



SAMMENLIGNING AF FIRE SCENARIER

FOR UDBYGNINGEN AF DEN HØJKLASSEDE KOLLEKTIVE TRAFIK

TEKNIK OG MILJØ
Aarhus Kommune



INDHOLD



TEKNIK OG MILJØ
Mobilitet

Marts 2023

1	BAGGRUND OG FORMÅL	4
2	POLITISKE STRATEGIER OG VISIONER	6
3	UDVÆLGELSE AF SCENARIER OG PARAMETRE	8
4	SAMMENLIGNING AF FIRE SCENARIER	10
4.1	Integration i eksisterende kollektiv trafik	10
	SCENARIO A: Etape 2 Letbane (LRT) – Spanien-Brabrand	12
	SCENARIO B: Etape 2 BRT Spanien-Brabrand	14
	SCENARIO C: Samspil 2030 – Hovedlinjer til Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt med letbane	16
	SCENARIO D: Samspil 2030 – Hovedlinjer til Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt med BRT	18
4.2	Frekvens	20
4.3	Kapacitet	21
4.4	Passagerpotentiale	26
4.5	Anlægsøkonomi	30
4.6	Driftsøkonomi	31

5	SAMMENLIGNING AF GENERELLE FAKTORER FOR LETBANE OG BRT	32
5.1	Påvirkning af øvrig trafik og fleksibilitet i trafikplanlægningen	32
5.2	Klima og bæredygtighed	40
5.3	Visuel påvirkning af byrummet	42
5.4	Ledningsomlægninger	47
5.5	Støj og vibrationer	48
5.6	Drivmidler	50
5.7	Køre- og rejsekomfort	52
6	OPSUMMERING	54
	OVERSIGT OVER BILAG	
	BILAG 1 BRT-koncept Aarhus	59



1. BAGGRUND OG FORMÅL

Dette notat har til formål at sammenligne fire scenarier for udbygningen af den højklassede kollektive trafik.

Sammenligningen tager udgangspunkt i de følgende fire scenarier:



- A** Etape 2 - Letbane (LRT)
Spanien-Brabrand
- B** Etape 2 - Bus Rapid Transit (BRT)
Spanien-Brabrand
- C** Samspil 2030 – Hovedlinjer til
Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt
med letbane (LRT)
- D** Samspil 2030 – Hovedlinjer til
Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt
med Bus Rapid Transit (BRT)

Scenarierne omhandler henholdsvis letbane og BRT på strækningen Spanien-Brabrand, som er den strækning, der indtil videre har været undersøgt på etape 2. Undersøgelserne suppleres med effekterne af en udbygning af rutenettet – i henhold til Samspil 2030 – med hovedlinjer til Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt. De fire scenarier sammenlignes i indeværende notat på en række forskellige udvalgte parametre med det formål at synliggøre henholdsvis forskellene på hvilken teknologi, der vælges, dvs. letbane eller BRT, og forskellene mellem de to mulige rutenet.

Som en del af processen med at udarbejde skitseprojekt og miljøkonsekvensvurdering for etape 2 af udbygningen af den højklassede kollektive trafik i Aarhus er der undersøgt et hovedforslag med letbane og et alternativ med BRT for strækningen Spanien-Brabrand. I forbindelse med undersøgelsen af en BRT-løsning på denne strækning har Byrådet besluttet, at der skal foretages indledende undersøgelser

af mulige afgreninger og sammenhænge med den øvrige kollektive trafik (Indstilling om Fremtidens højklassede kollektive trafik, 06.04.2022, Aarhus Byråd). Skitseprojekt og miljøkonsekvensvurdering for etape 2 er fortsat under udarbejdelse og har på tidspunktet for udarbejdelse af dette notat – efterår 2022 – hverken været myndighedsbehandlet eller i offentlig høring. Bidragene herfra har derfor status af at være i proces.

Undersøgelserne tager udgangspunkt i visionerne i Samspil 2030: Vision for en sammenhængende og bæredygtig mobilitet i Østjylland, som er Letbanesamarbejdets visionsplan for udbygning af en højklasset kollektiv infrastruktur, der skal sikre sammenhængende og bæredygtig mobilitet i Aarhusområdet og Østjylland.

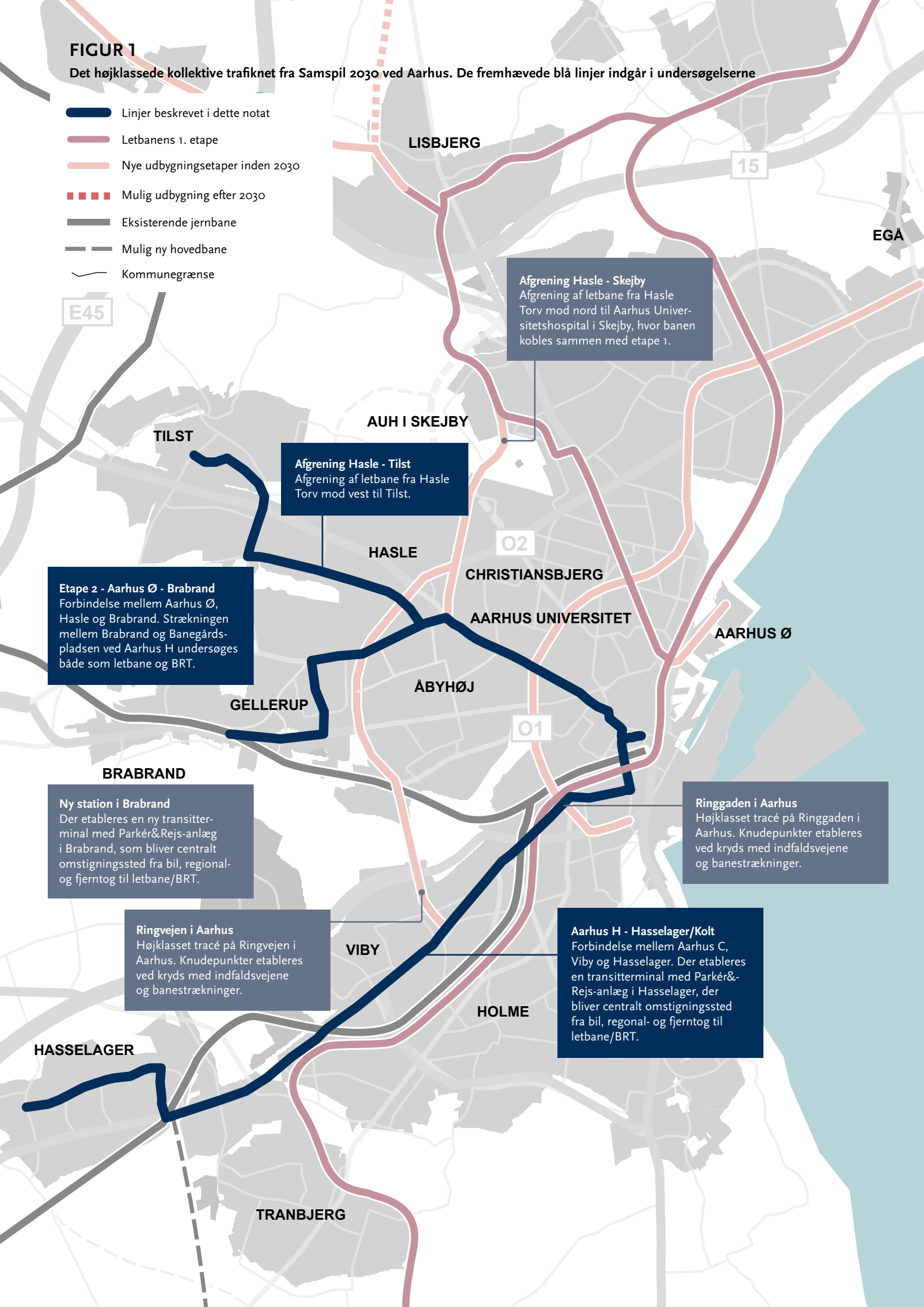
I Samspil 2030-visionen er der udpeget forløb for højklassede kollektive trafikforbindelser i Aarhus. De højklassede rute-forløb fremgår af Figur 1. Etape 1 er udført som letbane. Det forudsættes, at etappen for højklasset kollektiv trafik på Ringvejen etableres som BRT. Som en del af arbejdet med etape 2 er strækningen Lisbjergskolen-Hinnerup desuden undersøgt som en videreførelse af letbanens etape 1. Denne del af strækningen behandles ikke i indeværende notat. Herudover har en etape til Aarhus Ø været undersøgt, men er i forløbet blevet fravalgt, da denne strækning har vist sig vanskelig at realisere på grund af skinnekapaciteten på strækningen mellem banebroen over Spanien og Nørreportkrydset, og afledte serviceforringelser i det samlede letbanesystem.

Sammenligningen af de to teknologier tager udgangspunkt i de målsætninger angående realiseringen af højklasset og attraktiv kollektiv trafik, der er fastlagt i byrådet 26. februar 2020.

FIGUR 1

Det højklassede kollektive trafiknet fra Samspil 2030 ved Aarhus. De fremhævede blå linjer indgår i undersøgelserne

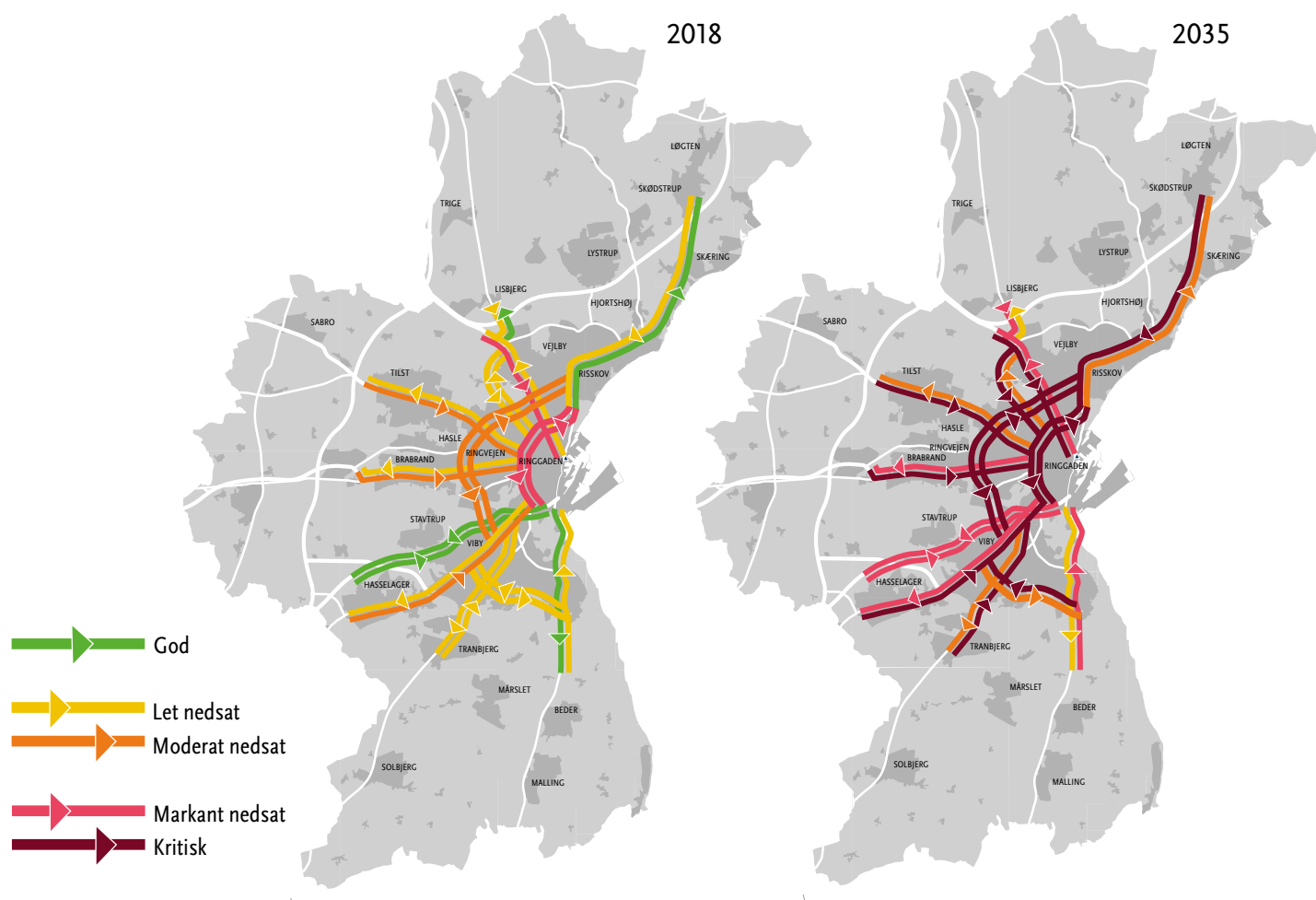
- Linjer beskrevet i dette notat
- Letbanens 1. etape
- Nye udbygningsetaper inden 2030
- Mulig udbygning efter 2030
- Eksisterende jernbane
- Mulig ny hovedbane
- Kommunegrænse



2. POLITISKE STRATEGIER OG VISIONER

At udbygge den højklassede kollektive trafik er en del af indsatsen for at afhjælpe trængsel på det overordnede vejnet og parkering i byerne. Figur 2 viser den forventede fremkommelighed på ringveje og indfaldsvejene i tidsrummet kl. 7-9 i henholdsvis 2018 og 2035.

I 2035 forventes der problemer med fremkommeligheden på de fleste vigtige veje til og fra Aarhus Midtby. En udbygning af den højklassede kollektive trafik kan være med til at reducere trængslen og understøtte et skifte fra den individuelt baserede biltransport mod kollektive transportløsninger.



FIGUR 2

Fremkommelighed på ringvejene og indfaldsveje i tidsrummet kl. 7-9 i henholdsvis 2018 og 2035.

Kilde: Mobilitet frem mod 2050: Investeringsbehov og handlingskatalog,

Teknik og Miljø, Aarhus Kommune, september 2019.

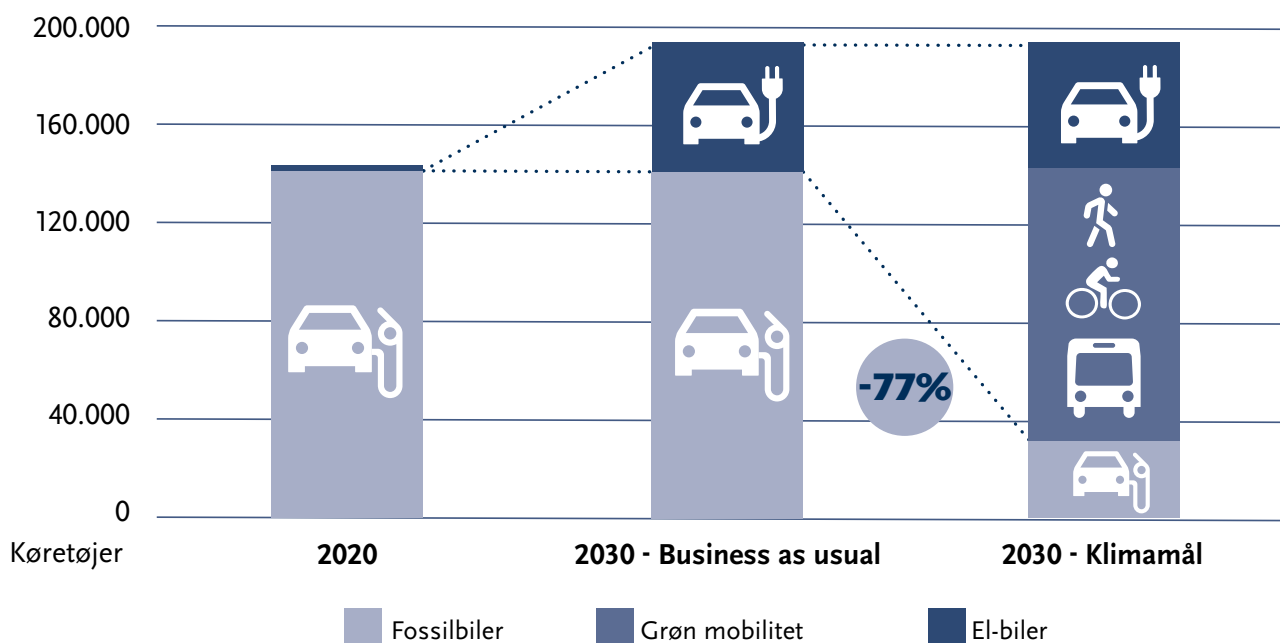
Udbygningen af den kollektive trafik understøtter ligeledes målsætninger for reduktionen af fossile brændstoffer, der er politisk vedtaget i Klimastrategi 2030.

Aarhus Byråd vedtog i januar 2020 bindende klimamål for CO₂-reduktion frem mod 2030. For transport med benzin- og dieslbiler er det vedtaget at CO₂-udledningen skal reduceres til 90.000 tons CO₂ i 2030.

For at nå de bindende mål skal der ske markante ændringer i forhold til transportmiddelvalget i Aarhus Kommune.

Som udlagt i afrapporteringen for arbejdet i §17, stk. 4-udvalget for fremtidens højklassede kollektive trafik i 2021, er et velfungerende højklasset kollektivt transportsystem afgørende for at øge andelen af passagerer her og understøtte de nødvendige indsatser mod CO₂-neutralitet i Aarhus i 2030.

TRANSPORTMIDDELFORDELING



FIGUR 3

Figuren viser en teoretisk beregning for den nødvendige omstilling fra fossilbiler til elbiler og grønne transportformer for at nå klimamålet for 2030.

På figuren forudsættes det, i et business as usual-scenarie, at væksten i det samlede antal personbiler absorberes af elbiler. Det vil sige, at udviklingen i fossildrevne biler holdes konstant, hvilket vil give øget trængsel i 2030. Denne udvikling baserer sig på, at 33% af alle nye biler er elbiler, samt en udfasningstid på 15-16 år for fossilbiler, hvilket vil sige, at 61% af alle biler i dag også vil være på gaden i 2030. Det betyder, at frem mod 2030 er det ikke nok blot at omlægge til elbiler, da udviklingen ikke går hurtigt nok, men at andelen af grønne transportformer også vil skulle øges markant for at opnå klimamålet for 2030. Den mellembåle søjle viser, hvor stor en andel cykel, gang og kollektiv transport skal udgøre i 2030.

3. UDVÆLGELSE AF SCENARIER OG PARAMETRE

De fire scenarier er undersøgt i forskellig grad. Scenarie A og B for henholdsvis letbane og BRT på strækningen Spanien-Brabrand er undersøgt dybdegående af projektkontoret for Letbanens etape 2. Bidrag fra disse scenarier i indeværende notat bygger på det eksisterende skitseprojekt og den igangværende miljøkonsekvensvurdering af denne strækning.

Scenarie C og D for henholdsvis letbane og BRT på rutenettets hovedlinjer, i henhold til Samspil 2030, til Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt er udelukkende undersøgt på idé- og indledende forundersøgelsesniveau og dermed ikke på samme niveau som scenarie A og B. Det betyder f.eks., at der ikke er udarbejdet trafikmodel i forbindelse med scenarie C og D.

Scenarie D er undersøgt på baggrund af byrådets beslutning om at gennemføre supplerende analyser af et BRT-alternativ til etape 2 på Spanien-Brabrand strækningen. Formålet med at undersøge dette scenarie er at belyse mulighederne for et samlet BRT-system, som integreres i det eksisterende kollektive trafiknetværk samt yderligere afgreninger og sammenhænge. Scenarie C – letbane som et fuldt udbygget system – er indarbejdet i indeværende notat for at give mulighed for at sammenligne de to teknologier på hovedlinjerne i rutenettet udlagt i Samspil 2030.

