammet er gennemført på den sidste af de medtagne delstrækninger i analysen, jf. afsnit 12.4.

Herudover undersøges endvidere de samfundsøkonomiske konsekvenser af en tidlig elektrificering af strækningen Lunderskov – Esbjerg. Konkret ses på hvilke samfundsøkonomiske konsekvenser, der er ved at elektrificere strækningen i 2015, dvs. inden Signalprogrammets gennemførelse.

17.2.3 Reference

Når det skal vurderes, om elektrificering er et samfundsøkonomisk fordelagtigt projekt, er det nødvendigt at fastlægge et referenceforløb, som elektrificeringsprojektet holdes op imod. Udtrykt på en anden måde: Hvad forventes der at ske under alle omstændigheder?

Normalt fastlægges referencescenariet med udgangspunkt i allerede vedtagne lovforslag, infrastrukturprojekter og offentliggjorte fremskrivninger. I dette tilfælde ligger projektet imidlertid tidsmæssigt så langt ude i fremtiden, at det er nødvendigt at gøre antagelser omkring den fremtidige udvikling, udover det der allerede er vedtaget.

Fremtiden for det danske jernbanenet er i høj grad afhængig af de forventede fremtidige passagerantal. Der arbejdes med to forskellige tilgange til den fremtidige udvikling i passagerantallet:

- En basissituation, som antager en fortsættelse af den historiske passagerudvikling
- En visionssituation, som afspejler det politiske mål, at antallet af passagerkilometer, i forhold til i dag, skal fordobles inden år 2030⁷⁵.

Efter 2030, som er sidste år for passagerprognoserne, regnes med en årlig vækst i passagerantallet på 1 % for perioden 2030-2039. For perioden 2040 og frem påregnes ingen vækst. Den procentvise stigning i passagerantallet fra 2030 antages at forløbe ens i basis- og visionssituationen⁷⁶, jf. afsnit 3.4.

⁷⁴ Idriftsættelsestidspunktet ville i så fald være "år 0". Derefter ville man efterfølgende kunne vurdere hvornår idriftsættelsen reelt ville ske og diskontere tilbage til 2011.

⁷⁵ Analysen ser ikke på hvorledes dette visionsscenario kan opfyldes. Da fokus udelukkende er at se på forskellen mellem diesel- og eldrift er det i denne sammenhæng ikke relevant at se på, hvilke transportmidler de "nye" passagerer kommer fra.

⁷⁶ I Bilag 20 og Bilag 21 er et passagerkort, som viser passagerbelastningen i basis- og visionssituationen.

Da antallet af passagerer er forskelligt i de to tilgange, er det nødvendigt at gennemføre samtlige analyser både for basissituationen og for visionssituationen.

17.3 Forudsætninger

17.3.1 Generelle forudsætninger

I dette afsnit præciseres forudsætningerne for analyserne.

Samtlige omkostninger vil som udgangspunkt blive præsenteret både i faktorpriser og i markedspriser. I beregningen af statskasseeffekten anvendes faktorpriser (dvs. priser rensset for moms og afgifter). I samfundsøkonomiske analyser indgår derimod markedspriser, som afspejler forbrugerens købspris dvs. pris inkl. moms og afgifter mv. Markedspriserne fås ved at korrigere faktorpriserne med nettoafgiftsfaktoren.

Idet persontransport ikke er momsbelagt kan DSB ikke afløfte moms på materiel. Dette forhold indgår ikke i analysen.

Det er endvidere lagt til grund, at driftsbesparelser mv. tilfalder Statskassen og ikke operatørerne. I dag er DSB operatøren på de analyserede strækninger. DSB er en statsejet virksomhed, og der er således regnet med, at indtægter og udgifter for DSB regnes som statslige indtægter og udgifter. Hvis der bliver elektrificeret vil de fremtidige økonomiske relationer mellem staten og DSB derfor skulle aftales nærmere.

I det følgende præsenteres forudsætninger og beregninger for basissituationen i tabeller. I Bilag 19 findes de tilsvarende tabeller for visionssituationen.

17.3.2 Specifikke forudsætninger

De samfundsøkonomiske analyser følger Finansministeriets vejledning for udførelse af samfundsøkonomiske analyser (Finansministeriet 1999) suppleret af Transportministeriets anbefalinger for transportøkonomiske enhedspriser (TERESA). Herudover er Miljøministeriets og Energistyrelsens vejledning blevet anvendt (Miljøministeriet 2010, Energistyrelsen 2011).

I Finansministeriets vejledning i samfundsøkonomiske analyser samt i de efterfølgende udmeldinger anbefales:

- En diskonteringsrate på 5 % ⁷⁷
- En nettoafgiftsfaktor på 1,17
- Et skatteforvriddningstab på 20 %

⁷⁷ Anbefalingen til rente blev ændret i 2008 fra 6 til 5 %. Dette fremgår af Finansudvalgets spørgsmål nr. 181 af 11. september 2008 og 1. behandling af Beslutningsforslag B57 i Folketinget 4. marts 2011. I den selskabsøkonomiske analyse anvendes dog en rente på 3,45 % (Finansministeriet 2011).

I og med at elektrificeringsprojektet vil påvirke de offentlige finanser skal der tages højde herfor gennem indregning af skatteforvridningstab. Dette beregnes på baggrund af de samlede nettoudgifter staten har som følge af projektet⁷⁸.

Alle relevante beløb er opgjort i faste 2011-priser og diskonteres tilbage til udgangsåret 2011.

Såfremt de anvendte tal ikke er opgjort i 2011-priser i udgangspunktet opskrives priseniveauet vha. nettoprisindekset⁷⁹.

I analyserne for Statskassen er anvendt en diskonteringsrate på 3,45 %, hvilket svarer til den realrente Finansministeriet anvender i den langsigtede økonomiske planlægning.

Uanset om der er tale om anlægsinvesteringer, driftsudgifter, miljøeffekter mv. er tallene behæftet med usikkerhed. Det gælder alle indtægter og udgifter i de enkelte år, samt ikke mindst at alle beløb er vurderet over en meget lang tidshorizont. Det betyder, at resultaterne snarere skal opfattes som indikationer på nogle størrelsesordener end som meget eksakte resultater med "to streger under". Størrelsesordenen på den tilhørende usikkerhed er ikke estimeret.

17.4 Anlæg og drift af det elektrificerede net

17.4.1 Generelt

Omkostningerne til infrastruktur omfatter dels anlægsudgiften til køreledninger, dels drift- og vedligehold af ledningerne.

Da der kun tages højde for de omkostninger, som er forskellige mellem referencen (fortsat dieseldrift) og elektrificering betyder det, at det kun er i elektrificeringsscenariet, at der er omkostninger forbundet med infrastruktur.

17.4.2 Anlægsinvestering

I kapitel 16 er der redegjort for tilvejebringelsen af anlægsoverslagene (angivet i faktorpriser) for de enkelte strækninger.

Da elektrificeringen forudsættes at blive udført over en fireårig periode⁸⁰ og i udgangspunktet først vil være gennemført i 2022, påvirkes anlægsoverlaget

⁷⁸ Disse opgøres på basis af beregningen af statskaseffekten. I de tilfælde at staten drager økonomisk fordel af projektet er der tale om en skatteforvridningsgevinst.

⁷⁹ Undtaget herfra er priserne hentet fra Energistyrelsens vejledning, hvor priserne er opskrevet i henhold de vejledningens anbefaling.

⁸⁰ Det forudsættes at 20 % af investeringen foretages i henholdsvis år 2019 og 2020, mens 30 % falder i år 2021 og 2022.

af tidshorizonten gennem diskonteringen. De diskonterede anlægsoverslag er vist nedenfor i Tabel 29.

I nedenstående Tabel 29 er anlægsudgiften for fortsættelsesscenarierne vist både for fortsættelsesscenariet og det begyndelsesscenarium det bygger oven på. Det betyder, at det ikke muligt at summere rækkerne i tabellen med henblik på at få den samlede nutidsværdi.

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi af anlægsoverslag i faktorpriser, mio. kr.	Nutidsværdi af anlægsoverslag i markedspriser, mio. kr.
1A-1	Lunderskov - Esbjerg	741	777
1B	Fredericia - Aarhus	1.527	1.601
2B-1	Aarhus - Aalborg	3.266	3.425
2B-2	Aalborg - Frederikshavn	3.962	4.155
2B-3	Vejle - Struer	2.548	2.672
1C	Hobro - Frederikshavn	1.349	1.415
1D	Roskilde - Holbæk	479	503
2D-1	Roskilde - Holbæk - Kalundborg	792	831
1E	Køge Nord - Næstved	423	444

Tabel 29: Nutidsværdi i 2011 for anlægsoverslag for de forskellige scenarier.

17.4.3 Omkostninger til drift og vedligehold af infrastruktur

Omkostninger til drift og vedligehold af infrastruktur omfatter dels en variabel og dels en fast omkostning. Til beregning heraf tages udgangspunkt i nøgletallene i TERESA.

Ifølge disse enhedspriser er den driftsøkonomiske faste omkostning 8.968 kr. pr. elsporskilometer og den variable omkostning er 2,69 kr. pr. togenhedskilometer, som køres under ledningerne på den pågældende strækning.

I tabellen nedenfor er nutidsværdien for de samlede faste og variable driftsomkostninger for scenarierne angivet. Nutidsværdien er vist både i faktorpriser og i markedspriser. Da passagerantallet er højere i visionssituationen er det nødvendigt at køre med flere tog og dermed flere kilometer i visionssituationen end i basissituationen, jf. Bilag 19. De variable omkostninger er som følge heraf højere i visionssituationen end i basissituationen.

Nutidsværdien opgjort i markedspriser er mindre end nutidsværdien opgjort i faktorpriser, selvom markedspriser generelt er højere end faktorpriser. Årsagen hertil skal findes i, at diskonteringsraten er lavere i beregningen af statskaseffekten, som baseres på faktorpriser. På grund af projektets lange tids-horisont får det betydning i nutidsværdiberegningen, idet fremtidige omkostninger får lavere vægt, desto højere diskonteringsraten er.

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi, faktorpriser	Nutidsværdi, Markedspriser
1A	Lunderskov – Esbjerg	4,25	4,97
1B	Fredericia – Aarhus	19,27	22,54
2B-1	Aarhus – Aalborg	31,44	36,79
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	40,78	47,71
2B-3	Vejle – Struer	22,28	26,07
1C	Hobro – Frederikshavn	7,26	8,50
1D	Roskilde – Holbæk	5,52	6,46
2D-1	Holbæk – Kalundborg	7,94	9,29
1E	Køge Nord – Næstved	3,72	4,35

Tabel 30: Nutidsværdier, drift og vedligehold af infrastruktur, mio. kr.

17.5 Materiel

17.5.1 Generelt

Selvom der bliver elektrificeret, kan det i visse tilfælde være nødvendigt at køre med både diesel- og eltog på en strækning, hvis man ikke vil påtvinge passagererne et skift.

I analysen ses udelukkende på forskellen mellem diesel- og eldrift. Dvs. såfremt der i et elektrificeringsscenarium skal bruges 10 eltog og 5 dieseltog og i det tilsvarende dieselscenarium skal bruges 15 dieseltog, så vurderes udelukkende konsekvenserne ved 10 eltog og 10 dieseltog i henholdsvis elektrificeringsscenariet og i dieselscenariet.

I takt med at antallet af passagerer øges, øges antallet af togenheder. I Tabel 31 vises antallet af togenheder i tre udvalgte år. Antal togenheder fremskrives lineært mellem disse år. Efter 2040 antages der ikke at være en passagervækst og der sker derfor ingen ændringer efter 2040 i antal togenheder.

I visionssituationen skal der anvendes flere togenheder på grund af det større antal passagerer.

Scenarium	Strækning	Antal togenheder ved fortsat dieseldrift			Antal togenheder såfremt der elektrificeres		
		2022	2030	2040	2022	2030	2040
1A	Lunderskov – Esbjerg	21	21	21	19	19	19
1B	Fredericia – Aarhus	49	49	51	50	51	55
2B-1	Aarhus – Aalborg	72	73	75	69	70	72
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	80	83	85	77	80	82
2B-3	Vejle Struer	55	55	60	56	57	63
1C	Hobro – Frederikshavn	15	17	17	15	17	17
1D	Roskilde – Holbæk	24	25	26	25	25	27
2D-1	Holbæk – Kalundborg	32	33	35	30	31	33
1E	Køge Nord – Næstved	18	19	21	17	18	20

Tabel 31: Oversigt over nødvendigt materiel i basissituationen, togenheder i 2022, 2030 og 2040.

De løbende omkostninger til materiel afhænger af antal kørte togenhedskilometer⁸¹.

Det ses, at på trods af at der sker en passagerfremgang i den betragtede periode, så betyder det ikke nødvendigvis, at antal togenheder eller togenhedskilometer øges tilsvarende. Det skyldes, at togene i udgangssituationen (år 2022) ikke er fuldt udnyttede, og det er muligt at "opsluge" noget af passagerfremgangen i det eksisterende materiel, inden det er nødvendigt at øge kapaciteten.

17.5.2 Anskaffelse af materiel

Analysen forudsætter at der skal anskaffes nyt materiel uanset om strækningen elektrificeres eller ej. Det betyder, at der i samtlige andre scenarier skal anskaffes materiel svarende til det angivne i ovenstående Tabel 31. Se kapitel 20.

⁸¹ En oversigt over det kørte antal togenhedskilometer findes i Bilag 12 og Bilag 13.

Denne tilgang sikrer endvidere, at sammenligningsgrundlaget for de enkelte scenarier bliver så ensartet som muligt, således at det er selve de enkelte strækningers elektrificeringsegnethed som vurderes, dvs. om det er samfundsøkonomisk fordelagtigt at elektrificere. I forbindelse med vurdering af den optimale gennemførelsesstrategi tages hensyn til den nuværende materielssituation jf. afsnit 1.9.1.

Da projektet vurderes over en 50-årig driftsperiode, og da levetiden for både diesel- og eltog er forudsat til 30 år, vil det være nødvendigt løbende at investere i nye tog. Endvidere vil togene ikke være fuldt afskrevet ved projektperiodens afslutning og togenes respektive scrapværdi indregnes derfor⁸².

En dieseldrevet togenhed prissættes til 62 mio. kr., mens en elektrisk 2-strøms togenhed prissættes til 53 mio. kr. i 2011-kr. Dvs. at en elektrisk togenhed koster 85 % af prisen på en dieseldrevet ditto.

Prisforskellen har hovedsageligt markeds-mæssige årsager, idet elmateriel, i vid udstrækning, findes som standardtyper, mens dieselmateriel, da efterspørgslen er beskeden⁸³, skal specialudvikles i forbindelse med hver leverance, hvilket fordyrer produktet

I de to tabeller nedenfor er de samlede investeringer til henholdsvis diesel- og elmateriel for basissituationen vist. I beregningerne er der taget hensyn til togenes scrapværdi ultimo 2071.

Da der transporteres flere passagerer i visionssituationen end i basissituationen er der flere investeringer forbundet med køb af materiel i visionssituationen jf. Bilag 19.

⁸² Scrapværdien beregnes vha. lineær afskrivning over materiellets forventede levetid.

