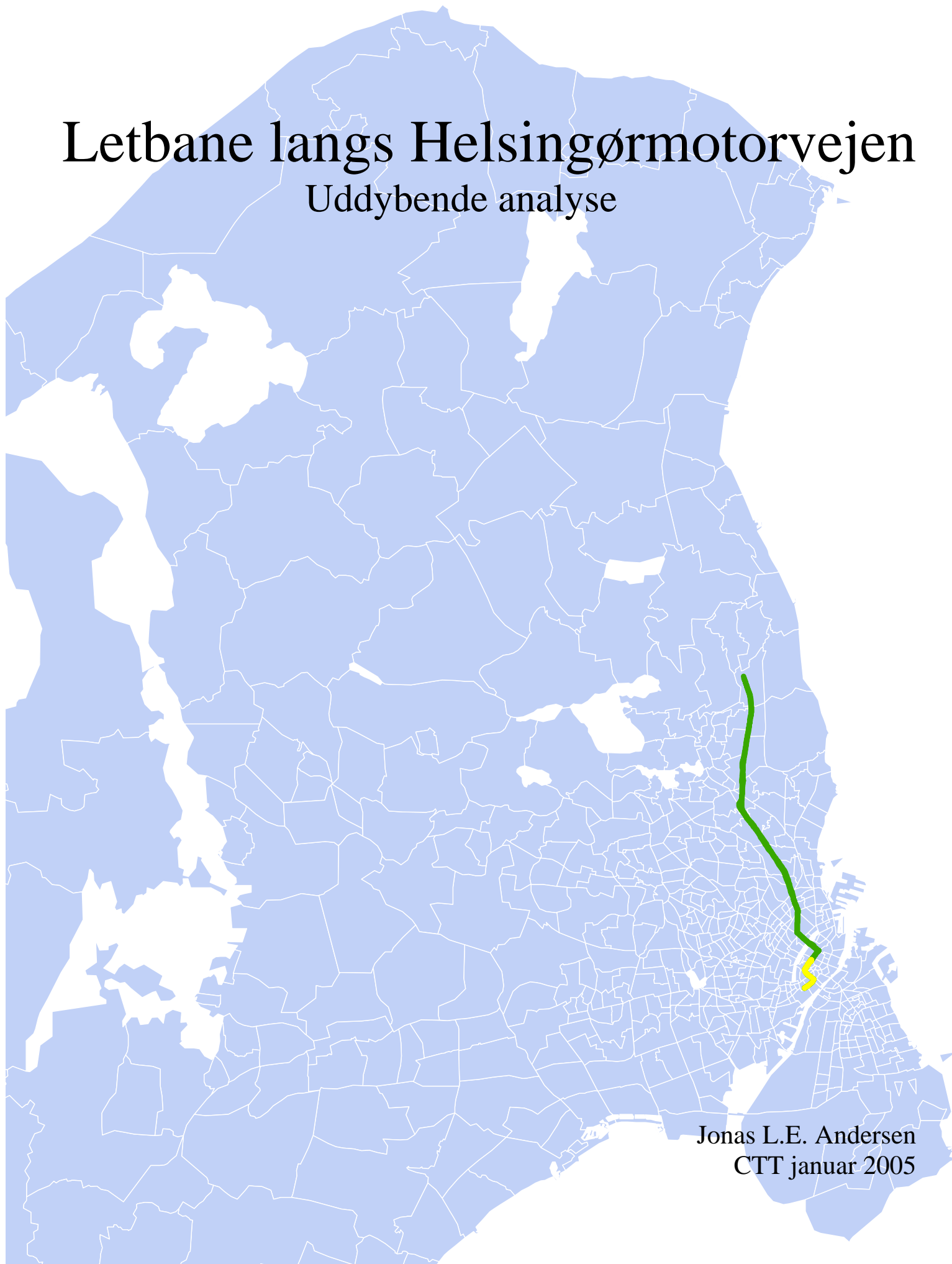


Letbane langs Helsingørmotorvejen

Uddybende analyse



Jonas L.E. Andersen
CTT januar 2005

Forord

Denne rapport omhandler undersøgelser af en letbaneløsning langs Helsingørmotorvejen.

Rapporten udgør den afsluttende opgave i et specialprojekt med titlen: Letbane langs Helsingørmotorvejen – uddybende analyse. Den bygger videre på to tidligere rapporter: Letbane langs Helsingørmotorvejen – et projekt i kollektiv trafikplanlægning og GIS-modellering af kollektiv trafik, som begge havde denne rapports forfatter som medforfatter.

Projektet er normeret til 10 ECTS point og blev udarbejdet i sommeren og efteråret 2004, ved Center for Trafik og Transport (CTT) på Danmarks Tekniske Universitet.

Vejleder ved projektet var Otto Anker Nielsen, forskningsprofessor, CTT og Alex Landex Petersen, CTT.

Lyngby, den 14. januar - 2005

Indholdsfortegnelse

1	Indledning.....	3
1.1	Rapportopbygning	5
2	Scenarier	6
2.1	Scenarie 1	6
2.1.1	Linieføring.....	7
2.1.2	Stationsplacering	8
2.2	Scenarie 2	9
2.3	Scenariehåndtering	10
2.4	Generelt	10
2.4.1	Scenarie 1	10
2.4.2	Scenarie 2	10
2.4.3	Letbanens afgangshyppighed	11
3	Busomlægning.....	12
3.1	Fraskærelse af buslinier og bustimer.....	12
3.1.1	Buslinie 150 mellem Nørreport og Kokkedal st.....	12
3.1.2	Buslinie 173E mellem Nørreport og Hørsholm/Fredensborg	13
3.1.3	Buslinie 185 mellem Nørreport og Klampenborg st.	13
3.1.4	Buslinie 184 mellem Nørreport og Holte st.	13
3.1.5	Andre	14
4	Forbedring af det kollektive modelnetværk	15
4.1	Ny indlagte buslinier	15
5	Rejsehastigheden på connectors og changes	19
5.1	Changes	19
5.2	Connectors.....	20
6	Rutevalgsberegninger	24
6.1	Trafikspring	24
6.1.1	Opskrivning af OD-matricen	24
7	Passagerstrømme	27
7.1	Differencer over passagemængder	28
8	Passagertal på letbanen.....	33
9	Rejsetider.....	36
9.1	Forskel mellem scenarier.....	39
10	Tidsbesparelser	42
11	Samfundsøkonomi	45
11.1	Årsprisniveau.....	46
11.2	Værdisætning af tid	46
11.2.1	Fremgangsmåde.....	48
11.3	Anlægsomkostninger.....	49
11.4	Driftsomkostninger.....	52
11.5	Eskternaliteter.....	53
11.6	Sparet drift mm. af nedlagte buslinier	54
11.7	Samfundsøkonomisk Analyse	55

11.8	Scrap-værdi.....	57
11.9	Nutidsværdi	57
12	Forskellige faktorer indflydelse på benefits.....	60
12.1	Med flere fraskårede busser.....	60
12.2	Med driftenhedspris på letbanen på 25 i stedet for 30 kr/vognkm	61
12.3	Med 20 % i andelen af myldretiden.....	61
12.4	Med oprindelig køreplan	62
12.5	Oversigt	63
12.6	Andet	64
12.7	Vurdering.....	64
13	Strategiske effekter og multikriterier.....	65
14	Diskussion	66
14.1	Vurderet letbaneløsning.....	67
14.1.1	Scenarie	67
14.1.2	Køreplan	68
14.1.3	Busomlægning.....	68
14.2	Generelt	69
15	Konklusion	70

1 Indledning

I takt med at transportbehovet i Hovedstadsområdet og dets opland stiger og rejseafstande bliver længere, medfører det kapacitetsproblemer, fortrinsvis på områdets vejnet, men også nogle kollektive linier lider under det store pres i myldretiderne. Der snakkes derfor om udbygning af det kollektive netværk til aflastning af de eksisterende linier og forhåbentligt også til aflastning af vejnettet i form af overflytning af bilister til kollektiv trafik. Men også en udbygning som vil give den nuværende kollektive bruger et højere serviceniveau og med linieføringer som kan skabe et helt nyt grundlag for kollektiv transport.

Sådanne effektfulde kollektive linier er ofte skinnebårne, da de har en større attraktivitet end busser. Skinnebårne linier har evnen til at tiltrække mange passagerer og samtidig starte en byudvikling i områder omkring banens stationer. I Hovedstadsområdet findes der i dag skinnebårne linier i form af Regional-tog og S-tog, samt en Metro. En ny metroring er på tegnebrættet, men i øjeblikket undersøges også letbaneløsninger. Fx har en letbane langs Ring 3 været undersøgt. Letbaner kan køre som sporvogne i byerne og/eller i eget tracé uden for. Det gør dem meget fleksible og som stationer kan benyttes opgraderede busstoppested. En Letbaneløsning er derfor som oftest en billigere løsning end andre skinnebårne alternativer og med dens fleksibilitet, lægges der ikke mange bånd på dens linieføringsmuligheder. Derfor vil letbaner kunne overtage betjeningen af tunge passagerstrækninger i stedet for de nuværende busser og når der samtidig sørges for letbane forbeholdt kørespor og signalprioritering, vil de blive hurtige og attraktive.

Der findes flere strækninger der er meget passagertunge, men med få muligheder for at give en letbane sit eget kørespor (fx Nørrebrogade). Derudover findes der strækninger hvor en implementering af en letbane ikke vanskeliggøres på samme måde af pladsmangel, men hvor der også er et forholdsvis stort rejseflow. En af de strækninger er Helsingørmotorvejen/Lyngbyvejen. Her findes et meget stort trafikflow i form af biler, men også de kollektive buslinier der betjener strækningen er passagertunge og kan have kapacitetsproblemer i myldretiden. Korridoren er kun kollektivt betjent af busser i dag. Endvidere vil letbanen være et godt alternativ til privattrafikken på strækningen der i stigende grad lider under trængslen på denne store indfaldsåre til København. Parker og rejs kan blive et tema på denne strækning, der er meget pendlertung.

Dette projekt sigter mod en letbaneløsning langs Helsingørmotorvejen og en undersøgelse af dens berettigelse i forhold til faktorer som samfundsøkonomi, passagertal og tidsbesparelser.

Projektet bygger på to tidligere projekter og denne rapport kan betragtes som en fortsættelse af de to tidligere rapporter. Det drejer sig om en tidligere undersøgelse af en letbane langs

Helsingørmotorvejen¹ og en undersøgelse om GIS-modellering i kollektiv trafik². Den første rapport om letbanen beskriver detaljeret faktorer som linieføring og oplandsberegninger, hvorimod den mangler kvalificerede rutevalgsberegninger og en samfundsøkonomisk analyse. Projektet om GIS-modellering i kollektiv trafik har opbygget og testet en model til kollektive rutevalgsberegninger og således er fremkommet et kvalificeret værktøj til undersøgelsen af letbanen langs Helsingørmotorvejen, som kan fuldende den påbegyndte analyse. Projektets formål er derfor en mere detaljeret analyse til undersøgelse af letbanens berettigelse, ved hjælp af den testede kollektive GIS-model, samt en samfundsøkonomisk analyse. Linieføring og oplandsberegninger vil ikke blive berørt her, dog vil der blive introduceret en forlængelse til letbanen hvis linieføring kort vil blive gennemgået.

Der vil flere steder i denne rapport blive henvist til de to tidligere rapporter i anliggender der har at gøre med letbanens linieføring, køreplan mm og den anvendte model til rutevalgsberegninger.

I det tidligere projekt om en letbane langs Helsingørmotorvejen, blev en letbaneføring fra Kokkedal st. til Nørreport undersøgt. Letbanen der undersøges i dette projekt er ikke helt identisk med denne. For det første er den blevet afkortet så den ikke længere kører helt til Kokkedal, men kun til Nærum st. Derudover er det også valgt at undersøge en forlængelse fra Nørreport til Hovedbanegården.

Der arbejdes med to forskellige letbanealternativer, kaldet scenarier, der dog ligner hinanden en del. I scenarie 1 arbejdes med en letbaneføring fra Nærum st. til Tietgensbroen ved Hovedbanegården og i scenarie 2 med en letbaneføring fra Nærum st. til Nørreport st. I begge scenarier benytter letbanen den samme linieføring mellem Nærum og Nørreport, som igen er den samme der blev benyttet i det tidligere projekt.

Til analysen af de to scenarier, anvendes den GIS baserede model, kaldet TRIP-modellen, som blev opbygget og testet i det tidligere projekt. Modellen blev her testet men ikke brugt til en egentlig analyse af et kollektivt infrastrukturprojekt. For at kunne anvende den til et specifikt projekt som en letbane langs Helsingørmotorvejen, skal den imidlertid tilpasses til projektområdet, dette gøres ved at forbedre dens kollektive netstruktur ved indlæggelse af flere kollektive linier. Derudover er modellen, for at kunne give mere realistiske resultater, blevet ændret på områder hvor den før var simplificeret, primært hastigheder for rejsendes ud- og indtrædelse i det kollektive netværk (connectors). Alle nye tiltag til modellen foretages udelukkende med henblik på hvad der kan give en bedre analyse af letbaneprojektet.

¹ Letbane langs Helsingørmotorvejen – et projekt i kollektiv trafikplanlægning

² GIS-modellering af kollektiv trafik

Målet er at opnå en kvalificeret vurdering af letbanens berettigelse, baseret på flere faktorerers indflydelse. Vigtigste middel er den samfundsøkonomiske analyse, der kan indikere om en letbaneløsning er en rentabel forretning for samfundet.

Til rutevalgsberegningen kan det tilføjes at der beregnes på to morgenmyldretidstimer (intervallet 7:00-9:00).

1.1 Rapportopbygning

Rapporten gennemgår først de to alternative linieføringer af letbanen der arbejdes med (scenarie 1 og scenarie 2). Det er fortrinsvis scenarie 1 der gennemgås da den bl.a. består af en forlængelse mellem Nørreport og Hovedbanegården, som ikke før er blevet præsenteret.

Herefter undersøges hvilke buslinier der kan skæres væk ved etablering af en letbane og afgangshyppigheden af letbanen berøres.

Den anvendte model til rutevalgsberegninger skal forfines og tilpasses til projektområdet ved indlæggelse af flere kollektive buslinier. Hvilke buslinier det drejer sig om bliver beskrevet og modellen forbedres ved at undersøge rejsehastigheden på zoneophæng (connectors) og tildele dem en mere realistisk værdi.

Når modellen er blevet forbedret kan de egentlige rutevalgsberegninger begynde og det såkaldte trafikspring kan udregnes. Dette beskrives kort inden resultaterne fra beregningen præsenteres i form af trafikflow i nettet og passagertal på letbanen.

Herefter præsenteres gennemsnitlige rejsetidsbesparelser som følge af letbanen og de samlede tidsbesparelser for hele det kollektive netværk udregnes. Udregninger af tidsbesparelser baserer sig også på resultater fra rutevalgsberegningen.