Da scenarie C og D ikke er undersøgt i samme grad som scenarie A og B sker sammenligningen på det niveau, det vurderes at være muligt. Det betyder, at såfremt det besluttet at arbejde videre med scenarie C eller D, vil det være nødvendigt at opstarte en ny analyseperiode og miljøkonsekvensvurdering. Dette vurderes at medføre en forsinkelse på udbygningen af det højklassede kollektive trafiknet på ca. to år. Der vil ligeledes skulle afsættes midler til skitseprojekt og miljøkonsekvensvur-

dering af scenarie C eller D. Besluttet det at arbejde videre med scenarie B, må det ligeledes forventes, at der er behov for supplerende undersøgelser, da skitseprojektet på denne strækning er udarbejdet for letbane som hovedprojekt, og der kan være brug for tilpasninger i et BRT-projekt. Besluttet det at arbejde videre med scenarie C eller D vil det være muligt at etapeinddele projektet, således at de dele af projektet, hvor der allerede foreligger skitseprojekt og miljøkonsekvensvurdering (etape 2), anlægges, mens en analyseperiode for de yderligere afgreninger mod Hasselager og Tilst gennemføres. De parametre de fire scenarier sammenlignes på i det følgende er udvalgt på baggrund af Byrådets beslutning om at igangsætte supplerende undersøgelser for BRT, samt en faglig vurdering af hvilke parametre, der er relevante for at belyse forskelle i henholdsvis teknologivalg og valg af rute.

Først sammenlignes de fire scenarier på en række parametre:

- Integration i eksisterende kollektiv trafik
- Frekvens
- Kapacitet
- Passagerpotentiale
- Anlægsøkonomi
- Driftsøkonomi

Herefter foretages der en sammenligning af de to teknologier på et mere generelt grundlag, hvor der ses på:

- Påvirkning af øvrig trafik og fleksibilitet i trafikplanlægningen
- Klima og bæredygtighed
- Visuel påvirkning af byrummet
- Ledningsomlægninger
- Støj og vibrationer
- Drivmidler
- Køre- og rejsekomfort

Undersøgelserne er foretaget på baggrund af en række forskellige forudsætninger for henholdsvis letbane og BRT.

Forudsætninger for letbanesystem

Letbanens rutenet vurderes med udgangspunkt i hovedlinjerne i rutenettet i Samspil 2030 samt de forudsætninger for materiel, der har været anvendt ved undersøgelserne af etape 2. Hovedlinjerne er etape 2 mellem Spanien-Brabrand, men med afgreningen fra Hasle Torv til Tilst samt etappen fra Banegårdspladsen til Hasselager/Kolt. Kommende etaper af letbanen etableres med følgende forudsætninger:

- Letbanen kører i særligt tracé. På særlige strækninger kan bustrafik og eventuelt biltrafik overvejes i tracéet. Bør kun ske ved begrænset påvirkning af fremkommeligheden og sikkerheden.
- Eksisterende og nye letbanetog skal kunne benyttes på både den eksisterende letbane og kommende etaper.
- Letbanen prioriteres som udgangspunkt i signalanlæg.

Forudsætninger for BRT-system

BRT-systemer kan udarbejdes med forskellige designs, serviceniveauer og forskellige grad af prioritering i trafikken. I analyserne tages udgangspunkt i et højklasset BRT-system, hvor BRT prioriteres i tilsvarende grad som letbanens etape 1 i henhold til dokumentet "BRT-koncept Aarhus" (se bilag 1).

Vurderingen af BRT sker med følgende forudsætninger:

- BRT kører i særskilt bustracé på trængselsramte strækninger. I forstæder kan BRT køre på vejnettet, hvor der ikke er trængsel.
- Bustracéet kan deles med øvrige bybusser og regionalbusser såfremt de ikke forsinkes BRT-linjerne. Biltrafik kan i særlige tilfælde overvejes såfremt det kun har begrænset påvirkning af fremkommeligheden og sikkerheden.
- BRT-systemet forberedes i de særskilte BRT-tracéer til 24 m busser, men det afklares først senere, hvilken type busser der er bedst egnede.
- BRT prioriteres som udgangspunkt i signalanlæg.

4. SAMMENLIGNING AF FIRE SCENARIER

4.1 Integration i eksisterende kollektiv trafik

Overordnet er der i forhold til strukturen af rutenettet væsentlige forskelle på at vælge letbane eller BRT for både scenarierne for etape 2 Spanien-Brabrand og det fuldt udbyggede rutenet i Samspil 2030.

En ny etape af letbanen kan integreres med den eksisterende letbane, hvilket giver mulighed for direkte forbindelser på tværs af byen.

I modsætning hertil vil etableringen af BRT kræve et skift fra bus til letbane for at nå destinationerne langs etape 1 af letbanen.

Etableres det fuldt udbyggede rutenet med afgreninger til Brabrand, Tilst og Hasselager, som letbanelinjer, skabes – i integrationen med de eksisterende letbanelinjer – tre dobbeltradiale linjer gennem byen, som giver flere direkte rejser på tværs af midtbyen og dermed færre skift. Princippet med de tre dobbeltradiale letbanelinjer er uddybet i scenarie C og vist i figur 8. Fordelen ved at etablere ruterne som letbane er, at de store destinationer langs Randersvej og i Aarhus Nord – Aarhus Universitet, Aarhus Universitetshospital, Skejby Erhvervspark, VIA University College og Aarhus Tech mv. – vil kunne nås af mange passagerer uden at skulle skifte. Med anlæg af letbanen vil omlægning og afkortning af busruter dog indebære behov for skift på nogle rejser, der tidligere var direkte. Nogen vil opleve en ulempe herved, men også en fordel ved hyppige og direkte forbindelser i letbanens tre dobbeltradialer.

Etableres det fuldt udbyggede rutenet som BRT kan den oprindelige idé i Samspil 2030 med tre dobbeltradiale linjer ikke realiseres. Dette bevirker, at der ved

etablering af en BRT-løsning skal skiftes fra BRT til letbane for at nå destinationerne i Aarhus Nord via etape 1 af letbanen. BRT giver til gengæld bedre mulighed for at afvikle øvrig bustrafik med forbedret fremkommelighed i det dedikerede tracé uden skift.

En af forskellene mellem scenarierne med henholdsvis letbane og BRT er, at scenarier med letbane kan kobles sammen med letbanens etape 1. Sammenhæng i det kollektive trafiknet på tværs af bymidten med dobbeltradialer giver brugerne en bedre service. I scenarie A forbindes letbanen på strækningen Spanien-Brabrand med letbanens etape 1. Ved at forbinde nye letbaneetaper med etape 1 kan passagerer blive siddende i letbanen på tværs af Banegårdspladsen. Af trafikmodellen for scenarie A fremgår det, at 65% af de passagerer, der sidder i letbanen på Thorvaldsensgade - stoppet før Banegårdspladsen - forventes også at sidde der på den anden side. Det samme gør sig gældende i modsatte retning, hvor passagererne fra DOKK1 også sidder i letbanen på den anden side af Banegårdspladsen. Disse brugere har således en rejse, hvor sammenhængen i nettet giver dem et mere attraktivt transporttilbud.

I scenarie B skal passagererne stige om fra BRT til letbanen, hvis de skal videre mod Aarhus Universitet, Skejby eller andre destinationer langs etape 1. Den manglende sammenhæng kan være en af årsagerne til, at der er færre passagerer i BRT-scenariet end i scenarie A med letbane. Den manglende sammenhæng kan betyde, at nogle potentielle brugere vælger andre transporttilbud.

Det må antages, at den samme tendens gør sig gældende for scenarie C og D.



SCENARIO A: Etape 2 Letbane (LRT) – Spanien-Brabrand

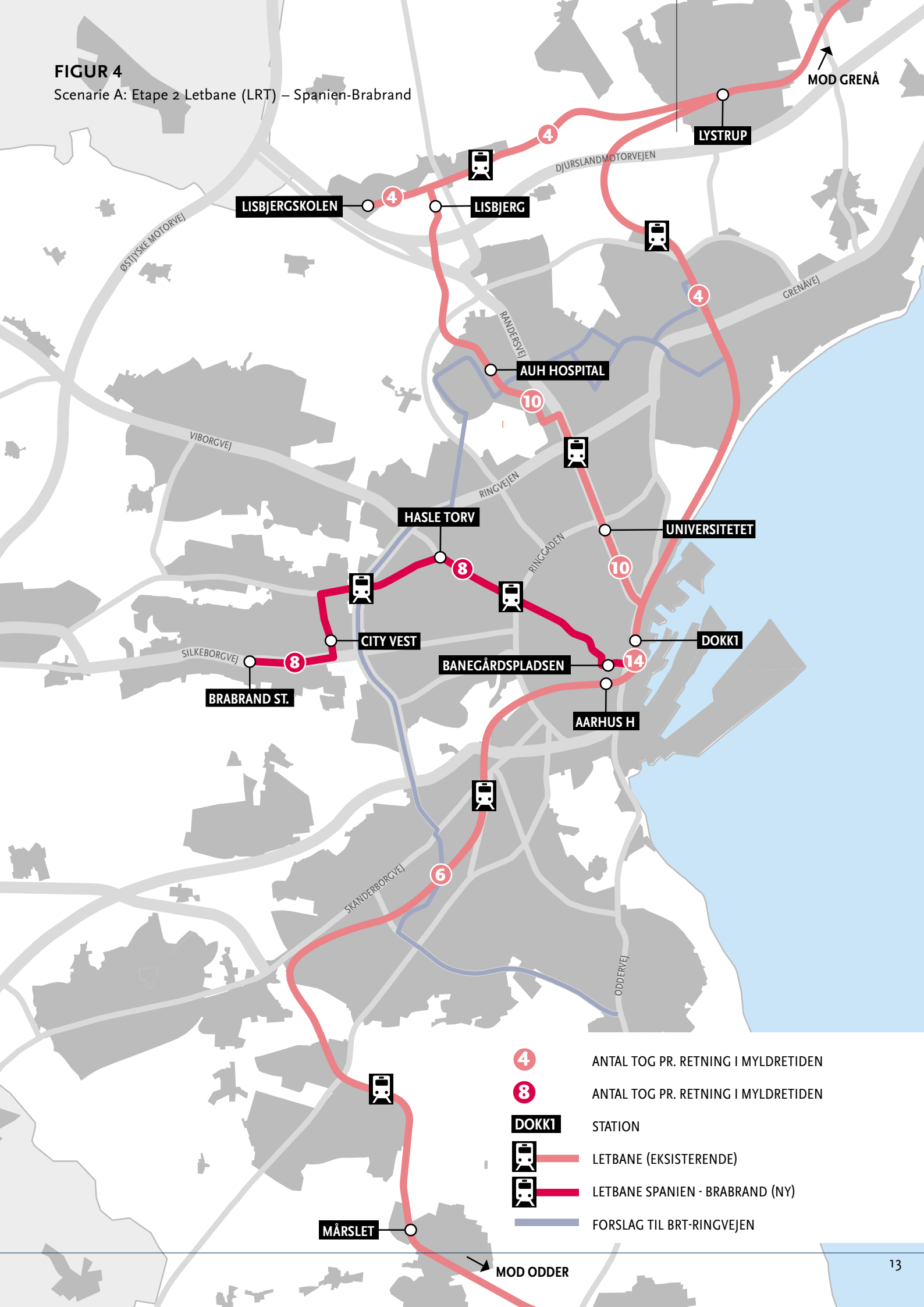
Driften i en letbanekorridor mellem Spanien og Brabrand kan integreres med letbanens etape 1. Scenariet giver en direkte forbindelse mellem Brabrand og Skejby, Lisbjerg og Lystrup - og binder Brabrand-etapen sammen med store destinationer som Aarhus Universitet, Skejby Erhverspark og Universitetshospitalet. I oplægget til det kollektive trafiksystem afkortes buslinje 3A ved Hasle Torv, hvor passagerne skal skifte til letbanen. Passagerer der benytter linje 3A mellem Tilst og bymidten vil opleve skiftet som en forringelse i forhold til i dag. Fra Hasle Torv til bymidten vil de dog opleve bedre fremkommelighed, regularitet og komfort. Linje 14 og den regionale rute 114, som også betjener Tilst, vil fortsat køre direkte til Aarhus Midtby. De kan derfor også benyttes af passagerer, der ønsker at undgå skift, men busruterne har lavere frekvens og flere passagerer vil skulle gå længere til stoppestederne.

I dag vender letbanetog på Aarhus H, hvilket ved scenarie A ændres, så letbanetog kører videre til Brabrand via Banegårdspladsen. Da tog ikke skal vende på Aarhus Hovedbanegård, frigøres kapacitet her.

Der kan være mulighed for at bustrafik benytter letbanens tracé, såfremt det ønskes at prioritere fremkommeligheden for busserne på udvalgte strækninger. Dette kan dog øge risikoen for forsinkelser af letbanen. Busser i letbanetracéet vil kræve længere perroner, dels for at undgå at holdende busser blokerer for at letbanetog kan anløbe perronen, dels fordi der ønskes høje perroner med niveaufri indstigning i letbanen, som ikke kan benyttes af busserne. Busser i tracéet medfører desuden krav til belægningstype og strømsystem til letbanen. I hovedforslaget i skitseprojektet er det forudsat, at busser kører i letbanens tracé på strækningen fra Ny Banegårdsgade til Rådhuspladsen. Stoppested for busser og letbane er adskilt og der kræves derfor ikke længere perroner.

FIGUR 4

Scenarie A: Etape 2 Letbane (LRT) – Spanien-Brabrand



SCENARIO B:

Etape 2 BRT Spanien-Brabrand

BRT på forbindelsen Spanien-Brabrand vil have samme forløb som letbane mellem Spanien og Brabrand.

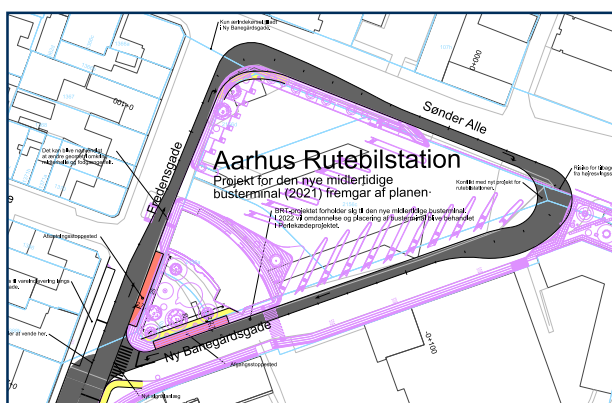
I dette scenarie skal der i midtbyen sikres vendemulighed for BRT, da den ikke er udført som en dobbeltradiel. BRT forberedes til 24m busser, hvorfor busserne ikke kan køre videre ud på andre ruter af den kollektive trafik. Vendemulighed kan sikres ved Rutebilstationen med den konsekvens, at der skal sikres areal til dette i et evt. fremtidigt byudviklingsprojekt på Rutebilstationsgrunden. I byudviklingsarbejdet kan der f.eks. undersøges mulighed for at vendepladsen for BRT etableres som et overdækket areal, hvor der kan bygges ovenpå. Dette vil dog skulle undersøges nærmere i det konkrete arbejde. Figur 5 angiver arealbehov for en BRT, der vender ved Rutebilstationen. Det angivne areal dækker både holdeplads for BRT samt eksisterende vejareal, der også benyttes af øvrige køretøjer. De nødvendige arealer for at etablere vendeplads er indregnet

i anlægsoverslaget. Det er ikke vurderet, om varemultipliciteten for BRT ved Rutebilstationen reducerer eventuelle indtægter ved udviklingen af området. Det er ikke muligt at fortsætte BRT ud i f.eks. en A-buslinje, selv hvis der køres med 18 m busser som BRT, da A-busser kører i blandet trafik, hvilket medfører forsinkelser. Hvis en A-buslinje er koblet til en BRT-rute, vil disse forsinkelser nedsætte serviceniveauet for BRT.

På den ydre strækning skal der også etableres vendemuligheder på Ryhavevej, da alle afgangene ikke vil køre helt til Brabrand, fordi passagergrundlaget er lavere på den ydre strækning. Der kan sikres mulighed for afkortning ved at etablere vendemulighed på Ryhavevej og i Gellerup. Der skal desuden sikres vendemulighed ved endestationen. Vendemuligheder vil kræve arealudlæg, som ikke er nødvendige ved en letbane. Den nuværende linje 3A, der betjener Tilst, afkortes ved Hasle Torv. Buspassagererne skal stige om til/fra letbanen. Dette vil opleves som en forringelse for brugerne af linje 3A.

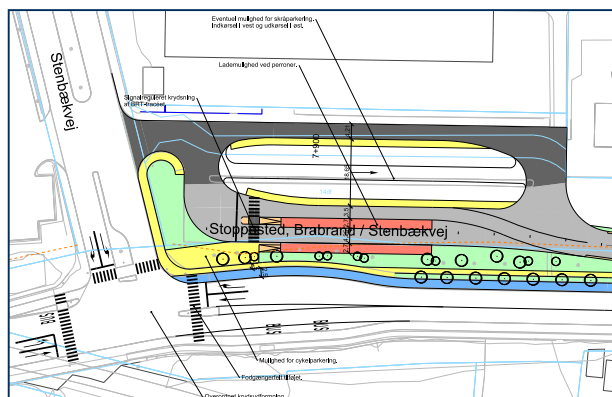
FIGUR 5

Arealbehov i forbindelse
med at BRT vender ved
Rutebilstationen.



FIGUR 6

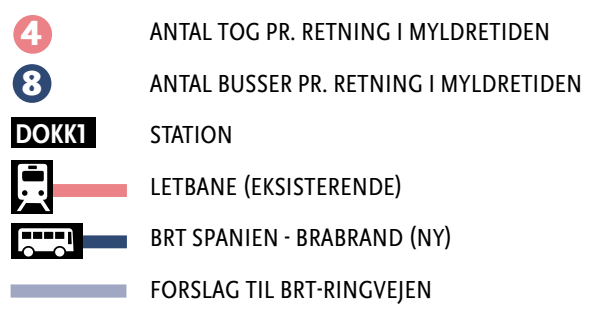
Arealbehov for BRT ved endestation.



Der kan være mulighed for at linje 3A kan blive en del af BRT-konceptet ved at køre ind i BRT-tracéet ved Hasle Torv, men dette vil kræve, at der udføres tiltag på ruten for linje 3A, så denne rute ikke vil opleve forsinkelser. Eventuel dårlig fremkommelighed for 3A mellem Tilst og Ryhavevej kan udfordre regulariteten for BRT på den indre strækning.

BRT-tracéet benyttes i scenarie B ikke af den øvrige kollektive trafik på særligt Viborgvej. Rute 14 og 114 ledes ikke ind i tracéet, da dette kan påvirke fremkommeligheden og regulariteten for BRT-linjen. Fremkommeligheden for BRT kan blive udfordret af flere linjer, da det vil være vanskeligere at prioritere BRT'en ved signalanlæg, og dermed medføre lavere rejsehastighed og forringet regularitet. I scenarie B vil flere skulle skifte transportmiddel i Aarhus Midtby i forhold til scenarie A, da der skal skiftes fra bus til letbanens etape 1.

Busser pr. retning i myldretiden er angivet samlet for BRT samt øvrige busser



SCENARIO C:
Samspil 2030 – Hovedlinjer til
Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt
med letbane

Letbanelinjer til Tilst og Hasselager/Kolt samt etappen til Brabrand vil sikre større fleksibilitet i det samlede letbanesystem. Den fulde udbygning af de to hovedetaper mod Brabrand og Hasselager/Kolt som letbane vil, som det fremgår af kortet, sammen med hovedetappen mod Skejby give mulighed for tre dobbeltradiale linjer gennem Aarhus Midtby. Tilføjelsen af en gren mod Tilst fra Hasle betyder, at de letbaneafgange, der på den isolerede Brabrandetape vender ved Ryhavevej, forlænges til Tilst.