⁸³ Der findes et betydeligt marked for dieseltogenheder til kørsel med 200 km/h i Storbritannien, men dette materiel er uegnet til benyttelse i Danmark jf [34].

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi, faktorpriser	Nutidsværdi, markedspriser
1A	Lunderskov – Esbjerg	1.184	1.076
1B	Fredericia – Aarhus	2.830	2.554
2B-1	Aarhus – Aalborg	4.170	3.766
2B-2	Aalborg - Frederikshavn	4.718	4.257
2B-3	Vejle – Struer	3.277	2.937
1C	Hobro – Frederikshavn	938	843
1D	Roskilde – Holbæk	1.427	1.281
2D-1	Holbæk – Kalundborg	1.914	1.716
1E	Køge Nord – Næstved	1.125	999

Tabel 32: Samlede investeringer i dieselmateriel ved fortsat diesel-drift i basissituationen, mio. kr.

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi, faktorpriser	Nutidsværdi, markedspriser
1A	Lunderskov – Esbjerg	911	828
1B	Fredericia – Aarhus	2.551	2.284
2B-1	Aarhus - Aalborg	3.400	3.070
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	3.866	3.488
2B-3	Vejle – Struer	2.899	2.587
1C	Hobro – Frederikshavn	797	717
1D	Roskilde – Holbæk	1.255	1.126
2D-1	Holbæk – Kalundborg	1.531	1.372
1E	Køge Nord – Næstved	908	805

Tabel 33: Samlede investeringer i elektrisk materiel, hvis der elektrificeres, basissituationen, mio. kr

17.5.3 Drift og vedligehold af materiel

I analysen tages udelukkende højde for de omkostninger til drift og vedligehold, som er forskellige mellem de to togtyper. Omkostningen til personale antages at være ens.

I analysen medtages derfor udelukkende omkostninger til:

- Vedligehold
- Forsikring
- Energi

Omkostningerne til vedligehold og forsikringer er baseret på enhedsomkostninger fra en opdateret version af 2011 af notatet *Enhedspriser for togdrift fra 2007*⁸⁴. Omkostningerne til vedligehold opgøres pr. togenhedskilometer, mens omkostningerne til forsikring opgøres pr. togenhed.

Det er vanskeligt at få vedligeholdelsesomkostningerne opgivet af leverandører eller operatører. Liberaliseringen af togdrift har medført, at dette i stigende grad er følsomme oplysninger.

Tabel 34 viser de skønnede omkostninger til forsikring og drift. Det ses, at omkostningen til elmateriel er omkring 70 % af hvad den tilsvarende omkostning er for dieselmateriel. I afsnit 16.11 er der redegjort nærmere for baggrunden for denne forskel.

Togtype	Forsikring, kr. /togethed/år	Vedligehold, kr. /togethedkm/år
Dieseltogeheder	541.773	15,38
Eltogeheder	367.380	10,77

Tabel 34: Driftsøkonomiske enhedsomkostninger for vedligehold og forsikring, 2011-priser. Kilde: [40] og egne beregninger.

I Tabel 35 og Tabel 36 er de samlede omkostninger til vedligehold og forsikring angivet for henholdsvis diesel- og elektrificeringsalternativet.

I Bilag 12 og Bilag 13 findes de tilsvarende omkostninger for visionssituationen.

⁸⁴ NIRAS (2007): Enhedspriser for togdrift, Baggrundsrapport. Trafikstyrelsen. [7]

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi, drifts- økonomi	Nutidsværdi, sam- fundsøkonomi
1A-1	Lunderskov – Esbjerg	2.646	2.136
1B	Fredericia – Aarhus	7.057	5.672
2B-1	Aarhus - Aalborg	9.064	7.291
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	9.585	7.710
2B-3	Vejle – Struer	8.397	6.761
1C	Hobro – Frederikshavn	818	662
1D	Roskilde – Holbæk	1.502	1.210
2D-1	Holbæk – Kalundborg	1.758	1.417
1E	Køge Nord – Næstved	1.059	853

Tabel 35: Omkostninger til vedligehold og forsikring for dieselmateriel ved fortsat dieseldrift, 2011-priser.

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi drifts- økonomi	Nutidsværdi sam- fundsøkonomi
1A	Lunderskov – Esbjerg	1.853	1.496
1B	Fredericia - Aarhus	5.045	4.054
2B-1	Aarhus – Aalborg	6.435	5.177
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	6.815	5.482
2B-3	Vejle – Struer	5.990	4.822
1C	Hobro – Frederikshavn	598	484
1D	Roskilde – Holbæk	1.042	840
2D-1	Roskilde - Holbæk – Kalund- borg	1.266	1.020
1E	Køge Nord – Næstved	764	615

Tabel 36: Omkostninger til vedligehold og forsikring for elmateriel, hvis der elektrificeres, 2011-priser.

17.5.4 Energi

Energiomkostningen er beregnet ud fra oplysninger om de forskellige togtypers energiforbrug og de forventede energipriser.

De to togtypers energiforbrug anslås til 6,55 kWh/togenhedkm for elektriske tog henholdsvis 1,41 L/togenhedkm for dieseltog, hvilket svarer til, at energiforbruget for et elektrisk tog er 0,024 GJ/togenhedskilometer, mens det er 0,050 GJ/togenhedskm for dieseltog. Elektriske tog har således et lavere energiforbrug end sammenlignelige dieseltog⁸⁵.

Med hensyn til energipriser tages udgangspunkt i Energistyrelsens prisfremskrivning fra april 2011 for dieselolie og elektricitet⁸⁶. Denne række frem til år 2030. Priserne for 2030-2071 antages fastholdt på 2030-niveau, regnet i faste priser. Denne fremgangsmåde er inspireret af Energinet.dk, der i deres rapport "Energi 2050" anvender samme antagelse for energiprisudviklingen efter 2030⁸⁷. Ved at holde de relative energipriser konstante undgås også en skævvridning til fordel for enten el eller diesel. Usikkerhed om energipriserne på lang sigt taler også for at holde de fremtidige priser så gennemskuelige som muligt.

I Tabel 37 og Tabel 38 er de samlede omkostninger til energi vist i de forskellige scenarier.

Det ses, at elmateriel er forbundet med væsentlig lavere energiomkostninger end tilsvarende dieselmateriel. Således er der fx en gevinst – opgjort i nutidsværdier i markedspriser – på ca. 300 mio. kr. ved at elektrificere strækningen Lunderskov – Esbjerg frem for at fortsætte med dieseltog.

⁸⁵ DSB er af den opfattelse, at der er en forskel på energiforbruget i elmateriellets favør, men at forskellen er mindre end angivet herover.

⁸⁶ Dieselprisen er i Energistyrelsens fremskrivning baseret på referenceforløbet i den seneste vurdering fra Det Internationale Energiagentur (IEA) i World Energy Outlook, 2010. Elprisen (vægtet Nordpool pris for virksomheden) er af Energistyrelsen fastsat med udgangspunkt i forventningerne til udviklingen på det nordiske elmarked, Nord Pool, og er baseret på modelberegninger med Energistyrelsens model for el- og varmforsyningen i Norden.

⁸⁷ Energistyrelsen har ikke retningslinjer eller anbefalinger for hvilke priser, der bør tages udgangspunkt i efter 2030.

Scenarium	Strækning	NPV, faktorpriser	NPV, markedspriser
1A	Lunderskov – Esbjerg	1.189	958
1B	Fredericia – Aarhus	3.203	2.567
2B-1	Aarhus – Aalborg	4.066	3.261
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	4.272	3.427
2B-3	Vejle – Struer	3.824	3.072
1C	Hobro – Frederikshavn	316	256
1D	Roskilde – Holbæk	607	488
2D-1	Holbæk – Kalundborg	690	554
1E	Køge Nord – Næstved	418	336

Tabel 37: Omkostninger til energi for dieselmateriel ved fortsat diesel drift, 2011-priser, mio. kr.

Scenarium	Strækning	NPV faktorpriser	NPV markedspriser
1A	Lunderskov – Esbjerg	773	618
1B	Fredericia – Aarhus	2.103	1.673
2B-1	Aarhus – Aalborg	2.669	2.125
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	2.804	2.233
2B-3	Vejle – Struer	2.518	2.010
1C	Hobro – Frederikshavn	207	166
1D	Roskilde – Holbæk	373	298
2D-1	Holbæk – Kalundborg	452	361
1E	Køge Nord – Næstved	274	219

Tabel 38: Omkostninger til energi for elmateriel, hvis der elektrificeres, 2011-priser, mio. kr.

17.5.5 Miljø

I den samfundsøkonomiske analyse kvantificeres og værdisættes luftforurening (partikler, kulilte (CO), kvælstofoxid (NO_x), svovldioxid (SO₂) og kulbrinter (HC)) og drivhusgasser (kuldioxid, metan og lattergas). Alle miljøeffekter er blevet kvalitativt beskrevet i kapitel 13.

Luftforurening

Luftforurening er bl.a. årsag til luftvejssygdomme og hjertekarsygdomme. Endvidere kan udledningen bidrage til eutrofiering⁸⁸ og sur nedbør, jf. kapitel 13.

Emissionernes effekt afhænger udover mængden også af, hvor de sker. I kørsel med dieseltog vil emissionerne ske lokalt og dermed i det niveau, hvor mennesker færdes. Hvor meget mennesker udsættes for, vil dog afhænge af om toget kører i bymæssig bebyggelse eller ude i det åbne land. I kørsel med elektriske tog vil emissionen derimod typisk ske på kraftværker og dermed regionalt.

I analysen anvendes TERESA ved opgørelse af værdien af miljøeffekterne ved dieselmateriel, mens der tages udgangspunkt i Energistyrelsens enhedspriser ved eltog. I forhold til TERESA er Energistyrelsens enhedspriser dels nyere, dels afspejles enhedsomkostningen ved den gennemsnitlige elproduktion. Fælles for enhedspriserne er, at omkostningen differentieres i forhold til om udledningen sker i land eller byområder.

Det ses, at værdien af miljøeffekterne er forskellig alt afhængig af om der tages udgangspunkt i Energistyrelsens enhedspriser eller TERESA. Årsagen hertil skyldes til dels at påvirkningen af miljøeffekterne er meget afhængig af, hvor effekten finder sted, jf. afsnit 13.4.

⁸⁸ Forurening med næringsalte fx kvælstof.

Emissioner	Lokaliteter	Elektrificeringsscenarier, kr./kg	Dieselscenarier, kr./kg
Partikler	land	87	280
	By	110	2010
SO ₂	land	72	240
	By	93	277
CO	land	-	0,01
	By	-	0,03
HC	land	-	3
	By	-	3
NO _x		48	61

Tabel 39: Miljøomkostninger, markedspriser, 2011-kr.

I tabel 40 er fordelingen af kørte togenhedskilometer på land og by oplyst.

Scenarium	Strækning	By, %	Land, %
1A-1	Lunderskov – Esbjerg	20	80
1A-2	Lunderskov – Esbjerg	20	80
1B	Fredericia – Aarhus	40	60
2B-1	Aarhus – Aalborg	40	60
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	40	60
2B-3	Vejle – Struer	50	50
1C	Hobro - Frederikshavn	30	70
1D	Roskilde – Holbæk	30	70
2D-1	Holbæk – Kalundborg	30	70
1E	Køge Nord – Næstved	30	70

Tabel 40: Procentvis fordeling af de kørte togenhedskm i åbent land og by.

I tabel 41 og 42 vises den årlige udledning af partikler, SO₂, CO, HC og NO_x samt værdien heraf i 2022 og nutidsværdien. Da værdien af miljøeffekter kun indgår i den samfundsøkonomiske analyse vises udelukkende værdien opgjort i markedspriser.

Værdien af miljøeffekter er markant højere ved fortsat dieseldrift i forhold til ved elektrificering. Den primære årsag hertil er den store NO_x-udledning fra dieseltog, mens SO₂ udledningen er markant højere ved elektrisk togdrift.

Scenarium	Strækning	Udledning, kg/år					Nutidsværdi, markedspriser, mio. kr.
		PM2,5	SO ₂	CO	HC	NO _x	
1A	Lunderskov – Esbjerg	1.797	178	17.972	8.986	159.950	289
1B	Fredericia – Aarhus	4.575	453	45.749	22.874	407.166	822
2B-1	Aarhus – Aalborg	5.856	580	58.559	29.279	521.175	1.023
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	6.157	610	61.567	30.784	547.947	1.072
2B-3	Vejle – Struer	5.042	500	50.419	25.210	448.732	875
1C	Hobro – Frederikshavn	6.157	610	61.567	30.784	547.947	1.072
1D	Roskilde – Holbæk	901	89	9.013	4.506	80.212	153
2D-1	Holbæk – Kalundborg	1.612	160	16.117	8.058	143.437	275
1E	Køge Nord – Næstved	623	62	6.226	3.113	55.408	105

Tabel 41: Miljøeffekter samt samfundsøkonomisk værdi heraf ved fortsat dieseldrift.

Scenarium	Strækning	Udledning, kg/år					Nutidsværdi, markedspriser, mio. kr.
		PM2,5	SO ₂	CO	HC	NO _x	
1A	Lunderskov - Esbjerg	1.603	10.549	-	-	26.839	25
1B	Fredericia - Aarhus	4.113	27.065	-	-	68.857	70
2B-1	Aarhus - Aalborg	5.264	34.643	-	-	88.137	88
2B-2	Aalborg - Frederikshavn	5.264	34.643	-	-	88.137	88
2B-2	Vejle - Struer	4.533	29.828	-	-	75.886	75
1C	Hobro - Frederikshavn	5.535	36.423	-	-	92.665	93
1D	Roskilde - Holbæk	761	5.005	-	-	12.733	12
2D-1	Holbæk - Kalundborg	1.449	9.535	-	-	24.257	24
1E	Køge Nord - Næstved	560	3.683	-	-	9.370	9

Tabel 42: Miljøeffekter samt samfundsøkonomisk værdi heraf ved elektrificering.

Drivhusgasser

Eldrevne tog giver anledning til mindre CO₂ udledning end dieseldrevne tog. Desuden vil elektrificering medføre, at en del af transportsektorens CO₂-udslip kommer ind under CO₂ kvotesystemet, idet elproduktion er kvotebelagt. Som beskrevet i miljøkapitlet vil kvotesystemet medføre, at Danmarks samlede CO₂ udledning ikke øges ved elektrificering, såfremt togdriften baseres på el og dermed kommer inden for kvotesystemet.

I Tabel 43 vises CO₂ udledningen i 2022 og værdien⁸⁹ heraf, givet at det nuværende kvotesystem bevarer sin nuværende form frem til og med 2071. Værdien af CO₂ udledning ved elektrificering er sat til nul.

⁸⁹ Værdisætningen baseres på Energistyrelsen enhedsomkostning for CO₂.

Scenarium	Strækning	CO ₂ udledning som følge af projektet, ton/år		Nutidsværdi, mio. kr.	
		Diesel	EI	Diesel	EI
1A-1	Lunderskov – Esbjerg	28.146	15.824	101,5	-
1A-2	Lunderskov – Esbjerg	28.146	15.824		-
1B	Fredericia – Aalborg	71.647	40.598	272,4	-
2B-1	Aarhus – Aalborg	91.709	51.965	346	-
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	96.420	54.635	364	-
2B-3	Vejle – Struer	78.962	44.742	293	-
1C	Hobro – Frederikshavn	9.024	5.113	36	-
1D	Roskilde – Holbæk	14.115	7.508	52	-
2D-1	Holbæk – Kalundborg	25.240	14.302	93	-
1E	Køge Nord – Næstved	9.750	5.525	36	-

Tabel 43: CO₂ udledning samt samfundsøkonomisk værdi heraf, 2011-priser, mio. kr.