Derefter vil tidsbesparelserne blive værdisat, ligesom de andre effekter der skal indgå i den samfundsøkonomiske beregning. Mellemregninger og resultater herfra præsenteres og de endelige resultater diskuteres.

På baggrund af de endelige resultater fra den samfundsøkonomiske analyse, foretages nogle nye beregninger hvor der ændres på nogle af de faktorer som indgår beregningen. Dette gøres for at se hvor meget de kan påvirke det endelige resultat.

Til slut diskuteres letbanes berettigelse på baggrund af de undersøgelser og resultater der er fremkommet og det hele opsamles i en konklusion, der afrunder rapporten.

2 Scenarier

Den grundlæggende letbaneføring det ønskes at undersøge, løber langs Helsingørmotorvejen/Lyngbyvejen fra Nærum station til Nørreport station. Denne strækning er ens for de to scenarier. En udførlig undersøgelse af pladsforhold, linieføring og stationsplaceringer er gennemgået i det tidligere projekt³. Her vil blot blive givet en kort beskrivelse af de strækninger som går igen. På nogle områder adskiller de to forslag til letbaneføringer sig dog fra det tidligere undersøgte projekt og hvor dette er tilfældet vil det naturligvis blive gennemgået.

Meningen med letbanen er at den skal køre som sporvogn inde i København og have mange stop (høj tilgængelighed). Uden for byen hvor pladsen er bedre og passagergrundlaget mindre, skal den køre hurtigere og have mere letbane funktioner (høj fremkommelighed).

I dette projekt arbejdes med to forskellige scenarier udover basisscenariet. De kaldes scenarie 1 og scenarie 2. Begge scenarier er i forhold til den oprindelige føring, blevet kortet af så den nordlige endestation nu er i Nærum og ikke længere i Kokkedal. Her vil de to scenarier og deres linieføring kort blive gennemgået.

2.1 Scenarie 1

Scenarie 1 er et forslag om at videreføre den foreslåede linieføring fra Nørreport st. over Rådhuspladsen til Hovedbanegården. Forlængelsen fra Nørreport st. er nyt i forhold til det tidligere projekt, og det vil derfor blive gennemgået nøjere.

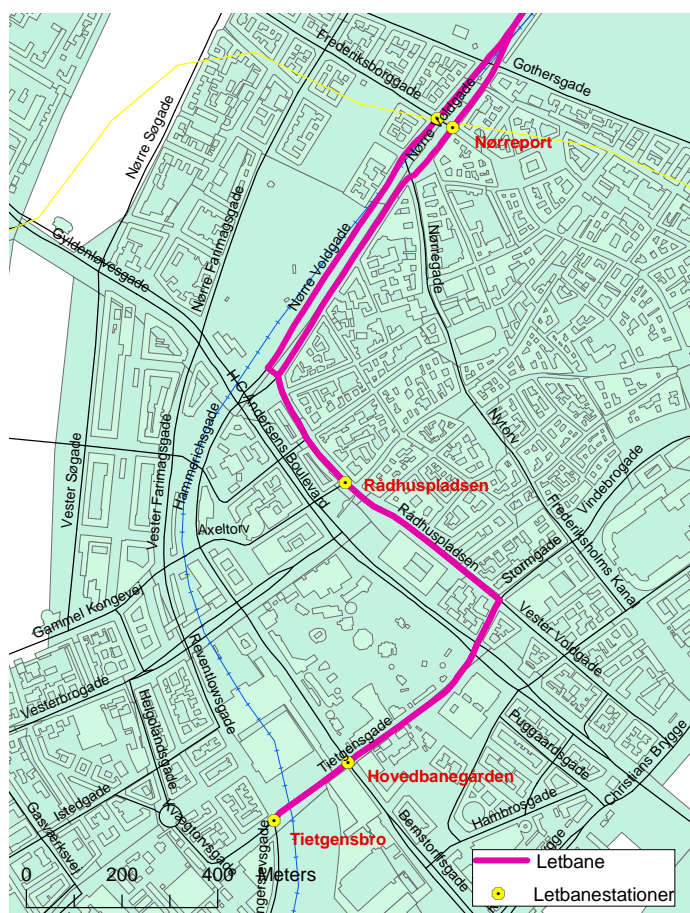
Nørreport station er i dag et centralt kollektivt trafikknudepunkt, der betjener både regionaltoget, S-tog, Metro og busser. Samtidig ligger den forholdsvis let tilgængelig i forhold til letbanens nordlige forløb. Det er derfor helt naturligt at koble letbanen op på denne station. Derimod er Rådhuspladsen kun betjent af busser og denne centrale københavnske plads savner i høj grad en højklasset trafikbetjening. Der kan derfor være mening i at føre letbanen videre fra Nørreport st. til Rådhuspladsen. Endestation på Rådhuspladsen synes dog ikke optimal, da der med en videreførelse kan skabes forbindelse til Hovedbanegården. En højklasset forbindelse mellem Hovedbanegården og Rådhuspladsen synes også berettiget. Fra Hovedbanegården blev det overvejet at sende letbanen videre til Kalvebod Brygge og eventuelt Fisketorvet. Det mentes dog at dette område havde for lidt potentiale og det syntes mere relevant bare at sende den ud over Tietgensbroen.

³ Letbane langs Helsingørmotorvejen – et projekt i kollektiv trafikplanlægning

At have endestation på Tietgensbroen kræver togsæt der kan køre i begge retninger uden at skulle vende. Der er nemlig ikke meget plads til sådanne manøvrer på Tietgensbroen, hvor endestoppet formodes at skulle være ud for DGI byen. Fordelen ved at føre letbanen den vej frem for til Kalvebod, er at der åbnes mulighed for at forlænge letbanen yderligere. Fx ved at overtage noget af buslinie 650S forløb. Dette kunne give en højklasset betjening af fx Kongens Enghave, Valby og Rødovre/Hvidovre i områder som ikke i forvejen er betjent med andet end busser. Sådant en videreførelse kræver naturligvis dyberegående undersøgelser og de vil ikke blive foretaget her, men det kan tages med i betragtningen.

2.1.1 Linieføring

Fra Nørreport kører letbanen ad Nørre Voldgade til Jarmers Plads, for derefter at dreje ad Vester Voldgade ned til Rådhuspladsen. Fra Rådhuspladsen fortsætter letbanen ad Vester Voldgade til Krydset med Stormgade/Tietgensgade. Her drejer den ad Tietgensgade i retning mod Hovedbanegården, som den når efter at have passeret Tivoli. Fra Hovedbanegården fortsætter letbanen ad Tietgensgade til den er kommet over Tietgensbro hvor den når endestationen ved DGI byen.



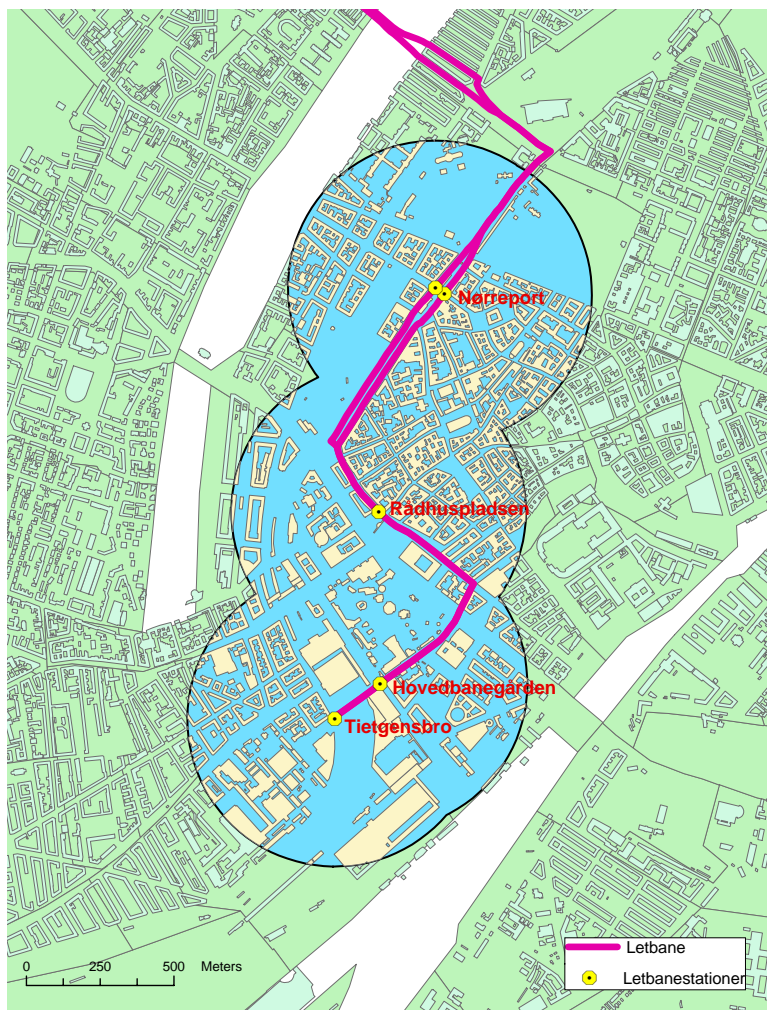
Figur 1: Letbanens forløb mellem Nørreport st. og endestationen Tietgensbro

Pladsen inde i byen er trang, men den foreslåede linieføring skulle, med få ændringer, kunne lade sig gøre. På strækningen mellem Rådhuspladsen og Hovedbanegården, blev det overvejet at sende letbanen ad Axeltorv forbi Cirkusbygningen og dermed få kontakt med Vesterport st. Dette forløb benyttes af mange buslinier i dag. På den måde ville den også kunne få stop direkte på Hovedbanegårdens busterminal. Dette forløb passer især godt til et videre forløb mod Kalvebod. Imidlertid valgtes det af andre førnævnte grunde, at føre letbanen til Tietgensbro. Forløbet forbi Vesterport st. kræver flere sving på forholdsvis lidt plads, som kan vanskeliggøre letbanens fremkommelighed. Derimod indeholder en linieføring ad Vester Voldgade kun et enkelt sving (i krydset mellem Vester Voldgade og Stormgade/Tietgensgade) mellem Rådhuspladsen og Tietgensbro. Dette synes derfor som det bedste forløb til en letbane med formodentlig større svingradius end busser.

2.1.2 Stationsplacering

Mellem Nørreport og Tietgensbro, får letbanen stop ved Rådhuspladsen og Hovedbanegårdens busterminal. I modellen ligger stopknuden for Hovedbanegårdens busterminal ved en mindre fejlplacering på Tietgensgade. Det vil sige at det er her letbanen får sit stop. Som linieføringen er tiltænkt, vil stoppet ved Hovedbanegårdens busterminal, der jo i virkeligheden ligger på Bernstorffsgade, derfor blive på Tietgensgade lige før krydset med Bernstorffsgade ved Tivoli. Modelmæssigt får letbanen derfor stop i samme knude som Hovedbanegårdens busterminal, men i virkeligheden ville der blive tale om en lille skifteafstand.

Mellem Nørreport og Hovedbanegården bliver der altså kun stop på Rådhuspladsen. Der menes dog heller ikke at være brug for mere. Der er ingen centrale steder som udover Rådhuspladsen behøves at knyttes på letbanen. Med en estimeret oplandsradius på 500 meter, nogenlunde svarende til den afstand rejsende er villige til at gå, giver letbanen en god dækning af den indre by fra Nørreport st. til Hovedbanegården. Som det ses på nedenstående illustration.



Figur 2: Letbanens dækningsgrad i indre by (minus Sølvtorvet) med oplandsradius på 500 meter

2.2 Scenarie 2

Scenarie 2 ligner meget det forløb der blev undersøgt i det tidligere projekt⁴, her føres letbanen dog som før nævnt ikke helt til Kokkedal st. men afkortes til Nærum st. Ellers er linieføringen den samme langs Helsingørmotorvejen. Også stationsplaceringen er den samme, med en enkelt undtagelse. Letbanen får i dette projekt også et stop ved Sølvtorvet. Det er blevet gjort fordi det mentes at der var for langt i mellem stoppet på Nørreport og stoppet på Blegdamsvej. Især fordi dette er inde i byen hvor tilgængelighed prioriteres højere end fremkommelighed. Desuden bør et stop med letbanen inde i byen, hvor den jo fungerer som sporvogn, ikke tage længere tid end et stop med en bus. Den nuværende buslinie på strækningen, 150S, stopper også på Sølvtorvet.

⁴ Letbane langs Helsingørmotorvejen – et projekt i kollektiv trafikplanlægning

2.3 Scenariehåndtering

Inden selve opbygningen i modellen af de ruter som letbanen skal benytte, overvejedes det hvordan de to scenarier håndteredes optimalt. Den initiale tanke var at opbygge alle ruter til begge scenarier i samme database og derefter styre deres indtræden i rutevalgsberegningerne ved at sætte dem aktive eller inaktive. Imidlertid ville dette give nogle problemer når der skulle autogenereres connectors og changes. Det tool der anvendes til denne generering tager nemlig ikke højde for om stops tilhører en aktiv eller inaktiv rute. På tidspunktet for disse overvejelser var den endelige linieføring af videreførelsen i scenarie 1 ikke fastlagt og det frygtedes at der kunne opstå nogle u hensigtsmæssige connectors og changes som følge af den ikke identiske linieføring. Alternativt kunne en gennemgående kvalitetssikring af de generede changes og connectors have fanget fejlplaceringer.

I stedet valgtes det dog at håndtere scenarier på en anden måde, nemlig ved at opbygge hvert scenarie i sin egen database. Denne opbygning har også sine ulemper, fx skal forskellige tiltag i modellen gøres to gange i stedet for én og det dobbelte data optager også det dobbelte plads. Til gengæld bliver scenariehåndteringen langt mere overskuelig og risikoen for fejl nedsættes.

2.4 Generelt

I begge scenarier er det som noget nyt valgt at implementere et stop på Sølvtorvet af grunde som blev forklaret under scenarie 2. Det vil sige at stoppestederne for de to forslag til letbaneføringer ser således ud:

2.4.1 Scenarie 1

Tietgensbroen – Hovedbanegårdens busterminal – Rådhuspladsen – Nørreport st. – Sølvtorvet – Blegdamsvej – Frederik Bajers Plads – Universitetsparken – Vibenhush Runddel – Haraldsgade – Ryparken st. – Kildegårds Plads – Brogårdsvej – Jægersborg st. – Klampenborgvej – Rævehøjvej, DTU – Lundtofteparken – Nærum st.

2.4.2 Scenarie 2

Nørreport st. – Sølvtorvet – Blegdamsvej – Frederik Bajers Plads – Universitetsparken – Vibenhush Runddel – Haraldsgade – Ryparken st. – Kildegårds Plads – Brogårdsvej – Jægersborg st. – Klampenborgvej – Rævehøjvej, DTU – Lundtofteparken – Nærum st.