Fra Hasselager/Viby vil der være mulighed for direkte forbindelse til letbanes første etape, hvilket vil sikre bedre forbindelser til Aarhus Universitet, Skejby, Universi-

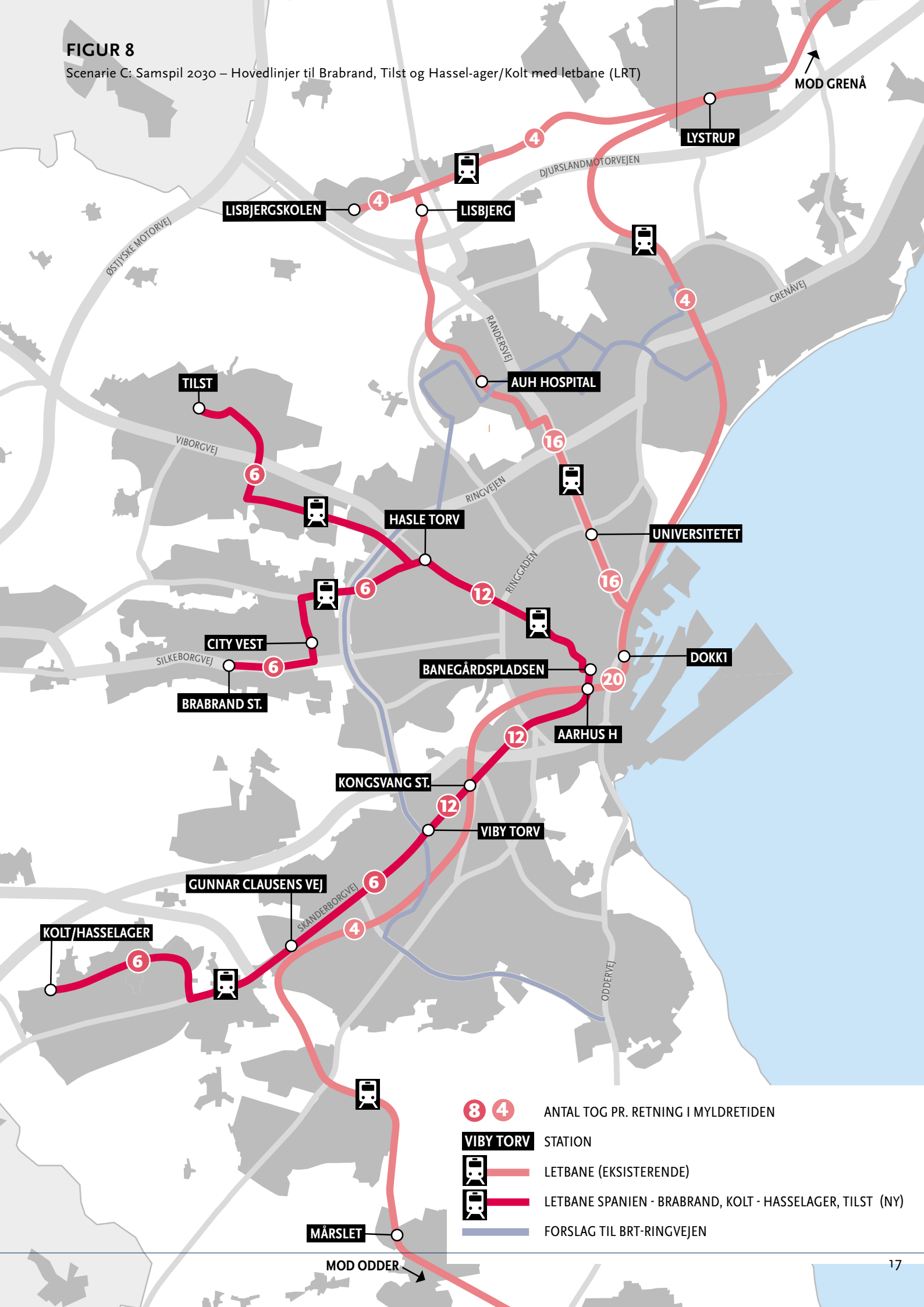
tetshospitalet, Lisbjerg og Lystrup. Med etappen afkortes busruter ved Viby Torv, så buspassagerer skal skifte mellem bus og letbane. Det forventes, at rute 200 til Skanderborg afkortes ved Viby Torv ligesom mindre lokalbusruter afkortes. Rute 4A kan omlægges, så den ikke kører via Skanderborgvej, men i stedet betjener Aarhus Stadion/Kongelunden.

Etapen til Tilst vil forbedre forbindelsen fra Tilst, da det ikke længere vil være nødvendigt at skifte transportmiddel ved Hasle Torv som ved etape 2.

Letbane-tracéet kan udføres med asfalt, så det kan benyttes af busser på særligt trængselsramte strækninger, men dette vil vanskeliggøre prioriteringen af letbanen i signalanlæg, ligesom busser i tracéet kan forsinke letbanen.

FIGUR 8

Scenarie C: Samspil 2030 – Hovedlinjer til Brabrand, Tilst og Hassel-ager/Kolt med letbane (LRT)



SCENARIO D:
Samspil 2030 – Hovedlinjer til
Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt
med BRT

En enkeltradioal BRT-korridor, som scenarie B, giver nogle ulemper i betjeningen af en by med struktur som Aarhus. Med en enkeltradioal struktur placeres en pladskrævende vendeplads og endestationsophold midt i byen (Rutebilstationen), hvor der er stor kamp om pladsen mellem byens mange funktioner.

Ved en udbygning af BRT-infrastrukturen fra Hasselager/Kolt til Banegårdspladsen og Banegårdspladsen til Brabrand og Tilst kan der etableres en dobbeltradioal. Ved at etablere en dobbeltradioal fjernes det centrale pladsbehov samtidig med at færre rejsende skal skifte, da nogle kan blive siddende i bussen på tværs af centrum. Der vil dog ikke være mulighed for at køre direkte mellem Brabrand/Tilst/Hasselager til de mange arbejdspladser og uddan-

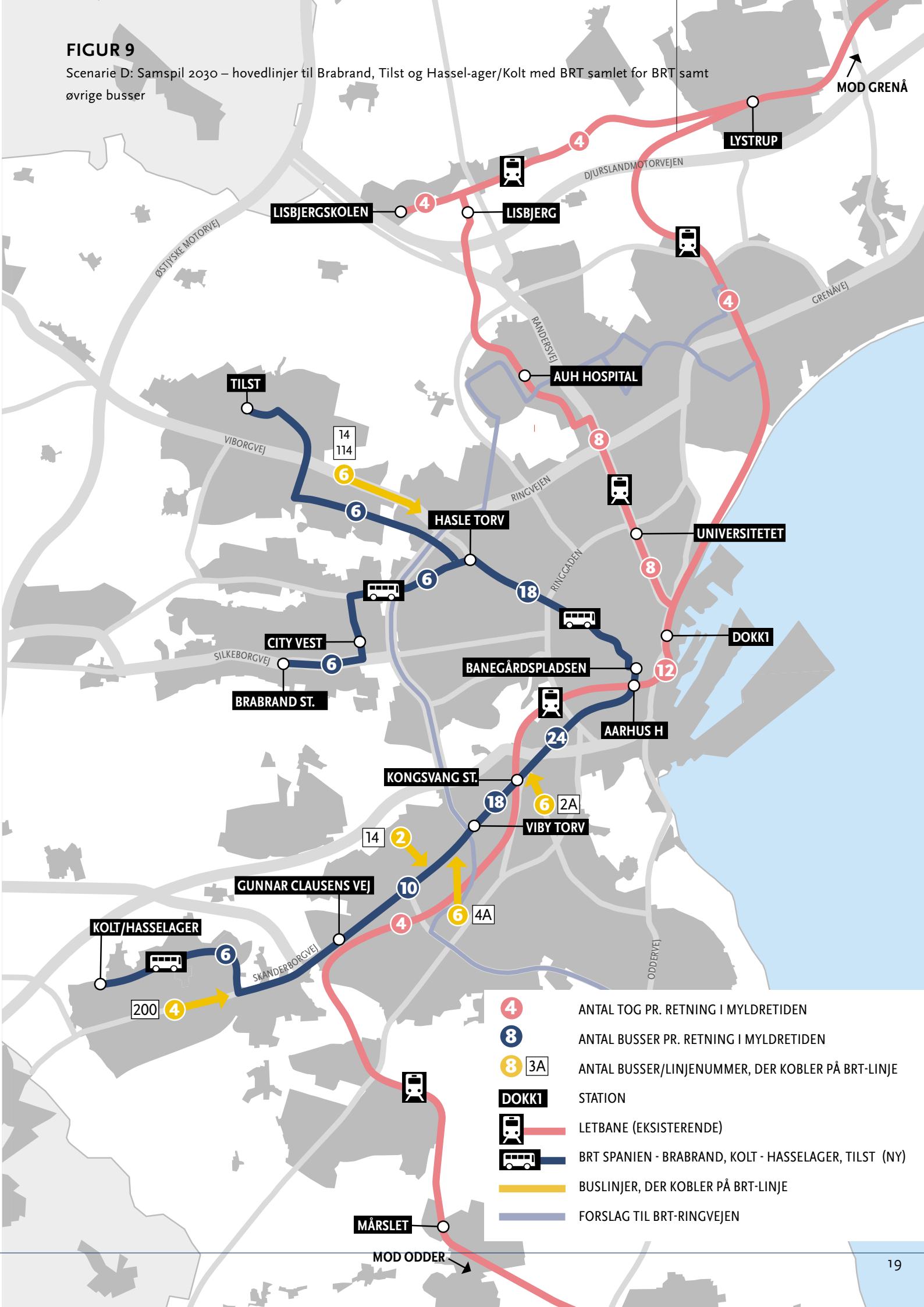
nelsesinstitutioner langs Randersvej og i Skejby.

Hvis der etableres en dobbeltradioal BRT-infrastruktur mellem Tilst-Hasselager vil Midttrafiks forslag som udgangspunkt være at bruge tracéet til en række andre busser, der betjener korridorerne.

Eneste nuværende A-busstrækning der nedlægges, er 4A mellem centrum og Brabrand Nord. Sammenbindingen af enkeltradioalerne i dobbeltradioale linjer bør vurderes nærmere i et evt. videre forløb med trafikoplægget. Det skal endvidere vurderes, om det kun er BRT-busserne, der skal benytte det særlige BRT-tracé på visse strækninger.

FIGUR 9

Scenarie D: Samspil 2030 – hovedlinjer til Brabrand, Tilst og Hassel-ager/Kolt med BRT samlet for BRT samt øvrige busser



4.2 Frekvens

For både en højklasset BRT- og letbanelinje er minimumsmålsætningen for frekvensen 8 afgang i timen i dagtimerne på hverdage på de centrale strækninger. Med denne frekvens opnår man 7,5 minutters drift og dermed bliver den skjulte ventetid, dvs. forskellen mellem ønsket afgangstidspunkt og det faktiske mulige tidspunkt, minimal og passagererne bliver dermed uafhængige af køreplanen. Herudover minimeres ventetiden ved skift særligt mellem højfrekvente linjer. I de yderste dele, hvor passagergrundlaget er mindre, kan frekvensen reduceres til eksempelvis 4-6 afgang/timen. Der regnes med forskellige antal afgang for hhv. letbane og BRT. Dette skyldes forskellen i kapaciteten i køretøjerne for BRT-busser og letbanetog. For at opnå den samme samlede kapacitet på strækningen er det nødvendigt at køre med en højere frekvens for BRT for at opnå samme passagertal.

Scenarie A:

Etape 2 Letbane (LRT) – Spanien-Brabrand

På strækningen Spanien-Brabrand vil der mellem Brabrand-Banegårdspladsen samt videre til Skejby køres med 8 afgang/timen dvs. 16 afgang pr. time i begge retninger tilsammen.

Scenarie B:

Etape 2 BRT Spanien-Brabrand

På strækningen Brabrand-Hasle Torv vil frekvensen være 6 afgang/time. Fra Hasle Torv-Rutebilstationen øges frekvensen i tracéet med 6 afgang, så frekvensen bliver 12 afgang pr. time.

Frekvensen er mindre end letbanens på den ydre strækning. Fra Hasle Torv til Rutebilstationen er frekvensen til gengæld 50% større end for letbanen. Den høje frekvens på den indre strækning vil være attraktiv for brugerne langs denne del af strækningen. Den højere frekvens med 24 afgang i begge retninger vil påvirke den

øvrige trafikafvikling i signalanlæg såfremt BRT prioriteres højt.

Scenarie C:

Samspil 2030 – Hovedlinjer til Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt med letbane

Ved etablering af en letbane til Hasselager forventes frekvensen mellem Banegårdspladsen og Viby Torv at være 12 afgang pr. time i myldretiden i dagtimerne. 6 tog fortsætter mod Hasselager og 6 tog vender ved Viby Torv. 6 afgang går mod Skejby og 6 afgang mod Brabrand.

Den højere frekvens fra Viby Torv skaber et kollektivt knudepunkt, da Viby Torv også betjenes af BRT-forbindelsen via Ringvejen. Det er muligt at afkorte regionalbus 200 fra Skanderborg samt busrute 11 og 14 ved Viby Torv, så brugerne stiger om i højklassede forbindelser fremfor at sidde i kø. A-buslinje 4A omlægges via Jyllands Allé, hvilket vil forbedre forbindelserne til Aarhus Stadion/Kongelunden.

En afgang af letbanen mod Tilst ved Hasle Torv øger frekvensen mellem Banegårdspladsen og Hasle Torv til 12 afgang i timen, hvoraf 6 kører til Brabrand og 6 tog til Tilst.

Scenarie D:

Samspil 2030 – Hovedlinjer til Brabrand, Tilst og Hasselager/Kolt med BRT

På strækningen mellem Tilst og Hasle Torv regnes der med 6 afgang/time. Mellem Hasle Torv og Banegårdspladsen er der 12 afgang/timen, da BRT-strækningen deles med BRT til Brabrand. BRT-tracéet kan desuden benyttes af de regionale buslinjer på Viborgvej, hvilket øger frekvensen til 18 afgang/time fra Hasle Torv mod bymidten. By- og regionalbusser i BRT-tracéet kan medføre forsinkelser af BRT og påvirke regulariteten.

Fra Hasselager er der 6 afgang i timen. BRT-tracéet kan evt. benyttes af bybusser

og regionalbusser på denne strækning. Bus 200 fra Skanderborg øger frekvensen i tracéet til 10 afgang/time fra Kolt Østervej til Grøndalsvej. Busrute 14 og 4A føres ind i systemet i Viby, hvilket øger frekvensen til 18 afgang/time mellem Viby Torv og Rosenvangs Allé. Ved Rosenvangs Allé føres busrute 2A ind i tracéet, hvilket øger frekvensen til 24 afgang/timen.

Den høje frekvens vil formentlig blive oplevet som værende attraktiv for brugerne. Det vil dog ikke være muligt at sikre en jævn fordeling af afgang, da de mange buslinjer vil være vanskelige at koordinere præcist. Særligt da de tilstødende buslinjer kommer fra veje med blandet trafik, hvor de kan blive forsinkede. Den høje frekvens gør det ikke muligt at prioritere busser i signalanlæg. I scenarie D vil det derfor skulle vurderes, om det er nødvendigt at foretage afkortninger eller omlægninger af andre busruter for at reducere antallet af busser i tracéet.

4.3 Kapacitet

Den samlede kapacitet for en letbane eller BRT-linje er dels afhængig af kapaciteten i det enkelte køretøj og dels af den frekvens, der køres med på linjen (for nærmere ang. frekvens se punkt 4.2).

Kapacitet i køretøjer

Generelt er forskellen i kapacitet i det enkelte køretøj en af de største forskelle på letbane og BRT. Kapaciteten i det enkelte køretøj er ikke afhængig af rutevalg, og der skelnes derfor i det følgende kun mellem letbane og BRT og ikke mellem de forskellige ruter.

I tabel 1 er den vurderede reelle kapacitet opgjort, dvs. den kapacitet der forventes i praksis at kunne realiseres, og ikke den godkendte kapacitet. Herudover fremgår timekapaciteten pr. retning ved 8 afgang per time. Dog skal det bemærkes, at der i starten forventes at køres med henholdsvis 6 og 8 afgang/time for de konkrete strækninger i Aarhus.

Som det fremgår af tabellen, så er der behov for næsten 2 ledbusser for at modsvare kapaciteten i et letbanetog på 32 m.

Kapaciteten i køretøjstyperne er en teoretisk maksimal kapacitet ved en jævn fordeling af passagerer over en time. Da passagerfordelingen ikke er jævn, vil det være nødvendigt at have en vis overkapacitet set over spidstimen, så spidsbelastninger kan afvikles på en hensigtsmæssig måde.

KØRETØJ	LÆNGDE	REEL PASSAGERKAPACITET	TIMEKAPACITET PR. RETNING VED 8 AFGANGE/TIME
BRT 			
Ledbus	18 m	90	720
Toledet bus	24 m	115	920
LRT 			
Variobahntog	32 m	160	1.280
Variobahntog	42 m	205	1.640

TABEL 1

Opgørelse over reel kapacitet og timekapacitet i køretøjer.

Kapacitet på ruter

Den faktiske kapacitet i tracéet for henholdsvis en letbane- eller BRT-løsning afhænger ud over materiellet af frekvensen på delstrækningerne. Som beskrevet i afsnit 4.2 om frekvens, så varierer frekvensen af henholdsvis letbane og BRT på delstrækningerne. Det er beregnet, hvor stor kapaciteten er på udvalgte strækninger ved de fire scenarier ud fra det driftsoplæg, som Midttrafik har foreslået i hvert scenarie.

For letbaner er der anvendt 32 m tog ved beregningerne af kapacitet. Såfremt der opstår behov for større kapacitet, kan kapaciteten øges med 28% ved at anvende letbanetog på 42 m. Kapaciteten i den kollektive trafik på delstrækningerne er ikke medregnet de busruter, der kører langs letbanen, da busser er blandet med den øvrige trafik og herved sidder i kø i myldretiden.

For BRT er der anvendt 18 m busser ved beregningerne. Kapaciteten kan øges med 28% ved at indsætte 24 m busser. Øvrige busruter der benytter tracéet er medregnet i kapaciteten. Der er anvendt 18 m ledbusser for alle busser, men i praksis må det forventes, at nogle af de busser der kommer ind i BRT-tracéet er 13,7 m busser eller 15 m busser, hvor kapaciteten er mindre.

Teoretisk kapacitet i letbane og BRT

Som det fremgår tidligere i rapporten, har letbaner en højere kapacitet pr. køretøj. Hvor mange køretøjer, der kan køre i tracéet, afhænger af indretningen af tracé og perroner. I det nedenstående søges det at afdække, hvad den teoretisk maksimale kapacitet er for hhv. letbane og BRT.