De øvrige drivhusgasser (metan og lattergas) er ikke omfattet af kvotesystemet, og det er derfor nødvendigt at indregne værdien heraf.

Det er udelukkende i tilfælde af elektrificering at der vil ske en øget udledning af metan og lattergas jf. nedenstående tabel.

Scenarium	Strækning	Udledning af øvrige drivhusgasser som følge af projektet, kg, år		Nutidsværdi, mio. kr.	
		Diesel	EI	Diesel	EI
1A	Lunderskov – Esbjerg	-	10.332	-	1,0
1B	Fredericia – Aarhus	-	26.508	-	2,7
2B-1	Aarhus – Aalborg	-	33.930	-	3,4
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	-	35.673	-	3,6
2B-3	Vejle – Struer	-	29.214	-	2,9
1C	Hobro – Frederikshavn	-	3.339	-	0,4
1D	Roskilde – Holbæk	-	4.902	-	0,5
2D-1	Holbæk – Kalundborg	-	9.338	-	0,9
1E	Køge Nord – Næstved	-	3.607	-	0,4

Tabel 44: Udledning af øvrige drivhusgasser samt samfundsøkonomisk værdi heraf, 2011-priser, mio. kr.

17.6 Togskifte

Det gælder for tre scenarier, at togskifte er nødvendigt, nemlig følgende:

1. 1B Fredericia - Aarhus
2. 2B-3 Vejle – Struer
3. 1D Roskilde – Holbæk

Ad 1 og 2) Togskifte i Aarhus

I begge scenarier skal passagerer til/fra Aalborg skifte tog på Aarhus H.

Det er antaget, at et togskifte på Aarhus H tager 8 min. Det svarer til den nuværende togvendetid på Aarhus H, hvilket betyder, at den samlede rejsetid gennem Aarhus er uændret.

Ad 3) Togskifte i Holbæk

I scenariet skal passagerer til/fra Kalundborg skifte i Holbæk.

Det er antaget, at et togskifte i Holbæk og varer 5 min., hvilket svarer til dagens skiftetid for passagerer til Nykøbing Sjælland ad Odsherredsbanen.

Antallet af passagerer som berøres af et togskifte i Holbæk er større i 2022 for basisscenariet end for visionsscenariet. Omvendt forholder det sig i år 2030 og 2040. Årsagen hertil skal findes i trafikmodelberegningen. Det vurderes dog at være uden betydning for analysens samlede overordnede konklusioner.

I nedenstående tabel vises det antal passagerer, som skal skifte i de enkelte scenarier for delt på såvel basis- hhv. visionssituationen som udvalgte årstal.

Scenarium/Strækning		Basis			Vision		
		2022	2030	2040	2022	2030	2040
1B	Fredericia – Aarhus	416.427	476.138	520.745	516.778	928.358	1.011.894
2B-3	Vejle – Struer	416.427	476.138	520.745	516.778	928.358	1.011.894
1D	Roskilde – Holbæk	838.686	944.773	1.043.617	698.803	1.034.035	1.142.218

Tabel 45: Antal passagerer som skal skifte pr. år.

Et ekstra tidsforbrug på grund af togskifte skal værdisættes og indregnes som en omkostning i analysen for den pågældende delstrækning. Ifølge TERESA værdisættes et sådan tvunget skift med en skiftestraf samt værdisætning af den tid selve skiftet varer. For scenariet 1B Fredericia – Aarhus og det tilhørende fortsættelsesscenarium tager værdisætningen dog udgangspunkt i forskellen mellem tidsværdien for skiftetid og rejsetid, da den samlede rejsetid jo ikke øges jf. ovenfor.

Et togskifte forventes endvidere at resultere i et lavere antal passagerer. I analysen tages højde for de mistede billetindtægter herved. Billetprisen er baseret på oplysninger fra Transportministeriet om de samlede indtægter fra rejser på strækningen. Opskrevet til 2011-prisniveau anvendes en billetpris på 62 kr./rejsende for strækningen Roskilde - Holbæk og 260 kr./rejsende for de to øvrige strækninger.

I nedenstående tabel vises dels de økonomiske konsekvenser af tvungen togskifte, dels de mistede passagerindtægter.

Scenarium	Strækning	Togskifte, nutidsværdi, mio. kr.	Mistede passagerindtægter, nutidsværdi, mio. kr.
1B	Fredericia – Aarhus	157	38
2B-3	Vejle – Struer	157	38
1D	Roskilde – Holbæk	414	32

Tabel 46: Værdi af tvungen togskifte og mistede passagerer, mio. kr.

17.7 Ikke værdisatte konsekvenser

17.7.1 Støj

Miljøkapitlet beskriver, hvordan støj kan have sundhedsskadelige effekter i form af hovedpine, stress, kommunikationsbesvær og forhøjet blodtryk.

Elektriske tog støjer mindre end dieseltog, særligt ved lave hastigheder. Det er således især naboer til terminalområder og stationer som vil kunne få reduceret støjgennevirksomheden ved kørsel med eltog frem for dieseltog.

17.7.2 Driftspålidelighed

Kapitel 5 om trafikale og tekniske muligheder, beskriver en omfattende britisk undersøgelse, der fastslår, at en elektrisk togenhed kører 80 % længere end en tilsvarende dieseltogenhed inden der opstår en alvorlig fejl. At elektriske togenheder er mere driftspålidelige end dieseltogenheder fremgår også af rapporten *Electrification* fra Network Rail ref. [46]. I rapporten angives, at dieseltogenheder i gennemsnit kører 11.000 miles før der sker et nedbrud, mens elektriske tog kører 21.000 miles.

På grund af den mere komplicerede elektrificerede infrastruktur kan elektriske tog dog give anledning til andre problemer, hvor køreledningsnedrivninger er det alvorligste. Rapporten *Electrification* fra Network Rail ref. [46] angiver, at 5 % af alle infrastrukturelle forsinkelser i 2007/2008 på det britiske net skyldes problemer med køreledninger. Kapitlet om driftsaspekter, kapitel 14, vurderer at risikoen for køreledningsnedrivning og materieldefekter kun vil have en beskeden påvirkning på driftspålideligheden. Det ligger uden for nærværende analyse at estimere værdien af disse forskelle i driftspålidelighed.

17.7.3 Øvrige

Det forventes, at en elektrificering giver mulighed for at udenlandske operatører kan byde ind på togdriften, hvilket kan give stordriftsfordele, især med hensyn til den grænseoverskridende trafik.

17.8 Samfundsøkonomiske resultater

17.8.1 Generelt

I det følgende vil resultaterne for den samfundsøkonomiske analyse blive præsenteret.

17.8.2 1A Lunderskov - Esbjerg

Strækningen omfatter elektrificering af ca. 56 km bane, og årligt vil der blive kørt ca. 1,7 mio. km under de nye køreledninger. Der ses både på hvad elektrificering i 2015 og i 2022 har af økonomiske konsekvenser.

Efter elektrificering vil det blive muligt at køre samdrift med elmateriel på strækningerne København – Esbjerg og København – Padborg på den måde, at der køres samdrift af linierne udgående fra København indtil Kolding, hvor toget opsplittes i to, jf. afsnit 12.5.

Elektrificering i 2022

Ved en elektrificering i 2022 opnås et samfundsøkonomisk overskud på 742 mio. kr. i basissituationen. Det svarer til en intern rente på 10,4 %. Heraf bidrager samdriften med linjen København – Padborg positivt med knap 900 mio. kr.

Delelement	Basis			Vision		
	Diesel	El	Difference	Diesel	El	Difference
Infrastruktur						
Anlæg	-	777	-777	-	777	-777
Drift og vedligehold	-	57	-57	-	63	-63
Materiel						
Anskaffelse	1.076	828	249	1.338	1.066	273
D&V og forsikring	2.136	1.496	640	2.438	1.729	710
Energi	958	618	340	1.084	708	377
Miljø	289	25	264	329	29	301
Togskifte		-	0		-	0
Passagerfracfald	-	-	0	-	-	0
Forvriddingstab		-83	83		-109	109
Samlet	4.459	3.717	742	5.190	4.262	929
Intern rente			10,4 %			11,3 %

Tabel 47: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Lunderskov – Esbjerg ved elektrificering i 2022.

Det samfundsøkonomiske overskud skyldes hovedsageligt besparelser på indkøb af materiel samt besparelser på driftsomkostningerne. Ved at elektrificere 56 km bane kan man køre med elektrisk materiel på en 309 km lang strækning (København - Esbjerg), idet den allerede elektrificerede 253 km lange strækning København – Lunderskov også kan udnyttes. Ligeledes er det muligt at benytte elmateriel på hele den 330 km lange strækning mellem København – Padborg i samdrift med linjen til Esbjerg.

For strækningen gælder endvidere, at det undersøgte scenario kun omfatter et eltog pr. time til og fra Esbjerg, nemlig intercitytoget fra København. Ud over dette tog trafikeres Esbjerg af regionaltoget Esbjerg – Aarhus H. I analyserne er dette tog forudsat at være dieseltog, idet scenariet ikke omfatter elektrificering af strækningen Fredericia – Aalborg.

Såfremt scenarium 1B Fredericia – Aarhus også realiseres, vil linjen mellem Aarhus H og Esbjerg også kunne trafikeres med eltog, hvilket vil øge rentabiliteten yderligere.

Elektrificering i 2015

Ved at iværksætte elektrificeringen efter Signalprogrammet bliver udgifterne i anlægsoverslaget til immunisering mindre. Hvor anlægsoverslaget for elektrificering efter Signalprogrammet er på 1.064 mio. kr. er anlægsoverslaget ved elektrificering før Signalprogrammet 1.184 mio. kr. (begge beløb er udskonterede). Dvs. at den samlede anlægsudgift reduceres med 120 mio. kr. ved at udskyde projektet til efter Signalprogrammets gennemførelse.

På trods af den øgede anlægsinvestering bliver nutidsværdien højere ved elektrificering i 2015 end ved elektrificering i 2022. Det skyldes, at de driftsmæssige besparelser er så omfattende at de overstiger den øgede anlægsinvestering. Nutidsværdien er 878 mio. kr. ved elektrificering i 2015, hvor den var 742 mio. kr. ved elektrificering i 2022.

Situation	Nutidsværdi, mio. kr.	Intern rente
Basisfremskrivning	878	8,8 %
Visionsfremskrivning	1.113	9,5 %

Tabel 48: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Lunderskov - Esbjerg ved elektrificering i 2015.

17.8.3 1B Fredericia – Aarhus

Elektrificering af strækningen Fredericia – Aarhus er forbundet med en anlægsinvestering på 2,2 mia. kr. svarende til 1,6 mia. kr. i nutidsværdi. Nutidsværdien af omkostningerne til drift og vedligehold af infrastruktur udgør omkring 0,3 mia. kr. i både basis- og visionssituationen. Dvs. at der mindst skal kunne opnås gevinster på omkring 1,9 mia. kr. førend elektrificeringen er samfundsøkonomisk fordelagtig.

De samlede gevinster i basissituationen er ca. 3,7 mia. kr. Den væsentligste besparelse opnås på driften af de elektriske tog. Gevinsten herved udgør 40 % af de samlede besparelser.

I scenariet forudsættes, at passagerer på det elektriske net, der også benytter banen nord for Aarhus, skal skifte i Aarhus. Det har en samfundsøkonomisk omkostning, som medtages i analysen. I basissituationen er den samfundsøkonomiske omkostning hertil 157 mio. kr. som følge af, at en del af den samlede rejsetid går fra at være egentlig rejsetid til at være skiftetid. Dvs. at den samlede rejsetid ikke forøges, men blot skifter "karakter".

På trods af denne omkostning er det stadig samfundsøkonomisk rentabelt at elektrificere strækningen. Nutidsværdien er 1.645 mio. kr., svarende til en intern rente på 10,3 %.

Det øgede kørselsbehov i visionssituationen betyder, at det også er muligt at opnå større driftsmæssige besparelser, men også at omkostningen ved passagerfrafald og togskifte øges. Samlet øges nutidsværdien dog i forhold til basissituationen. Den interne rente øges til 12,1 % og nutidsværdien til 2.321 mio. kr.

Delelement	Basis			Vision		
	Diesel	EI	Difference	Diesel	EI	Difference
Infrastruktur						
Anlæg	-	1.601	-1.601	-	1.601	-1.601
Drift og vedligehold	-	278	-278	-	320	-320
Materiel						
Anskaffelse	2.554	2.284	270	3.214	2.740	475
D&V og forsikring	5.672	4.054	1.618	6.639	4.729	1.910
Energi	2.567	1.673	894	2.990	1.954	1.036
Miljø	822	70	751	961	82	879
Togskifte		157	-157		290	-290
Passagerfrafald	-	38	-38	-	68	-68
Forvriddingstab		-186	186		-301	301
Samlet	11.615	9.970	1.645	13.804	11.483	2.321
Intern rente			10,3 %			12,1 %

Anm.: I denne beregning er forudsat, at der skal anskaffes nyt materiel

Tabel 49: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Fredericia - Aarhus ved elektrificering i 2022.

17.8.4 2B-1 Fredericia – Aarhus - Aalborg

I scenariet beregnes konsekvenserne af at elektrificere hele strækningen Fredericia – Aarhus - Aalborg, hvilket bevirker, at passagerer ikke påtvinges et skift på Aarhus H, ligesom en række følgeinvesteringer på Aarhus H undgås.

Den væsentligste gevinst opnås på drift og vedligehold af tog, hvilket samlet udgør ca. 3,2 mia. kr. På grund af det positive resultat på strækningen Fredericia – Aarhus H bliver samfundsøkonomien for hele strækningen også positiv. Nutidsværdien bliver henholdsvis 1.038 mio. kr. i basissituationen og 1.964 mio. kr. i visionssituationen.

Delelement	Basis			Vision		
	Diesel	EI	Difference	Diesel	EI	Difference
Infrastruktur						
Anlæg	-	3.425	-3.425	-	3.425	-3.425
Drift og vedligehold	-	449	-449	-	511	-511
Materiel						
Anskaffelse	3.766	3.070	696	4.678	3.790	888
D&V og forsikring	7.291	5.177	2.115	8.479	6.021	2.457
Energikost	3.261	2.125	1.136	3.772	2.465	1.308
Miljø	1.023	88	934	1.187	102	1.085
Togskifte		-	0		-	0
Passagerfrafald	-	-	0	-	-	0
Forvridningstab		-30	30		-162	162
Samlet	15.341	14.304	1.038	18.116	16.152	1.964
Intern rente			6,7 %			8,0 %
Marginal nutidsværdi			-608			-357
Marginal intern rente			2,9 %			3,8 %

Tabel 50: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Fredericia – Aarhus - Aalborg ved elektrificering.

Årsagen til den høje nutidsværdi skyldes i særdeleshed, at der er mange passagerer mellem København og Aarhus.