2.4.3 *Letbanens afgangshyppighed*

Letbanens køretidsskema tager udgangspunkt i det tidligere projekt⁵, der havde en køreplan opbygget med 150S som forbillede, dog med flere forbedringer. I dette projekt er der nogle modifikationer i køreplanen i forhold til den oprindelige køreplan. Der køres ikke med 20 min drift længere, det mindste er nu 10 min drift, også på aftener og i weekender. Dette gøres fordi letbanen i dette projekt er blevet væsentligt afkortet og nu ikke længere betjener de store og forholdsvis tyndtbefolkede områder mellem Nærum og Hørsholm. Det er derfor nu i højere grad at betragte som en bybane og for at gøre den attraktiv til dette formål sættes afgangshyppigheden op. (i bilag 6 undersøges dette nærmere til brug i en senere analyse mellem det tidligere og det nuværende forslag til køreplan, mere herom i kapitel 12). I simuleringsperioden (7.00 – 9.00), er der dog ingen forskel på de to køreplaner og der køres derfor fortsat med fem-minutters drift i næsten hele dette interval.

⁵ Letbane langs Helsingørmotorvejen – et projekt i kollektiv trafikplanlægning

3 Busomlægning

Når der opføres et stort stykke kollektivt infrastruktur som en letbane, vil den overtage nogle af de eksisterende bussers funktioner og de bliver derfor mere eller mindre overflødige. Samtidig kan der spares nogle penge på busdriften, hvis sådanne buslinier skæres væk. Det skal naturligvis gøres varsomt, da det kan risikeres at forringe netværket mere end tiltænkt. Som hovedregel kan busser der direkte bliver konkurrerende med den nye letbane skæres væk, altså busser hvis funktion og betjening letbanen overtager.

Formentlig vil et større kollektivt infrastruktur projekt, som en letbane, medføre en større omlægning af bussystemet. For at tilpasse det bedst muligt til den nye bane og for at spare så meget som muligt på busdriften. Dette er dog et større og rimelig komplekst anliggende og det vil ikke blive gjort her. Men senere forsøges det at give et bud på hvad sådan en busomlægning ville kunne betyde i driftsbesparelser mm. Her undersøges kun mere direkte konkurrerende buslinier til letbanen.

3.1 Fraskærelse af buslinier og bustimer

Nedenfor gennemgås de busser der i forvejen kører på strækningen, på og ved Helsingørmotorvejen, og det vurderes om de eventuelt kan skæres væk eller nedsættes i afgang ved fremkomsten af en letbane på samme strækning.

3.1.1 Buslinie 150 mellem Nørreport og Kokkedal st.

Den vigtigste nuværende linie på strækningen langs Helsingørmotorvejen er 150S. Denne er fortrinsvis en motorvejsbus og har hyppige afgang i myldretiden. I myldretiderne er der dog ofte kapacitetsproblemer på linien og det er en af grundene til at en letbaneløsning kunne være at foretrække i stedet. En letbaneløsning vil blive en næsten fuldstændig overtagelse af 150S funktion og denne bus vil dermed blive overflødig og kan skæres væk.

Imidlertid kører den nuværende buslinie 150S helt til Kokkedal st. hvor letbanen kun kører til Nærum st. For at sikre en linie til passagerer fra/mod områder nord for Nærum, er det valgt at ikke at nedlægge 150S i forløbet fra Nærum st. til Kokkedal st. Denne afkortede buslinie skal sikre letbanerejsende der skal mod områderne nord for Nærum en god viderebetjening og samtidig skal den fungere som feederline fra disse nordlige områder til letbanen i Nærum.

Det er godt nok muligt at komme fra Lundtofte og Nærum til Kokkedal med 300S, men med den afgangshyppighed som letbanen tiltænkes, skal der være noget hyppigere betjening af endestationen. Alternativt kunne 300S overtage denne betjening, hvis den fik hyppigere afgang, men da denne buslinie også har andre funktioner, er den vanskeligere at ændre på.

Desuden ville det blive dyrt i drift hvis hele 300S afgangshyppighed skulle sættes op, da 300S har et meget langt linieforløb. For at sikre videreførelsen mellem Nærum og Kokkedal, vælges det derfor at beholde linie 150S, men i den afkortede version. På den måde skulle det sikre at Nærum st. ikke bliver en flaskehals for rejsende der skal skifte fra letbanen mod nord og samtidig bliver der god tilgængelighed til letbanen fra de nordligere områder.

Resten af linie 150S forløb mellem Nærum og Nørreport skæres væk. Den afkortede version får ny køreplan, men overtager den gamle afgangshyppighed. Det er forsøgt at få den til at korrespondere med letbanen på endestationen Nærum. Der er desuden skævet lidt til 150S rigtige afgangstider som korresponderer med Kystbanen i Kokkedal. Men i simuleringsperioden er der så hyppige afgange på de to baner at det reelt ikke får den store indflydelse. Gode korrespondancer uden for myldretiden er naturligvis vigtig, men da de ikke kommer til at indgå i rutevalgsberegningerne vil de ikke blive nærmere undersøgt her.

3.1.2 Buslinie 173E mellem Nørreport og Hørsholm/Fredensborg

Denne buslinie kører kun i enkelte morgenmyldretids afgange og nedlægges da dens funktion på en lang del af strækningen overtages af letbanen. Resten af dens forløb i nord overtages af 150S og til Fredensborg af 384.

3.1.3 Buslinie 185 mellem Nørreport og Klampenborg st.

Denne buslinie kører også på noget af letbanens strækning på Lyngbyvejen og langs Helsingørmotorvejen. Imidlertid har den også andre funktioner i dens betjening af områder i Gentofte (heriblandt Bernstorffsvej st.) og Klampenborg. Derfor vælges det ikke at skære den væk, men at beholde den i sin nuværende form.

3.1.4 Buslinie 184 mellem Nørreport og Holte st.

Denne buslinie har også meget af sit forløb tilfælles med letbanen. Imidlertid betjener den også nogle af de stoppesteder som ligger i mellem de nuværende S-busstop og de kommende letbanestop. På Lyngbyvejen langs Helsingørmotorvejen er der meget langt i mellem de kommende letbanestop og 184 benyttes bl.a. til at samle passagerer her. Derfor er det valgt at beholde den sammen med letbanen, men at nedsætte afgangshyppigheden fra 20 min til 30 min. Med et sådan skift i køreplanen for buslinien, vil det igen være fornuftigt at kigge på korrespondancer især på Lyngby st. Men da S-togene kører så ofte i simuleringsperioden, bliver det igen ikke nødvendigt at gøre her.

3.1.5 Andre

Det er muligt at det også vil blive aktuelt i scenarie 1 at kunne nedlægge nogle ekstra buslinier mellem Rådhuspladsen og Hovedbanegården eller Nørreport. Der findes en del buslinier der betjener både Rådhuspladsen og Hovedbanegården eller Nørreport. Men kompleksiteten af buslinierne i den indre by er større, fordi buslinierne også varetager andre funktioner end betjeningen af den indre by. Der er ikke nogle oplagte buslinier som åbenlyst kandiderer til at blive skåret væk som følge af den nye letbane mellem Nørreport og Hovedbanegården. Derfor vil det formentlig kræve en større omlægning for at få skåret ned i bustimerne her. Denne omlægning er skønnet for vanskelig at undersøge nærmere i dette projekt og det er derfor valgt ikke at foretage nogen ændringer af buslinier i dette område.

Det må naturligvis formodes at når letbanen overtager betjeningen af Rådhuspladsen, vil der blive behov for at skære bustimer eller hele buslinier væk. Der vil således også være sparede driftsomkostninger på busser som følge af letbanen i dette område, men de kommer ikke umiddelbart i betragtning (dog gives et overslag senere i rapporten). Som det sås med Metroen, vil en ny letbane formentlig også betyde en større omlægning af det kollektive system og hvad der helt præcis vil ske som følge heraf, er vanskeligt at forudsige.

Her vil fraskærelsen af buslinier og –afgange altså være den samme for begge scenarier.

4 Forbedring af det kollektive modelnetværk

Det kollektive netværk som er indlagt i modellen og som skal bruges til de senere rutevalgsberegninger er som udgangspunkt det samme der blev indlagt og brugt i det tidligere projekt⁶. Dette netværk skønnes imidlertid ikke at være detaljeret nok, eftersom det kun består af baner, S-buser og A-busser. Samt nogle udvalgte gule busser, fortrinsvis i landområder, til en bedre forbindelse af alle zoner. I det tidligere projekt erkendtes det også at der kun var tale om et forholdsvis groft netværk. Det blev påpeget at skulle konkrete projekter undersøges, ville det anbefales at indlægge manglende gule busser i projektområdet, eller busser som på anden måde skønnes at være relevante for det konkrete projekt. Specielt var der indenfor selve københavnsområdet ikke lagt nogen gule busser ind i det kollektive netværk.

Det blev vurderet at det eksisterende kollektive modelnetværk var for mangelfuldt til en undersøgelse af dette letbaneprojekt. Især var det ønsket at få indlagt flere af de gule buslinier som betjener områderne omkring den nye letbaneføring i modellen, for at opnå en større detaljeringsgrad i fokusområdet.

4.1 Ny indlagte buslinier

Grundet det omfattende arbejde med kodning af busruter, blev der fremskaffet en database der udover at indeholde basisnetværket fra projektet GIS-modellering af kollektiv trafik, også indeholdt nogle indlagte busruter i området omkring Helsingørmotorvejen. Disse busruter var indlagt med henblik på en undersøgelse af et stykke kollektivt infrastruktur i samme korridor, fra Nørreport til Nærum station⁷.

⁶ GIS-modellering af kollektiv trafik

⁷ Disse ruter var indlagt af Kenneth Rask Andersen & Nicolaj Berg Petersen i kurset kollektiv trafikplanlægning

Det drejer sig om følgende buslinier:

- Linie 14 : Klampenborg st. – Vanløse, Jydeholmen
- Linie 15 : Herlev st. – Østerbro, Ryparken
- Linie 18 : Friheden st. – Nordhavn st.
- Linie 42 : Bagsværd, Værebroparken – Nørreport st.
- Linie 43 : Bagsværd, Værebroparken – Nørreport st.
- Linie 166 : Charlottenlund fort – Vallensbæk st.
- Linie 169/179 : Lyngby st. – Lyngby st. (over Gentofte og Hellerup)
- Linie 171E : Lyngby st. – Sjælør st.
- Linie 184 : Holte st. – Nørreport st.
- Linie 185 : Nørreport st. – Klampenborg st.
- Linie 191 : Hellerup st. – Sorgenfri st.
- Linie 194 : Lyngby st. – Lyngby st. (over Trørød, gammel linieføring)

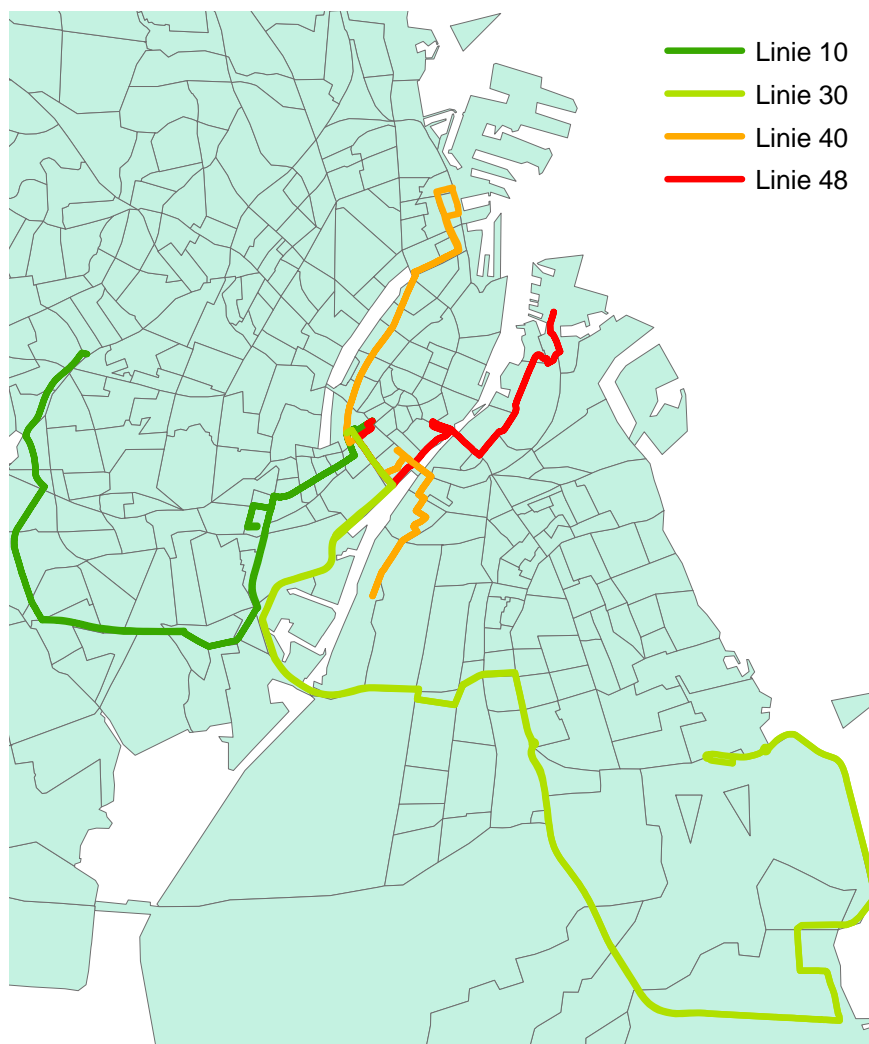
Alle ruter til disse indlagte buslinier blev først gennemløbet for deres rigtighed, modificeret og opdateret og derefter tildelt de korrekte rutegruppernumre. Ligesom databasen blev rensset for overflødige rutesegmenter (rutesegmenter som ikke blev anvendt af en rute).

De ovennævnte busruter er indlagt for at få et mere detaljeret grundlag for undersøgelser af en letbane mellem Nørreport og Nærum st. og de er godt dækkende indenfor dette område. Imidlertid ønskes det også, at undersøge en videreførelse fra Nørreport over Rådhuspladsen til Hovedbanegården. Dette betød at det kollektive netværk også måtte forfines passende til stykket fra Nørreport til og omkring Hovedbanegården. Derfor blev det valgt at supplere modellen med nogle yderligere buslinier. Som udgangspunkt i området omkring Hovedbanegården, da der i dette område manglede nogle gule busser for at få en god og realistisk netstruktur. På det tidspunkt hvor disse supplerende buslinier blev lagt ind, var det dog endnu ikke besluttet om letbanen skulle have endestation ved Tietgensbro, eller ved Kalvebod.