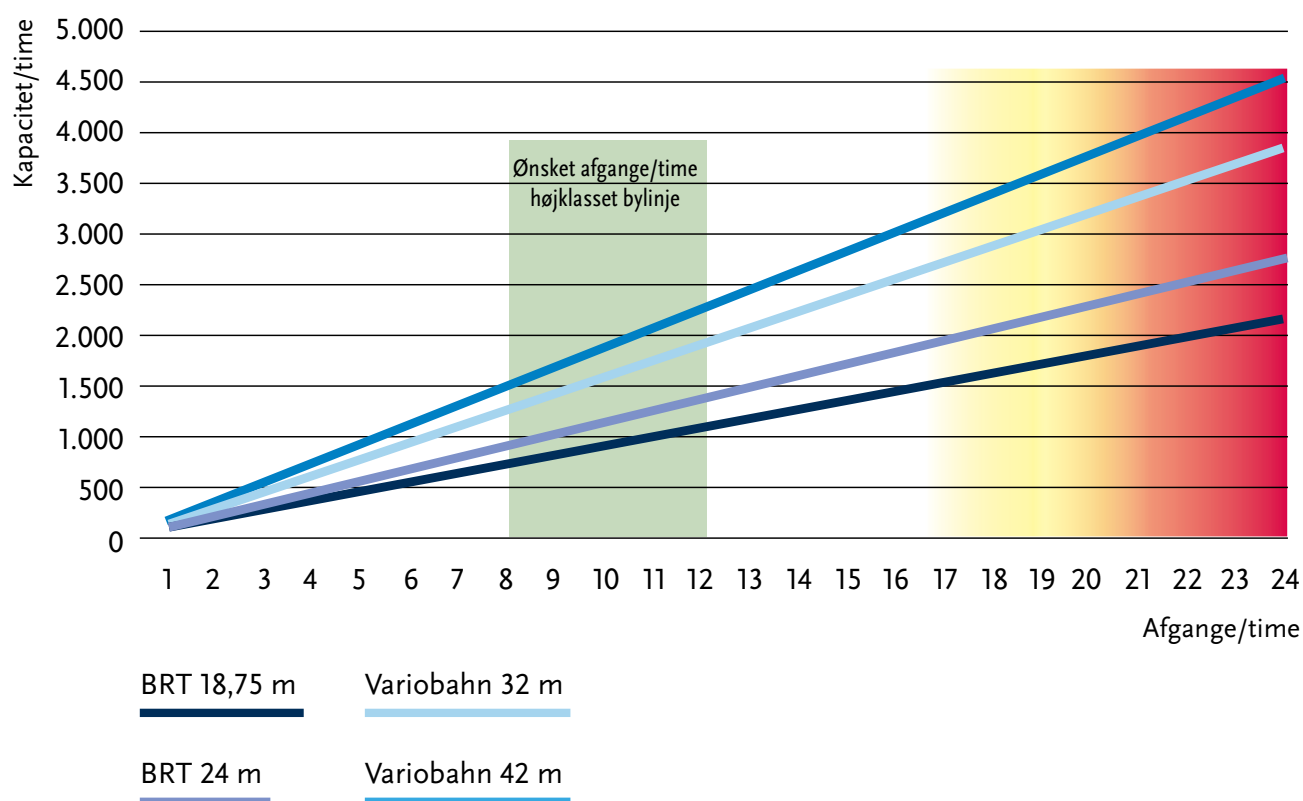
I Istanbul transporterer den mest benyttede BRT-linje 800.000 passagerer dagligt. Dette kan lade sig gøre, da BRT-linjen kører i eget tracé og krydser den øvrige trafik niveaufrit. Perronerne er desuden så lange, at der kan holde op til fem busser ved én perron. Systemet kører uden tidsplan, da busserne kommer kontinuerligt. Det accepteres, at busserne i princippet forsinkes hinanden, da situationen er markant bedre end tidligere. Eksemplet fra Istanbul svarer mere til et metrosystem end et letbanesystem, men det er medtaget for at vise, at en meget høj frekvens kræver store ændringer i infrastrukturen.



FIGUR 10
Perron til BRT i Istanbul

I en Aarhus-kontekst begrænses den reelle kapacitet af de signalanlæg, der skal passeres på vejen. Ved Ringvejen og Ringgaden er der en omløbstid¹ i signalanlæggene på cirka 2 minutter i myldretiden. Dette begrænser kapaciteten, da letbanetog eller BRT vil klumpe sig sammen, hvis afstanden mellem tog eller busser bliver tættere end omløbstiden. En anden parameter der begrænser kapaciteten, er standsningstiden og variationen i standsningstiden ved perronerne. Såfremt der i en BRT skal benyttes elektriske ramper, opstår der øget standsningstid ved perronen, hvilket kan medvirke, at køretøjerne klumper sig sammen.

Figur 11 angiver sammenhængen mellem frekvens og kapacitet i et system, hvor der er høj regularitet. Som det fremgår, er den ønskede frekvens 8-12 afgange pr. time, og der kan afvikles op til 17-18 afgange pr. time med en fornuftig regularitet. Herefter rammes infrastrukturens kapacitetsgrænse, og det påvirker regulariteten af køretøjerne. Flere afgange vil give en højere kapacitet, men det vil være vanskeligt at sikre en jævn regularitet, og perroner vil skulle kunne håndtere flere køretøjer på én gang.



FIGUR 11

Princip for optimal frekvens for letbane og BRT i bytrafik. 8-12 afgange pr. time er den ønskede frekvens. Jo højere frekvensen er jo mere vil det påvirke regulariteten. Højere frekvens end 17-18 afgange pr. time vil gøre det vanskeligt at sikre en jævn regularitet.

¹ Den tid det tager, fra der bliver grønt for én retning, hvorefter der bliver rødt, mens alle andre retninger får grønt, indtil der bliver grønt for den første retning igen.

Kapacitet - Etape 2 – Scenarie A og B

Kapaciteten i materiellet er beregnet for to delstrækninger. På den ydre strækning mellem Brabrand og Hasle Torv har scenarie A med letbane en markant højere kapacitet end i scenariet med BRT. Fra Hasle Torv til Banegårdspladsen er kapaciteten størst i letbanen trods færre afgange.

Kapacitet - Scenarie C og D

I scenarie C og D er kapaciteten større for letbanen mellem Hasle Torv og henholds-

vis Tilst og Brabrand. Fra Hasle Torv til Banegårdspladsen er kapaciteten ligeledes højere i letbanen.

Mod Hasselager er kapaciteten mellem Banegårdspladsen og Harald Jensens Plads en anelse større i BRT-scenariet end letbane-scenariet. Det skyldes dobbelt så høj frekvens. På den resterende del af strækningen er kapaciteten størst i scenariet for letbanen.



DELSTRÆKNING	LETBANE (32 M)		BRT OG ØVRIGE BUSSE (18 M)	
	FREKVENS	KAPACITET (PERSONER)	FREKVENS	KAPACITET (PERSONER)
Brabrand-Hasle Torv	8	1.280	6	540
Hasle Torv-Banegårdspladsen	8	1.280	12	1.080

TABEL 2

Kapacitet pr. time pr. retning på delstrækninger i scenarie A og B.



DELSTRÆKNING	LETBANE (32 M)		BRT OG ØVRIGE BUSSE (18 M)	
	FREKVENS	KAPACITET (PERSONER)	FREKVENS	KAPACITET (PERSONER)
Tilst-Hasle Torv	6	960	6	540
Brabrand-Hasle Torv	6	960	6	540
Hasle Torv-Banegårdspladsen	12	1.920	18	1.620
Banegårdspladsen-Harald Jensens Plads	12	1.920	24	2.160
Rosenvangs Allé-Viby Torv	12	1.920	18	1.620
Ringvej Syd-Kolt Østervej	6	960	10	900
Kolt Østervej	6	960	6	540

TABEL 3

Kapacitet pr. time pr. retning på delstrækninger i scenarie C og D.



Visualisering af Letbane på Ny Banegårdsgade

4.4 Passagerpotentiale

Kapaciteten i henholdsvis et letbane- eller BRT-system skal sammenholdes med den forventede efterspørgsel. Der er gennemført trafikmodelberegninger, der angiver det forventede antal brugere i 2030. Teknik og Miljø har desuden gennemført vurderinger af behovet, hvis den kollektive trafik skal bidrage til den grønne omstilling som forudsat i Klimahandlingsplanen. Til samfundsøkonomiske beregninger, beregninger af CO₂ og øvrige beregninger er anvendt data fra trafikmodellen.

Trafikmodel

I forbindelse med forarbejdet til letbanens etape 2 mellem Spanien og Brabrand er der gennemført trafikmodelberegninger. Modelberegningerne er gennemført for o-alternativet, hvor der ikke etableres højklasset kollektiv trafik, og der er gennemført beregninger for scenarier med enten letbane eller BRT.

Trafikmodellen beregner den forventede fremtidige trafik ud fra hvordan trafikanterne færdes i dag og ud fra de historiske data, der ligger til grund for beregningsmetoderne. I modellen indgår den forventede udvikling i boliger, arbejdspladser, studerende o.lign. Da biltrafikken er steget historisk set igennem mange år, indgår desuden vækstfaktorer for trafikken ud fra disse data afhængigt af vejtypen.

Anvendelsen af trafikmodeller til forudsigelse af konsekvenser af fremtidige infrastrukturinvesteringer er behæftet med stor usikkerhed. Dette skyldes blandt andet, at kalibreringen af modellerne beror på historiske data fra andre projekter. I dette tilfælde er datagrundlaget derfor relativt begrænset, da der er få letbane- og BRT-projekter at sammenligne med, og da de ofte varierer meget på vigtige kontekstuelle parametre i forhold til bystruktur,

tidligere niveau af kollektiv trafik, udformning af systemet o.lign. Med et begrænset datagrundlag må det forventes, at beregninger af forventede antal brugere er behæftet med usikkerhed. Dertil kommer, at modelresultaterne er følsomme overfor ændringer i forudsætningerne omkring f.eks. by- og befolkningsudvikling og ændringer i den øvrige infrastruktur for de enkelte beregninger.

Trafikmodelberegningerne kan således ikke i sig selv anvendes til at sige noget konkret om, hvordan den fremtidige trafikudvikling ser ud, uden samtidig at se på de politiske visioner, der ønskes indfriet, og dermed de konkrete initiativer det kræves, for at opnå disse. Udenlandske erfaringer fra f.eks. Bergen og Gent viser, at det er muligt at ændre transportmiddelvalget, når der er klare visioner for bymidten i forhold til f.eks. at fjerne muligheden for gennemkørende trafik. Trafikmodellen tager ikke højde for sådanne politiske visioner.

Trafikmodellen beregner forventede antal brugere i år 2030, da dette er myndighedskravet ved udarbejdelsen af miljøkonsekvensvurderingen. Store investeringer i infrastrukturprojekter skal dog ses i et væsentligt længere tidsperspektiv, men usikkerhederne ved modelberegningerne bliver tiltagende større og mere følsomme overfor ændrede forudsætninger jo længere tidshorisont, der fremskrives til. Samtidig er udbygningen af den højklassede kollektive trafik ikke blot et isoleret projekt, men indgår som ét delelement i af det samlede fremtidige transportsystem i hele Aarhus Kommune og omegn, der kan transportere mange mennesker i takt med at Aarhus vokser og trængslen stiger. Modelberegningerne og dermed også passagerpotentialet er derfor meget afhængig af investeringer og ændringer i den omgivende infrastruktur.

Modelberegningerne angiver, at biltrafikken i perioden 2016 til 2030 stiger 22% svarende til ekstra 200.000 bilture pr. dag i Aarhus Kommune. Antallet af daglige ture i den kollektive trafik stiger i samme periode med 25.000 daglige ture. Antallet af cykel- og gangture stiger ligeledes med 25.000 ture dagligt. Modelberegningerne angiver således, at biltrafikken forventes at stige kraftigt på et vejnet, der allerede er presset. Det vurderes, at forsinkelserne på det trafikale vejnet vil stige markant, hvis biltrafikken får den vækst som modellen angiver.

På tværs af Ringgaden angiver modellen dog, at det samlede antal bilture forventes at falde med 21.000 ture dagligt, og at ture med kollektiv trafik forventes at stige med 6.000 ture dagligt (i scenarie med letbane mellem Spanien og Brabrand). Væksten i passagerer i den kollektiv trafik på tværs af Ringgaden sker ifølge modellen blandt andet ved at antallet af rejsende i letbanens etape 1 øges. En del af denne stigning skyldes sammenkoblingen med etape 2, hvilket skaber mulighed for en sammenhængende rejse og øger frekvensen på etape 1, hvilket gør den mere attraktiv. Samtidig sker der byudvikling i den nordlige del af Aarhus og langs letbanes etape 1, hvilket øger kundegrundlaget.

I ringgadesnittet ved Viborgvej/Silkeborgvej angiver trafikmodellen dog en mindre nedgang i antallet af brugere i den kollektive trafik trods introduktionen af letbanen. Nedgangen skyldes et større fald i buspassagerer på Silkeborgvej, da passagerer fra Gellerup benytter letbanen via Viborgvej. Den lille nedgang skyldes dog også, at der i modellen er medregnet en ny jernbane til Silkeborg med station i Brabrand, hvilket medvirker, at passagerer fra Brabrand vil tage regionaltoget til Aarhus H. I snittet ved Viborgvej stiger antallet af passagerer i den kollektive trafik. Med stigende træng-

sel for biltrafikken, byfortætning samt et projekt for bedre fremkommelighed og kvalitet for den kollektive trafik vurderes modellens angivelse af brugere i den kollektive trafik som meget konservativt.

Af trafikmodellen fremgår det, at der på døgnbasis forventes cirka 11.900 passagerer i letbanen på Park Allé og cirka 8.900 passagerer i letbanen vest for Hasle Torv. For BRT er der i de tilsvarende snit 7.800 passagerer og 6.900 passagerer. Beregningerne er udført med de samme forudsætninger.

Trafikmodellen angiver, at der er ca. 12.000 passagerer over døgnet i letbanen i det mest belastede snit på etappen Spanien-Brabrand svarende til 6.000 pr. retning pr. døgn. Morgenspidstimen i den kollektive trafik udgør erfaringsmæssigt cirka 15% af døgntrafikken. Morgenspidstimen er herved 900 passagerer/spidstime. I letbanen er kapaciteten 1.280 passagerer/time ved 8 tog med en længde på 32 m. Da ikke alle afgange er lige fyldte, vil der være behov for en vis overkapacitet for at afvikle efterspørgslen på de mest efterspurgte afgange. Det vurderes, at efterspørgslen på 900 passagerer i spidstimen kan afvikles med de planlagte 8 tog/time.

Trafikmodellen angiver, at der er ca. 8.000 passagerer i BRT-systemet over døgnet i det mest belastede snit svarende til 4.000 pr. retning pr. døgn. Spidstimebelastningen er herved 600 passagerer. Kapaciteten i de 12 planlagte afgange pr. time er 1.080, hvilket kan afvikle efterspørgslen.

Modellen angiver, at valg af enten letbane eller BRT på strækningen Spanien-Brabrand vil påvirke mængden af passagerer i den eksisterende letbane på etape 1, da en ny letbanelinje mod Brabrand vil kobles sammen med den eksisterende letbane. Såfremt der vælges letbane mellem Spa-

nien og Brabrand forventes cirka 17.000 passagerer dagligt i letbanen på den eksisterende strækning mellem Banegårdspladsen/Aarhus H og DOKK1, hvorimod der forventes cirka 11.100 passagerer i letbanen på denne strækning, hvis der vælges en BRT-løsning.

Trafikmodellen regner for trafikmængder i 2030. Dette er en forholdsvis kort tidshorison, da letbanens etape 2 tidligst forventes at kunne åbne i 2029. Med en så stor investering i infrastrukturanlæg er det nødvendigt at etablere en robust løsning, der også kan afvikle behov i f.eks. 2050. Der er ikke foretaget modelberegninger for f.eks. 2050, da en så langsigtet model vil være behæftet med meget stor usikkerhed. Med en forventning om op mod 450.000 indbyggere i 2050 imod dagens cirka 360.000 indbyggere må det dog forventes, at mobilitetsbehovet stiger yderligere frem mod 2050, hvilket øger trængslen på vejnettet og herved efterspørgslen på alternativer.

Den københavnske metro og flere S-togsstrækninger er eksempler på kollektiv infrastruktur, der har nået kapacitetsgrænsen, hvilket er problematisk for et attraktivt og dyrt system. Når der ses på en længere tidshorison, vil befolknings-tilvæksten, væksten i antallet af arbejdspladser og studiepladser samt en forventet øget trængsel på vejnettet gøre den højklassede kollektive trafik mere attraktiv.

På denne baggrund er det ikke gavnligt at betragte trafikmodellens beregninger isoleret set. Udover den beskrevne usikkerhed ved trafikmodeller, er det afgørende også at se passagerpotentialitet i lyset af det politiske ønske om at mindske trængslen i byen og skabe en sammenhængende og bæredygtig mobilitet i Aarhus.

Passagerpotentialitet ved grøn omstilling og lang tidshorison

Som beskrevet i det foregående afsnit, tager trafikmodellen ikke højde for politiske ønsker og visioner. I denne forbindelse kan den vedtagne klimaplan nævnes, hvori der er en vision om et CO₂-neutralt Aarhus i 2030. Et af virkemidlerne til at opnå dette mål er en ændret transportmiddelfordeling. Et af indsatsområderne i planen er, at "Flere vælger kollektiv trafik".

Udover klimaplanens visioner viser trafikmodellens prognose desuden, at der vil være 200.000 ekstra bilture i 2030, og der må derfor forventes kritisk trængsel på store dele af det overordnede vejnet i Aarhus, hvilket vil gøre højklasset kollektiv trafik mere attraktiv, da den kører i trængselsfrie korridorer.

Som supplement til trafikmodelkørslerne har Teknik og Miljø udført en teoretisk vurdering af passagerpotentialitet med baggrund i byrådets vision om at flere bruger den kollektive trafik. I det følgende kaldes denne omstilling 'den grønne transportmiddelfordeling'.

Den grønne transportmiddelfordeling er baseret på en simpel beregningsmodel, der giver et bud på, hvordan transportmiddelfordelingen kan sammensættes for at opnå CO₂-neutralitet i Aarhus.

Med udgangspunkt i disse forudsætninger giver modellen et bud på en samlet grøn transportmiddelfordeling for hele Aarhus Kommune, men kan også anvendes på enkelte lokationer eller snit¹. Beregningen viser, at antallet af brugere i den kollektive trafik i ringgadesnittet ved Viborgvej/Silkeborgvej skal stige med 40-50%, hvis den ønskede omstilling skal gennemføres. I forhold til trafikmodellen vil antallet af

passagerer i letbanen i morgenspidstimen ved en grøn transportmiddelfordeling blive øget fra cirka 900 passagerer til 1350 passagerer i letbanen på Park Allé, hvilket kræver en frekvens på 10-12 afgang i timen. Alternativt kan frekvensen bevares, hvis der køres med 42 m lange tog. For 24 m BRT-busser vil frekvensen skulle være 15-17 afgang i timen for at opnå samme passagerkapacitet.

Omstillingen til større brug af den kollektive trafik kræver således en attraktiv kollektiv transport med høj kapacitet og fremkommelighed for at kunne opnå den ønskede grønne transportmiddelfordeling.

Denne teoretiske vurdering viser, at der er stor forskel på trafikmodellens fremskrivninger og de beregninger, der baserer sig på politiske visioner for en grøn transportmiddelfordeling. Denne forskel understreger, at trafikmodellens beregninger ikke kan stå alene, men bør ses i lyset af de ønskede politiske visioner for den fremtidige højklassede kollektive trafik i Aarhus.

Der er foretaget en række antagelser og forudsætninger for at kunne opstille det scenarie, beregningerne bygger på. Forudsætningerne for scenariet er²:

- omtrent 50% af alle fossilbilsture i dag reduceres, og ca. 40% af de resterende fossilbilsture overflyttes til elbilsture
- 1/3 af de 50% fossilbilsture der reduceres, forsvinder helt (f.eks. ved øget hjemmearbejde)
- 2/3 af de resterende 50% fossilbilsture der reduceres, overflyttes til A) den kollektive trafik og B) cykel og gang. Disse ture fordeles efter længden på bilturene, der reduceres, således at korte (0-10km) og mellemlange (10-20km) ture overflyttes til B) cykel og gang, mens lange ture (20- km) overflyttes til A) kollektiv trafik.