Såfremt man udelukkende ser på hvor meget strækningen Aarhus – Aalborg bidrager til i det samlede resultat (den marginale effekt) ses, at dette bidrag er negativt. Den marginale nutidsværdi i basisalternativet er således -608 mio. kr. og scenariet er mindre rentabelt.

17.8.5 2B-2 Fredericia – Aarhus - Aalborg – Frederikshavn

Dette scenarium bygger ovenpå scenarium 1B-1 Fredericia – Aarhus - Aalborg, hvilket vil sige, at de samfundsøkonomiske konsekvenser for hele strækningen Fredericia – Frederikshavn vurderes.

Da det er en længere strækning som elektrificeres bliver det nu også muligt at køre en længere strækning med elektriske tog. De driftsrelaterede materielgevinster øges, ligesom miljøgevinsten endvidere er betragtelig.

Samlet set vil de samfundsøkonomiske gevinster opnået på hovedstrækningen stadig være store nok til at nutidsværdien forbliver positiv og den interne rente over 5 % i både basis- og visionssituationen.

Omvendt forholder det sig hvis scenariet ses isoleret i forhold til de scenarier det bygger ovenpå⁹⁰. I basissituationen giver hele strækningen Fredericia – Aarhus - Aalborg anledning til et samfundsøkonomisk overskud på 1.038 mio. kr. Dette overskud bliver 697 mio. kr. mindre og kommer ned på i alt 341 mio. kr., hvis også strækningen Aalborg – Frederikshavn elektrificeres. Den marginale nutidsværdi er dermed -697 mio. kr.

⁹⁰ Den marginale beregning er gennemført i forhold til 2B-1.

Delelement	Basis			Vision		
	Diesel	El	Difference	Diesel	El	Difference
Infrastruktur						
Anlæg	-	4.155	-4.155	-	4.155	-4.155
Drift og vedligehold	-	582	-582	-	664	-664
Materiel						
Anskaffelse	4.257	3.488	769	5.523	4.463	1.061
D&V og forsikring	7.710	5.482	2.228	9.009	6.407	2.601
Energi	3.427	2.233	1.194	3.965	2.590	1.375
Miljø	1.072	93	979	1.245	107	1.138
Togskifte		-	0		-	0
Passagerfrafald	-	-	0	-	-	0
Forvriddingstab		92	-92		-63	63
Samlet	16.465	16.125	341	19.742	18.324	1.418
Intern rente			5,5 %			6,9 %
Marginal nutidsværdi			-697			-545
Marginal intern rente			-3,0			- 1,1 %

Tabel 51: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Fredericia – Aalborg – Frederikshavn ved elektrificering.

17.8.6 2B-3 Fredericia – Aarhus og Vejle – Struer

Strækningen Vejle - Struer er et forsættelsesscenarium af scenarium 1B Fredericia – Aarhus. Det vil sige, at de samfundsøkonomiske konsekvenser af at elektrificere både strækningen Fredericia – Aarhus og strækningen Vejle – Struer beregnes.

I lighed med det foregående fortsættelsesscenarium, som også bygger ovenpå hovedscenariet 1B, vil gennemførelse af dette scenarium ikke bidrage positivt. Det gælder både i basis- og visionssituationen.

Fredericia – Aarhus giver et samfundsøkonomisk overskud på 1.645 mio. kr. Ses strækningen sammen med Vejle – Struer ændres dette til et overskud på 1.047 mio. kr. Det svarer til, at Vejle – Struer isoleret giver et underskud på 598 mio. kr.

Delelement	Basis			Vision		
	Diesel	El	Difference	Diesel	El	Difference
Infrastruktur						
Anlæg	-	2.672	-2.672	-	2.672	-2.672
Drift og vedligehold	-	344	-344	-	394	-394
Materiel						
Anskaffelse	2.937	2.587	350	3.725	3.157	568
D&V og forsikring	6.761	4.822	1.939	7.905	5.625	2.280
Energi	3.072	2.010	1.062	3.572	2.343	1.228
Miljø	875	75	799	1.019	87	932
Togskifte		157	-157		290	-290
Passagerfrafald	-	9	-9	-	17	-17
Forvriddingstab		-80	80		-216	216
Samlet	13.645	12.598	1.047	16.220	14.369	1.851
Intern rente			7,0 %			8,5 %
Marginal nutidsværdi			-598			-470
Marginal intern rente			1,4 %			2,4 %

Tabel 52: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Fredericia – Aarhus og Vejle - Struer ved elektrificering.

17.8.7 1C Hobro – Frederikshavn

Elektrificering af strækningen Hobro- Frederikshavn omfatter elektrificering af en forholdsvis lang (delvis dobbeltsporet) strækning. Anlægsinvesteringen hertil er 2,3 mia. kr. Ved elektrificering af denne strækning gælder at man isoleret set ikke opnår de fordele de andre scenarier har, nemlig at kunne udnytte allerede elektrificerede strækninger. Samtidig er passagergrundlaget beskedent. Mulighederne for at opnå driftsmæssige besparelser ved elektrificering er dermed også begrænsede.

Det er muligt at opnå driftsmæssige besparelser på ca. 400 mio. kr. (nutidsværdi) opgjort over hele projektets driftsperiode. Den væsentligste gevinst fås fra lavere omkostninger til drift og vedligehold.

Sammenholdes de mulige driftsmæssige besparelser samt værdien af de mindskede miljøeffekter med anlægsinvesteringen fås, at disse ikke er store nok til at elektrificering af denne strækning er forbundet med samfundsøkonomisk overskud. Tværtimod vil elektrificering af denne strækning give et samfundsøkonomisk underskud på 1.245 mio. kr. i basissituationen og 1.082 mio. kr. i visionssituationen.

Delelement	Basis			Vision		
	Diesel	El	Difference	Diesel	El	Difference
Infrastruktur						
Anlæg	-	1.415	-1.415	-	1.415	-1.415
Drift og vedligehold	-	97	-97	-	108	-108
Materiel						
Anskaffelse	843	717	126	1.265	1.034	231
D&V og forsikring	662	484	178	809	591	218
Energi	256	166	89	294	192	102
Miljø	104	9	95	91	8	83
Togskifte		-	0		-	0
Passagerfracald	-	-	0	-	-	0
Forvriddingstab		222	-222		193	-193
Samlet	1.865	3.110	-1.245	2.459	3.540	-1.082
Intern rente			-1,7 %			-0,8 %

Tabel 53: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Høbro – Frederikshavn.

17.8.8 1D Roskilde – Holbæk

Elektrificeringen vil gøre det muligt at køre med elektrisk materiel fra København til Holbæk. Mod at elektrificere en kort strækning bliver det dermed muligt at opnå driftsmæssige besparelser for et stort antal togenhedskilometer.

I scenariet forudsættes, at passagerer, som skal helt til Kalundborg, skal skifte i Holbæk og at skiftet varer 5 min. Således vil godt 800.000 passagerer skulle skifte tog i basissituationen i 2022. Udover at en del passagerer skal skifte tog forventes endvidere at en del passagerer vil vælge alternative transportmidler pga. det påtvungne skift, hvilket vil reducere banens billetindtægter. Togskifte og passagerfracald vil samlet bevirke en øget omkostning – opgjort i nutidsværdi - ved elektrificering i basissituationen på 450 mio. kr. og i visionssituationen knap 480 mio. kr. opgjort i nutidsværdier.

Delelement	Basis			Vision		
	Diesel	El	Difference	Diesel	El	Difference
Infrastruktur						
Anlæg	-	503	-503	-	503	-503
Drift og vedligehold	-	77	-77	-	87	-87
Materiel						
Anskaffelse	1.281	1.126	156	1.468	1.197	271
D&V og forsikring	1.210	840	371	1.353	948	406
Energi	488	298	190	543	342	201
Miljø	153	12	141	171	14	157
Togskifte		414	-414		448	-448
Passagerfrafald	-	32	-32	-	34	-34
Forvriddingstab		-23	23		-53	53
Samlet	3.133	3.278	-145	3.536	3.521	15
Intern rente			2,5 %			5,3 %

Tabel 54: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Roskilde - Holbæk.

Samlet set er det i basissituationen forbundet med et samfundsøkonomisk underskud på 145 mio. kr. at elektrificere strækningen, svarende til en intern rente på 2,5 %. Årsagen hertil er primært, at et stort antal passagerer påtvinges et skift, hvilket er forbundet med en stor samfundsøkonomisk omkostning.

I visionssituationen, som opererer med flere passagerer, er elektrificering forbundet med et overskud på 15 mio. kr., svarende til en intern rente på 5,3 %.

17.8.9 2D-1 Roskilde - Holbæk – Kalundborg

Scenariet er et fortsættelsesscenarium ovenpå scenariet 1 D Roskilde – Holbæk. Ved at realisere fortsættelsesscenariet er det ikke længere nødvendigt for passagerer, som skal længere end til Holbæk, at skifte tog i Holbæk. I forhold til scenariet 1 D Roskilde – Holbæk er der derfor ingen negative passagereffekter som følge af togskifte.

Scenariet medfører større anlægs- og driftsudgifter, men gør det også muligt at opnå større driftsmæssige besparelser.

Samlet betyder det, at det er forbundet med en samfundsøkonomisk gevinst at forlænge elektrificering fra Holbæk til Kalundborg. Strækningen Roskilde – Holbæk giver et samfundsøkonomisk underskud på 145 mio. kr. i basissituationen. Underskuddet mindskes med 392 mio. kr. og bliver til et overskud på 246 mio. kr. ved at fortsætte elektrificeringen til Kalundborg. Den marginale værdi af at fortsætte elektrificeringen er således ca. 400 mio. kr.

Delelement	Basis			Vision		
	Diesel	El	Difference	Diesel	El	Difference
Infrastruktur						
Anlæg	-	831	-831	-	831	-831
Drift og vedligehold	-	111	-111	-	125	-125
Materiel						
Anskaffelse	1.716	1.372	345	1.738	1.384	354
D&V og forsikring	1.417	1.020	397	1.630	1.175	455
Energi	554	361	193	635	414	220
Miljø	275	24	251	199	17	182
Togskifte		-	0		-	0
Passagerfrafald	-	-	0	-	-	0
Forvriddningstab		-1	1		-18	18
Samlet	3.963	3.717	246	4.200	3.927	273
Intern rente			6,9 %			7,2 %
Marginal NPV			392			258
Marginal IRR			11,7 %			9,4 %

Tabel 55: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Roskilde – Holbæk - Kalundborg.

17.8.101E Køge Nord - Næstved

Elektrificeringen af denne strækning forudsætter, at den ny bane mellem København – Ringsted etableres som planlagt. Passagerer til Køge og stationerne mellem Køge og Næstved vil således køre på den nye bane fra København til Køge Nord og herfra på den nuværende lokalbane mellem Køge og Næstved. Passagerer til Køge og stationerne mellem Køge og Næstved vil dermed kunne opnå væsentlig kortere rejsetid.

Elektrificering af strækningen vil koste 711 mio. kr. svarende til 444 mio. kr. i nutidsværdi. De samlede omkostninger til infrastruktur bliver over hele driftsperioden 496 mio. kr. (nutidsværdi). Disse omkostninger skal holdes op mod en gevinst, som er 656 mio. kr. i basissituationen. Den væsentligste gevinst opnås fra drift og vedligehold af tog, idet besparelser hertil udgør ca. 40 % af de samlede gevinster.

Delelement	Basis			Vision		
	Diesel	El	Difference	Diesel	El	Difference
Infrastruktur						
Anlæg	-	444	-444	-	444	-444
Drift og vedligehold	-	52	-52	-	61	-61
Materiel						
Anskaffelse	999	805	193	1.013	817	195
D&V og forsikring	853	615	238	993	713	280
Energi	336	219	117	403	263	140
Miljø	105	9	96	127	11	116
Togskifte		-	0		-	0
Passagerfrafald	-	-	0	-	-	0
Forvridningstab		-12	12		-24	24
Samlet	2.293	2.131	162	2.535	2.285	250
Intern rente			7,3 %			8,5 %

Tabel 56: Nutidsværdier, mio. kr. og intern rente for strækningen Køge Nord - Næstved

Samlet set er elektrificering af strækningen Køge Nord - Næstved samfundsøkonomisk attraktiv.

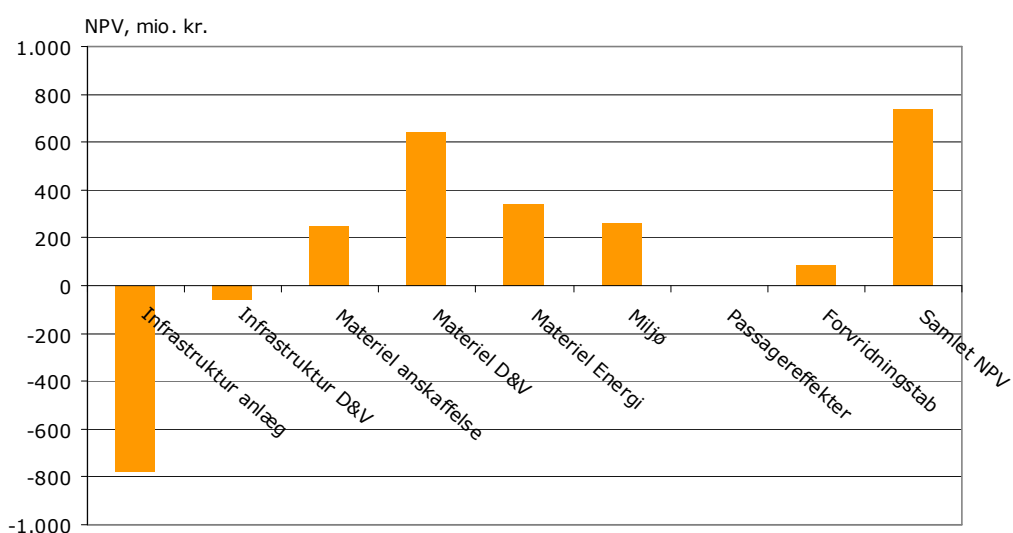
Nutidsværdien er 162 mio. kr. i basissituationen og 250 mio. kr. i visionssituationen, svarende til en intern rente på 7,3 % og 8,5 % i basis- hhv. visionssituationen.

17.8.11 Delkonklusion om samfundsøkonomi

For at få et indtryk af størrelsesordenerne af de enkelte parametre i de samfundsøkonomiske analyser, er nutidsværdien for parametrene vist for strækningen Lunderskov- Esbjerg i figuren nedenfor.

Det ses, ikke overraskende, at den væsentligste udgift i projektet er etablering af kørestrømsanlægget. De væsentligste gevinster opnås i forbindelse med drift og vedligehold af materiel samt energi. Endvidere er gevinsterne, der opnås i forbindelse med anskaffelse af materiel og miljø betydelige. Derimod har drift og vedligehold af infrastruktur samt skatteforvridningstab mindre betydning.

I forbindelse med følsomhedsanalyserne bliver det vurderet, hvorledes ændringer i de anvendte forudsætninger f.eks. drifts- og vedligeholdelsesomkostninger for de to togtyper vil påvirke nutidsværdien.



Figur 10: Nutidsværdi for de enkelte parametre for strækningen Lunderskov - Esbjerg.

De samfundsøkonomiske resultater for alle strækningerne er sammenfattet i Tabel 57.