Følgende supplerende buslinier er blevet tilføjet det kollektive netværk i modellen:

- Linie 10: Rådhuspladsen – Flintholm st.
- Linie 30: Vesterport st. – Lufthavnen, udenrigs
- Linie 40: Islands Brygge, Artillerivej – Nordhavn st.
- Linie 48: Rådhuspladsen – (Arsenaløen) Refshaleøen

Nedenfor ses de fire supplerende busruter og deres forløb.

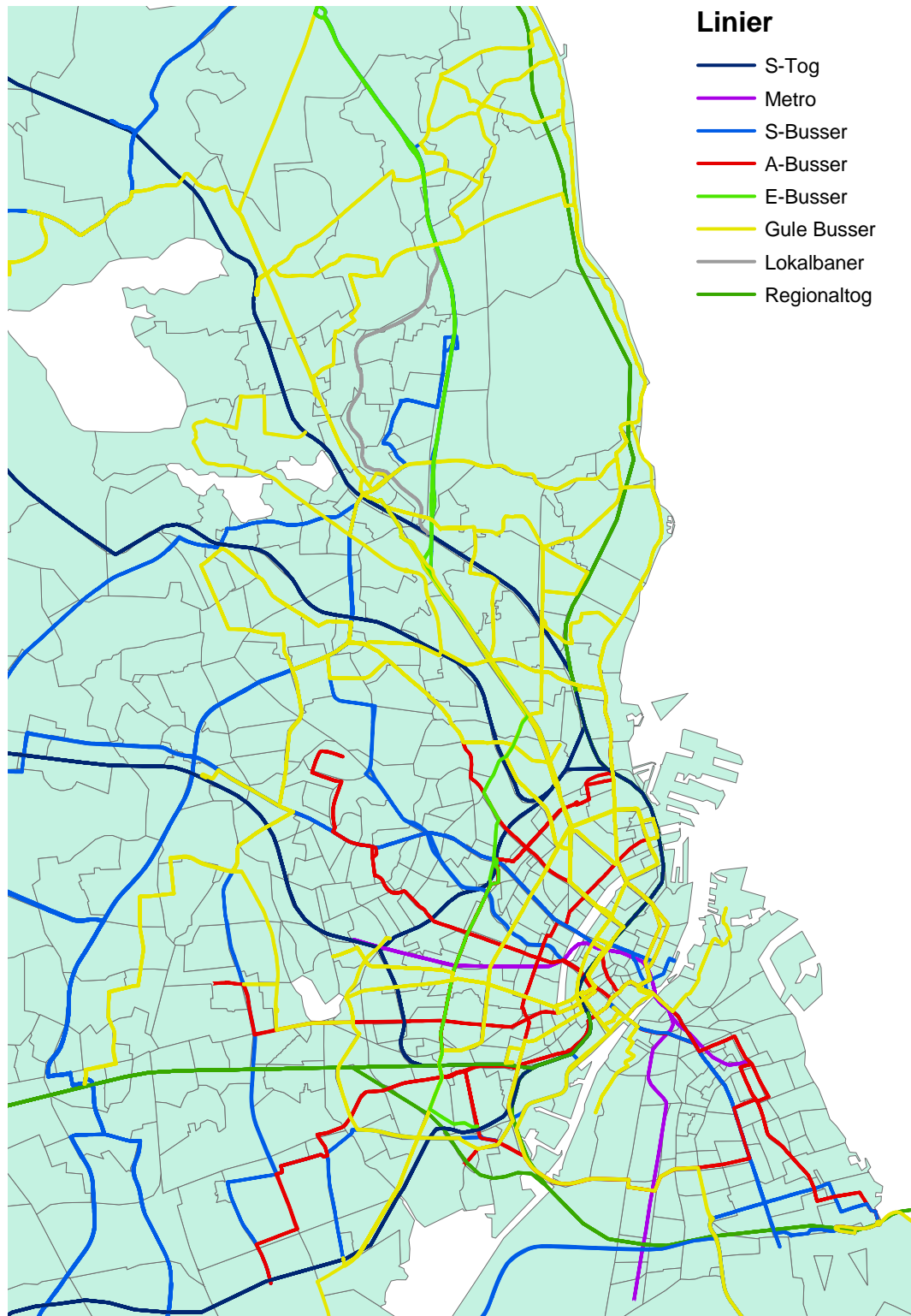


Figur 3: De supplerende busliniers forløb

Tilsammen dækker de området omkring Hovedbanegården rimeligt godt. Desuden dækker linie 40 og linie 48 nogle hidtil ubetjente områder i modellen, henholdsvis Islands Brygge og Christianshavn (og de nordlige øer). Linie 10 er en rimelig vigtig linie og dækker Enghave området, mens linie 30 dækker Kalvebod Brygge.

Med disse supplerende buslinier menes det kollektive netværk nu at være så detaljeret i fokusområdet for projektet, at egentlige undersøgelser nu kan foretages.

På nedenstående figur ses et udsnit af Københavnsområdet og de kollektive linier der nu er indlagt i modellen. Sammen med de øvrige indlagte linier i resten af Hovedstadsområdet, defineres det netværk som de videre undersøgelser og beregninger foretages på.



Figur 4: Indlagte kollektive liniers dækningsgrad af københavnsområdet

5 Rejsehastigheden på connectors og changes

For at kunne få de rejsende i rutevalgsberegninger fordelt til og fra det kollektive netværk, bruges zoneophæng (connectors). Disse connectors er tildelt en hastighed som rejsende på connectoren bevæger sig med. Ligeledes findes en rejsehastighed på skiftekanter (changes), som er den hastighed rejsende bevæger sig med i skift mellem to stoppesteder/stationer. Connectors og changes kan derfor betragtes som rent modeltekniske features til modellering af rejsende der på et givent tidspunkt befinder sig udenfor det egentlige kollektive netværk.

I GIS-modellering af kollektiv trafik blev der konsekvent regnet med en konstant rejsehastighed på changes og connectors. Denne hastighed blev fastsat til 5 km/t, med den begrundelse at dette ca. svarer til ganghastighed. Dette passer meget godt for changes, men må siges at være noget simplificeret for connectors. Når der var en rejsehastighed svarende til gåhastighed på connectors, betød det at tiden som de rejsende brugte på connectors kunne blive meget høj pga. de lange connectors som nogle steder optræder i netværket (fortrinsvis i landzonerne). I de mest grelle tilfælde kunne de sidst udlagte rejsende slet ikke nå at fuldføre deres rejse, fordi de brugte alt for lang tid på connectors.

I det følgende undersøges muligheden for at forbedre modellen på ovenstående område.

5.1 Changes

På changes som repræsenterer skiftemuligheder mellem to stops som ikke ligger i den samme knude, er det yderst rimeligt at antage en rejsehastighed svarende til gang. Langt de fleste skift mellem to kollektive linier vil foregå til fods og i et tempo der svarer til gang. Det kan ikke udelukkes at nogle skift vil foregå i løb, med en ca. fordobling af rejsehastigheden til følge, men det er næppe noget rejsende planlægger efter. Det kan heller ikke udelukkes at nogle rejsende har en cykel stående (eller medbragt) til forbindelse mellem to stop, men dette må forekomme i yderst begrænsede tilfælde. Rejsende vil tilpasse deres rejsemønster så skift bliver så hurtige og ubesværlige som muligt, ligesom liniernes beskaffenhed giver muligheder for skift i trafikale knudepunkter og skifteafstande derfor bliver små. Der regnes derfor med samme maksimale længde på changes som i GIS-modellering af kollektiv trafik, nemlig 500 meter som menes at være en rimelig gåafstand. Som følge heraf er rejsehastigheden på alle changes sat til 5 km/t

5.2 Connectors

Rejsehastigheden på connectors er en mere kompliceret affære. For at opfylde formålet med at knytte alle zoner op på det kollektive net, er der ikke nogen maksimal længde på connectors. Længden af en connector og dermed afstanden for rejsendes til - eller frakobling på det kollektive net, har indflydelse på hvilken type tilbringer transport der anvendes. Som det tidligere blev konstateret, kunne der i landzonerne fremkomme flere kilometer lange connectors og det blev også påpeget det fejlagtige i konsekvent at regne med ganghastighed på connectors⁸. For det første giver det en høj rejsetid på de lange connectors inden de rejsende indtræder eller udtræder af det kollektive netværk. Hvilket bl.a. kan betyde at ikke alle rejsende når at fuldføre deres rejse. For det andet er det urealistisk at tro at rejsende er villige til at gå flere kilometer til eller fra et stoppested/station.

Det var derfor ønsket i dette projekt at arbejde med mere realistiske connectorhastigheder, som afspejler det transportmiddelbrug der kan forventes. Det skal imidlertid gøres varsomt. At sætte en absolut længdegrænse for hvornår hastigheden ændres som følge af skift i tilbringertransport er ikke bare urealistisk, men kan også medføre at en stor forskel i rejsetiden på connectors med længder omkring grænseværdien, hvor længere connectors kan opnå markant hurtigere rejsetid end kortere. Der er derfor brug for en differentieret rejsehastighed baseret på en kontinuer funktion af længden.

DSB S-Tog har udarbejdet to grafer som angiver transportmiddelbruget til og fra en station⁹. Disse bruges her til at finde en funktion for connectorhastighed. Grafernes værdier er blevet kopieret i et regneark, som det kan ses på bilag 1. Fremgangsmåden er som følger: I det længdeinterval til og fra stationer som graferne dækker (ca. 2,5 km), er der hver gang afstanden til stationen øges med 100 meter, fundet procentdelen af hvert af de transportmidler der bruges som tilbringertransport. Da det er transporten til og fra stationer er bustransport også medtaget. Dette gør sig ikke gældende i modellen, da busser opfattes som en del af det kollektive net der skal forbindes til. Imidlertid er denne transportform medtaget til at finde connectorhastigheder, både for at lette arbejdet, men også fordi den gennemsnitshastighed busser bevæger sig med synes relevant at bruge selvom den vil være overtaget af andre transportformer (fortrinsvis bil).

For hvert transportmiddel er der fastsat en skønnet gennemsnitshastighed som de pågældende rejsende bevæger sig med, der både gælder for land og by:

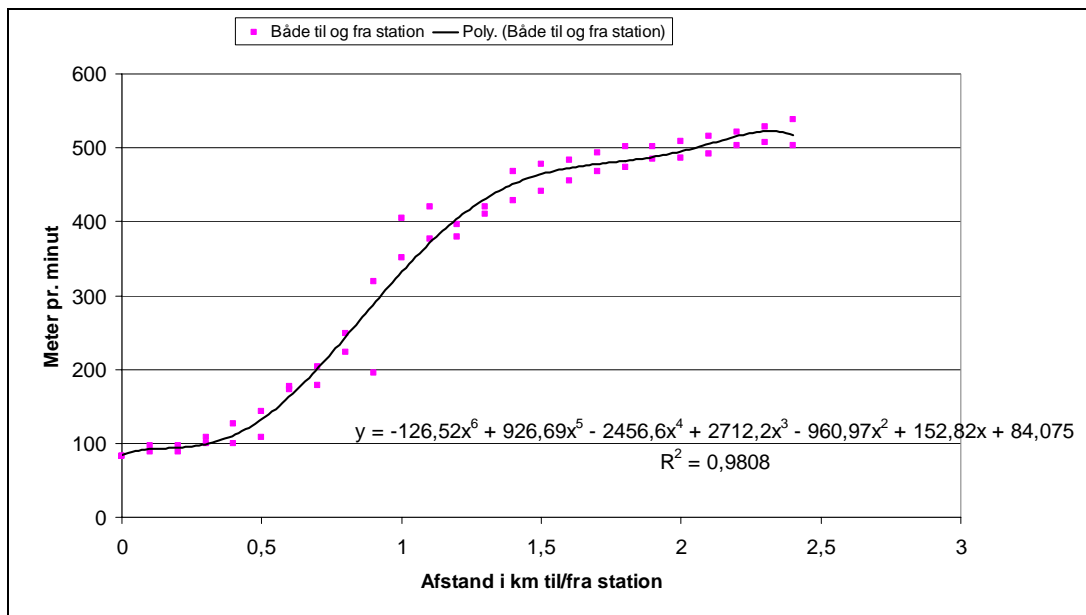
Gående:	5 km/t
Cyklende:	15 km/t
Buskørende:	35 km/t
Bilkørende:	45 km/t

⁸ GIS-modellering af kollektiv trafik

⁹ 7 Planlægningstemaer for S-tog

Disse værdier er udelukkende skønnet, men da de skal bruges til beregninger med forholdsvis mange antagelser vurderes de at være præcise nok.

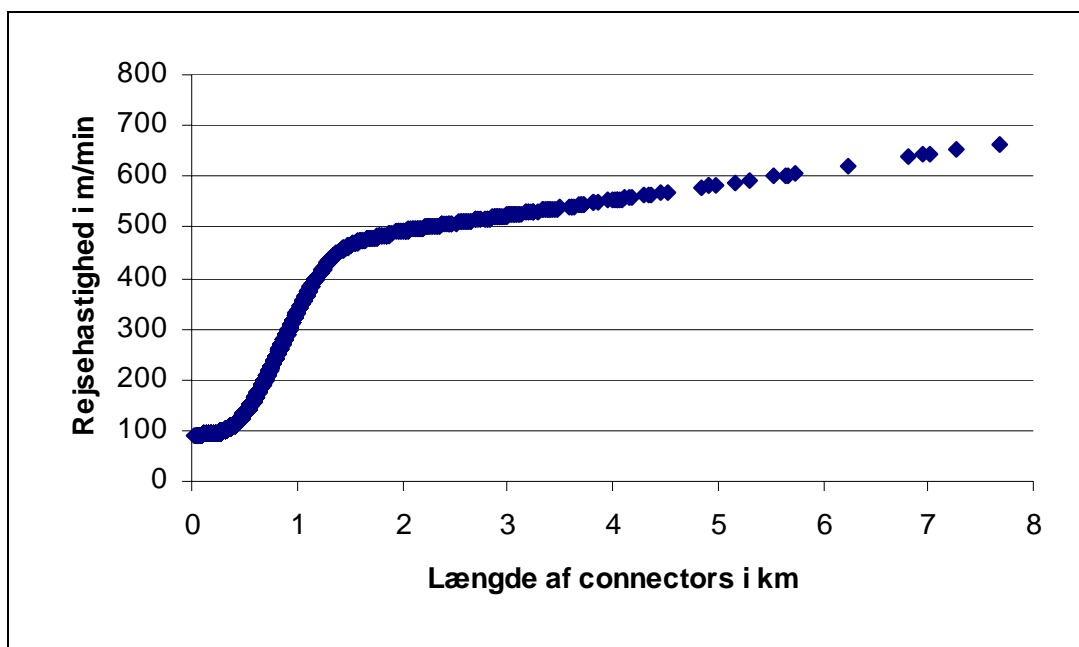
For hver 100 meter afstand til/fra en station findes en vægtet gennemsnitshastighed, på baggrund af de fundne procenter for brugen af de forskellige transportmidler og de skønnede gennemsnitshastigheder for hvert transportmiddel. Dette gøres både for transportmåde til station og transportmåde fra station, og deres værdier plottes i det samme koordinatsystem. Herefter forsøges det at finde den bedst mulige matematiske funktion der passer til plottet, ud fra en regression. Det giver følgende funktion og graf:



Figur 5: Rejsehastighed til og fra en station som funktion af afstanden til/fra stationen

Som det ses er den bedst tilpassede funktion et sjettegrads polynomium. Fra DSB S-Tog findes kun data op til afstanden 2,5 km til/fra en station og ovenstående formel synes, ved nærmere undersøgelser, kun reelt at kunne benyttes indenfor de første 2 km. Eftersom der findes connectors der er længere end 2 km, skal der dermed findes en separat metode til at bestemme rejsehastigheder til disse. Ud fra de to grafer på bilag 1, forsøgte det at lave en skønnet fortsættelse til mere end fem kilometer fra en station og dette viste en indikation på at rejsehastigheden fortsætter lineært. Der er derfor lavet en tilpasset lineær interpolation fra længden på 2 km og frem. Denne bygger til dels på skøn, men det skal nævnes at kun ca. 5 % af de dannede connectors har en længde over 2 km.