Visualisering af letbaneløsning fra Vester Allé set mod Aarhus Å

1

Hvis modellen bruges på en specifik lokation, f.eks. Viborgvej ved Ringgaden, skal det bemærkes, at modellen blot omfordeler fossilbilsture fra 2019-tal uden at tage højde for den lokale kontekst, f.eks. tilgængelig kapacitet, infrastruktur eller øvrige forhold, der kan påvirke en faktisk overflytning af ture. Til brug for beregningerne er der hentet data fra forskellige kilder, og hver af disse kilder kan give anledning til usikkerhed.

2

Der tages afsæt i trafiktal fra 2019, og der er ikke taget højde for udvikling, der kan finde sted, som kan påvirke transportmiddelfordelingen (f.eks. byudvikling, teknologi, trafikudvikling). Der er således tale om en meget simpel tur-omflytningsmodel.

4.5 Anlægsøkonomi

Der er udarbejdet anlægsoverslag for de fire scenarier. Anlægsoverslag for scenarie A og B er udarbejdet i forbindelse med skitseprojekterne for etape 2 mellem Spanien og Brabrand for henholdsvis letbane og BRT.

Der er udarbejdet anlægsoverslag for de fire scenarier. Anlægsoverslag for scenarie A og B er udarbejdet i forbindelse med skitseprojekterne for etape 2 mellem Spanien og Brabrand for henholdsvis letbane og BRT. Anlægsoverslagene er udarbejdet med udgangspunkt i erfaringerne med anlægsmkostninger fra sammenlignelige letbane- og anlægsprojekter i Danmark og Europa, herunder letbanens etape 1 i Aarhus og letbanen på Ring 3 i København.

For scenarie C og D foreligger der ikke skitseprojekter. Projekterne er herved i en mindre detaljeret fase end undersøgelserne for etape 2, og derfor baserer overslagene for scenarie C og D sig på strækningsspriser fra anlægsoverslagene for etape 2. Strækningsspriserne er fremkommet ved at opdele Hasle Torv-Tilst og Banegårdspladsen-Hasselager i delstrækninger, og ud fra det finde sammenlignelige strækningsspriser fra etape 2 ift. vejprofil og omgivelser.

Grundet den store usikkerhed ift. Hasle Torv-Tilst og Banegårdspladsen-Hasselager, er der, i henhold til principper for ny anlægsbudgettering, tillagt en budgetreserve på 50%, hvorimod den for etape 2 er 30%.

SCENARIO	STRÆKNING	LÆNGDE	OVERSLAG (MIO. KR.)
 A	Spanien-Brabrand – LRT	7.925 m	1.680 - 2.270*
 B	Spanien-Brabrand – BRT	7.925 m	935 - 1.265*
 C	Letbane – fuld udbygning – Samspil 2030		
	Spanien-Brabrand – LRT	7.925 m	1.680 - 2.270*
	Hasle Torv-Tilst – LRT	4.700 m	750 - 1.250**
	Banegårdspladsen-Hasselager – LRT	11.000 m	1.975 - 3.290**
	Totalt		4.405 - 6.810
 D	BRT – fuld udbygning – Samspil 2030		
	Spanien-Brabrand – BRT	7.925 m	935 - 1.265*
	Hasle Torv-Tilst	4.700 m	390 - 655**
	Banegårdspladsen-Hasselager	11.000 m	795 - 1.330**
	Totalt		2.120 - 3.250

TABEL 4

Anlægsoverslag for scenarierne (Indeksår 2021).

Overslagene for hhv. Tilst og Hasselager er forbundet med en vis usikkerhed.

* Projekter i fase 2 er angivet med et interval på +/-15%.

** Projekter i fase 1 er budgetterne angivet i et interval på +/- 25%.

For at understrege usikkerheden, er overslagene for de to strækninger nævnt i intervaller.

I alle overslag indgår 35% til diverse byggeriomkostninger, herunder bl.a. projektering, tilsyn, byggepladsindretning og trafikomlægninger.

Etablering af letbane er næsten dobbelt så dyrt som etablering af BRT i etape 2. Ved scenarie C og D med etape til Brabrand, Tilst og Hasselager er letbanen mere end dobbelt så dyr som BRT. Dette skyldes, at BRT i de ydre strækninger af etappen til Hasselager kan køre i blandet tracé.

Anlægsoverslaget er udarbejdet under forudsætning af, at staten bidrager med 45% af finansieringen. Der regnes herudover med en forudsætning om, at Aarhus Kommune kan lånefinansiere op til 85% af kommunens anlægsbidrag. Under disse forudsætninger vil der skulle beregnes et indskud fra Aarhus Kommune på 138,6-187,3 mio. kr. for letbane og 77,1-104,4 mio. kr. for BRT. Yderligere vil der med et 30-årigt lån med en fast årlig rente på 3,5% være tale om en årlig ydelse fra Aarhus Kommune på 42,4-57,3 mio. kr. for letbane og 23,6-31,9 mio. kr. for BRT.

4.6 Driftsøkonomi

Ved letbanens etape 2 er der beregnet for driftsudgifter for henholdsvis letbane og BRT mellem Spanien-Brabrand. Drifts- og vedligeholdelsesudgifter er beregnet for en periode på 50 år. Tabel 5 angiver beregningsresultater for udgifterne. Som det fremgår af tabellen, medfører letbane og BRT øgede udgifter til den kollektive trafik. Udgifterne er 78% større for letbane end BRT set over 50 år i de gennemførte beregninger.

De årlige udgifter til drift af den kollektive trafik vil øges med henholdsvis 7,4 mio. kr. for 18-meter BRT-busser, 22,2 mio. kr. for 24-meter BRT-busser og 21,2 mio. kr. for letbane. Dette er eksklusiv vedligehold af infrastruktur.

Der er tale om rene driftsomkostninger. Der indgår således ikke omkostninger for miljøet, herunder CO2-omkostninger. Afsnit 5.2 omhandler klima og bæredygtighed.

Der er ikke gennemført beregninger for scenarie C og D. Det vurderes, at letbanen også er dyrere end BRT i drift- og vedligehold i disse scenarier.



DRIFTS- OG VEDLIGEHOLDELSESEFFEKTER	LETBANE MIO. KR.	BRT MIO. KR.
Driftsomkostninger, vejinfrastruktur	-12	-31
Fornyelse- og vedligeholdelsesomkostninger, bane og BRT	-122	-104
Operatøromkostninger, letbane og BRT	-1.480	-1.174
Besparelser ved eksisterende busser	786	812
Billetindtægter	121	102
Sum	-702	-394

TABEL 5
Resultater af den samfundsøkonomiske analyse for driftsudgifter over en 50-årig periode for Spanien-Brabrand for henholdsvis letbane og BRT.
Tabellen indeholder de samlede tilbagediskonterede omkostninger over 50 år.

5. SAMMENLIGNING AF GENERELLE FAKTORER FOR LETBANE OG BRT

I de ovenstående afsnit er der taget udgangspunkt i fire konkrete scenarier for en udvikling af det højklassede kollektive transportsystem i Aarhus. I de følgende afsnit ses der mere overordnet på forskellene mellem letbane og BRT som teknologi i forhold til en række faktorer. Enkelte faktorer forhold sig dog delvist også til den konkrete kontekst, og dette er her angivet.

5.1 Påvirkning af øvrig trafik og fleksibilitet i trafikplanlægningen

I det følgende afsnit gennemgås hvordan henholdsvis letbane og BRT påvirker en række forskellige faktorer i forhold til den øvrige trafik samt i relation til hvornår fleksibiliteten i den fremtidige trafikplanlægning påvirkes.

Påvirkning af den øvrige trafikafvikling

For scenariet med letbane på strækningen Spanien-Brabrand er der gennemført kapacitetsberegninger for trafikafviklingen i morgenspidstimen og eftermiddagspidstimen for o-alternativet uden letbane samt for et scenarie med 12 tog i hver retning i timen. Beregningerne er udført for 10 udvalgte signalanlæg. Letbanen er i beregningerne prioriteret i signalanlæg med undtagelse af kryds ved Ringgaden og Ringvejen, da det vurderes, at en prioritering vil medføre sammenbrud i den øvrige trafikafvikling på ringforbindelserne. Indførelsen af et nyt transportmiddel, der skal prioriteres i signalanlæg, vil naturligvis påvirke afviklingen af den øvrige trafik. I fem af de undersøgte signalanlæg i o-alternativet er belastningsgraden så høj, at det kategoriseres som "trafikken kan ikke afvikles". Dette betyder, at trafikken ikke kan afvikles i grøntiden, og at der derfor gennem en periode opbygges en stadig større kø indtil trafikken aftager tilstrækkeligt til at køen opløses, og trafikken kan afvikles indenfor grøntiden.

I scenariet med letbanen er der otte signalanlæg i denne kategori, og generelt påvirkes trafikafviklingen for de øvrige trafikanter negativt i alle signalanlæg.

Letbane og BRT kan som udgangspunkt prioriteres ens i signalanlæg. Den primære forskel er frekvensen i scenarier med henholdsvis letbane eller BRT. Busser kan medtage færre passagerer end letbanetog. For at opnå den samme kapacitet ved BRT som ved letbane, skal der således være en højere frekvens. BRT vil således påvirke afviklingen af den øvrige trafik i højere grad end letbane. 12 letbanetog med en længde på 32 m skal modsvares af 17 busser med en længde på 24 m for at have samme kapacitet. Antallet af passagerer pr. time i begge retninger i signalanlæg stiger således fra 24 til 34 passagerer ved BRT. Ved anvendelse af ledbusser på 18 m øges frekvensen yderligere. Alternativt skal BRT ikke prioriteres i flere signalanlæg, hvilket vil øge rejsetiden i forhold til letbane.

En af de fordele der ofte nævnes ved BRT er muligheden for at kunne afvikle den øvrige kollektive bustrafik i tracéet. Dette øger dog frekvensen i tracéet yderligere, hvorved det vurderes vanskeligt at prioritere BRT og den øvrige bustrafik, da dette vil have for stor påvirkning for afviklingen af den øvrige trafik. Rejsetiden for BRT øges således, når BRT deler tracé med andre busser.

Regularitet

Rettidigheden af den kollektive trafik er en serviceparameter, der definerer hvor ofte bus eller letbane afgår til tiden (med en defineret maksimal afvigelse). Rettidighed er en vigtig parameter i forhold til at bringe passagerer rettidigt frem til deres mål eller til en anden forbindelse.

Rettidigheden for letbane eller BRT vil ofte afhænge af, hvor højt forbindelsen prioriteres i trafiksystemet og af hvor mange forstyrrelser af fremkommeligheden, der er på rutenettet.

Eksempel på rettidighed:

"Letbanen havde i 1. halvår 2018 en rettidighed mellem Aarhus H og Universitetshospitalet på 99 %, vel at mærke med samme køretid over hele dagen. 6A's køreplanlagte tid mellem Universitetshospitalet og Sønderhøj i Viby svinger fra 27 minutter uden for myldretid til 40 minutter i myldretiden. Herudover er det opgjort, at 17 % af turene i 2017 var forsinkede mere end 4 minutter. I de værste måneder var tallet ca. 25 %." (Kilde: Midttrafik – Trafikplan 2019-22).

Eksemplet viser, hvilken betydning det kan have for det kollektive trafiktilbud, hvis det ikke gives høj prioritet og god fremkommelighed.

Letbane og BRT kan principielt opnå den samme rettidighed. Letbanens etape 1 prioriteres højt i signalanlæg, hvilket sikrer en meget høj rettidighed. En BRT i eget tracé kan i princippet prioriteres lige så højt. Der vil dog være en forskel i frekvensen ved letbane eller BRT, såfremt der skal være den samme kapacitet i BRT som i letbane, da der kan være færre passagerer i busser end i letbaner. Frekvensen for BRT skal således være højere, hvilket vil betyde større forsinkelser for den øvrige trafik eller at BRT ikke kan prioriteres i udvalgte kryds.

Ved BRT har andre buslinjer mulighed for at køre i tracéet, hvilket kan forbedre fremkommeligheden for den kollektive trafik på strækningen. Dette kan dog påvirke rettidigheden af BRT-linjen, da det f.eks. gør det vanskeligt at prioritere trafik

i BRT-tracéet. Ved letbane kan busser også køre i tracéet, hvilket dog er mere kompliceret, da det er forskellige transportmidler, og da dette vil begrænse muligheden for grønt tracé samt påvirke strømføring med mere.

Det vurderes, at et BRT-system udført i henhold til dokumentet "BRT-koncept Aarhus" vil kunne opnå den samme rettidighed som et letbanesystem. Dette vil dog kræve, at tracéet forbeholdes BRT, og at BRT prioriteres lige så højt som en letbane i signalanlæg. Dette nedsætter fleksibiliteten ved BRT-systemet, og den nødvendige højere frekvens påvirker den øvrige trafikafvikling i signalanlæg.

Sårbarhed i systemet/fleksibilitet i trafikplanlægning

En grundlæggende forskel på letbane og BRT er systemernes påvirkning af fleksibiliteten i trafikplanlægningen. Etablering af letbanetracé har omsiggribende konsekvenser både i forhold til fremtidig trafikplanlægning og byudvikling.

I forbindelse med anlæg af letbane benyttes ofte begrebet skinnefaktor til at beskrive effekten af denne type anlæg og transport. Skinnefaktor som begreb er ikke fast defineret, men bruges ofte til at betegne de egenskaber, der opleves positivt ved skinnebåren trafik, og dermed gør tog mere attraktiv end bus. Dette kan være psykologiske aspekter, som f.eks. forventninger, komfort og den jævne kørsel på skinner (Nielsen, O. A., Ingvardson, J. B., & Andersen, J. L. E. (2013). Analyse af potentialet for flere letbaner i Hovedstadregionen: Rapport 6. DTU Transport. Skinnefaktoren kan bidrage til at flere vælger skinnebåret transport som letbane fremfor busbaseret transport og kan have indflydelse på overflytningspotentialer. Det bør her understreges, at skinnefaktoren er svært at dokumentere, netop fordi den be-

tegner psykologiske og subjektive aspekter. En del af skinnefaktoren består i, at letbaner kan have en katalyserende effekt på blødere faktorer som byudvikling og byomdannelse, fordi letbanespor og -stationer ikke umiddelbart flyttes (i modsætning til busruter og -stoppesteder). Dette gør en placering i nærheden af et letbanestop mere attraktivt for bygherrer og investorer, idet de har større sikkerhed for at den kollektive tilgængelighed er af fast og forblivende karakter. Nyetablerede letbaner har vist sig at have et værdifuldt bidrag til byudviklingen (Transportøkonomisk Institut, 2005 i Nielsen, O. A., Ingvardson, J. B., & Andersen, J. L. E. (2013). Analyse af potentialet for flere letbaner i Hovedstad-regionen: Rapport 6. DTU Transport. .

Mange studier der påpeger skinnefaktoren i forhold til investeringer i byudviklingen, er dog af ældre dato, og der er i de senere år etableret mange højklassede BRT-systemer i Europa, som kan udfordre forståelsen af letbane som mere attraktivt. Studiet "Effects of new bus and rail rapid transit systems – an international review" (Ingvardson, J. B., & Nielsen, O. A. (2018). Effects of new bus and rail rapid transit systems – an international review. *Transport Reviews*, 38(1), 96-116. Title (dtu.dk)) har vurderet effekterne af 86 letbane-, BRT-, metro- og baneprojekter. I studiet blev 41 projekter undersøgt i forhold til signifikante forskelle. Oversat citat: "For de 41 projekter, som blev analyseret statistisk i denne undersøgelse, blev der ikke fundet signifikante forskelle mellem systemvalg, men BRT-systemer syntes at vise de største effekter. Resultaterne tydede på, at påvirkningerne i højere grad afhænger af, i hvor høj grad systemet forbedrer den eksisterende situation, konkurrencen med biltrafikken og hvordan systemet implementeres i den lokale kontekst." Det er således vanskeligt direkte at overføre konklusionerne til den lokale kontekst i Aar-

hus, hvor der allerede er etableret letbane samt et velfungerende rutenet af A-busser, og hvor en ny letbanelinje eller BRT-rute vil være et supplement til den eksisterende højklassede trafik og ikke et radikalt skift fra lavklasset til højklasset kollektiv trafik, som i nogle eksempler i studiet.

Studiet konkluderer, at store investeringer i kollektiv trafik – uanset om det er BRT, LRT eller metro – ofte resulterer i positive effekter i forhold til ejendomspriser og byudvikling, når områdets attraktivitet øges bl.a. pga. større tilgængelighed og lavere rejsetid. Studiet påpeger, at de strategiske effekter af at udvide det kollektive transportsystem kan være større end de rent trafikale resultater.

Den faktor at BRT-ruter og -stoppesteder nemmere kan ændres og flyttes i forhold til letbane kan ikke kun ses som en ulempe ved BRT, men også som en fordel i forhold til at sikre fleksibilitet i trafikplanlægningen. I en BRT-løsning vil der være større mulighed for at nedlægge og oprette ruter og stoppesteder, som følger byudviklingen. Der vil ligeledes være mulighed for at prioritere fremkommeligheden for andre busruter, så flere opnår gavn af det udlagte tracé. Som nævnt vil dette påvirke fremkommeligheden for BRT-ruten med en forventeligt øget rejsetid og lavere regularitet.

At andre buslinjer anvender tracéet, kan være en sårbarhed for fremkommeligheden og rettidigheden af BRT. Med flere busser i tracéet bliver det vanskeligt at prioritere BRT i signalanlæg. Det er desuden vanskeligt at styre hvornår andre busser kommer ind i tracéet, da det kan køre med forsinkelser. Dette kan medføre, at trafikken i tracéet klumper sig sammen.

Yderligere kan der påpeges en sårbarhed i systemet ved valg af letbane f.eks. ift.

nedbrud og vedligehold, hvor det i en BRT-løsning vil være muligt at køre busser af alternative ruter eller blot udenom en havareret bus, mens det for letbanen ikke er muligt at afvige fra det udlagte tracé.

I forhold til redningsveje er det ligeledes muligt for redningskøretøjer og andre køretøjer at benytte et BRT-tracé, mens et letbanetracé med græsarmring er vanskeligere for andre køretøjer at benytte. Omvendt kan det i forhold til fremkommelighed og rettidighed for letbanen ses som en fordel, at andre køretøjer ikke kan benytte tracéet.

Cyklister og fodgængere

Letbanens skinner udgør en risiko for cyklister, hvis vinklen mellem skinner og cyklisternes retning ikke er så vinkelret som mulig. Cyklister kan være udsatte, hvor skinner krydses eller i situationer, hvor der cykles langs skinner. Skinnerne kan ligeledes være uhensigtsmæssige for fodgængere ved fodgængerkrydsninger, hvor høje hæle, blindestok og andre spidse objekter kan gå ned i skinnen.

Flexarealerne kan gøres større i en letbane, hvilket kan give bedre plads til flere kørestolsbrugere og barnevogne. Et større flexareal kan desuden gøre det muligt at medtage cykler, såfremt der er kapacitet til dette.

Tilgængelighed for alle

Ved letbanen kan spor placeres med stor nøjagtighed ved perroner. Dette sikrer kort horisontal og vertikal afstand mellem tog og perron på strækninger, men kræver en lige strækning. De europæiske TSI-regler for banetrafik kan herved efterleves i forhold til afstand mellem perron og tog i forhold til god tilgængelighed.