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi, mio. kr.		Intern rente	
		Basis	Vision	Basis	Vision
1A-1	Lunderskov – Esbjerg, 2015	878	1.113	8,8 %	9,5 %
1A-2	Lunderskov – Esbjerg, 2022	742	929	10,4 %	11,3 %
1B	Fredericia – Aarhus	1.645	2.320	10,3 %	12,1 %
2B-1	Aarhus – Aalborg	-608	-357	2,9 %	3,8 %
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	-697	-545	-3,0 %	-1,1 %
2B-3	Vejle – Struer	-598	-470	1,4 %	2,4 %
1C	Hobro – Frederikshavn	-1.245	-1.082	-1,7 %	-0,8 %
1D	Roskilde – Holbæk	-145	15	2,5 %	5,3 %
2D-1	Holbæk – Kalundborg	392	258	11,7 %	9,4 %
1E	Køge Nord – Næstved	162	250	7,3 %	8,5 %

Tabel 57: Nutidsværdier og intern rente for de analyserede strækninger

17.9 Statskasseeffekt

17.9.1 Generelt

I det følgende er konsekvenserne for statskassen⁹¹ af en gennemførelse af de beskrevne scenarier belyst. Det vil sige, at det vurderes hvilke direkte udgifter og indtægter staten og andre offentlige kasser har som følge af elektrificeringsprojektet.

⁹¹ Det er lagt til grund, at merudgifter og besparelser for DSB tilfalder staten via en ny økonomisk aftale mellem staten og DSB.

I beregningen af statskaseffekten ses på nettoeffekten for staten, dvs. forskellen mellem at fortsætte med togdrift baseret på diesel og elektrificeret togdrift. Statskassen vil få en udgift i forbindelse med etablering af kørestrømsnettet og den efterfølgende drift heraf. Endvidere vil staten miste billetindtægter pga. passagerfracald som følge af togskifte i visse scenarier. Elektrisk togdrift er forbundet med flere afgifter end dieseldrift, og elektrificering vil derfor betyde, at afgifterne øges. Samtidig vil elektrificering medføre besparelser, da elektriske tog er billigere at anskaffe, vedligeholde og drive.

I en statskaseanalyse værdisættes miljøeffekterne og passagerskifte ikke og disse forhold indgår således ikke i analysen (disse indgår derimod i den samfundsøkonomiske analyse).

I analysen af statskaseffekten er anvendt en diskonteringsrate på 3,45 % (i den samfundsøkonomiske analyse er anvendt 5 %) Der fås derfor en positiv nutidsværdi, hvis den interne rente i de enkelte projekter er større end 3,45 %

I det følgende vises tabeller for basissituationen. De tilsvarende tabeller for visionssituationen findes i bilag Bilag 19.

17.9.2 Resultater

Nedenstående Tabel 61 viser konsekvenserne for Statskassen for strækningen Lunderskov – Esbjerg i basissituationen.

Elektrificering i 2022 giver et samlet overskud på 663 mio. kr., mens elektrificering i 2015 giver et overskud på 770 mio. kr. Det er således muligt at opnå så store gevinster i perioden 2015-2022, at de overstiger den øgede udgift til etablering af kørestrømsnettet i 2015 frem for 2022.

Delelement	2015	2022
Infrastruktur		
Anlæg	-1.081	-766
Drift og vedligehold	-100	-74
Materiel	0	
Anskaffelse	338	271
D&V og forsikring	988	827
Energi	0	434
Afgifter	-37	-29
Billetindtægter	0	0
Samlet nutidsværdi	770	663
Intern rente	7,3 %	8,5 %

Tabel 58: Statskaseffekt (nutidsværdier, mio. kr.) i basissituationen, Lunderskov – Esbjerg

Ses på scenarium 1B Fredericia – Aarhus i basissituationen, fremgår det af tabellen nedenfor, at det giver en samlet nutidsværdi på ca. 1.500 mio. kr. Ligesom i den samfundsøkonomiske analyse, er der således god økonomi i at elektrificere denne strækning.

Men ser man på strækningerne nord for Aalborg fører elektrificering til underskud for statskassen. Elektrificering af strækningen Aarhus - Aalborg giver et underskud på yderligere 550 mio. kr. og elektrificering af strækningen Aalborg – Frederikshavn giver et marginalt underskud på næsten 600 mio. kr.

Elektrificering videre fra Vejle til Struer giver anledning til et underskud på knap 400 mio. kr., mens strækningen Hobro – Frederikshavn giver et underskud på godt 1 mia. kr.

Delelement	1B Fredericia - Aarhus	2B-1 Fredericia – Aarhus - Aalborg, mio. kr.	Marginalleffekt ^A Aarhus - Aalborg	2B-1 Fredericia – Aarhus - Aalborg - Frederikshavn, mio. kr.	Marginalleffekt ^A Aalborg – Frederikshavn	2B-2 Fredericia – Aarhus og Vejle – Struer, mio. kr.	Marginalleffekt Vejle – Struer	1C Hobro – Frederikshavn
Infrastruktur								
Anlæg	-1.580	-3.379	-1.799	-4.099	-720	-2.636	-1.057	-1.396
Drift og vedligehold	-360	-582	-222	-755	-173	-446	-85	-124
Materiel			0		0		0	0
Anskaffelse	285	761	476	842	81	378	93	139
D&V og forsikring	2.099	2.742	643	2.889	147	2.509	410	229
Energi	1.147	1.456	309	1.530	74	1.360	213	114
Afgifter	-81	-103	-22	-108	-5	-97	-16	-8
Mistede billetindtægter	-57	0	57	0	0	-14	43	0
Samlet	1.452	895	-557	299	-597	1.054	-398	-1.047
Intern rente	8,3 %	5,0 %	1,3 %	3,9 %	-6,0 %	4,2 %	0,8 %	-3,2 %

Tabel 59: Statskasseeffekt (nutidsværdier, mio. kr.) i basissituationen for strækningerne fra Fredericia og videre mod nord

De mange passagerer på strækningen mellem København og Holbæk bevirker at scenarium 1D Roskilde – Holbæk har et overskud på godt 240 mio. kr. (nutidsværdi). Fortsættelsesscenariet mellem Holbæk – Kalundborg giver derimod anledning til et underskud på knap 100 mio. kr. Antallet af passagerer på forlængelsen er således ikke stort nok til at forrente den øgede anlægsudgift til elektrificeringen. Samlet set betyder dette, at elektrificering af hele strækningen fra Roskilde til Kalundborg giver et overskud på ca. 150 mio. kr.

Delelement	1D Roskilde – Holbæk	2D-1 Holbæk – Kalundborg	2D-1 Roskilde – Kalundborg
Infrastruktur			
Anlæg	-496	-324	-820
Drift og vedligehold	-99	-44	-143
Materiel			
Anskaffelse	170	208	378
D&V og forsikring	480	33	513
Energi	244	3	247
		0	
Afgifter	-10	-8	-18
Mistede billetindtægter	-49	49	0
Samlet	240	-82	158
Intern rente	6,4 %	0,8 %	4,8 %

Tabel 60: Statskaseffekt (nutidsværdier, mio. kr.) i basissituationen for strækningerne fra Roskilde og videre mod vest

På strækningen Køge Nord – Næstved er der ligeledes en stor besparelse ved at elektrificere, og elektrificering giver således et overskud på ca. 150 mio. kr. (nutidsværdi).

Delelement	1E Køge Nord – Næstved, mio. kr.
Infrastruktur	
Anlæg	-438
Drift og vedligehold	-67
Materiel	
Anskaffelse	213
D&V og forsikring	308
Energi	150
Afgifter	-11
Billetindtægter	0
Samlet nutidsværdi	155
Intern rente	5,8 %

Tabel 61: Statskasseeffekt (nutidsværdier, mio. kr.) i basissituationen for strækningen Køge Nord - Næstved

I tabellen nedenfor fremgår de samlede resultater for statskasseanalysen for både basis og visionssituationen. Ligesom i den samfundsøkonomiske analyse opnås der i hovedparten af scenarierne bedre økonomi i visionssituationen. Det skyldes, at der skal transporteres flere passagerer i visionssituationen, og det er derfor muligt at opnå større besparelser på både materiel- og på drifts-siden.

Scenarium	Strækning	Nutidsværdi, mio. kr.		Intern rente, %	
		Basis	Vision	Basis	Vision
1A-1	Lunderskov – Esbjerg 2015	770	991	7,3 %	8,0 %
1A-2	Lunderskov – Esbjerg 2022	663	828	8,5 %	9,3 %
1B	Fredericia – Aarhus	1.452	2.169	8,3 %	10,2%
2B-1	Aarhus – Aalborg	-557	-457	1,3 %	1,7 %
2B-2	Aalborg – Frederikshavn	-597	-460	-6,0 %	-3,1 %
2B-3	Vejle – Struer	-398	-262	0,8 %	1,9 %
1C	Hobro – Frederikshavn	-1.047	-875	-3,2 %	-1,8 %
1D	Roskilde – Holbæk	240	420	6,4 %	8,5 %
2D-1	Holbæk – Kalundborg	-82	-169	0,8 %	-1,9 %
1E	Køge Nord – Næstved	155	229	5,8 %	6,8 %

Tabel 62: Nutidsværdier for statskaseffekten for de analyserede strækninger.

18 Følsomhedsberegninger

18.1 Generelt

Nærværende kapitel omfatter følsomhedsberegninger af de samfundsøkonomiske resultater i basisscenerierne med udgangspunkt i ændring af følgende parametre:

- Anlægsinvesteringer
- Materielpriser
- Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger
- Miljøeffekter
- Energifriser (olie- hhv. elpriser)
- Køretidsgevinster

Følsomhedsberegningerne undersøger betydningen af ændringer i forudsatte parametre for hvert scenariums samlede nutidsværdi.

Resultaterne vises i tabeller og i figurer for nogle parametre. Sidstnævnte illustrerer, hvordan den samlede nutidsværdi varierer i takt med ændringer i en enkelt parameter. Således beregnes følsomheden for parametrene en efter en, mens effekten af flere ændrede parametre på én gang ikke undersøges.

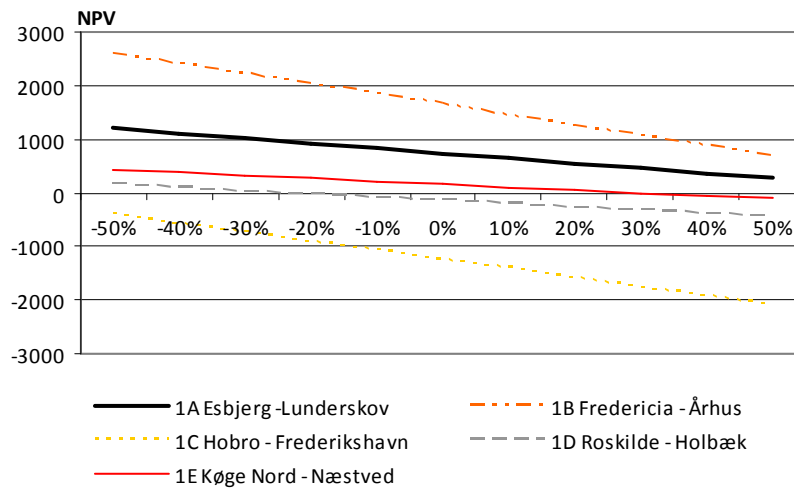
Der vil endvidere blive beregnet en break-even pris for en række parametre for hovedscenerierne. Breakeven prisen anskueliggør, hvor meget parameteren skal ændres, før nutidsværdien bliver neutral.

Fortsættelsesscenerierne er anskuet isoleret (marginalt), dvs. at kun selve strækningen bliver analyseret for parameterfølsomhed og således adskilt for den tilstødende hovedstrækning.

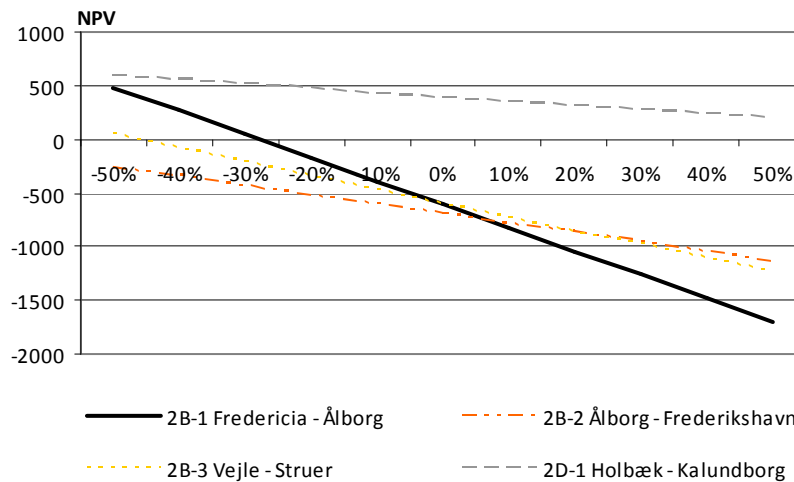
18.2 Anlægsinvesteringer

Følsomhedsberegningerne undersøger betydningen af øget og reduceret anlægsinvestering på nutidsværdierne. Beregningerne viser, at udsving i anlægsinvesteringen påvirker delstrækningernes rentabilitet. Sagt med andre ord vil afvigelser fra de forventede anlægsomkostninger have betydning for det samfundsøkonomiske resultat.

Sammenlignet med anlægsinvesteringen udgør drift og vedligehold af infrastrukturen en mindre del af de samlede udgifter til infrastruktur, og er derfor ikke undersøgt mht. følsomhed.



Figur 11: Betydningen af ændringer i anlægsinvesteringer for nutidsværdien, hovedsscenerier



Figur 12: Betydningen af ændringer i anlægsinvesteringer for nutidsværdien, fortsættelsesscenerier

Breakeven beregningerne viser, hvor meget anlægget skal blive billigere eller fordyres, før nutidsværdien bliver neutral – og strækningen dermed overgår til/fra at være rentabel. Denne overgang er illustreret i figurene med følsomhedslinjens krydsning af x-aksen, mens de faktiske ændringer i anlægsinvesteringen er indsat i tabellen herunder.

	Anlægsinvestering, mio. kr.				
	1A	1B	1C	1D	1E
Anlægsinvestering i udgangspunkt	1.064	2.224	1.967	699	620
Breakeven anlægsinvestering	1.911	4.071	138	523	1.020
Forskel fra udgangspunkt	80 %	83 %	-93 %	-25 %	65 %

Tabel 63: Følsomhedsberegninger for anlægsinvesteringer, basissituationen

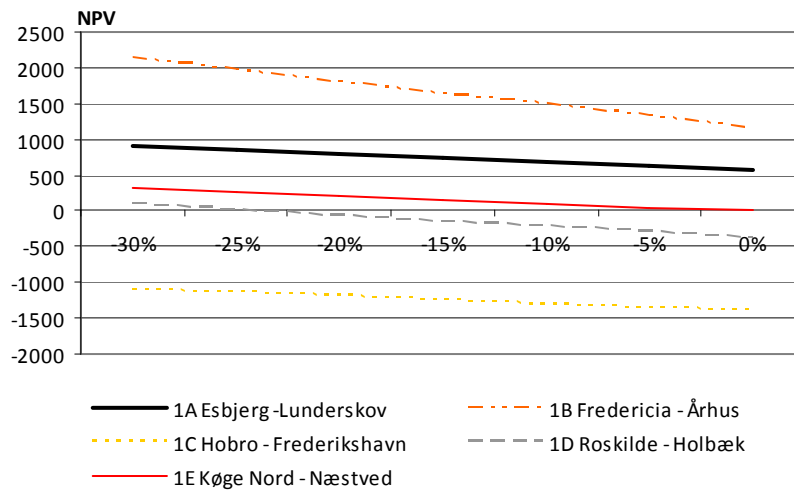
Det ses, at øges investeringsbehovet med f.eks. 80 % vil scenarium 1A Lunderskov-Esbjerg overgå til at have negativ nutidsværdi.