Med den ovenstående fundne formel og interpolation får de dannede connectors rejsehastigheder der kan illustreres:

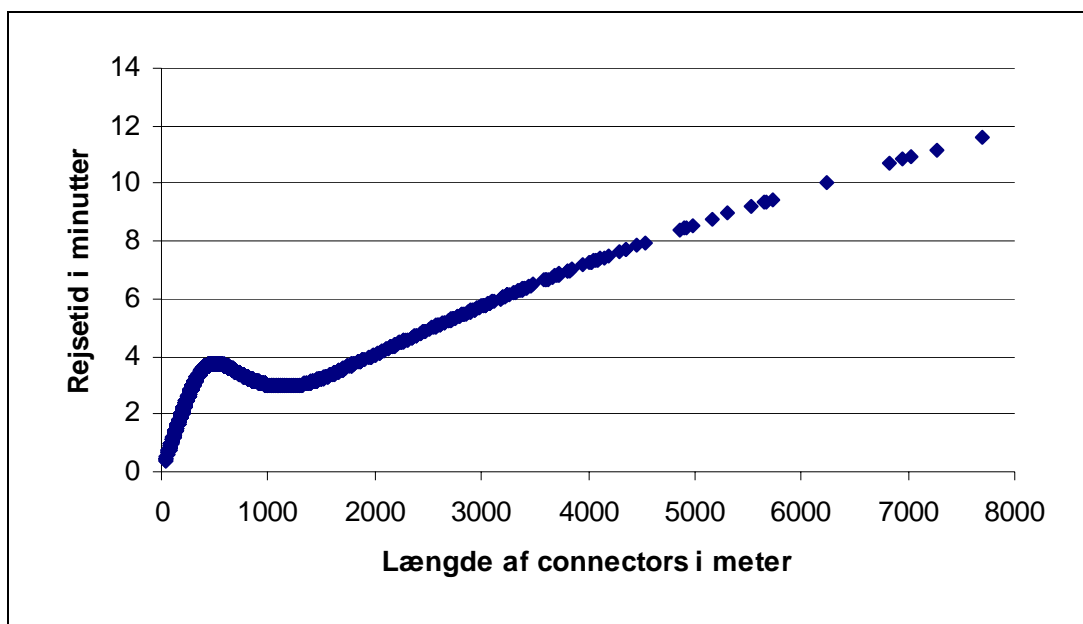


Figur 6: Rejsehastighed på dannede connectors

Den mærkbare stigning i rejsehastigheden fra ca. 500 meter til ca. 1500 meter, skyldes primært at her falder andelen af gående markant og rejsende foretrækker hurtigere transportmidler. Efter de 1500 meter, sker der en gradvis udfasning af cyklister til fordel for busser fortrinsvis.

Nedenfor kan rejsetiden på de dannede connectors anskues. Det ses hvordan den markante udskiftning fra gående til hurtigere transportmidler i mellem de ca. 500 og 1500 meter giver kortere rejsetid selvom længden på connectoren stiger. Dette kan muligvis have en lidt uheldig indvirkning på modelberegningen, men afspejler ikke desto mindre virkeligheden. Det kan diskuteres om ikke det ville være en fordel at indføre en konstant rejsetid i dette længdeinterval for at undgå de faldende rejsetider med connectorlængden. Således at der på intet tidspunkt kan forekomme kortere rejsetider på længere connectors. Det er dog ikke gjort her og forskellen i rejsetiden er ikke større end maksimalt et minut.

Ellers synes grafen at vise at der er fremkommet nogle rimelig gode og realistiske connectorrejsetider som følge af de differentierede rejsehastigheder.



Figur 7: Rejsetid på dannede connectors

Connectors der forbinder portzoner er konsekvent sat til at have en rejsetid på ét minut. Det kan diskuteres hvordan disse bedst forbindes til det kollektive net, men her er det gjort ligesom i GIS-modellering af kollektiv trafik. Rejsetiden på et minut sikrer at de rejsende til og fra portzoner stort set med det samme kan begynde/ende deres rejse. Det kan argumenteres at rejsende allerede sidder i fx toget når det kommer ind i netværket, hvorfor der ikke bør være nogen betydelig rejsetid på den connector der forbinder den portzone der repræsenterer pågældende tog. Desuden er de connectors der forbinder portzonerne specielt konstruerede til formålet og nogle af dem mange kilometer lange. Det ønskes ikke at portzone-rejsende skal bruge mange minutters rejsetid på i forvejen urealistiske connectors.

Connectors og changes bliver dannet på samme måde som i GIS-modellering af kollektiv trafik og på tilsvarende vis kvalitetssikres de for at undgå urealistiske placeringer som kan opstå ved autogenerering. Denne proces er i praksis en forholdsvis tidskrævende affære, men den vil ikke blive gennemgået her. I stedet henvises til GIS-modellering af kollektiv trafik, hvor fremgangsmåden er nøje beskrevet.

6 Rutevalgsberegninger

Rutevalgsberegninger gennemføres på samme måde som det er beskrevet i GIS-modellering af kollektiv trafik. Der køres en beregning for basissituationen og en for hvert af de to scenarier. På den måde bliver der et sammenligningsgrundlag. Da selve rutevalgsberegningen tidligere er blevet kvalitetssikret, anses det ikke for værende nødvendig at lave yderligere undersøgelser omkring basissituationen, dog vises en illustration af passagerstrømme i basissituationen, for at dokumentere realismegraden. Modellen er nemlig ikke helt identisk med den som blev anvendt i GIS-modellering af kollektiv trafik, da der i dette projekt er blevet implementeret flere kollektive linier. De output af rutevalgsberegninger som primært bruges her, er antal af rejsende på kantniveau, samt gennemsnitlige rejsetider mellem zoner.

6.1 Trafikspring

I rutevalgsberegninger bruges en fast OD-matrice for kollektiv rejsende. Det vil sige at når der regnes på en ny infrastruktur, vil forskellen fra den nuværende situation udelukkende udgøres af omfordelte ture. Der tages med andre ord ikke hensyn til genererede ture. Dette ville muligvis kunne forsvares hvis der var tale om en lille ændring i infrastrukturen, men de ændringer i infrastrukturen der undersøges i dette projekt er forholdsvis store og hidrører en helt ny højklasset kollektiv linie. Det må derfor forventes at de vil medføre en genereret trafik det ikke kan forsvares at negligere.

Når der laves en infrastrukturforbedring, vil nogle rejsende få tidsbesparelser og generelt vil det give en samlet tidsbesparelse når efter-situationen sammenlignes med før-situationen. Imidlertid vil noget af den ekstra tid som rejsende får til rådighed som følge af den nye infrastruktur, blive benyttet til yderligere rejser, altså en form for genereret trafik, det såkaldte trafikspring. For at få dette med i betragtningen, skal der laves en opskrivning af OD-matricen og derefter køres en ny rutevalgsberegning.

6.1.1 Opskrivning af OD-matricen

Opskrivningen foregår ud fra de samme betragtninger om den genererede trafik, som findes i Havnetunnelsrapporten¹⁰.

50 % af rejsetidsbesparelser bruges på yderligere ture, der fordeler sig på følgende måde:

¹⁰ Trafikanalyser af Havnetunnelprojektet – Forudsætninger og resultater

- 1) 30 % på nye ture mellem det samme zonepar
- 2) 10 % på nye ture fra zonen
- 3) 10 % på nye ture til zonen

Opskrivningen sker efter følgende formler:

Rejsetidsbesparelsen mellem et zonepar i og j udgøres af tidsbesparelsen pr. tur ($t_{(bas)ij} - t_{(alt)ij}$) multipliceret med antallet af ture i basis situationen $OD_{(bas)ij}$. For at vide hvor mange nye ture dette kan give anledning til, deles med tiden pr. ny tur (altså i den alternative situation) ($t_{(alt)ij}$). Hvis de genererede ture mellem et zonepar ij betegnes som $GEN_{(1)ij}$, tager formelen sig ud som følger:

$$1) \quad GEN_{(1)ij} = 0,3 \times \frac{OD_{(bas)ij} \times (t_{(bas)ij} - t_{(alt)ij})}{t_{(alt)ij}}$$

Og de nye ture fra og til zonen kan skrives sådan:

$$2) \quad GEN_{(O)ij} = 0,1 \times OD_{(bas)ij} \times \frac{\sum_j (OD_{(bas)ij} \times (t_{(bas)ij} - t_{(alt)ij}))}{\sum_j OD_{(bas)ij} \times t_{(alt)ij}}$$

$$3) \quad GEN_{(D)ij} = 0,1 \times OD_{(bas)ij} \times \frac{\sum_i (OD_{(bas)ij} \times (t_{(bas)ij} - t_{(alt)ij}))}{\sum_i OD_{(bas)ij} \times t_{(alt)ij}}$$

Den samlede genererede trafik er således summen af de tre ovenstående matricer. OD-matricen kan derfor nu opskrives og der fås en ny OD-matrice ($OD_{(alt,gen)ij}$) med følgende udseende:

$$OD_{(alt,gen)ij} = OD_{(bas)ij} + GEN_{(1)ij} + GEN_{(O)ij} + GEN_{(D)ij}$$

Den nye OD-matrice tager altså hensyn til den genererede trafik og der kan køres en ny rutevalgsberegning på den nye OD-matrice.

I dette projekt er der brugt en macro kaldet *Run* til at opskrive OD-matricen, der udfører beregningerne efter de ovenstående formler¹¹. Denne er udelukkende brugt af tidsbesparende årsager.

OD-matricen opskrives på baggrund af tidsbesparelserne der fås fra de to scenarier. Det vil sige at der fås to separate OD-matricer som passer til henholdsvis scenarie 1 og scenarie 2. Med de nye OD-matricer køres en ny rutevalgsberegning på både scenarie 1 og scenarie 2.

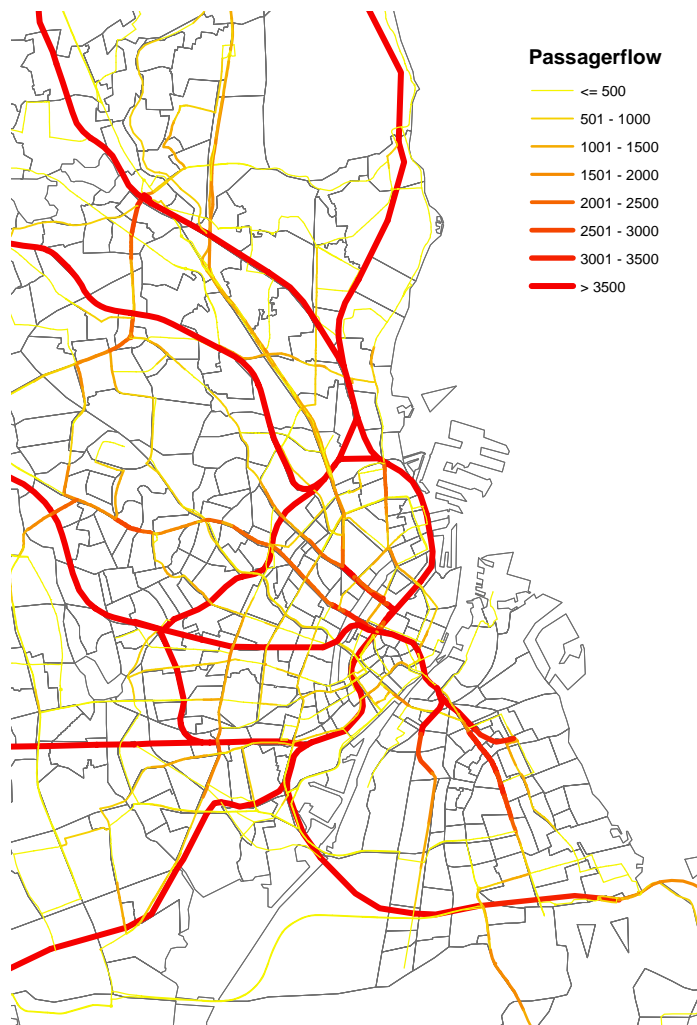
Trafikspringet tager hensyn til genereret trafik ud fra de oprindelige tidsbesparelser og det giver derfor formentlig et mere realistisk billede af rejsemængder. I det følgende bruges derfor udelukkende resultater fra rutevalgsberegninger med de opskrevne OD-matricer.

¹¹ Run macro er lavet af Alex Landex

7 Passagerstrømme

Når rutevalgsberegninger er gennemført, kan passagerstrømme i nettet findes. Disse kan præsenteres på grafisk vis ved hjælp af ArcGIS, hvilket giver et godt overblik. Trafikstrømme i det kollektive netværk kan illustreres og differencer af trafikstrømme mellem den nuværende situation og situationen med letbanen kan give overblik over ændringer i rejsemønstre som følge af letbanen.

Følgende illustration, viser passagerstrømme i det kollektive netværk i de to morgenmyldretidstimer i den nuværende situation. Dette bruges indledningsvis til at vurdere om modellen virker realistisk.