Adgang mellem perron og busser kan forbedres markant i forhold til en almindelig buslomme, hvor det er vanskeligt at komme tæt på kantstenen. Dette skyldes, at BRT-busser kører parallelt ind på perronen. Da BRT-busser ikke er guidet af skinner eller lignende vil det dog variere, hvor tæt på perronen busserne kommer. For at sikre tilgængelighed for alle vil det være nødvendigt at benytte rampe for nogle brugergrupper. Anvendelsen af ramper vil påvirke rejsetiden.

På øvrige vejarealer vil BRT sikre bedre tilgængelighed end letbane. Letbanens skinner vil ved fodgængerkrydsninger være uhensigtsmæssige for nogle brugere i forhold til f.eks. komfort for kørestolsbrugere. Hvor letbanen er udlagt i græs på mindre trafikerede strækninger, kan det være mere vanskeligt at krydse letbanen.

Rejsetider med udvalgte transportmidler

Rejsetid er en konkurrenceparameter mellem transportmidlerne bil, cykel, bus, BRT og letbane. Det er undersøgt, hvilke rejsetider der kan forventes med de forskellige transportmidler. Rejsetiderne for busstrafik er for 2022 og er leveret af Midttrafik. Rejsetider for biltrafik er fra Aarhus Kommunes eget system, der registrerer rejsetider og fremkommelighed. Tal for biltrafikken er fra 2019. Det forventes, at rejsetiderne stiger over tid for biler og busser, da trængslen forventes at stige på vejnettet. Rejsetid for cyklister er fra ruteplanlæggeren i Google Maps.

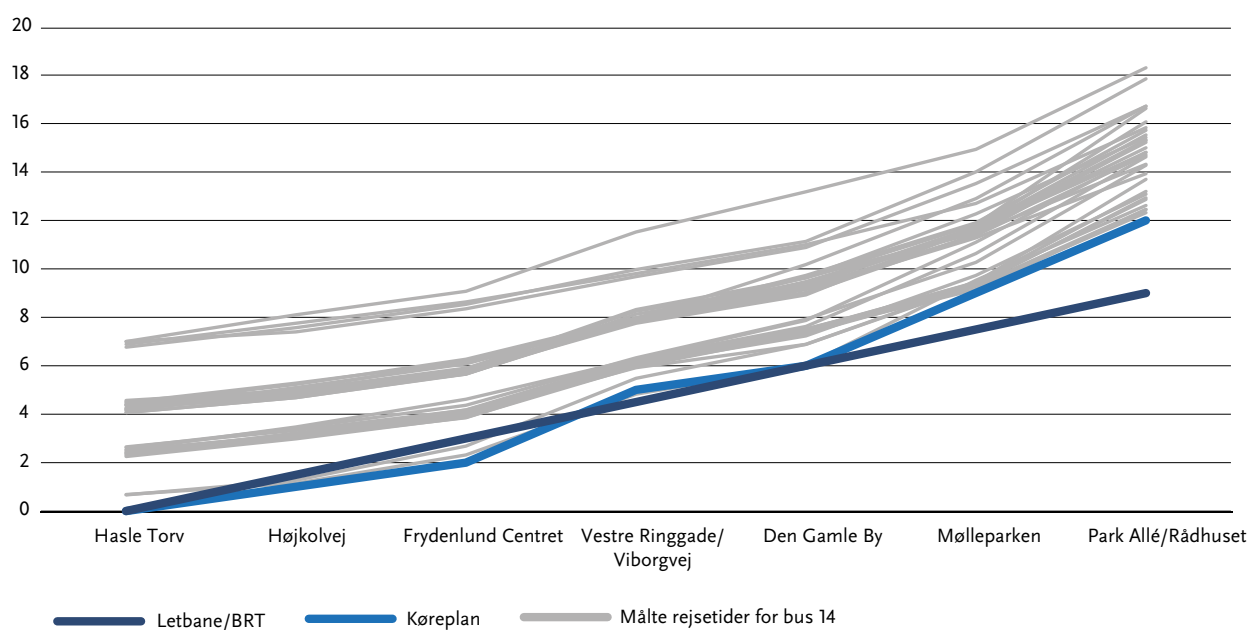
Der er undersøgt rejsetider på tre delstrækninger på Spanien-Brabrand. Banegårdspladsen er mål eller start på alle ruter. De øvrige punkter er Brabrand Station, Bazar Vest og Hasle Torv. Rejsetiderne er undersøgt i begge retninger. De forskellige køretøjer kører ikke samme rute, hvilket er særligt tydeligt på strækningen Brabrand Station-Banegårdspladsen, hvor busser og fremtidig letbane/BRT kører en væsentlig anden rute end bil og cykel for at betjene flest mulige passagerer.

Rejsetiderne er undersøgt i morgen- og eftermiddagsmyldretiderne. For busser er der stor variation i rejsetiden i myldretiden. Figur 12 viser afgang fra Hasle Torv mod Park Allé/Banegårdspladsen. Figuren viser, at stort set ingen busser kommer til tiden, da de er forsinkede grundet trængsel tidligere på strækningen. Dette er en af

årsagerne til, at det kan være vanskeligt at føre busstrafik ind i letbane- eller BRT-tracé, da de ikke kan planlægges præcist. Busserne afgår med op til 7 minutters forsinkelse, hvilket hermed allerede har forlænget rejsen for de rejsende.

På tidspunkter uden trængsel er bilen det hurtigste transportmiddel med undtagelse af strækningen Brabrand Station-Banegårdspladsen, hvor transporttiden på en fremtidig Silkeborgbane vil være konkurrencedygtig. (Det er dog endnu ikke afklaret, om der etableres et stoppested ved Brabrand Station ved en kommende lokalbane.) Bilen er naturligvis hurtigst, når der ikke er trængsel, idet bus, BRT og letbane skal stoppe for at samle passagerer op. Rejsetider for letbane/BRT og cykel er tæt på ens, dog giver det bakkede terræn længere rejsetid på cykel fra Bane-

MORGENMYLDRETID FRA HASLE TORV TIL PARK ALLÉ



FIGUR 12

Rejsetider for buslinje 14 fra Hasle Torv.

0 på akse er den køreplanfastsatte afgangstid. Bussen er således næsten altid forsinket i morgenmyldretiden.

gårdspladsen mod Hasle Torv eller Bazar Vest. Som det fremgår, er rejsetider for letbane og BRT ens, da det antages, at de prioriteres lige højt i trafiksystemet.

I morgenmyldretiden vil lokaltoget fra Brabrand Station være det hurtigste transportmiddel til/fra denne lokalitet. Letbane og BRT vil i myldretiden være konkurren-

cedygtig med bilen til/fra Bazar Vest og Hasle Torv. Rejsetiderne for bustrafikken er kraftigt påvirket af trængslen, hvilket for eksempel kan ses ved at rejsetiden mellem Bazar Vest og Banegårdspladsen varierer med op til et kvarter i morgenmyldretiden. Rejsetiderne i eftermiddagsmyldretiden er stort set de samme som i morgenmyldretiderne.

						
GENNEMSITLIG REJSETID I MINUTTER – INGEN TRÆNGSEL	CYKEL	BUS	BIL	BRT	LETBANE	SILKEBORG-BANEN
Brabrand Station til Banegårdspladsen	20	12-20	10	23	23	7
Banegårdspladsen til Brabrand Station	23	17-23	10	23	23	7
Bazar Vest til Banegårdspladsen	18	18-21	11	16	16	
Banegårdspladsen til Bazar Vest	23	16-22	11	16	16	
Hasle Torv til Banegårdspladsen	11	10-14	7	9	9	
Banegårdspladsen til Hasle Torv	16	9-12	7	9	9	

TABEL 6

Rejsetider på tidspunkter uden trængsel.

						
GENNEMSITLIG REJSETID I MINUTTER – MORGENMYLDRETIDEN	CYKEL	BUS	BIL	BRT	LETBANE	SILKEBORG-BANEN
Brabrand Station til Banegårdspladsen	20	27-33	18	23-25	23-25	7-9
Banegårdspladsen til Brabrand Station	23	26-32	16	23-25	23-25	7-9
Bazar Vest til Banegårdspladsen	18	25-40	20	16-18	16-18	
Banegårdspladsen til Bazar Vest	23	19-30	16	16-18	16-18	
Hasle Torv til Banegårdspladsen	11	9-18	11	9-11	9-11	
Banegårdspladsen til Hasle Torv	16	9-18	10	9-11	9-11	

TABEL 7

Rejsetider i morgenmyldretiden

Tidsforbrug i sving og kryds

Et letbanetog betragtes efter dansk lov som et køretøj, der skal køre efter de samme færdselsregler som andre køretøjer. Både letbane og BRT kører således som udgangspunkt efter den skilte/tilladte hastighed i byerne (letbanen kører nogle steder efter gældende jernbaneregler). De to køretøjers egenskaber igennem sving og kryds beskrives og sammenlignes i det følgende.

Hastigheden for letbanen i krydset ved Nørreport på letbanens etape 1 har været medvirkende til at give en opfattelse af, at letbaner svinger meget langsomt i skarpe sving. I Nørreportkrydset skyldes den langsomme hastighed dog primært, at krydset også er dimensioneret til godstog, hvilket giver en særlig sporgeometri. Ved letbanens etape 2 er krydset mellem Park Allé og Rådhuspladsen dimensioneret til en hastighed på 20 km/t. Den faktiske svinghastighed vil herved blive 15-20 km/t, hvilket vurderes at modsvare en BRT, da en højere svinghastighed vil være ukomfortabel for passagererne.

Letbanens acceleration og bremseevne er omtrent som en BRT. En BRT kan bremse hurtigere end en letbane ved katastrofeopbremsninger, men når der skal bremses frem mod stationer, tages der hensyn til passagerernes komfort ved nedbremsning. Der er således ikke en væsentlig forskel ved acceleration eller deceleration, da der skal sikres høj komfort i begge transportmidler.

Letbanetog er længere end BRT-busser. Dette giver en længere passagetid for letbanen igennem kryds, så længe hastigheden gennem krydset er den samme for de to køretøjer. Såfremt hastigheden er 20 km/t igennem krydset, vil et letbanetog have behov for cirka 2,5 sekunders længere grøntid end en BRT, når der sammenlignes et 32 m tog med en 18 m bus. Med 8 krydsninger pr. time pr. retning (16 krydsninger) giver dette 40 sekunders ekstra grøntid pr. time. Samlet set vil et BRT-koncept dog over en time medføre behov for mere grøntid i signalanlæg end letbane, idet kapaciteten som nævnt er lavere i BRT end i letbanetog, hvorfor der forventes behov for en højere frekvens med 12 afgang pr. retning. BRT vil herved have 8 ekstra krydsninger pr. time i forhold til letbane.

Ved hver krydsning er der sikkerhedstid og grøntid, hvilket skal indpasses i signalanlægget. Ved Ringgaden vil den samlede sikkerhedstid og grøntid være cirka 14 sekunder, hvilket giver 1 minut og 12 sekunders ekstra tid pr. time i signalanlægget i forhold til letbanen, når der er taget højde for letbanens ekstra længde. BRT'en har således samlet set et højere tidsforbrug i signalanlæg pr. time end letbanen.

Imidlertid er der en lang række andre faktorer, som har indflydelse på den reelle kapacitet i de forskellige kryds. Blandt andet i hvilket omfang øvrige trafikstrømme kan afvikles samtidig med letbanen eller BRT'en.



Visualisering af letbane på Karen Blixens Boulevard

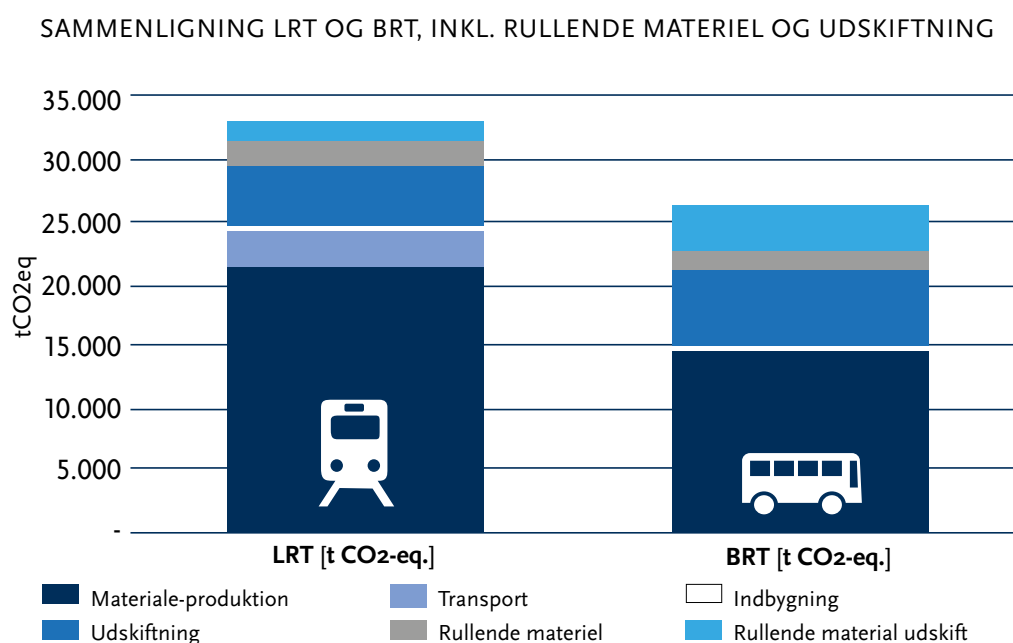
5.2 Klima og bæredygtighed

Der er udarbejdet et overslag over CO₂e-udledningerne for etablering af etape 2 for henholdsvis letbane og BRT. Analysen dækker over en sammenligning af CO₂e-udledningerne forbundet med etablering og drift af hhv. letbane og BRT. Analysen er foretaget ud fra et livscyklus-analyseperspektiv (LCA) og er gennemført ved hjælp af beregningsværktøjet InfraLCA. Beregningen er udført på baggrund af det stadie, som projektet befinder sig på medio 2022. Analysen er udelukkende en CO₂e-beregning for anlægget og siger ikke noget om projektets samlede CO₂e-påvirkninger eller den samlede bæredygtighed.

Det fremgår af figur 12, at anlægget af letbanesystemet på strækningen Spanien-Brabrand, som beskrevet i scenarie A, vurderes at udlede en samlet mængde CO₂e på 33.000 tons, mens anlæg af BRT-systemet på samme strækning vurderes at udlede 26.100 tons CO₂e.

Dette svarer til, at letbanen vil udlede ca. 25% mere CO₂e end BRT i anlægsfasen. Letbanen har en højere CO₂e-udledning forbundet med produktion af materialerne, mens BRT har en højere CO₂e-udledning for det rullende materiel og udskiftningen af dette. I hele anlægsfasen, dvs. fra udvinning af råmaterialer til anlæg, udleder letbanen 41% mere CO₂e end BRT. Alene det rullende materiel i BRT-systemet udleder næsten dobbelt så meget CO₂e som letbanen på grund af den hyppigere udskiftning af busser og asfalt sammenlignet med tog og skinner.

For BRT-systemet er der en større CO₂e-udledning forbundet med driften, hvilket hænger sammen med udskiftning af busser (levetid 12 år) og udskiftning af asfalt (levetid 16 år), hvor der for letbanen regnes med en levetid for skinner i 50 år og en levetid for tog på 30 år. Designoptimering og teknologiudvikling indenfor materialetyper, f.eks. udvikling af cement-



FIGUR 13

Sammenligning af LRT- og BRT-systemerne for de undersøgte faser over en 50-årig periode.

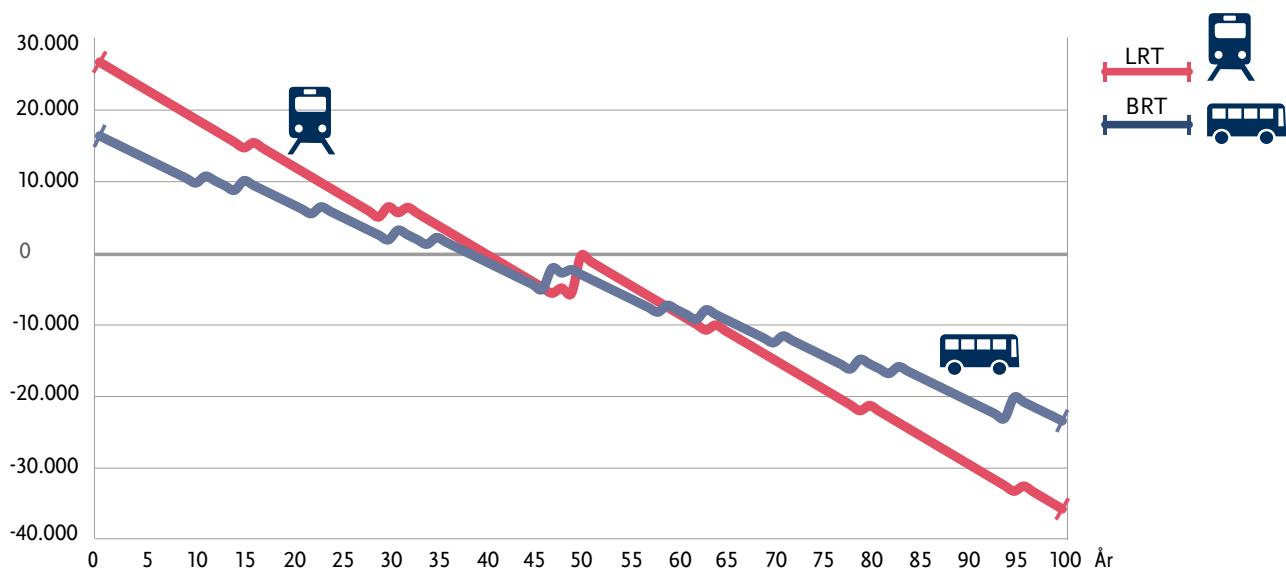
typer, der er mindre klimabelastende, kan ændre på forholdene i CO₂-udledningen for særligt letbanen, og bør undersøges nærmere i forbindelse med detailprojekteringen.

Ser man på den direkte reduktion i CO₂e i sammenhæng med CO₂e-udledningen fra etablering af anlægget kan der regnes på, hvor lang tilbagebetalingstiden ift. CO₂e-udledningen vil være. Af denne beregning ses det, at tilbagebetalingstiden for letbane vil være 41,4 år, mens den for BRT er 39,7 år. Besparelsen udregnes på baggrund af den forventede overflytning af passagerer fra bil til hhv. letbane og BRT. På trods af forskellene i CO₂e-udledningen forbundet med henholdsvis anlæg og drift, samt reduktion af udledning i forbindelse med overflytning, forventes der således at være en stort set ens tilbagebetalingstid for CO₂e-udledningen.

Figur 14 anskueliggør tilbagebetalingstiden for letbane og BRT, og viser herudover udviklingen i den samlede CO₂e-udledning og -besparelse over 100 år. Heraf ses det, at

BRT har en nettobesparelse over 100 år på 23.400 tons CO₂e, mens nettobesparelsen for letbane over 100 år vil være 35.700 tons CO₂e. Omregnes dette til en årlig besparelse vil denne være hhv. 234 tons CO₂e for BRT og 357 tons CO₂e for letbanen.

Beregningen af tilbagebetalingen er baseret på trafikmodellen, som ikke tager højde for den politiske vision om at skabe mindre trængsel og omstille til mere kollektiv trafik. Afsnit 4.4 udfolder dels usikkerheden forbundet med brug af trafikmodellen, og dels hvordan fordelingen af transportmidler kan sammensættes for at opnå CO₂-neutralitet i 2030. Udregnes tilbagebetalingen af anlægget af hhv. letbane og BRT på baggrund af en transportmiddelfordeling, hvor der tages højde for den politiske vision om at opnå CO₂-neutralitet i 2030, fremfor trafikmodellens beregnede potentiale for overflytning af ture, forventes det, at det vil være muligt at opnå en langt hurtigere tilbagebetalingstid for CO₂e-udledningen, uanset om der anlægges letbane eller BRT.