For strækningerne med positive nutidsværdier gælder, at der skal ske en stor forøgelse i anlægsinvesteringen førend strækningerne ikke er rentable.

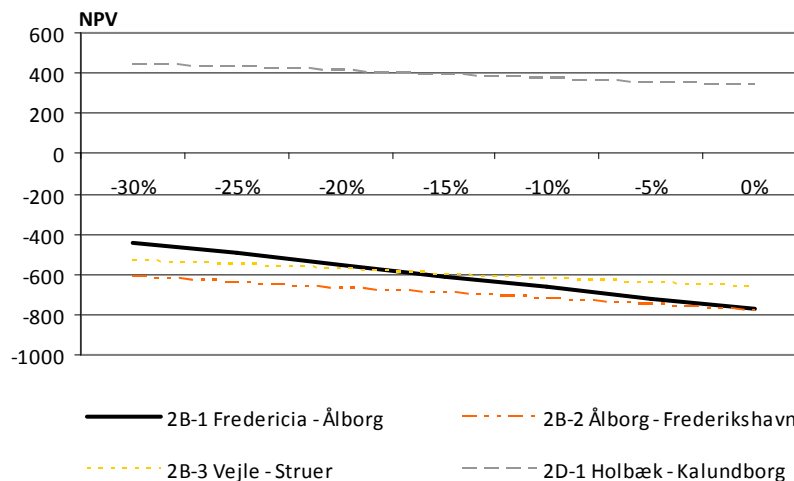
18.3 Materielpriser

Udgangspunktet for analysen af banenettets elektrificering er, at el-materiel er 15 % billigere i anskaffelse end dieselmateriel. I nærværende følsomhedsberegning undersøges betydningen af prisændringer i spændet fra -30 % til 0 %. Med andre ord varieres priserne på eltog fra et niveau, der er 30 % lavere end for dieselmateriel, til et niveau der er lig prisen for dieselmateriel.

Som udgangspunkt er nutidsværdierne ikke meget følsomme over for mindre ændringer i materielpriser. Priserne på elmateriel – set i forhold til priserne på dieselmateriel – skal således ændres betydeligt, før det afgør strækningernes rentabilitet.



Figur 13: Betydningen af ændringer i materielpriser for nutidsværdien, hovedscenarier



Figur 14: Betydningen af ændringer i materielpriser for nutidsværdien, fortsættelsesscenarier

Figur 13 og 14 viser, hvor meget den faktiske materielpris skal ændres, før nutidsværdien bliver neutral (breakeven prisen). Eksempelvis skal prisen på en elmaterieleinheit stige fra 62 til 85 mio. kr. eller 36 %, førend delstrækning 1B (Fredericia - Aarhus) ophører med at være et samfundsøkonomisk rentabelt projekt.

	Materielpris, mio. kr.				
	1A	1B	1C	1D	1E
Materielpris i udgangspunkt	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2
Breakeven materielpris	92	85	n.a.	47	62
Forskel fra udgangspunkt	49 %	36 %	-	-24 %	-1 %

Tabel 64: Følsomhedsberegninger for materielpriser, basissituationen

Anm.: Breakeven prisen er udeladt for 1C (Hobro-Frederikshavn), da det vil kræve en negativ materielpris, før nutidsværdien bliver neutral.

18.4 Drifts- og vedligeholdelsesomkostninger

De lavere omkostninger forbundet med drift og vedligehold af elmateriel har stor betydning for nutidsværdierne. Følsomhedsanalysen for drift- og vedligeholdelsesomkostninger viser, at såfremt el- og dieselmateriel måtte have samme omkostningsniveau ville alle scenarier med undtag af to (1A Lunderskov – Esbjerg og 1E Køge Nord – Næstved) resultere i negative nutidsværdier.

Reduceres omkostningerne fra 10,8- til 8,7 kr./togenhedskm/år svarende til 19 % vil strækningen Roskilde – Holbæk få en positiv nutidsværdi.

	Nutidsværdi, mio. kr.								
	1A	1B	2B-1	2B-2	2B-3	1C	1D	2D-1	1E
Nutidsværdi med drift- og vedligehold i udgangspunkt	742	1645	-608	-697	-598	-1245	-145	392	162
Samme omkostninger for el og diesel	43	-245	-1119	-819	-968	-1352	-482	320	-86
	Drift- og vedligeholdelsesomkostninger, kr./togenhedskm/år								
Drift og vedligehold pr. togenhedskm. pr. år i udgangspunkt	10,8	10,8				10,8	10,8		10,8
Breakeven omkostning	15,7	14,8				Neg.	8,7		16,8
Forskel fra udgangspunkt	45,8 %	37 %					-19 %		56 %

Tabel 65: Følsomhedsberegninger for drifts- og vedligeholdelsesomkostninger, basissituationen

Anm.: Breakeven prisen er udeladt for 1C (Hobro-Frederikshavn), da det vil kræve en negative drifts- og vedligeholdelses-omkostninger, før nutidsværdien bliver neutral.

18.5 Miljøeffekter

Værdien af lavere miljøbelastning ved elmateriel udgør en del af nutidsværdien.

Såfremt miljøeffekterne ikke tillægges værdi vil rentabiliteten forværres for alle scenarier. For fortsættelsesscenariet 2-D1 Holbæk – Kalundborg vil udeladelsen betyde, at nutidsværdien bliver negativ. Nutidsværdien ændrer ikke fortegn i de øvrige scenarier.

	Nutidsværdi, mio. kr.								
	1A	1B	2B1	2B2	2B3	1C	1D	2D1	1E
Nutidsværdi i udgangspunktet, mio. kr.	742	1645	-608	-697	-598	-1245	-145	392	162
Nutidsværdi såfremt miljøeffekter ikke tillægges værdi	478	894	-791	-742	-646	-1340	-286	281	65

Tabel 66: Følsomhedsberegninger for miljøeffekter, basissituationen

Da miljøeffekten er direkte afhængig af energiforbruget, som varierer nævneværdigt scenarierne i mellem, er der også stor indbyrdes forskel på betydningen for nutidsværdien såfremt miljøeffekten udelades. Dette samme vil gøre sig gældende i de nedenstående følsomhedsberegninger vedr. energipriser.

18.6 Energipriser

I dette afsnit ses først på en forøgelse af både diesel og elprisen samtidig, og dernæst vises resultaterne af en følsomhedsanalyse, hvor der ses på en afkoblet udvikling i priserne på hhv. diesel og el.

På lang sigt kan man forestille sig at prisudviklingen på el vil være anderledes end på diesel. Forfølges visionen om, at Danmark skal være fossilfri i 2050, vil elektriciteten udelukkende være baseret på vedvarende energi og dermed afkoblet olieprisudviklingen. Eksempelvis anvender Regeringens klimakommission (2010) i sine beregninger et prisforløb, hvor de fossile brændslers pris er konstant efter 2020. Samtidig stiger prisen på vedvarende energi, herunder en femdobling af CO₂-kvoteprisen i perioden 2020-2050.

Denne udvikling i energipriser er kædet sammen med EU's ambition om at sænke udledningen af drivhusgasser med 80-95 % frem mod 2050. De skrappe krav til udledningsreduktion vil betyde, at efterspørgslen efter fossile brændsler falder, samtidig med at ressourcerne opbruges. Samlet kan dette medføre en stabilisering af dieselprisen.

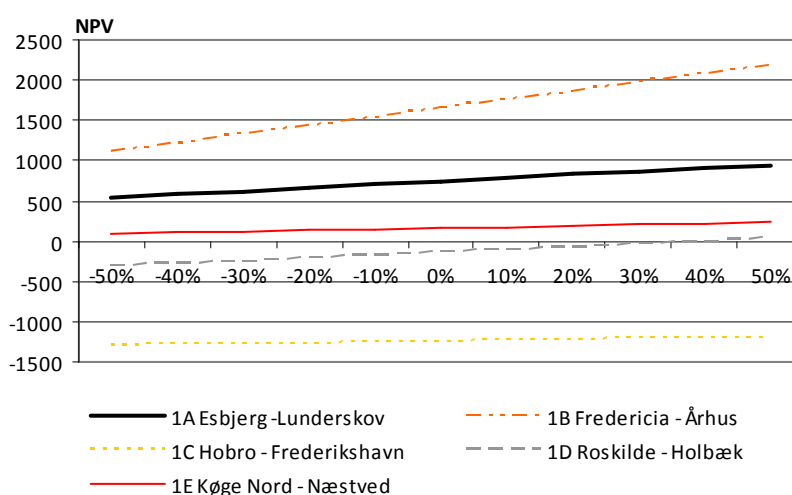
Følsomheden for ændringer i energipriser beregnes fra tre vinkler:

1. El- og dieselprisen stiger eller falder i takt
2. Elprisen falder mens dieselprisen er konstant
3. Dieselprisen falder mens elprisen er konstant

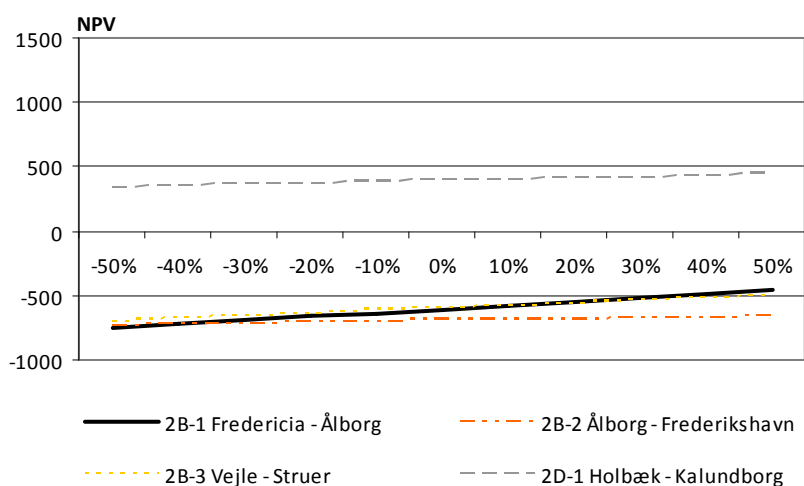
Det er givet, at særligt punkt 2 vil bidrage til positive nutidsværdier, men også punkt 1 kan have positiv indvirkning, da elmateriellets højere energieffektivitet betyder, at effekten af højere energipriser vil forbedre nutidsværdien under elektrificering. Falder energipriserne vil vægten af denne post reduceres, hvilket vejer til dieseltogenes fordel, da fraværet af omkostninger til anlæg bliver mere betydende for de samlede resultater. Et relativt fald i dieselprisen (punkt 3) vil forværre rentabiliteten for alle scenarier.

18.6.1 Både el- og dieselprisen ændres

Som nævnt vil stigende el- og dieselpriser forbedre nutidsværdierne og dermed tale til fordel for elektrificering. Faldende priser reducerer derimod rentabiliteten og vil dermed tjene til fordel for fortsat diesel drift. Betydningen af ændrede energipriser er dog lille, hvilket ses af de lave hældningsgrader på kurverne i Figur 15 og Figur 16.



Figur 15: Betydningen for nutidsværdien af ændringer i både el- og dieselpris, hovedscenarier

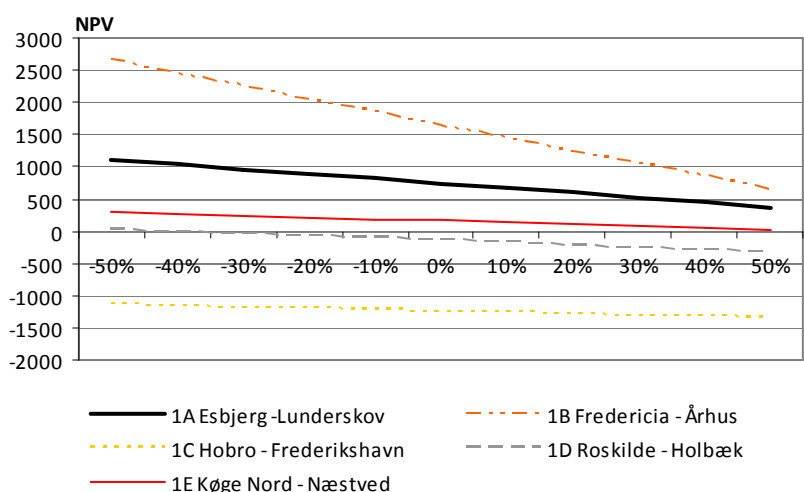


Figur 16: Betydningen for nutidsværdien af ændringer i både el- og dieselpris, fortsættelsescenarier

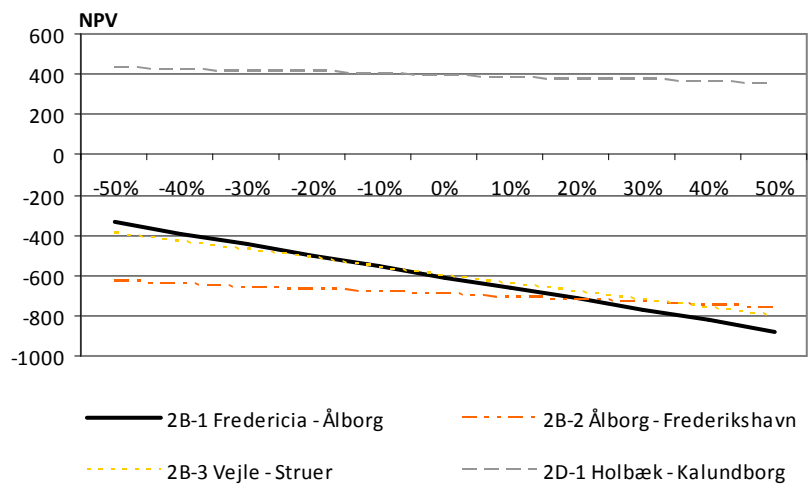
18.6.2 El-prisen reduceres, mens dieselprisen holdes konstant

En lavere elpris vil forbedre nutidsværdien for alle scenarier, men en betydelig reduktion er påkrævet, før det medfører, at scenarier som i beregningerne har en negativ nutidsværdi vil blive positive.

Ligeledes er det nødvendigt med store elprisstigninger før rentable strækninger får en negativ nutidsværdi. Bemærk at netop stigende elpriser samt konstante dieselpriser er et af de prisforløb, som Klimakommissionen anvender.