Figur 8: Passagerstrømme på det kollektive netværk i basissituationen

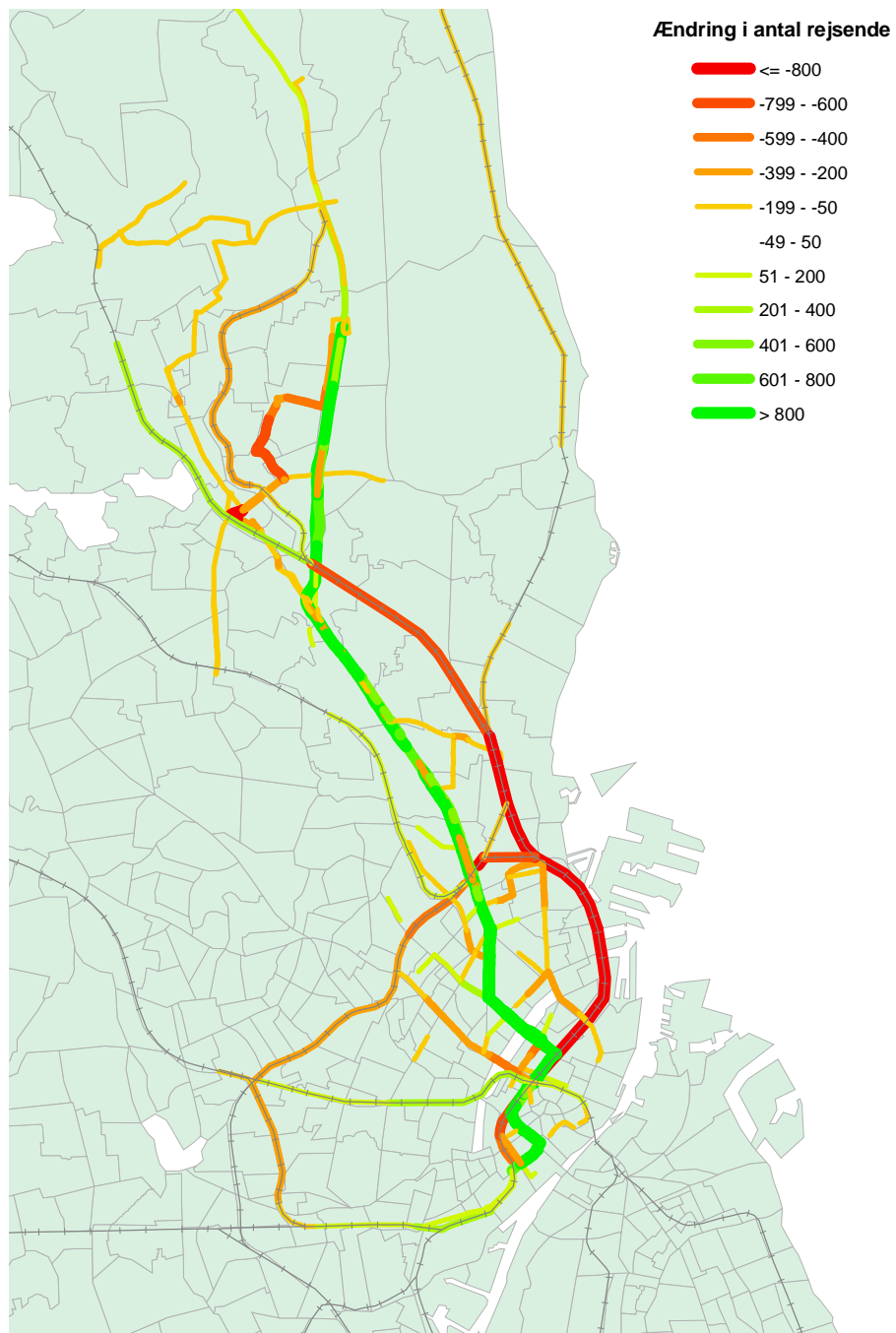
Illustrationen viser passagerstrømme på kantniveau. Det er altså antallet af passagerer på den pågældende vej/bane der vises, uafhængig af antallet af ruter der benytter vejen/banen.

Det ses at det fortrinsvis er banerne der bærer de store passagerestrømme, hvilket også stemmer overens med virkeligheden. Også metroen ses og de mindre, men stadig relativ store mængder af buspassagerer på fx Nørrebrogade og Tagensvej ses også. Det ser ud til at modellen giver gode resultater og sikrer dermed grundlaget for den videre undersøgelse og sammenligning med de to letbanealternativer.

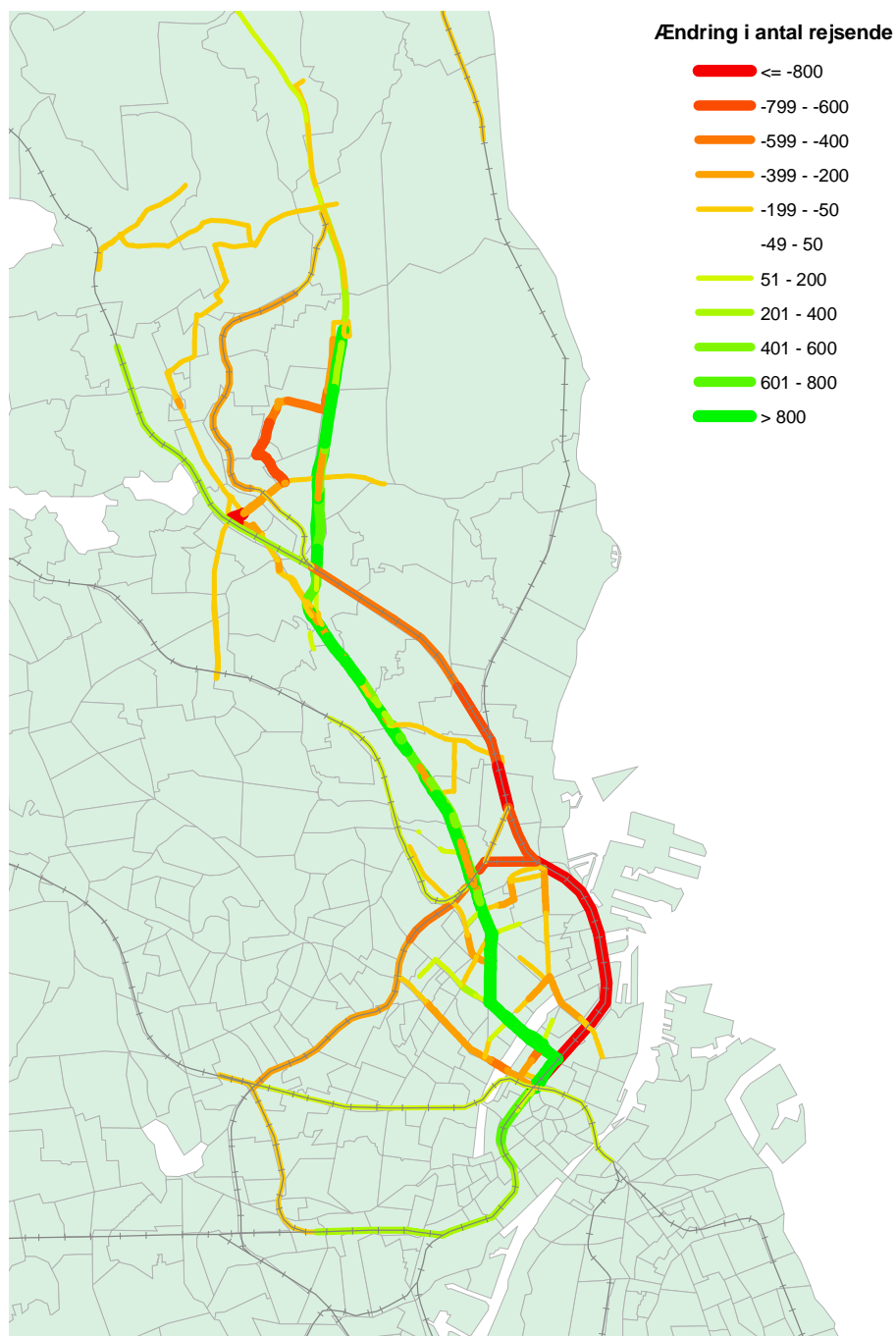
7.1 Differencer over passagermængder

Efter rutevalgsberegninger af de to scenarier med letbanen, kan der frembringes illustrationer tilsvarende den ovenfor af basissituationen. Det er imidlertid mere interessant at kigge på forskellene mellem basis og scenarier. Derfor vises herunder forskellen i passagerer på kanterne i netværket, mellem basis scenariet og de to alternativer med letbanen.

Differencerne bliver udregnet som linkloads i scenariet minus linkloads i basis. Således fås positive værdier hvis passagermængden stiger efter letbanens indførelse og negative hvis passagermængden falder. Illustrationerne nedenfor viser differencer i passagermængder over de to myldretidstimer for begge scenarier.



Figur 9: Differencer over passagermængder – Scenarie 1



Figur 10: Differencer over passagemængder – Scenarie 2

De vejkanter som letbanen benytter ses at få positive ændringer. Der skal dog gøres opmærksom på at disse ændringer kan variere meget alt efter hvilke vejkanter der benyttes. Dette gør sig især gældende udenfor byen og det skyldes at letbanen, primært langs Helsingørmotorvejen, til tider kører på samme vejkanter som den fraskårede motorvejsbus (150S). Når dette er tilfældet udgøres ændringerne fortrinsvis af forskellen mellem letbanens passagertal og bussens passagertal. Andre steder hvor 150S kører på selve motorvejen (kan ses som de negative ændringer der momentvis opstår på Helsingørmotorvejen), vil ændringen

i letbanens tracé kun bestå af passagerer på letbanen og derfor blive væsentlig større (dog kører både 184 og 185 også på Lyngbyvejen og deres passagertal indgår derfor også). Alt i alt ser antallet af passagerer ud til at stige i hele letbanens tracé uanset om vejkanter deles med fraskårede busser. Det betyder at letbanen ikke bare får et passagertal, men også at det er højere end for den bus som før varetog betjeningen af Helsingørmotorvejen.

Letbanen tiltrækker altså flere rejsende til korridoren. Dette skulle derfor vise negative ændringer i nogle af de andre kollektive korridorer, hvor letbanen så at sige henter sine passagerer fra. Modelberegningen inddrager ikke fremkaldt trafik, hvorfor alle ændringer bygger på en omfordeling af netværkets samlede antal kollektivt rejsende. De gennemgående positive ændringer for letbanen må derfor nødvendigvis betyde at der vil ske et passagerfald på konkurrerende linier. Det ses også at være tilfældet, bedst illustreret ved Hillerødbanen.

Det store skift sker ved Jægersborg station. Fra denne station og ind til Nørreport, mister Hillerødbanen en del passagerer, hvorimod letbanen vinder en del. Det indikerer at letbanen henter passagerer fra netop Hillerødbanen, som fra Jægersborg st. og ind til Nørreport kan betragtes som en konkurrerende linie. Endvidere ses det at Hillerødbanen opnår lidt flere rejsende fra Jægersborg st. og mod Holte. Det kan fx betyde at rejsende fra Holte-området mod City, står af på Jægersborg st. og fortsætter deres videre rejse med letbanen. I modellen er der ikke modstand i skift, kun i form af ventetider og tid på skiftekanter. Skiftekanter mellem S-togs stationen på Jægersborg og letbanestationen er kort og eftersom letbanen kører med så høj frekvens i myldretiden, vil et skift i mellem de to baner formentlig ikke give den store modstand. At det alligevel kan betale sig, må betyde at der kan spares noget tid for disse rejsende. Enten fordi de skal til, eller kommer fra et område som letbanen direkte betjener, men som kræver skift til eller fra bus på Nørreport hvis de kørte med S-toget (kunne fx være Rigshospitalet eller andre af de nuværende stationsfjerne områder på Nørrebro og Østerbro), eller fordi letbanen simpelthen er hurtigere om at køre distancen mellem Jægersborg og Nørreport end S-toget. Det sidste er dog ikke tilfældet idet linie B og B+ som er de S-togs linier der betjener Jægersborg, er præcis den samme tid om at køre mellem Jægersborg til Nørreport som letbanen (16 minutter).

Bl.a. som følge af det ovenstående påpegede rejsemønster, vil S-togs strækningen mellem Nørreport og Svanemøllen miste passagerer. Denne strækning som i dag er rimeligt belastet, vil altså blive aflastet ved etablering af letbanen. I Scenarie 2, hvor letbanen ender på Nørreport, ser det dog ud til at der vil komme flere rejsende på S-togs linierne mellem Nørreport og Hovedbanegården. Dette er ikke en ubetinget fordel, eftersom denne strækning som også går under navnet "Røret" i dag er meget belastet. Derimod ser det ud til at med scenarie 1s videreførelse til Hovedbanegården, opnås en aflastning af passagerer i "Røret".

Der ses også en aflastning mellem Svanemøllen og Ryparken stationer, som breder sig i mindre grad til Ringbanen.

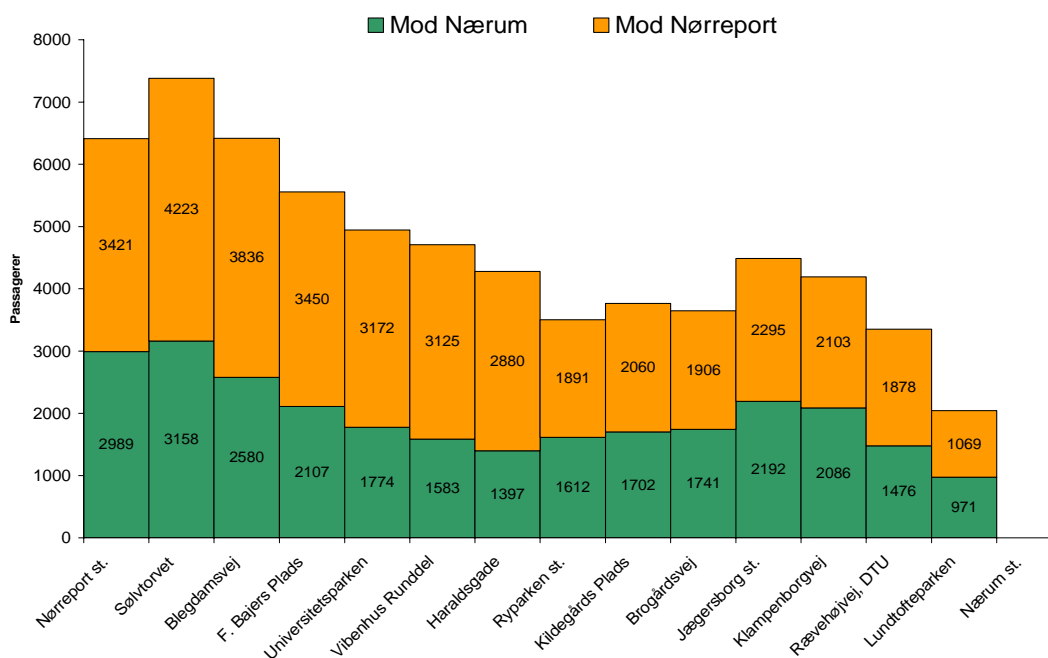
Endvidere ses hvordan buslinierne i Lundtofte ved DTU mister en del passagerer. Disse vælger formentlig nu at anvende letbanen og dens mere direkte forbindelse mellem City og DTU. Dette var også et af delmålene ved det oprindelige projekt, netop at sikre en bedre og mere højklasset betjening af DTU. Det ses også hvordan den positive effekt på letbanen aftager efter DTU mod Nærum.