FIGUR 14

CO₂-udledning og -besparelse for hhv. letbane og BRT over 100 år. Grafen viser, at der – udover CO₂-udledningen forbundet med anlæg – er en CO₂-udledning forbundet med udskiftning af busser (levetid 12 år), asfalt (levetid 16 år), skinner (levetid 50 år) og tog (levetid 30 år), men at der efter en tilbagebetalingstid på hhv. 39,7 år for BRT og 41,4 år for letbane vil være en samlet CO₂-besparelse på hhv. 23.400 tons for BRT og 35.700 tons for letbane.

5.3 Visuel påvirkning af byrummet

I forbindelse med udarbejdelsen af miljøkonsekvensrapporten for etape 2 er der udarbejdet visualiseringer på baggrund af skitseprojektet for strækningen Spanien-Brabrand for både letbane og BRT. Visualiseringerne viser en situation minimum 10-15 år efter etablering, hvilket vil sige, at ny beplantning er illustreret som udvokset på visualiseringerne. Den illustrerede beplantnings størrelse er visualiseret efter optimale vækstforhold med det forbehold, at det ofte er svært at give bytræer ordentlige vækstvilkår.

I det følgende vises visualiseringerne for henholdsvis letbane- og BRT-løsningen på bestemte standpunkter i byen. Visualiseringerne viser den visuelle påvirkning af byrummet og har til formål at illustrere forskellene i den visuelle påvirkning alt efter hvilken løsning, der vælges.

Visualiseringerne er udarbejdet i forbindelse med skitseprojektet for Spanien-Brabrand og viser dermed kun standpunkter på strækningen Spanien-Brabrand. For de yderligere afgreninger til Tilst og Hasselager/Kolt, beskrevet i scenarie C og D, foreligger der ingen visualiseringer på nuværende tidspunkt.

Det vurderes, at både letbane og BRT vil have en stor visuel påvirkning på byrummet både i anlægsfasen, og når projektet står færdigt og er i drift. I denne sammenhæng fokuseres der på den visuelle påvirkning, når projektet er i drift. For vurdering af den visuelle påvirkning af byrummet i anlægsfasen henvises til miljørisikovurderingens kapitel om landskab (visuelle forhold).

I det følgende er indsat udvalgte visualiseringer, der er udarbejdet i forbindelse med miljøkonsekvensvurderingen. Visualiseringerne har til formål at vise forskellene i den visuelle påvirkning af byrummet for henholdsvis letbane og BRT.

Opsummering af den visuelle påvirkning ved letbane

I letbaneløsningen etableres en stor del af strækningen med et grønt tracé samt rumdannende elementer og udstyr, der bidrager til begrønning og en opdeling af de brede vejrum, så de opleves smallere end de er, hvorved vejrummet bliver mere overskueligt.

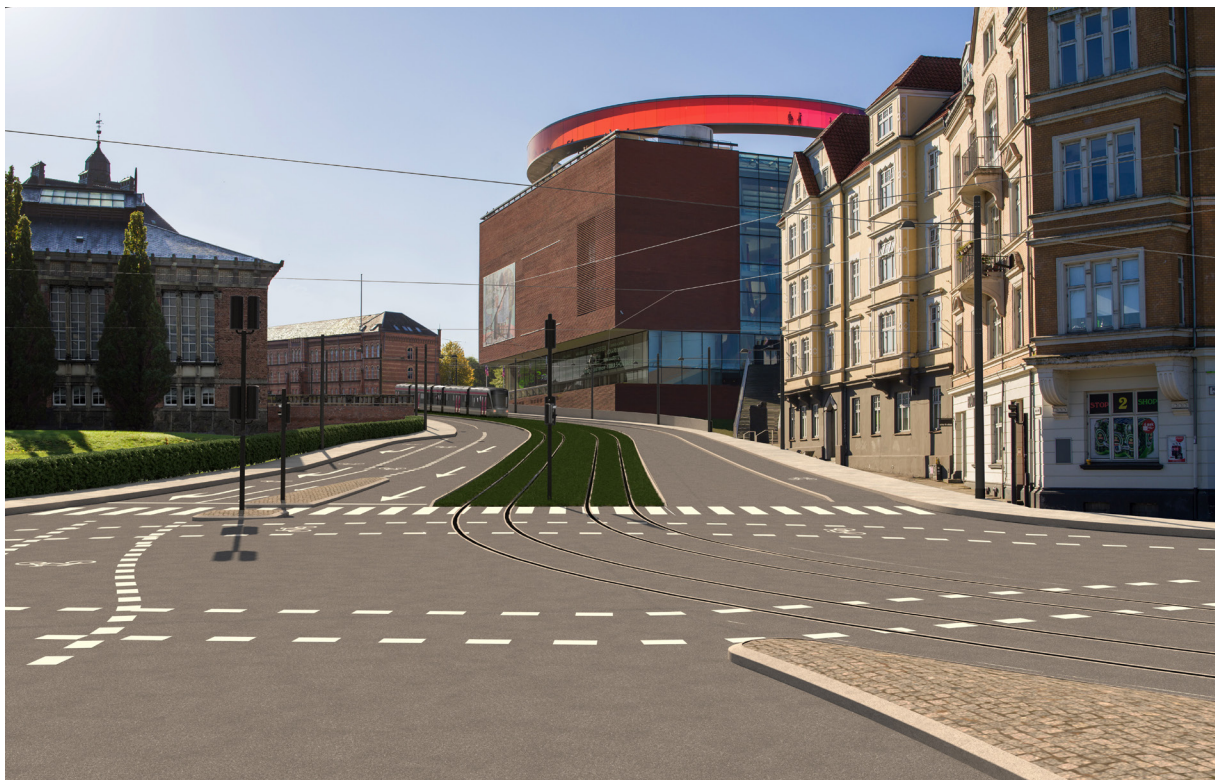
Der sker en omfattende rydning af eksisterende beplantning på strækningen, som dog i overvejende grad genplantes.

Generelt tilfører letbanen en ekstra trafiktype i by- og gaderum, der øger oplevelsen af kompleksitet langs strækningen.

Omformerstationer vurderes, på grund af deres størrelse og placering i kanten af de grønne områder, at få en stor påvirkning af byrummenes landskabelige udtryk.

Master, ledninger perroner og udstyr knyttet til letbanen vil påvirke byen visuelt og rumligt.

VESTER ALLÉ



Vester Allé ved Mølleparken

Fremtidige forhold med en letbaneløsning - set fra Vester Allé mod AROS



Vester Allé ved Mølleparken

Fremtidige forhold med en BRT løsning - set fra Vester Allé mod AROS

VIBORGVEJ



Viborgvej ved tilslutning Herningvej

Fremtidige forhold med en letbaneløsning - set fra Viborgvej mod nordlig retning



Viborgvej ved tilslutning Herningvej

Fremtidige forhold med en BRT løsning - set fra Viborgvej mod nordlig retning

RYHAVEVEJ



Ryhavevej

Fremtidige forhold med en letbaneløsning - set fra Ryhavevej mod Åby Ringvej



Ryhavevej

Fremtidige forhold med en BRT løsning - set fra Ryhavevej mod Åby Ringvej

Opsummering af den visuelle påvirkning ved BRT

Hvor letbanen overordnet set vil opleves som en rumdannende grøn struktur i byen, vil BRT-løsningen opleves som en udvidelse af byens asfaltbelagte vejarealer, hvilket vurderes at påvirke oplevelsen af vejrummet betydeligt med en oplevelse af et mere udflydende og bredere vejrum.

Der findes eksempler på, at der er etableret begrønning i tracé for BRT, men denne mulighed er ikke undersøgt i de specifikke scenarier i indeværende notat. Det vil derfor være nødvendigt at gennemføre yderligere undersøgelser for at belyse, om det vil være muligt at etablere begrønning i tracéet, f.eks. i forhold til redningskøretøjer, kørehastighed, økonomi o.lign. I figur 15 ses eksempel på begrønning af BRT-tracé.



FIGUR 15

BRT-tracé i Cambridge etableret med begrønning

(kilde: Bus routes and timetables (cambridgesciencepark.co.uk))

Med en BRT-løsning tilføres der ikke yderligere trafiktyper til vejrummet og kompleksiteten øges derfor ikke.

BRT-løsningen kræver etablering af vendepladser langs strækningen samt i strækningens ender, hvilket dog kun vurderes at påvirke den visuelle oplevelse af landskabet i begrænset grad.

Fraværet af master og køreledninger ved BRT muliggør uforstyrrede kig i byrummet.

Samlet set vurderes det, at de meget store asfaltarealer i en BRT-løsning forringer den samlede oplevelse af bylandskabet.

Opsummering af den visuelle påvirkning

Generelt vurderes både letbane og BRT at påvirke den visuelle oplevelse af landskabet i væsentlig grad. De to løsninger adskiller sig i forhold til, hvorledes de påvirker byrummet. Overordnet set kan det opsummeres, at letbanens største påvirkning af byrummet består i de master og ledninger, der opstilles og skal indpasses i byrummet, og kan påvirke kig, samt i det grønne tracé, letbanen kører i på en stor del af strækningen. BRT-løsningens største påvirkning består i en udvidelse af de asfaltbelagte vejarealer, som en BRT-løsning nødvendiggør.

For begge løsninger vil der dog også følge en væsentlig opgradering af de eksisterende byrum, gader og strækninger langs linjeføringen med nye belægnings, træer, opholdsarealer, cykelparkering, bedre forhold for gående og cyklister, herunder bredere fortovsarealer samt et familieskab i materialevalg, der skaber byrumsmæssig sammenhæng på tværs af det nye anlæg.

5.4 Ledningsomlægninger

Både letbanen og BRT'en medfører store og markante ledningsomlægninger i alle scenarier, da der som udgangspunkt stilles krav til, at alle eksisterende ledninger skal flyttes ud af tracéet. Dette gøres for at sikre et højt serviceniveau for letbanen/BRT, hvor både akutte og planlagte ledningsarbejder ikke påvirker driften.

Håndtering af ledninger er undersøgt på strækningen Spanien-Brabrand, og konklusionen er her, at dette medfører en omfattende ledningsomlægning langs hele strækningen. Både større ledninger (fjernvarmeledninger, regn- og spildevandsledninger samt elforsyning) og mindre ledninger (fiber, tele mv.) skal flyttes ud til de omkringliggende arealer. Selvom det ikke er undersøgt endnu, forventes dette også at være tilfældet ved afgreningerne til Hasle-Tilst og Banegårdspladsen-Hasselager i scenarie C og D.

Grundet lange udsigter til kloakseparering ved flere vejstrækninger i midtbyen (efter 2080), er det dog besluttet, at flere eksisterende fællesledninger kan blive liggende i deres nuværende placering under den kommende letbane/BRT, hvis de ellers overholder nogle forudsætninger ift. levetidsforlængelse, flytning af brønde, mulighed for reparation uden nævneværdig forstyrrelse af driften mv.

Størstedelen af ledningerne på strækningen ligger efter gæsteprincippet, hvilket betyder, at de respektive ledningsejere selv skal stå for udgiften til ledningsomlægningerne. Aarhus Vand og Kredsløb er de største ledningsejere langs strækningen, og begge er løbende blevet inddraget i

planlægningsprocessen. De undersøger i efteråret 2022 de økonomiske konsekvenser ved etableringen af både letbane og BRT i scenarie A og B. Da ledninger håndteres ens ved en letbane og BRT, forventes ingen store forskelle i omkostninger til dette, men der forventes dog besparelser ved flere eksisterende ledningsbygværker. Af hensyn til letbanens stabilitet, skal flere større bygværker i især midtbyen forstærkes. Flere af disse skal ikke forstærkes ved en BRT, da bygværkerne ikke påvirker dennes stabilitet.

Selvom ledninger ved en BRT med et højt serviceniveau skal omlægges som ved en letbane, er der dog i højere grad mulighed for at dispensere fra dette krav, da en BRT har øget fleksibilitet ift. midlertidige omlægninger. På strækninger hvor det ikke anses som proportionelt med omkostningerne til ledningsomlægninger, kan denne dispensation overvejes.

Hvis en BRT skal kunne omlægges kræves investeringer i det vejnet, hvortil ruten omlægges. Regulariteten og rejsetiden påvirkes desuden i den periode ruten omlægges.

Ud fra en betragtning af ledningernes restlevetid og sandsynligheden for brud ved de enkelte krydsninger, har Kredsløb ytret ønske om dispensation for deres ledninger i bl.a. Vester Allé, Thorvaldsensgade og Ringvejen. Ledningsejerne er ved at opføre mulige besparelser ved sådan en dispensation.

5.5 Støj og vibrationer

Som en del af den udarbejdede miljøkonsekvensvurdering for letbane/BRT på etape 2 er der foretaget en vurdering af støj- og vibrationsgener, herunder i relation til menneskers sundhed, både i anlægs- og driftsfasen. Denne vurdering er foretaget på baggrund af det udarbejdede skitseprojekt for letbane og BRT på strækningen Spanien-Brabrand, og indbefatter ikke afgreningerne i scenarie C og D.

Det vurderes, at der ikke er forskel i påvirkningen fra støj og vibrationer for letbane og BRT i forbindelse med anlægsfasen. For begge løsninger vurderes det, at der kan opstå moderate gener for naboerne i forbindelse med anlægsfasen, især i de tilfælde, hvor det er nødvendigt at udføre aften- og nattearbejde. Det vurderes, at konsekvenserne for menneskers sundhed er begrænset i forhold til støj og ubetydelig i forhold til vibrationer.

I driftsfasen vurderes det, at der er forskel på letbane- og BRT-løsningen, idet der for letbanen kan opstå væsentlige konsekvenser i forhold til vibrationer og strukturlyd, hvis der ikke etableres afværgende tiltag. Det vurderes, at påvirkningen fra vibrationer og strukturlyd vil være ubetydelig, hvis de afværgende tiltag nedbringer niveauet til under de vejledende grænseværdier.

En BRT-løsning vil ikke påvirke omgivelserne med vibrationer og for denne løsning vil der derfor ikke være en påvirkning af menneskers sundhed.

For både letbane- og BRT-løsningen vurderes det, at påvirkningen af menneskers sundhed fra støj vil være positiv, men dog uvæsentlig, idet antallet af støjbelastede boliger reduceres i forhold til den nuværende situation.

5.6 Drivmidler

Batteridrift er ved at være den foretrukne tilførelse af energi for bybusser i mange danske kommuner ved nye driftsaftaler. Batteridrift er desuden på vej på forsøgsbasis i lokaltog. Hvordan letbane eller BRT tilføres strøm har betydning for design af nye etaper, men også behovet for at ændre på eksisterende materiel. I det følgende beskrives de forskellige teknologier.

BRT

Både letbane og BRT forventes at anvende el som drivmiddel. Batterier til busser er en allerede afprøvet teknologi, der er ved at erstatte dieselbusser i bybusdriften og på nogle regionale busruter. Elbusser har en rækkevidde på cirka 300 km, hvilket naturligvis er afhængig af batteristørrelsen samt rute. BRT-linjer forventes at anvende batteri som energiforsyning.

Jernbanetog

Jernbanetog der udelukkende energiforsynes via batteri, er en teknologi, der er på vej i jernbanetog i lokalbaner i Europa herunder i Danmark fra 2024. Erfaringerne er dog endnu begrænsede. Midtjyske Jernbaner har netop gennemført et udbud af eldrevne lokaltog. Jernbanetog er tungere end letbanetog, og kører med højere hastighed på op til 120 km/t. Jernbanetogene kan ifølge vinderne af udbuddet køre 80 km med 120 km/t fuldt lastet efter 15 års brug af batteriet. Dette indikerer en stor udvikling indenfor batteriteknologi, men kan ikke umiddelbart overføres til letbaner, da jernbanetog har en væsentlig højere aksellast, der tillader større batterier, og har en anderledes ladeinfrastruktur, der f.eks. lader med 25 kV, hvor letbanetog lader med 750 V i Danmark.



Visualisering af BRT på Sønder Allé

Letbanetog

I etape 1 anvendes kørestrøm fra køreledninger, da det var og fortsat er, den teknologi, der er mest udbredt og velafprøvet. Batterier anvendes i visse udenlandske letbaner på hele strækninger eller dele heraf, men er ikke afprøvet i et livscyklusperspektiv. Udgangspunktet for energiforsyning af letbanetog kan således enten være 100% kørestrøm eller en kombination af kørestrøm og batteridrift. Batteridrift er ikke nær så udbredt som drift med kørestrøm, men udviklingen indenfor batterier gør det interessant at undersøge muligheden og følge udviklingen. Valget af strømforsyning af letbanen har betydning for anlægs- og driftsudgifterne, for driftssikkerheden og påvirkningen af byrum, og kan have betydning for den eksisterende flåde af letbanetog. Løsninger vil altid være specifikke og tilpassede de enkelte projekter, og være afhængige af f.eks. trafikoplægget, geografi med videre. Det vurderes, at den eksisterende flåde af letbanetog ikke kan ombygges til batteridrift.

Batteri ift. køreledninger

Et system med kørestrøm vil have energitab i køreledningerne og begrænset mulighed for opsamling af bremseenergi, mens et system med batteri vil have ladetab og en højere vægt af tog, men mulighed for opsamling af al bremseenergi. Samlet set er det svært at sige, hvilket system der generelt er mest energieffektivt.

Batterier har en begrænset levetid, hvilket indebærer tilbagevendende udgifter til udskiftning.

I modsætning til batteridrift er der vedligeholdelsesomkostninger på køreledningsanlæg og afledte omkostninger fra køreledningsanlæg til andre vedligeholdelsesopgaver, der kræver kørestrømsafbrydelser. Køreledninger kan desuden have betydning for brand og redning, ligesom

de kan indebære begrænsninger for tilstødende veje og naboejendommers anvendelse og drift.

Systemvalg ift. Aarhus Letbane etape 1

Med en forudsat integration af det samlede letbanenet i Aarhus Letbane vil alle letbanetog i princippet komme til at køre på alle strækninger. En udbygning af letbanenettet bør derfor ske med løsninger, der sikrer denne integration – samme løsning bør udbredes til hele nettet og alle letbanetog. En ændret teknologi for strømforsyning vil herved medføre udgifter til indkøb af nye letbanetog, da Aarhus Letbane vurderer, at de eksisterende ikke kan ombygges grundet nye godkendelseskrav.

Der beskrives tre scenarier, hvor kørestrøm på etape 1 fastholdes, mens kommende etaper med letbane enten har:

1. 100% kørestrøm (med kørestrømsanlæg med køreledninger)
2. Både kørestrøm og batteri
3. 100% batteri (med batteri forstås enten batterier, superkondensatorer eller en kombination heraf)

Det er en forudsætning for at kunne afvikle det forudsatte trafikale oplæg, samt at kunne afvikle driften smidigt, at alle letbanetog kan køre på alle strækninger. For hhv. alternativ 2 og 3 gælder, at anvendelse af to teknologier vil medføre, at eksisterende etape 1 letbanetog skal ombygges eller udskiftes, og nye letbanetog skal indkøbes til at anvende både batteri og kørestrøm, hvilket vil være fordyrende ved indkøb af letbanetog eller ombygning. Undersøgelser af muligheden for at ombygge eksisterende letbanetog pågår ved Aarhus letbane som en del af arbejdet med indkøb af nye letbanetog til udvidet drift på etape 1.

1. Nye etaper: 100% kørestrøm

Tog har igennem mere end 100 år anvendt strøm fra køreledninger ophængt over sporene. Løsningen er en kendt teknologi, der er meget driftssikker i byområder. Et system med kørestrøm på nye etaper vil være fuldt integrerbart med de eksisterende systemer og flåde af letbanetog.