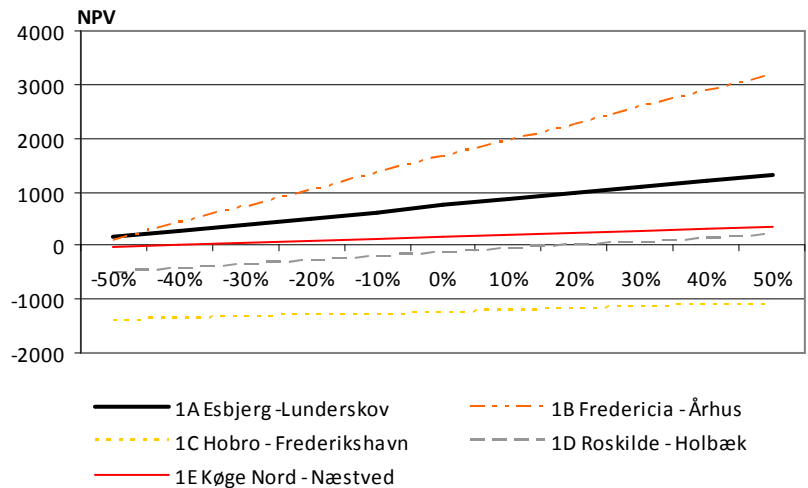
Figur 17: Betydningen for nutidsværdien af ændringer i el-prisen, hovedscenarier



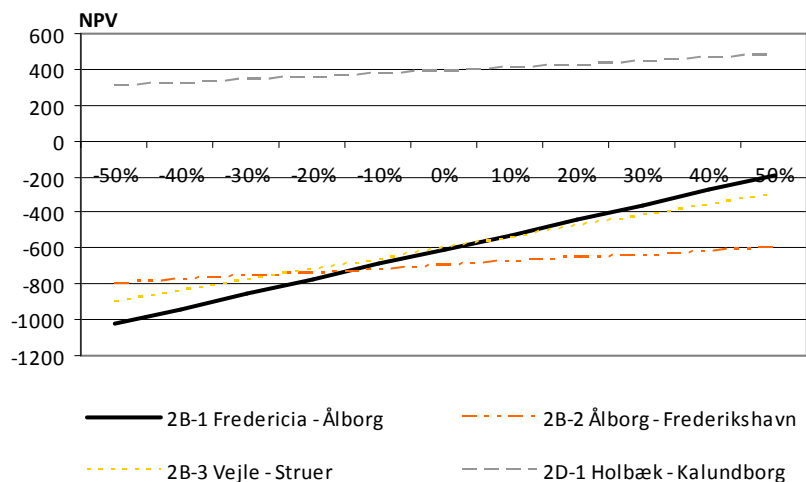
Figur 18: Betydningen for nutidsværdien af ændringer i el-prisen, fortsættelsesscenarier

18.6.3 Dieselpriisen ændres, mens el-prisen holdes konstant

En lavere dieselpriis vil forværre rentabiliteten for alle strækninger.



Figur 19: Betydningen for nutidsværdien af ændringer i dieselpriisen, hovedscenarier



Figur 20: Betydningen for nutidsværdien af ændringer i dieselprisen, fortsættelsesscenarier

18.7 Køretidsgevinster

Elmateriel accelerer, alt andet lige, hurtigere end dieselmateriel, hvilket medfører tidsbesparelser, der repræsenterer en samfundsøkonomisk værdi.

Nedsættelse af køretiden vil således have positiv effekt på nutidsværdierne, samtidig med at tidstab, som følge af togskifte, vil have negativ effekt. Udgangspunktet for nutidsværdier inkluderer tidstabet ved togskifte.

Der er regnet med køretidsgevinster på de i udgangspunktet rentable scenarier (1A Lunderskov-Esbjerg, 1B Fredericia-Aarhus og 1D Roskilde-Holbæk).

Tabel 67 viser det nævneværdige samfundsøkonomiske bidrag, som køretidsgevinsterne udgør for de beregnede scenarier. Det ses, at hvis køretidsgevinster medregnes bliver strækningerne Lunderskov – Esbjerg og Aarhus – Fredericia endnu mere rentable. Det ses ligeledes, at det vil forbedre samfundsøkonomien for Roskilde – Holbæk. Gevinsten er dog ikke stor nok til at strækningen bliver rentabel.

	Nutidsværdi, mio. kr.								
	1A	1B	2B-1	2B-2	2B-3	1C	1D	2D-1	1E
Udgangspunkt uden køretidsgevinster	742	1.645	-	-	-	-	-145	-	-
Værdi af køretidsgevinster	89	385	-	-	-	-	79	-	-
Samlet inkl. værdi af køretidsgevinster	831	2.030	-	-	-	-	-66	-	-

Tabel 67: Følsomhedsberegninger for køretidsgevinster, basissituationen

19 Gennemførelsesstrategi

19.1 Generelt

Nærværende kapitel omfatter et forslag til den mest hensigtsmæssige gennemførelse af det rentable elektrificerede net, som illustreret i bilag 3.

Strategien, som betegnes som elektrificeringsplanen, er baseret på følgende styrende parametre:

- De enkelte scenariers elektrificeringspotentialer
- Signalprogrammet
- Andre styrende parametre
- Materielstrategiens første trin (materielstatus og muligheder)

Elektrificeringsforløbet, med sammenhæng til projekterne Signalprogrammet, Ny bane København – Ringsted samt Femern Bælt danske jernbaneland-anlæg er illustreret i en samlet tidsplan.

Strategien er udarbejdet på grundlag af følgende forudsætninger:

- At kun strækninger hørende til et rentabelt scenarium medtages
- At elektrificeringen, med undtagelse af Lunderskov – Esbjerg, ibrugtages 1 år efter Signalprogrammet
- At elektrificeringsprojektet pr. strækning tager 4 år
- At IC4-materiellet udnyttes i videst muligt omfang

Strategiens resultat omfatter følgende:

- En forslag til gennemførelsessekvens (gennemførelsesrækkefølge)
- Den praktiske organisering af elektrificeringen
- En tidsplan
- Materielstrategiens andet trin (en materielanskaffelsesplan)

19.2 Styrende parametre

19.2.1 Elektrificeringspotentialer

For angivelse- og uddybning af scenariernes elektrificeringspotentialer, se kapitel 12.

De rentable scenarier indgår i elektrificeringsplanen.

19.2.2 Signalprogrammet

Signalprogrammets konkrete tidsplan for de enkelte strækninger er styrende for det tidligste elektrificeringstidspunkt, som angivet i det foregående.

19.2.3 Andre styrende parametre

Andre styrende parametre er ibrugtagningstidspunktet af følgende anlægsprojekter:

1. Ny bane København – Ringsted
2. Femern Bælt danske jernbanelandanlæg
3. Udbygning af Nordvestbanen

Ad 1) Ny bane København – Ringsted

Ibrugtagningstidspunktet af denne strækning styrer ibrugtagningstidspunktet for scenarium 1E, idet scenariet alene giver mening i forbindelse med, at Ny bane København – Ringsted etablerer Køge Nord station.

Scenarium 1E lægges så tæt op ad Ny bane København – Ringsted som muligt, idet følgende gør sig gældende:

- Dieseldrift af linjerne 35/36 København – Køge Nord – Næstved forringer værdien af elektrificeringen af København – Køge Nord
- Der er materiemangel på Sjælland, navnlig på Lille Syd banen⁹², og såfremt strækningen Køge Nord – Næstved ikke elektrificeres, skal der indkøbes- eller indlejes andet dieselmateriel.

Ad 2) Femern Bælt danske jernbanelandanlæg

Elektrificeringsplanen indarbejder projektets ibrugtagningstidspunkt i denne, således at projekterne afvikles mest hensigtsmæssigt i forhold til Femern bælt danske jernbanelandanlæg.

Ad 3) Udbygningen af Nordvestbanen

Ibrugtagningen af den udbyggede Nordvestbane skal være tilendebragt før en fortsat elektrificering jf. scenarium 1D kan iværksættes, men da projektet opererer med færdiggørelse i 2015 influerer projektet ikke på elektrificeringsplanen.

⁹² Lille Syd banen betjenes p.t. af dieselmateriel af typen MR.

19.3 Resultater

19.3.1 Gennemførelsessekvens

Som angivet i det foregående hænger det optimale gennemførelsestidspunkt af en elektrificering sammen med, hvornår de eksisterende dieseltog alligevel skal udskiftes.

Det er endvidere forudsat, at IC4-materiellet ibrugtages som oprindeligt planlagt, hvilket har betydning for timingen af evt. elektrificering i Jylland.

Da der imidlertid er usikkerhed knyttet til den fremtidige anvendelse af IC4-materiellet, er der nedenfor angivet de tidligst mulige etableringsår for elektrificering af de økonomisk mest interessante strækninger:

1. Lunderskov - Esbjerg: ultimo 2015
2. Køge Nord - Næstved: ultimo 2018
3. Roskilde - Kalundborg: ultimo 2021
4. Fredericia - Aarhus: ultimo 2020
5. (Aarhus - Aalborg: ultimo 2020)

Gennemførelsen er, med undtagelse af Lunderskov – Esbjerg, afstemt efter tidspunktet for udrulning af signalprogrammet, således at elektrificeringen tages i brug 1 år efter signalprogrammet er ibrugtaget.

For Lunderskov Esbjerg er angivet et tidligere ibrugtningsår, idet strækningen er delvist immuniseret. Afventes signalprogrammet vil det tidligst mulige etableringsår være i 2020.

Elektrificering af strækningen Køge Nord - Næstved er styret af Ny bane København – Ringsted, således at elektrificeringen af denne strækning tages i brug samtidig med introduktionen af nye direkte trafikforbindelser som mulig-gøres ved ibrugtagningen af Ny bane København – Ringsted. Strækningen er desuden en 'early deployment'-strækning for Signalprogrammet, hvorfor elektrificeringen kan være gennemført 1 år efter det nye signalsystem er udrullet.

Ved elektrificering af strækningerne Fredericia-Aarhus og Aarhus-Aalborg i 2020 er effekten af evt. afskrivning af IC4-materiel ikke indregnet.

Såfremt IC4-togene bliver leveret og sat i drift som planlagt på strækningen København – Aarhus – Aalborg, vil det først være relevant at overveje at elektrificere strækningerne Fredericia – Aarhus og Aarhus – Aalborg på et senere tidspunkt. Det kan være når IC4-togene er teknisk afskrevet, eller hvis IC4-togene på et tidspunkt bliver anvendt på nogle af Banedanmarks mindre strækninger.

Situationen vedrørende IC4 er derfor en væsentlig usikkerhedsfaktor for den optimale gennemførelsesplan for elektrificeringen, for så vidt angår strækningerne Fredericia – Aarhus og (Aarhus – Aalborg).

En beslutning om det rigtige tidspunkt for elektrificering mod Aarhus og evt. Aalborg kan med fordel træffes i løbet af nogle år, når den realiserede trafikudvikling og materielsituationen er afklaret.

For øvrige strækninger, hvor elektrificering er vurderet rentabelt, er behovet for nyanskaffelse af materiel med den nuværende og forventede efterspørgsel så stort, at de ikke er påvirket af IC4-problemstillingen.

19.3.2 Organisering

1) Geografisk opdeling

Elektrificering af banerne på Sjælland bør ses i sammenhæng, idet alle banerne bør planlægges elektrificeret efter Signalprogrammet og indenfor en kort tidshorisont.

Det ses desuden, at en eventuel sammenhæng med hensyn til elektrificering af banerne i Jylland er afhængig af beslutningerne angående de enkelte strækninger. For Esbjerg-Lunderskov skal der tages stilling til om der skal elektrificeres før eller efter signalprogrammet.

2) Udbud

Det vurderes, at elektrificeringsarbejderne i praksis kan udbydes på en af følgende måder:

1. Som detailprojekt pr. delstrækning
2. Som funktionsudbud pr. delstrækning

Det forudsættes i begge alternativer, at strækningerne udbydes samlet som følger:

Minimum: Pakke 1, Sjælland

- Køge Nord – Næstved
- Roskilde – Kalundborg

Såfremt det er muligt, kan det overvejes at pulje alle elektrificeringsprojekter på Sjælland i én samlet pakke som følger:

Maksimum: Pakke 1, Sjælland

- Ny bane København - Ringsted
- Køge Nord – Næstved
- Sydbanen (Femern Bælt danske jernbanelandanlæg)
- Roskilde - Kalundborg

Minimum: Pakke 2, Jylland

- Lunderskov – Esbjerg

Såfremt det er muligt, kan det overvejes at pulje alle elektrificeringsprojekter i Jylland i én samlet pakke som følger:

Maksimum: Pakke 2, Jylland

- Lunderskov – Esbjerg
- Fredericia – Aarhus
- (Aarhus-Aalborg)

Det foreslås at samle elektrificeringsarbejderne i så store udbudspakker som muligt, enten som én samlet elektrificeringspakke (Sjælland og Jylland) eller som to selvstændige pakker, én for Sjælland og én for Jylland. Årsagen er, at følgende fordele kan opnås:

- Størst mulig konkurrence og stordriftsfordele
- Adgang til 'state of the art' teknologi og udførelsesmetoder

Det skal bemærkes, at tidspunktet for elektrificering af strækningen Fredericia – Aarhus er kritisk, og at et udbud af elektrificering af strækningen sammen med strækningen Lunderskov - Esbjerg kun giver mening, såfremt elektrificeringen skal foretages indenfor et overskueligt tidsrum.

19.3.3 Tidsplan

Elektrificeringssekvensen angivet i foregående afsnit er illustreret i en mere detaljeret tidsplan, som fremgår af Bilag 23.

Tidsplanen angives dels overordnet for alle elektrificeringsprojekter dels mere detaljeret for de enkelte strækninger omfattet af elektrificeringsplanen.

Signalprogrammets tidsplan kendes ikke i detaljer, og angives kun for at illustrere afhængigheden mellem Signalprogrammet og elektrificeringsplanen.

Det påregnes, at en elektrificering som ovenfor angivet kan gennemføres på ca. 4 år, og at gennemførelse af det tilknyttede materielindkøb har et tidsforbrug på ca. 5 år.

19.3.4 Materielstrategien

For angivelse- og uddybning af materielstrategien, se kapitel 20.

20 Materielstrategi

20.1 Generelt

Nærværende kapitel omfatter et sammendrag af det materielstrategiforslag, som er udarbejdet som et led i forberedelse til en eventuel yderligere elektrificering.

Kapitlet omfatter såvel første trin af materielstrategien, hvor hovedfokus er på forskellene mellem behovene for hhv. diesel- og el-materiel som andet trin, hvor en decideret tids- og investeringsplan for indkøb af nødvendigt materiel på baggrund af de samfundsøkonomiske resultater for den mest rentable rækkefølge af elektrificeringsforløbet er angivet.

Materielstrategiforslaget fremgår i sin helhed af Bilag 18.

Det står allerede klart, at det ikke bliver et problem at finde anvendelse for IC4- og IC2-materiellet, idet materielanskaffelser, uanset en beslutning om elektrificering, bliver nødvendige i de kommende år. Årsagen er dels, at der skal anskaffes materiel til nye og/eller ny-elektrificerede strækninger⁹³, dels at den fortsatte passagerstigning allerede i dag giver akut pladsmangel i en lang række tog.

20.2 Metodik

20.2.1 Beregning af materielbehov

Materielbehovet for hvert enkelt scenarium er beregnet, således at scenarierne kan betjenes hensigtsmæssigt.