8 Passagertal på letbanen

På illustrationerne i foregående kapitel, kunne trafikflowet anskues grafisk. Men da der var tale om en grafisk repræsentation der mere havde til formål at give et overblik over kollektive rejsemønstre i netværket, ville det også være ønskeligt at kunne præsentere mere eksakte passagertal, for at få en idé om hvor mange rejsende der vil benytte letbanen. En illustration af passagertallet mellem de enkelte stationer kan findes, hvilket også giver et overblik over passagerfordelingen på letbanen.

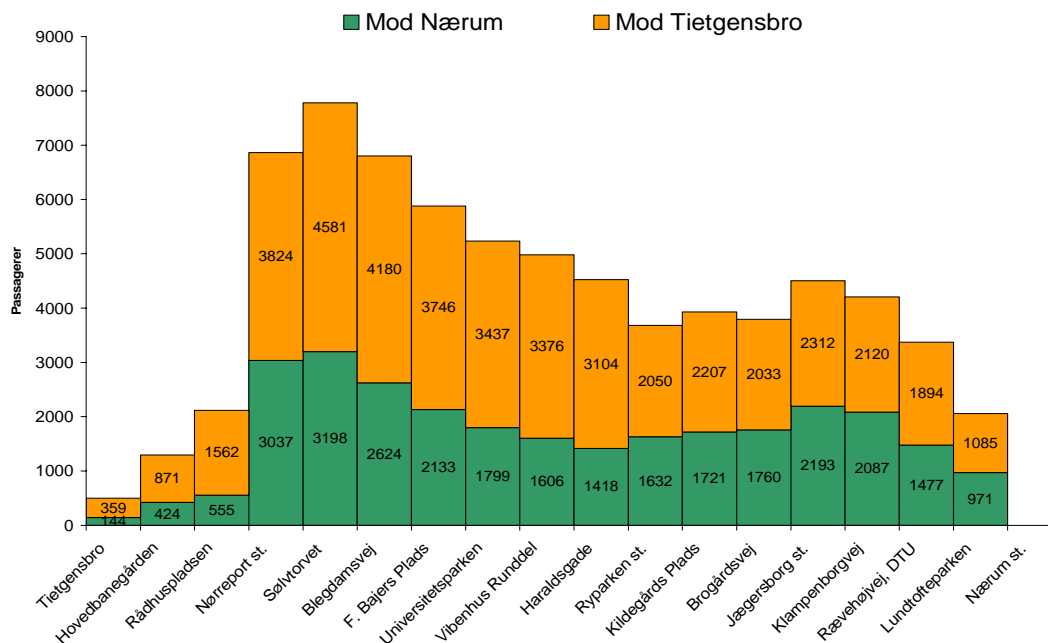
Rutevalgsberegningen giver antallet af rejsende på forskellige niveauer, bl.a. ruteniveau og kantniveau. Derudover giver beregningen også antallet af rejsende på rutesegmentniveau, som nemmest kunne anvendes til at finde passagerfordelingen på letbanen, da rutesegmenter jo løber mellem stops. Men det kan ikke lade sig gøre her, da letbanen kører i eksisterende infrastruktur, deler den både kanter og rutesegmenter med andre (bus)ruter. For at finde passagerantallet mellem de enkelte stop kigges derfor på RunElements som giver trafikmængden mellem fra- og tilknoter. Når først de rutesegmenter som letbanen benytter kendes, kan de tilhørende RunElements findes via RunElementsTrans. Derved fås passagertallet for hvert eneste RunElement på den definerede rute.

Nedenfor ses passagertallet for letbanen i morgenmyldretiden i scenarie 2.



Figur 11: Passagertal på letbanen i scenarie 2

Nedenfor ses passagertallet for letbanen i morgenmyldretiden for scenarie 1.



Figur 12: Passagertal på letbanen i scenarie 1

Det er ikke muligt ud fra ovenstående at få det samlede passagertal på hele letbanen, eftersom der ikke skelnes mellem de enkelte rejsendes rejsemønstre. Da de fleste rejsende kører længere end ét stop, vil de således figurere i passagertallet på flere rutesegmenter og runelements. En mulighed var at kigge på de såkaldte stoploads, der fortæller hvor mange der står af og på i hver stopknode. Men da der fra stopload tabellen kun refereres til stopknode og til tiden hvor der foregår på- og/eller afstigning, er det ikke bare uoverskueligt at gennemskue til hvilke ruter de forskellige stoploads knytter sig, det bliver i praksis næsten umuligt når letbanen kører i samme infrastruktur som andre ruter. Det betyder nemlig at der i en stopknode kan være ankomst/afgang fra to (eller flere) forskellige ruter i samme tidsrum og uden en reference til ruten er der ikke forudsætning for at bestemme hvilken stopload der hører til hvilken rute.

Men selvom det ikke er muligt at få et samlet passagertal, kan det alligevel konkluderes ud fra passagertallet mellem hvert stop (ovenstående figurer), at der er ret høje passagertal på letbanen. I mellem Sølvtorvet og Blegdamsvej kører over 7000 passagerer med letbanen i de to morgenmyldretidstimer. Dette er helt oppe på S-togs niveau (ifølge modellen) og det virker en anelse overdrevet, da attraktivitetsniveauet er højere for S-tog. Hvorfor det bliver så højt er svært at vurdere. Det sås jo i foregående afsnit hvordan letbanen henter en del passagerer fra S-toge (fortrinsvis Hillerødbanen), sammenholdt med det forholdsvis store trafikflow som busserne før havde på strækningen, kan det løbe op. Den store afgangshyppighed på letbanen har nok også en indflydelse, idet der køres fem minutters drift i myldretiden.

Den store afgangshyppighed er også medvirkende til at selvom 7700 passagerer (scenarie 1 mellem Sølvtorvet og Blegdamsvej) lyder af meget, er de spredt ud på mange togsæt. Med lidt overslagsberegning kan det hurtigt konstateres at der ikke vil opstå kapacitetsproblemer på letbanen:

På de to morgenmyldretidstimer har letbanen $2 \cdot 12$ afgang i hver retning, det vil sige i alt 48. I mellem Sølvtorvet og Blegdamsvej vil der være $7700 / 48 = 160$ passagerer pr. togsæt. Stadig et godt stykke under kapacitetsgrænsen pr. togsæt, som det i det kommende afsnit om Samfundsøkonomi vil vise er på 285 passagerer. Tilsvarende ville en busbetjening af et sådan passagertal have krævet mange flere busser. Selvom der ikke er det samme passagertal på denne strækning i myldretiden i dag, opleves alligevel store kapacitetsproblemer for busserne (fortrinsvis 6A). Og samme mønster kan også ses på andre strækninger hvor busserne (fortrinsvis 150S) er fyldt op. Med letbanens gode afgangshyppighed og plads, vil der altså ikke opleves samme kapacitetsproblemer, selvom passagertallet er ret højt.

I sammenligningen mellem de to scenarier, springer det straks i øjnene at forlængelsen mellem Nørreport og Hovedbanegården i scenarie 1, giver meget få passagerer set i forhold til passagertallet mellem de andre stop. At letbaneforlængelsen ikke ville hente så mange passagerer mellem Nørreport og Hovedbanegården, er i sig selv ikke så underligt, da denne strækning er betjent af hurtigere S-tog. Imidlertid var det ventet at implementeringen af et stop på Rådhuspladsen, ville betyde at forlængelsen ville give afkast i form af flere passagerer. Det er muligt at strækningerne simpelthen er for korte (connector-indflydelse), eller at de noget mere afgangshyppige busser varetager betjeningen af Rådhuspladsen bedre. Vurderet ud fra passagertallet, ser forlængelsen mellem Nørreport og Hovedbanegården ikke ud til at være en god idé.

9 Rejsetider

Fra rutevalgsberegningens costmatrice fås de gennemsnitlige rejsetider mellem alle zoner. Disse kan bl.a. bruges til at lave potentialekort vægtet efter fx befolkning og arbejdspladser, som tager højde for zonernes forskelle i attraktivitet. Det interessante her er imidlertid sammenligning mellem scenarier og basissituation. Disse illustreres bedst ved differencekort og ved differencer betyder det beviseligt ikke så meget om der vægtes med noget. Der kigges her derfor udelukkende på de gennemsnitlige rejsetider, så der gives et overordnet overblik over hvor der spares i rejsetid med den nye letbane.

Det kan gøres ved at kigge på tilgængelighed (rejser til zoner) eller mobilitet (rejser fra zoner). Her er det valgt at undersøge mobiliteten. Dette gøres ved at tage den gennemsnitlige rejsetid fra en zone til alle andre zoner i netværket:

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij} - t_{ii}}{n-1}$$

hvor:

T_i er gennemsnitsrejsetiden fra den undersøgte zone i til alle andre zoner

t_{ij} er rejsetiden fra den undersøgte zone i til zone j

t_{ii} er den interne rejsetid i den undersøgte zone i

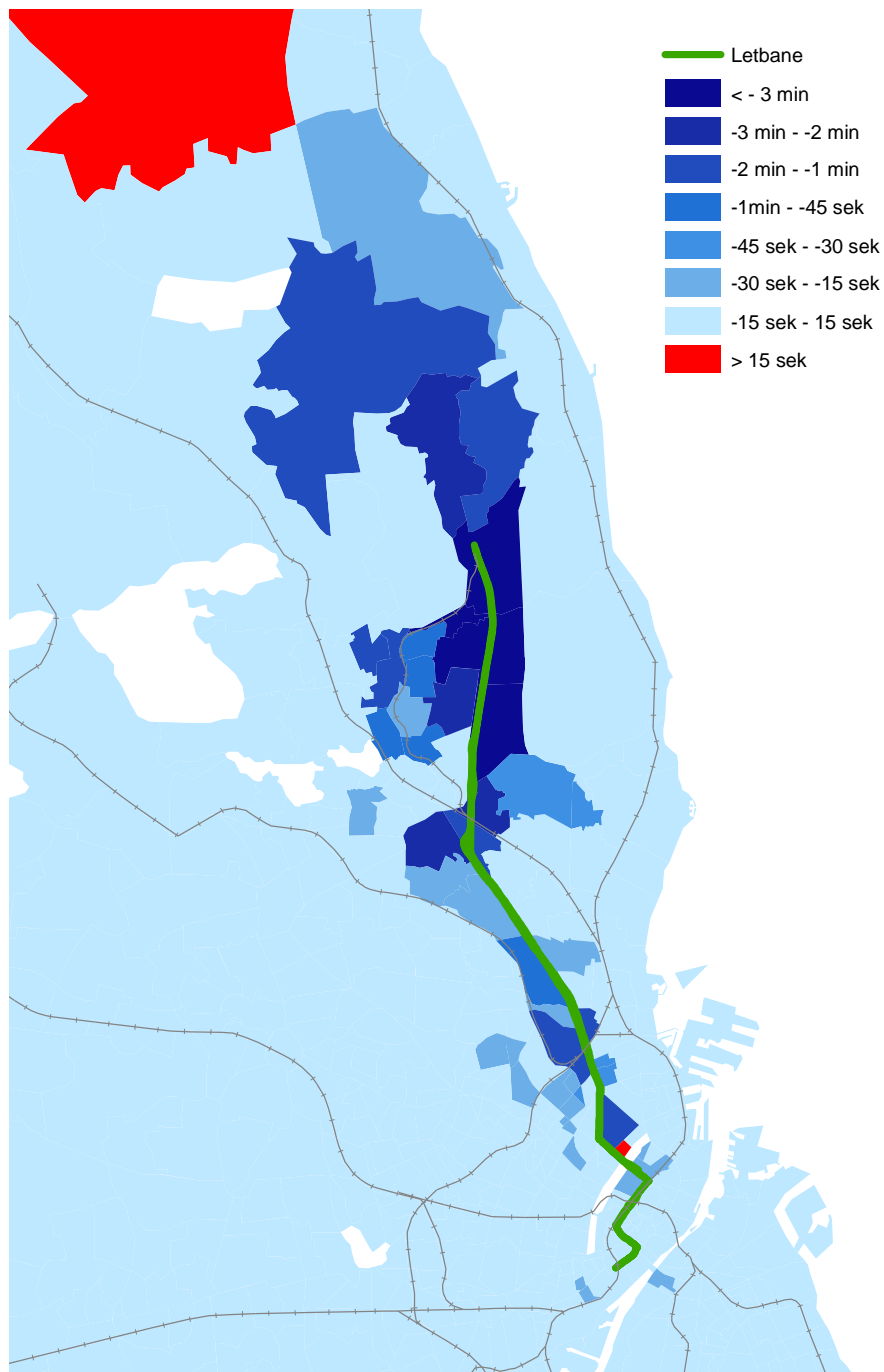
n er antallet af zoner

Det bør dog gøres klart at også t_{ij} er en gennemsnitsrejsetid, nemlig gennemsnittet af alle rejsetider fra zone i til zone j . Zonens interne rejsetid (t_{ii}) medtages ikke, da denne er nul.