Master og ledninger til kørestrøm har en visuel påvirkning af byrum og landskab. Hvor der er mulighed for det, vil facadeophæng begrænse den visuelle påvirkning.

2. Nye etaper: Både kørestrøm og batteri

Systemer uden køreledninger anvendes i nogle byer på kortere strækninger ved brug af batteri. En kombination af de to forsyningsprincipper kan friholde for eksempel historiske byrum for køreledninger og master. Valg af placering og længde af den køreledningsfri strækning giver bindinger i forhold til placering af ladepunkter, herunder omformerstationer.

Da alle tog skal kunne køre på alle strækninger, vil der være en vis mængde kørsel med tunge/pladskrævende batterier, der ikke bliver nyttiggjort, hvor der er kørestrøm. Det vil være nødvendigt at udskifte eksisterende tog med nye tog ved denne løsning.

3. Nye etaper: 100% batteri

Anvendelse af batteri kræver, med den nuværende teknologi, at letbanetog lades eksempelvis i forbindelse med udveksling af passagerer - korte hurtige opladninger som passes ind i en køreplan uden (betydende) køretidsforlængelse. Da der er tale om ny teknologi, er det vigtigt at gøre opmærksom på, at der skal indsamles erfaringer i den faktiske drift. Udviklingen for lokaltog er endnu uafprøvet og kan ikke overføres direkte til letbanetog.

Som for kørsel med kortere køreledningsfri strækninger, vil kørsel med batteri på nye etaper medføre kørsel på eksisterende strækninger, hvor batterier ikke bliver nyttiggjort. Tog vil herved have en højere vægt og herved et højere energiforbrug i forhold til i dag.

Ved udelukkende at anvende batteri til driften på fremtidige etaper kan antallet af omformerstationer til kørestrøm sandsynligvis reduceres, afhængigt af hvor mange ladepunkter langs ruten der er nødvendige.



Visualisering af Letbane på Park Allé

5.7 Køre- og rejsekomfort

Det er grundlæggende vanskeligt at sammenligne letbane og BRT i forhold til komfort. Dette skyldes både, at den oplevede komfort er en subjektiv faktor, og at de fleste byer vælger enten letbane eller BRT som system og dermed ikke har begge dele. I byer der har begge systemer i drift er systemerne ikke introduceret samtidig, og systemernes alder, stand og generelle standard er svære at sammenligne. Ligeledes er et kollektivt trafiksystem påvirket af den lokale kontekst, den er en del af, og derfor er det yderligere vanskeligt at sammenligne et letbanesystem i én by med et BRT-system i en anden.

Kørekomfort

Den forventede kørekomfort for letbanen på kommende etaper kan direkte sammenlignes med komforten under kørslen i letbanens eksisterende etape 1.

Anlæg af letbane giver mulighed for meget præcise og stabile spor. Det betyder, at man kan opnå en meget jævn og komfortabel kørsel sammenlignet med normal bustrafik.

Aarhus Letbane er på den indre strækning anlagt efter en metode med skinner monteret på betonunderlag og man har herved opnået et meget højt kørekomfortniveau.

Generelt vil komforten i BRT være afhængig af, hvilken standard der vælges for et BRT-system både i forhold til materiel og belægning. BRT-koncept Aarhus (bilag 1) udlægger et højklasset BRT-system med en forventet høj komfort.

I en BRT-løsning vil kørekomforten i høj grad være en konsekvens af den valgte belægning. Vælges en belægning i beton kan dette give en meget jævn overflade, som sikrer en høj komfort under kørsel. Betonsporet giver mindre vedligehold, men det er væsentligt dyrere at anlægge og stiller også større krav til ledningsflytninger. I mange BRT-løsninger er derfor valgt at anvende en almindelig asfaltbelægning, men det kan forringe kørekomforten, som er afhængig af kvaliteten og vedligehold af asfalten. Undersøgelserne for scenarie B er udarbejdet på baggrund af en løsning med asfaltbelægning.

Et BRT-system vil bestå af moderne el-busser. Komfortniveauet ved busperroner vil være højere i BRT end i almindelige led-elbusser, da busserne vil køre parallelt med perronen og ikke svinger ind og ud af buslommer.



FIGUR 16

BRT i Metz etableret med betonspor (kilde: Van Hool)

Rejsekomfort

Både for letbane og BRT er der stor frihed til at designe og fastlægge indretningen, hvor der i forskelligt omfang kan lægges vægt på sidde- og ståpladser og arealet af flexrummet. Figur 12 viser indretning af flexrum i en 24 m BRT-bus i Metz og figur 13 viser flexrum i Aarhus Letbanes eksisterende tog på etape 1.

For begge køretøjers vedkommende er det normalt, at indretning, design og farvevalg fastlægges i samarbejde med producenten.

Flexrum er generelt større i letbaner. Hjulkasser i BRT giver nogle sæder, der er placeret højt.



FIGUR 17

Indretning af flexrum i 24 m BRT i Metz (Kilde: Van Hool)



FIGUR 18

Indretning af flexrum i Aarhus Letbanes tog på etape 1 (Kilde: Aarhus Letbane)

6

6. OPSUMMERING

Opsummering

Som det fremgår af indeværende notat, adskiller letbane og BRT som transport-system sig fra hinanden ved flere større og mindre emner. I notatet er gennemgået emner, der vurderes relevante for at belyse muligheder og konsekvenser ved de forskellige systemer og scenarier. I det følgende er de primære fordele og ulemper samt forskelle mellem letbane og BRT kort opsummeret.

Letbane

- Den primære fordel for etablering af flere letbanelinjer i Aarhus er sammenhængen i det højklassede kollektive rutenet. Ved at etablere letbanelinjer til Brabrand, Tilst og Hasselager kan systemet kobles sammen med letbanens etape 1. Dette giver den fordel, at Brabrand, Tilst og Hasselager kan kobles til en lang række af byens vigtige funktioner langs letbanens etape 1. Et sammenhængende højklasset trafiksystem er visionen i Samspil 2030.
- Letbanen vurderes desuden at give bedre komfort for brugerne, men der foreligger ikke undersøgelser, der entydigt påviser effekten i forhold til at kunne tiltrække flere passagerer.
- Det anses for nemmere at opnå høj rettidighed for letbanen, da letbanen bedre kan prioriteres i signalanlæg, da den høje kapacitet i tog medfører behov for færre afgange.
- Som en del af scenariet for etablering af letbane indgår det, at enkelte buslinjer afkortes ved henholdsvis Halse Torv og Viby Torv. Dette kan opleves som en forringelse for brugerne på de ruter, der afkortes.
- I forhold til den visuelle påvirkning af bymiljøet giver letbanen mulighed for græsarmering eller fuldt græstracé, hvilket bidrager til begrønning og en opdeling af de brede vejrum, så de opleves smallere end de er, hvorved vejrummet bliver mere overskueligt. Letbanens master og kørestrømsledninger giver dog en negativ påvirkning.
- I anlægsfasen har letbanen en højere CO₂-udledning end BRT på grund af materialeproduktionen, mens der i driftsfasen er en højere CO₂-udledning forbundet med en BRT-løsning på grund af materiellets levetid. Begge systemer har en tilbagebetalingstid for CO₂-udledningen på ca. 40 år, hvilket betyder, at letbanesystemet – set over et længere tidsperspektiv og indregnet potentialet for overflytning af bilture – har en lavere CO₂-udledning.

BRT

- Den primære fordel for BRT i forhold til letbane er, at BRT er en væsentligt billigere udbygning af det højklas-sede kollektive trafiksystem. BRT er omtrent halvt så dyrt at etablere som letbane. Systemet er desuden billigere i drift.
- I BRT-tracéet kan alle buslinjer gives et trængselsfrit tracé, hvilket dog kan påvirke fremkommeligheden for BRT-linjerne.
- Ved en BRT med et højt niveau skal ledninger i jorden omlægges som ved en letbane. Der kan dog i højere grad være mulighed for at centrale forsy-ningsledninger, der er meget omkost-ningstunge at flytte, bliver liggende, da en BRT kan omlægges i tilfælde af vedligehold. Der skal dog tages højde for, at hvis en BRT skal kunne om-lægges, kræver det investeringer i det vejnet, hvortil ruten omlægges.

- En BRT er mindre sårbar end letbane overfor nedbrud af en enkelt bus, da BRT kan køre udenom, men regulari-tet og rejsetid vil påvirkes ligesom det eksisterende vejnet skal være tilpasset muligheden for omlægninger.
- I forhold til den visuelle påvirkning af bymiljøet vil BRT øge vejens bredde og "asfalt-udtrykket" af infrastruk-turen, hvilket giver en negativ visuel påvirkning.

I det følgende er de fire scenarier, som fremgår af notatet, opstillet i en simpel tabel med udvalgte relevante faktorer.

Tabellens formål er at opstille flere af de vigtige faktorer direkte overfor hinanden for at belyse valg og fravalg ved de enkelte scenarier.



Visualisering af Letbane - Banegårdspladsen set fra Ryegade



FAKTORER	SCENARIO A	SCENARIO B	SCENARIO C	SCENARIO D
RUTE	SPANIEN-BRABRAND	SPANIEN-BRABRAND	HOVEDLINJER TIL BRABRAND, TILST OG HASSELAGER/KOLT	HOVEDLINJER TIL BRABRAND, TILST OG HASSELAGER/KOLT
LRT/BRT	LRT	BRT	LRT	BRT
Integration i eksisterende højklaset kollektiv trafik	Integration med letbanens etape 1. 65% af passagererne forventes at blive siddende i letbanen på tværs af Banegårdspladsen.	Kræver skifte mellem BRT og letbanens etape 1. Manglende sammenhæng kan betyde at potentielle brugere vælger andre transporttilbud.	Integration med letbanens etape 1. Gode forbindelser på tværs af byen mellem forstæder og f.eks. Skejbyområdet.	Der kan etableres dobbeltradier mellem BRT-ruter, men der kræves skifte mellem BRT og letbanens etape 1.
Påvirkning af regionalbusser og bybusser	Forventet afkortning af A-buslinje ved Hasle Torv.	Forventet afkortning af A-buslinje ved Hasle Torv. Ved ekstra investeringer i forbindelsen til Tilst kan forbindelsen muligvis integreres i BRT-tracéet.	Forventet afkortning af buslinjer ved Hasle Torv og Viby Torv.	Øvrige busser kan muligvis køre i BRT-tracéet. Dette vil dog påvirke fremkommeligheden for BRT.
Vendepladser	-	Kræver arealbehov ved Rutebilstationen, påvirker byudviklingsmuligheder.	-	Vendeplads kan etableres ved endestationer.
Frekvens på indre strækning (Hasle Torv-Banegårdspladsen)	8 afgang/time	12 afgang/time Højere frekvens end scenarie A vil opleves som attraktivt for brugerne.	12 afgang/time	18 afgang/time Højere frekvens end scenarie C kan opleves som attraktivt for brugerne, dog vil det være vanskeligt at sikre regularitet.
Påvirkning af øvrig trafikafvikling	Kapacitet for øvrig trafik i signalanlæg reduceres.	Højere frekvens end scenarie A kan opleves som attraktivt for brugerne, dog vil det medføre større forsinkelser for øvrig trafik.	Kapacitet for øvrig trafik i signalanlæg reduceres.	Højere frekvens end scenarie C kan opleves som attraktivt for brugerne, dog vil det medføre større forsinkelser for øvrig trafik eller begrænset mulighed for at prioritere BRT.
Kapacitet (personer) pr. time pr. retning på indre strækning (Hasle Torv-Banegårdspladsen)	1.280 personer	1.080 personer	1.920 personer	1.620 personer
Anlægsoverslag (mio. kr.)	1.680-2.270*	935-1265*	4.405-6.810**	2.120-3.250**
Drifts- og vedligeholdelsesudgifter over 50 år (mio. kr.)	702	394	-	-
Regularitet	Der kan sikres høj regularitet, hvis LRT prioriteres i signalanlæg.	Der kan sikres høj regularitet, hvis BRT prioriteres i signalanlæg.	Der kan sikres høj regularitet, hvis LRT prioriteres i signalanlæg.	Der kan være vanskeligt at sikre høj regularitet, da antallet af afgang pr. time gør det vanskeligt at prioritere BRT i signalanlæg, og da bybusser, der kører ind i tracéet, vil være vanskelige at koordinere med BRT-afgange.



FAKT	SCENARIO A	SCENARIO B	SCENARIO C	SCENARIO D
RUTE	SPANIEN-BRABRAND	SPANIEN-BRABRAND	HOVEDLINJER TIL BRABRAND, TILST OG HASSELAGER/KOLT	HOVEDLINJER TIL BRABRAND, TILST OG HASSELAGER/KOLT
LRT/BRT	LRT	BRT	LRT	BRT
Påvirkning af cyklister	Cykelmedtagning kan være muligt i letbane-tog, da flexarealer er større end BRT. Hvor cyklister skal krydse letbanespor, er der en risiko for uheld, hvis krydsning ikke sker så vinkelret som muligt.	Medtagning af cykler vurderes vanskeligt pga. flexrummets størrelse.	Cykelmedtagning kan være muligt i letbane-tog, da flexarealer er større end BRT. Hvor cyklister skal krydse letbanespor, er der en risiko for uheld, hvis krydsning ikke sker så vinkelret som muligt.	Medtagning af cykler vurderes vanskeligt pga. flexrummets størrelse.
Tilgængelighed for alle	Letbanen er tilgængelig i forhold til europæiske regler på perroner på lige strækninger. Der vil dog være en vertikal afstand på op til 5 cm fra perron til tog. Hvor fodgængerfelter krydser letbaneskin-ner, er der en ujævn-hed.	BRT er fuldt tilgængelig med automatiske ramper. Når disse skal slås ud, er der en min-dre forsinkelse.	Letbanen er tilgængelig i forhold til europæiske regler på perroner på lige strækninger. Der vil dog være en vertikal afstand på op til 5 cm fra perron til tog. Hvor fodgængerfelter krydser letbaneskin-ner, er der en ujævn-hed.	BRT er fuldt tilgængelig med automatiske ramper. Når disse skal slås ud, er der en min-dre forsinkelse.
Gennemsnitlig rejsetid i myldretiden Brabrand St.-Banegårdspladsen Banegårdspladsen-Brabrand Station Bazar Vest-Banegårdspladsen Banegårdspladsen-Bazar Vest Hasle Torv-Banegårdspladsen Banegårdspladsen-Hasle Torv	23-25 min. 23-25 min. 16-18 min. 16-18 min. 9-11 min. 9-11 min.	23-25 min. 23-25 min. 16-18 min. 16-18 min. 9-11 min. 9-11 min.	-	-
CO₂e-udledning ved anlæg og drift (ton)	33.000	26.100	-	Ved afgrening til Has-selager køres i blandet tracé på en strækning. Her vil CO ₂ e-aftrykket formentligt være lavt ved anlæg.
Potentiale for årlig reduktion af CO₂e ved flyttede bilture	-800 tons Letbane har en højere CO ₂ e-udledning ved anlæg. Forskellen udlignes over 40 års drift.	-660 tons BRT har lavere CO ₂ e-aftryk ved anlæg. Forskellen udlignes over 40 års drift.	-	-
Visuel påvirkning	Begrønning og opde-ling af vejrum giver en positiv påvirkning. Master og køre-strømsledninger giver en negativ påvirkning.	Fravær af master og kørestrømsled-ninger er giver positiv påvirkning. De brede asfalterealer giver en negativ påvirkning.	Begrønning og opde-ling af vejrum giver en positiv påvirkning. Master og køre-strømsledninger giver en negativ påvirkning.	Fravær af master og kørestrømsled-ninger er giver positiv påvirkning. De brede asfalterealer giver en negativ påvirkning.



FAKTORER	SCENARIO A	SCENARIO B	SCENARIO C	SCENARIO D
RUTE	SPANIEN-BRABRAND	SPANIEN-BRABRAND	HOVEDLINJER TIL BRABRAND, TILST OG HASSELAGER/KOLT	HOVEDLINJER TIL BRABRAND, TILST OG HASSELAGER/KOLT
LRT/BRT	LRT	BRT	LRT	BRT
Ledningsomlægninger	Alle mindre og større ledninger skal om-lægges eller i særlige tilfælde forstærkes i konstruktionen.	Alle mindre ledninger skal omlægges for at minimere fremtidige forstyrrelser og reparationer. Større ledninger skal også omlægges. Hovedforsyningsledninger kan bevares i tracéet, hvis der kan være alternative linjeføringer ved reparationer.	Alle mindre og større ledninger skal om-lægges eller i særlige tilfælde forstærkes i konstruktionen.	Alle mindre ledninger skal omlægges for at minimere fremtidige forstyrrelser og reparationer. Større ledninger skal også omlægges. Hovedforsyningsledninger kan bevares i tracéet, hvis der kan være alternative linjeføringer ved reparationer.
Støj og vibrationer	Ved anlægsarbejdet kan der opstå moderate gener i forbindelse med støj og vibrationer. Letbanen skal etableres med afværgende tiltag for at undgå væsentlige konsekvenser ift. vibrationer og strukturlyd. Afværgende tiltag vil betyde, at påvirkningen herfra er ubetydelig.	Ved anlægsarbejdet kan der opstå moderate gener i forbindelse med støj og vibrationer. BRT har ingen vibrationspåvirkninger.	-	-
Køre- og rejsekomfort	Kørekomfort kan sammenlignes med etape 1. Præcise og stabile spor giver meget jævn og komfortabel kørsel. Flexrum er større i letbanen og giver fleksibilitet ift. indretning.	Kørekomfort afhænger af belægning. Vælges belægning i beton giver dette meget jævn overflade og høj komfort. Asfaltbelægning forringer kørekomforten. Hjulkasser giver mindre fleksibilitet i indretning af flexrum og led.	Kørekomfort kan sammenlignes med etape 1. Præcise og stabile spor giver meget jævn og komfortabel kørsel. Flexrum er større i letbanen og giver fleksibilitet ift. indretning.	Kørekomfort afhænger af belægning. Vælges belægning i beton giver dette meget jævn overflade og høj komfort. Asfaltbelægning forringer kørekomforten. Hjulkasser giver mindre fleksibilitet i indretning af flexrum og led.

TABEL 8

- Angiver at faktoren ikke er beregnet eller ikke er relevant.

* Projekter i fase 2 er angivet med et interval på +/-15%.

** Projekter i fase 1 er budgetterne angivet i et interval på +/- 25%.

Fremtidens højklassede kollektive trafik er i høj grad med til at forme byens udvikling. Som det fremgår af tabellen og den korte opsummering, er der fordele og ulemper ved både letbane- og BRT-systemet, ligesom de fire opstillede scenarier for rutenet giver forskellige muligheder og har forskellige konsekvenser for byens rum.

For at afhjælpe de forventede problematikker i byen angående trængsel, og det politiske mål om at reducere transportbehovet for at reducere udledningen af

fossile brændstoffer, er det nødvendigt, at der skabes et sammenhængende højklasset trafiksystem, som er visionen i Samspil 2030. Uanset om det ønskes at arbejde med letbane eller BRT som transportsystem, er det afgørende, at der ikke blot tænkes i integrationen med eksisterende kollektiv trafik, men i lige så høj grad på, hvordan der kan skabes forbindelser mellem de forskellige områder i byen i et sammenhængende og attraktivt kollektivt transportsystem.



OVERSIGT OVER BILAG

BILAG 1 BRT-koncept Aarhus

VISUALISERING FORSIDE:

Thorvaldsensgade ved Aarhus Å.

Fremtidige forhold med en LRT/BRT løsning

- set fra Åparken mod Vester Allé

TEKNIK OG MILJØ
Aarhus Kommune
Karen Blixens Boulevard 7
8220 Brabrand