På basis af systemkøreplanen fra Kapacitet 2020 er trafikken organiseret i 24 driftslinjer, hvilket betyder, at den totale trafik betragtes som bestående af 24 lukkede løb mellem A og B.

For hvert af disse løb er beregnet det antal pladser, der er nødvendigt for at kunne håndtere trafikken i den mest belastede periode, uanset om materiellet er til rådighed p.t., eller om det er diesel- eller eldrevet. For intercity- og regionaltrafikken regnes i antal pladser og ikke antal tog for at undgå misforståelser, idet der kan findes mange forskellige udformninger af materieltyper til denne trafik.

⁹³ Den nye strækning Ny bane København – Ringsted og Sydbanen, som elektrificeres som et led i Femern Bælt danske jernbanelandanlæg.

Antallet af passagerer i de forskellige perioder hen over dagen betragtes. Det er en væsentlig forudsætning, at et løb fra A til B for en given driftslinje ikke op- eller nedformes undervejs. Det vil sige, at et tog fra Esbjerg til København, der ankommer i morgenmyldretiden, vil blive dimensioneret efter belastningen i det snit, hvor den største passagerbelastning findes (i dette tilfælde den sidste del af løbet ind mod København). At tog fra flere driftslinjer kobles sammen, f.eks. på strækningen København – Middelfart/Fredericia, er uændret.

Der dimensioneres efter maksimalt 100 % belægning af siddepladserne, ud fra tallet for den dimensionerende periode.

Endelig lægges hertil en drifts- og værkstedsreserve. Denne afrundes ikke til et helt antal togenheder, da reserven er fælles med andre driftslinjer.

For hvert løb beregnes det nødvendige antal pladser, der er nødvendige for at kunne håndtere trafikken. Resultatet konverteres til det mest relevante af de følgende 6 mulige materieltyper:

- IC-materiel: IC4 tog eller tilsvarende elektrisk 4-vogns togenhed
- Regionaltogsmateriel: Diesellokotrukket 2-etages tog, eller et tilsvarende elektrisk 2-etages togenhed
- Lokaltogsmateriel: Desiro/LINT 41, eller et tilsvarende elektrisk 2-vogns togenhed

Resultatet herfra benyttes som grundlag for materielindsatsen i de forskellige scenarier, og kombinationer af disse.

De konsoliderede tal giver det totale materielbehov fordelt på ovennævnte materieltyper for hvert scenarium for årene 2022, 2030 og 2040. For fjernbane- og regionaltrafikken angives materielbehovet i **antal pladser** for at undgå misforståelser, idet der findes mange forskellige udformninger af disse materieltyper.

20.2.2 Forudsætninger

Der lægges følgende specifikke forudsætninger til grund for beregningerne:

- IC4 leveres og idriftsættes i henhold til den oprindelige plan
- Levetiden for såvel diesel- som elmateriel er 30 år
- At eventuel dieselmaterielmangel i perioden mellem udrangering af materiel til elektrificering (inklusive køb af nyt materiel) er klar, dækkes ved leasing eller levetidsforlængelse

Endvidere bemærkes, at trafikken på Kyst- og Øresundsbanen, opereres i dag af DSBFirst, ikke er medtaget i nærværende materielstrategi, ligesom trafikken i Midt- og Vestjylland, dvs. den trafik der i dag køres af Arriva, heller ikke er omfattet af nærværende materielstrategi.

20.2.3 Grundlæggende materielstatus

Følgende oversigt over restlevetid for DSB's nuværende materiel af relevans for analysen lægges til grund for materielstrategien:

Type	Antal [stk.]	Leveret [årstal]	Levetid [år]	Udrangeres [år]
ME- 1. serie	30	1981 - 82	30 år	2011 - 12
ME- 2. serie	7	1986	30 år	2016
Bombardiervogne	112	Leaset		
IR/4	44	1995 - 98	30 år	2025 - 28
IC4	83	2008 - 12	30 år	2038 - 42
IC2	23	2012 - 13	30 år	2042 - 43
MR	Ca. 65	1978 - 85	30 år	2008 - 15
IC3	96	1989 - 98	30 år	2019 - 28
Desiro- leaset	12	Leaset		
Desiro- eget	8	Omkring 2005	30 år	Omkring 2035

Tabel 68: Oversigt over restlevetid for DSB's nuværende materiel

På baggrund af ovenstående er følgende materiel påregnet til rådighed i 2022:

Type	Antal [stk.]	Bemærkninger
IR4	44	
IC3	Ca. 85	De først leverede forventes udrangeret
IC4	83	
IC2	23	
Desiro	8	

Tabel 69: Materiel påregnet til rådighed i 2022

På baggrund af ovenstående er følgende materiel påregnet til rådighed i 2030:

Type	Antal [stk.]	Bemærkninger
IC4	83	
IC2	23	
MQ	8	

Tabel 70: Materiel påregnet til rådighed i 2030

På baggrund af ovenstående er følgende materiel påregnet til rådighed i 2040:

Type	Antal [stk.]	Bemærkninger
IC4	83	
IC2	23	

Tabel 71: materiel påregnet til rådighed i 2040

20.2.4 Materielbehov pr. linje

Materielbehovet for hver linje fastlægges som følger:

- For hver enkelt linje fastlægges den materieltype, der vurderes bedst egnet til den aktuelle trafik. På baggrund af systemkøreplanen fastlægges tid for et komplet omløb, dvs. for et tog i trafik fra A til B tages 2 x køretiden plus 2 x den minimale vendetid, og dette rundes op til et helt timeantal for at passe ind i en stiv køreplan.
- Er omløbstiden f.eks. 5 timer, ses på passagerfordelingen hen over døgnet for at fastlægge dels den maksimale oprangering, samt om denne oprangering er nødvendig i 5 timer i træk.
- Da det er myldretimerne, der er dimensionerende for det totale antal, bliver passagertallene i marginaltimerne uvæsentlige.

Ovenstående metodik er gennemgået linje for linje. På den hårdest belastede strækning, Ringsted - København, via enten Roskilde eller Køge, er det totale passagertal fordelt på de forskellige linjer, således at udbuddet af pladser bedst muligt er tilpasset behovet.

Med to undtagelser er driftslinjerne enten diesel- eller eldrevne. Undtagelserne er følgende:

- Scenarium 1B, hvor linje 11 København – Aalborg er delt således, at der køres elektrisk IC-materiel København – Aarhus, mens den fortsatte linje til Aalborg betjenes af dieseldrevet IC-materiel.
- Scenarium 1D, hvor linjerne 31 og 33 delt således, at der køres elektrisk regionaltogsmateriel København – Holbæk, mens den fortsatte linje til Kalundborg betjenes af dieseldrevet lokaltogsmateriel.

Metodikken er gennemført i årene 2022, 2030 og 2040, og har resulteret i en kortlægning af materiel-/pladsbehovet for hvert scenarium i tidsperioden.

Når den samfundsøkonomiske prioritering er foretaget, bliver det relevant at konsolidere det beregnede materiel-/pladsbehov til 'indkøbspakker' for materiel, materielstrategiens andet trin.

20.3 Resultat af materielstrategiens første trin

20.3.1 Basissituationen

DSB's nuværende materielsituation er presset, også når IC4- og IC2-materiellet sættes i drift i overensstemmelse med de nuværende planer.

Basissituationen indeholder således også et indkøbsbehov af elektrisk materiel inden for en kort årrække, mens indsættelsen af IC4 for alle scenarier vil medføre, at der er IC3-materiel i overskud. Dette skyldes forudsætningen om, at IC4-/IC2 er i fuld drift, og at dette netop var formålet med indkøb af IC4-/IC2-materiellet at overflødiggøre IC3-materiellet i den primære landsdelstrafik.

Scenarium 1B, der inkluderer elektrificering til Aalborg, medfører at "rygraden" i jernbanetrafikken, København - Aalborg, konverteres til eldrift, og giver derfor bedst mening, når IC4-materiellet alligevel engang skal udskiftes.

I alle øvrige scenarier bliver IC4 og IC2 anvendt på andre strækninger.

De detaljerede resultater i Visionssituationen fremgår af Bilag 18.

20.3.2 Visionssituationen

På grund af den store stigning i passagemængder i Visionssituationen stiger materiel-/pladsbehovet for alle scenarier, og ovenstående resultater forstærkes. Visionssituationen medfører således et endnu større behov for indkøb af nyt materiel på kort sigt.

De detaljerede resultater i Visionssituationen fremgår af Bilag 18.

20.4 Resultatet af materielstrategiens andet trin

Materielstrategiens andet trin angiver forslag til indkøbspakker baseret på de forskellige scenariers behov, eksisterende materiel og generel passagertilvækst.

Indkøbspakkerne er delt op i tre dele som dækker de forskellige behov.

Indkøbspakkerne og tidspunkter for indkøb kan ses i Bilag 18.

21 Referencer

- [1] Lov om elektrificering af fjernbaner i Danmark, Lov nr. 206 af 23. maj 1979
- [2] Redegørelse til Folketinget af 19. oktober 2001
- [3] Referat fra høring i Folketingets Trafikudvalg af 24. oktober 2001
- [4] Andersson, E. & M. Berg (2001): Järnvägssystem och spårfordon, Kungliga Tekniska Högskolan.
- [5] TSI ENE CR (TSI for elforsyning for konventionelle baner)
- [6] TSI ENE HS (TSI for elforsyning for højhastighedsbaner)
- [7] Trafikstyrelsen (2008): Enhedsomkostninger ved persontogsdrift, Baggrundsrapport, NIRAS. Trafikstyrelsen.
- [8] Transport- og Energiministeriet (2006): Aktstykke nr. 16 til Finansudvalget af 24. oktober 2006
- [9] Wikipedia (2008): Railway-electrification Europe 2005. Tilgængelig på adressen: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Railway-electrification_Europe_2005_en.png
- [10] Energistyrelsen (2008): Energistatistik 2007. Energistyrelsen.
- [11] Transportministeriet (2000): Tema 2000 - Et værktøj til at beregne transporters energiforbrug og emissioner i Danmark. Transportministeriet
- [12] Statistikbanken. Danmark statistik. www.statistikbanken.dk
- [13] Miljøstyrelsens hjemmeside. www.mst.dk
- [14] Signalprogrammet, Banedanmark, Project Proposal September 2008.
- [15] En grøn transportpolitik af 29. januar 2009
- [16] Bedre mobilitet af 26. november 2010
- [17] Transportministeriet: 'Fortsat elektrificering af banenettet, screeningsundersøgelse, rapport af april 2009.
- [18] SAE_P005 Projektgrundlag, NIRAS 2011
- [19] DSB, Miljørapport 2010.
- [20] Transportministeriet, TEMA2010, Et værktøj til beregning af transporters energiforbrug og emissioner i Danmark, COWI, oktober 2010.
- [21] Energistyrelsen, Transportens energiforbrug og CO₂-emissioner, www.ens.dk
- [22] Energistyrelsen (2008): Energistatistik 2007. Energistyrelsen.
- [23] [Energinet.dk](http://energinet.dk), Miljønøgletal for el, 2010.
- [24] Energistyrelsen, Politik, Dansk klima- og energipolitik, www.ens.dk
- [25] Energistyrelsen, Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet, april 2010.
- [26] Femern Bælt – danske jernbanelandanlæg, Syd, Syd-B011 Magnetfelter og boliger nær banen, december 2010.
- [27] Femern Bælt – danske jernbanelandanlæg, Orehoved – Holeby, Fagnotat Arealbehov, januar 2011.
- [28] Femern Bælt – danske jernbanelandanlæg, Orehoved – Holeby, Fagnotat Miljøgener i anlægsfasen, januar 2011
- [29] Notatet SAE_P015 Elektrificeringsscenarioer af 2011.03.28
- [30] Research Programme, Engineering Study on further electrification of Britain's railway network, Rail Safety & Standard Board, 2007
- [31] Network RUS, Electrification, Network Rail, October 2009
- [32] Jernbaneinfrastrukturen nord for Aarhus H – en foreløbig undersøgelse, Atkins Danmark, februar 2011
- [33] Systemkøreplanen for 2020- udgave 2, Banedanmark 2011.

- [34] Danish State Railways, IC4 Plan B, Technical Assurance Review & Global Market Screening, Atkins Danmark, April 2009
- [35] 'Golden Spanners', article from the magazine Modern Railways, February 2011
- [36] Plan B: En alternativ materielstrategi for IC4 og IC2, Transportministeriet og DSB, 28. maj 2009
- [37] Transportministeriet, Ny anlægsbudgettering på Transportministeriets område, herunder om økonomistyringsmodel og risikohåndtering for anlægsprojekter, 24. august 2010
- [38] Banedanmark og Trafikstyrelsen, Banenotat, ny anlægsbudgettering på baneområdet, inkl. Bilag, 7. april 2010
- [39] Wikipedia 2011
- [40] DTU Transport (2010): Transportøkonomiske enhedspriser. Transportministeriet
- [41] Energistyrelsen (2011): Forudsætninger for samfundsøkonomiske analyser på energiområdet, april 2011.
- [42] EU (2010): A roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. Impact assessment.
- [43] Finansministeriet (1999): Vejledning i udarbejdelse af samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger.
- [44] Folketinget (2008): Finansudvalgets spørgsmål nr. 181 af 11. september 2008.
- [45] Folketinget (2011): 1. behandling af Beslutningsforslag B57 i Folketinget 4. marts 2011.
- [46] Network Rail (2009): Electrification
- [47] NIRAS (2007): Enhedspriser for togdrift, baggrundsrapport. Trafikstyrelsen / Opdaterede enhedspriser
- [48] Transportministeriet (2003): Manual for samfundsøkonomisk analyse.
- [49] Transportministeriet (2009): Fortsat elektrificering af banenettet, screeningsundersøgelse.
- [50] www.vvm.dk
- [51] IC4 kontrakten: se bl.a.: <http://da.wikipedia.org/wiki/IC4>
- [52]] IC2 kontrakten: se bl.a.: <http://ing.dk/artikel/44496-kontrakt-i-hus-paa-23-italienske-ic2-tog>

22 Bilag

- Bilag 1 Elektrificeringsomfang 2011
- Bilag 2 Elektrificeringsscenarier, scenarium 0
- Bilag 3 Det rentable elektrificerede banenet
- Bilag 4 Billedeksempler
- Bilag 5 Ledig
- Bilag 6 Ledig
- Bilag 7 Ledig
- Bilag 8 Ledig
- Bilag 9 Ledig
- Bilag 10 Oversigt over driftslinjer
- Bilag 11 Elektrificeringsscenarier
- Bilag 12 Resultater af den trafikale kalkulationsmodel, basissituation
- Bilag 13 Resultater af den trafikale kalkulationsmodel, visionsituation
- Bilag 14 Oversigt over broer
- Bilag 15 Anlægsoverslag, scenarier
- Bilag 16 Anlægsoverslag, Lunderskov – Esbjerg
- Bilag 17 Køretidsberegninger
- Bilag 18 Forslag til materielstrategi
- Bilag 19 Tabeller for visionsscenariet
- Bilag 20 Rejsestrømme basis 2020
- Bilag 21 Rejsestrømme vision 2030
- Bilag 22 Begrebsforklaring
- Bilag 23 Tidsplan (mangler)
- Bilag 24 Elektrificering i Europa