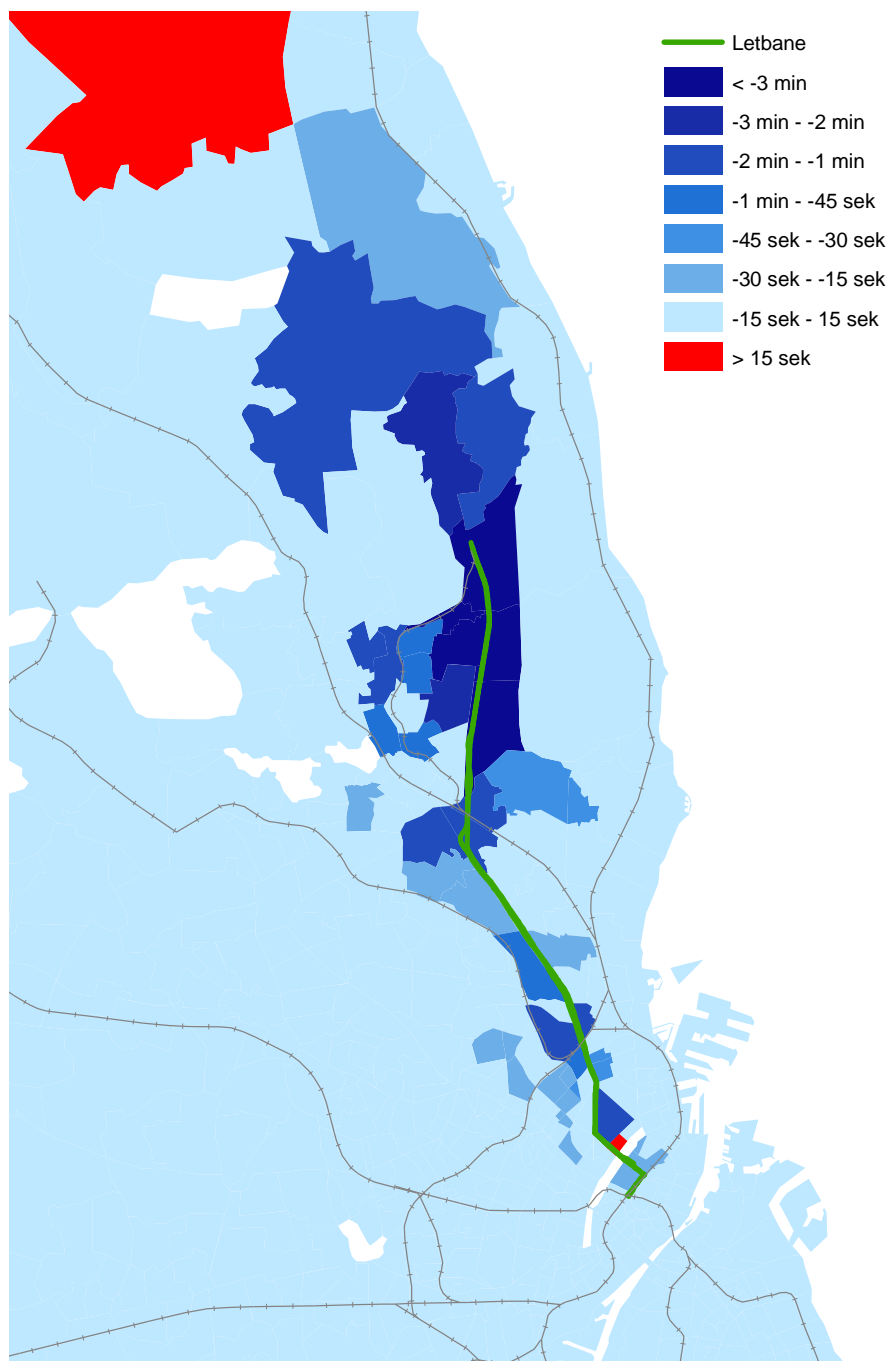
Den gennemsnitlige rejsetid kan herefter findes for alle zoner i netværket og vises grafisk ligesom ovennævnte potentialekort, bare uden vægtene. Imidlertid giver det ikke så meget mening, da der er forskel i attraktivitet af zoner. Men når dette gøres for både basissituationen og de to scenarier, kan der direkte laves differencekort, som lokaliserer forbedrede rejsetider i netværket som følge af letbanen.

Gennemsnitsrejsetiden kan i costmatricen findes for hvert turformål. Foretagne undersøgelser viser dog at der kun i sjældne tilfælde er forskelle mellem rejsetiderne for de forskellige turformål og når der optræder forskelle, er de små. Derfor er det valgt bare at bruge et af turformålenes rejsetid til beregningerne og valget er at benytte den rejsetid der knytter sig til bolig-arbejde.

Nedenfor ses differencekort for gennemsnitlige rejsetider mellem basis situationen og scenarier, hvor negative værdier illustrerer den sparede tid ved anlæggelse af letbanen.



Figur 13: forskelle i gennemsnitlige rejsetider som følge af scenarie 1 (scenarie 1 – scenarie 0)



Figur 14: Forskelle i gennemsnitlige rejsetider som følge af scenarie 2 (scenarie 2 – scenarie 0)

De største tidsdifferencer ses ikke uventet i områderne omkring den nye letbane. Især i det nordlige og stationsfjerne område omkring Lundtofte og Nærum, er der flere minutters forbedring i den gennemsnitlige rejsetid. Endvidere ses at zonerne omkring Jægersborg også får forbedret den gennemsnitlige rejsetid (med små to minutter). Ellers vindes der også lidt i nogle af Gentofte og Østerbro zonerne. Men der vindes ikke noget nævneværdigt inde i City, heller ikke i scenarie 1. Det skyldes formentlig at der her allerede findes et omfattende

kollektiv netværk. En enkelt tilføjelse til de allerede mange kollektive linier i City, gør ikke den store forskel. Mens det har langt mere indflydelse i fx Nærum og Lundtofte områderne, hvor det eksisterende kollektive netværk er noget mindre dækkende og desuden ikke har de hurtige toglinier (undtaget Nærumbanen).

Samlet set giver den nye letbane dog ikke nævneværdige forbedrede gennemsnitlige rejsetider for zoner der ikke ligger i umiddelbar nærhed af linieføringen. Effekten af letbanen spredt sig ikke ud i resten af det kollektive netværk, udover i området nord for Nærum (Holte, Trørød). Det forklares formentlig med at der trods alt findes konkurrerende nabolinier i Kystbanen og Hillerødbanen og det kan derfor ikke forventes at der opnås en større regional effekt. Med nævneværdige forbedringer i de gennemsnitlige rejsetider, menes her med mere end 15 sekunder. Både forbedringer og forværringer over og under 15 sekunder er ikke medtaget, da det for det første vurderes at så små ændringer ikke tjener overblikket, men også for at undgå støj på resultaterne.

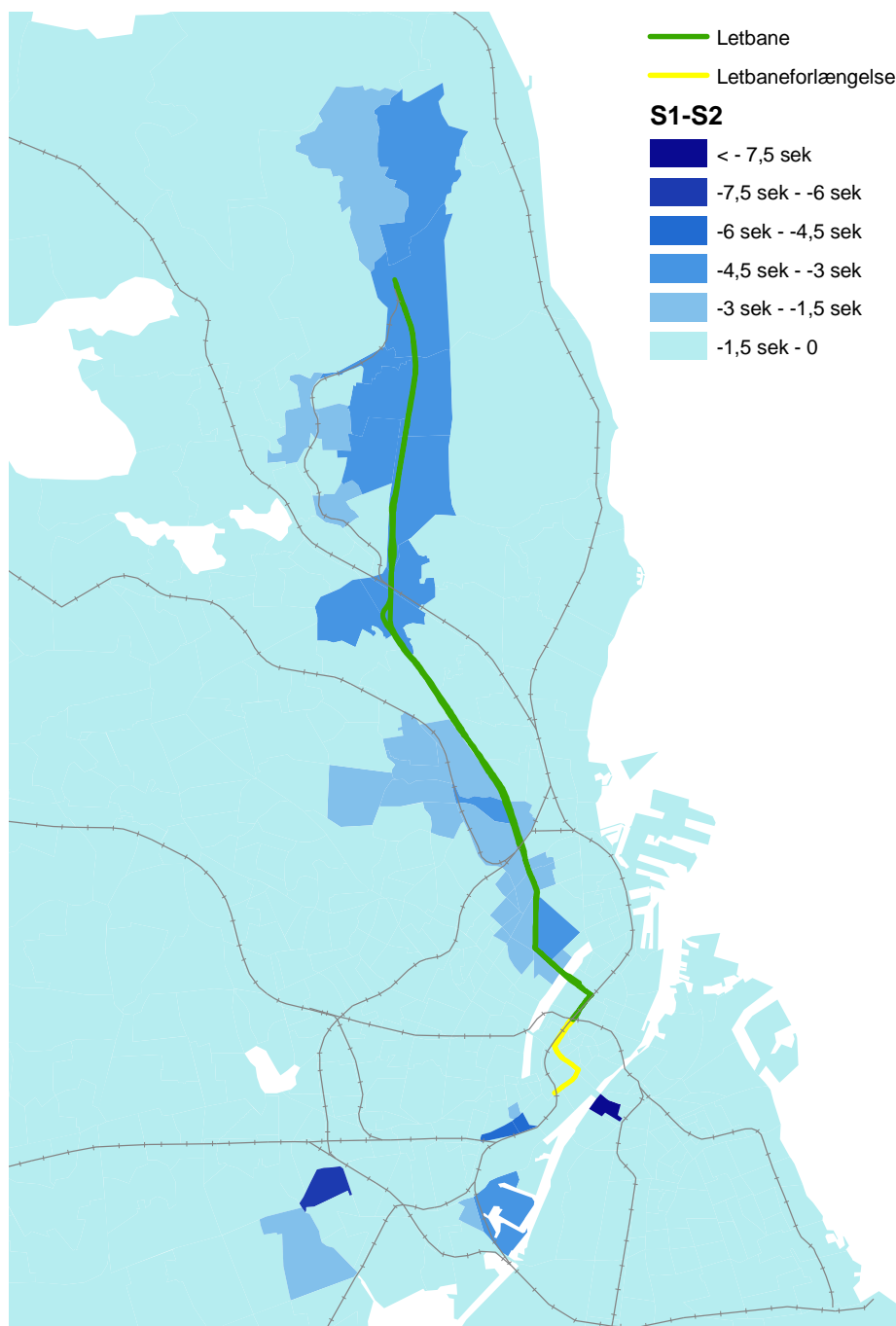
Nogle zoner får større gennemsnitlige rejsetider i situationen med letbanen (farvelagt med rød på ovenstående differencekort). Der findes bl.a. nogle omkring søerne på Indre Østerbro og Indre Nørrebro, som ikke synes så logiske, men der er trods alt blevet nedlagt nogle ruter i scenarierne med letbanen på strækningen. Forværringer i den gennemsnitlige rejsetid fra basis er dog alle under 20 sekunder og kan derfor skyldes faktorer som ikke nødvendigvis påpeger en trend. Hvis fx udlægninger blev forskudt et minut, kunne det være det så anderledes ud.

Der er dog én zone der opnår en markant forværring som ikke kan forklares med mindre modeltekniske påvirkninger. Det er zonen ved Karlebo, som opnår en forværring på mere end fire minutter. Det skyldes dog formentlig at de eneste kollektive linier som denne zone er koblet op på er 384 og 173E. I begge scenarier med letbanen skæres 173E væk og betjeningen af zonen overlades herefter udelukkende til linie 384.

9.1 Forskel mellem scenarier

Ud fra de to oversigtskort er det ikke muligt at vurdere om og hvor der vindes på de gennemsnitlige rejsetider de to scenarier i mellem. Det skyldes at forskelle formentlig er så små at de ikke kan ses på oversigtskortene. Det kunne ellers være en indikator på om scenarie 1 med videreførelse til Hovedbanegården ville være en bedre gevinst rent tidsmæssigt end scenarie 2.

Der er nok ikke nogen tvivl om at scenarie 1 vinder mere på den gennemsnitlige rejsetid end scenarie 2, da det er den samme linieføring, bare længere og da der ikke er forskel i nedlagte busser på de to scenarier. For at give en ide om forskellene på forbedringer i den gennemsnitlige rejsetid de to scenarier imellem og hvor meget mere der kan spares i scenarie 1, vises herunder et differencekort:



Figur 15: Forskelle i gennemsnitlige rejsetider mellem de to scenarier (S1-S2)

Som det ses er det ikke ret store forskelle i den gennemsnitlige rejsetid. Der hvor der er forskel på de to linieføringer er inde i City og heller ikke her ser det ud til at der vindes meget ved at føre letbanen videre til Hovedbanegården. Dette kan igen forklares med det store kollektive udbud i City, direkte S-togslinie mellem Hovedbanegården og Nørreport, samt de højfrekvente A-busser der også kører på strækningen. Desuden vindes der en lille smule i

området omkring linieføringen i scenarie 1, men faktisk er gevinster så marginale at det ikke giver så meget mening at kigge nærmere på.

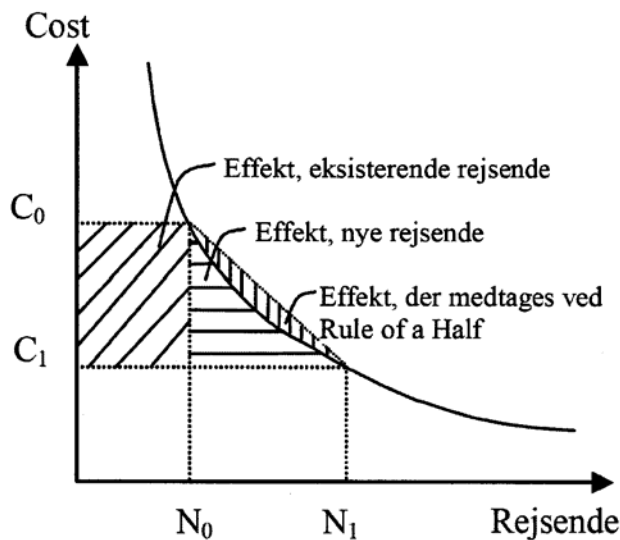
Forskellen i mellem de to scenarier kan bedre anskues i næste afsnit. Her gennemgås de faktiske tidsbesparelser for hele netværket.

10 Tidsbesparelser

For at kunne vurdere forskellen i tidsbesparelser mellem de to scenarier og letbanens effekt som helhed, kan der kigges på de samlede tidsbesparelser for hele netværket. Denne bygger ikke kun på de gennemsnitlige rejsetider, men også på antallet af rejser. Jo flere reisende der opnår en tidsbesparelse, jo større vil den samlede tidsbesparelse være for hele netværket.

Tidsbesparelser som følge af et nyt infrastrukturprojekt, er ofte den årlige samfundsøkonomiske effekt der vægter højest. Fordelen (benefitten) for tid kan beregnes som rejsendes maksimering af nytte ved valg af rejserute.

Nytten for rejsende kan illustreres af en efterspørgselskurve som det ses nedenfor.



Figur 16: Nytteværdi for rejsende

Nytten for de eksisterende rejsende, altså inden trafikspringet, findes som den samlede tid brugt på det nuværende netværk (basis scenarier), fratrukket den samlede tid brugt på det ændrede netværk (scenarie 1 og scenarie 2)

Således findes nytten som følger:

Samlet tid brugt på eksisterende netværk: $C_0 * N_0$

Samlet tid brugt på det ændrede netværk: $C_1 * N_0$

Hvor C_0 er rejseomkostning (cost) som haves for det eksisterende netværk, C_1 er rejseomkostning for det ændrede netværk og N_0 er antallet af rejsende.

Rejseomkostninger (cost) udgøres her kun af tid og nytten af tid er derfor tidsbesparelse.

$$\text{Nytte af tid for eksisterende rejsende:} \quad (C_0 * N_0) - (C_1 * N_0) = (C_0 - C_1) * N_0$$

Nye rejsende i netværket som følge af tidsbesparelser efter infrastrukturændringen (trafikspring) medfører at der bliver brugt mere tid i transportsystemet¹². Nye rejsende benytter netop systemet fordi det giver dem en nytte, hvor den første rejsende får fuld nytte, mens den aftager indtil den sidste rejsende kun lige akkurat opnår en nytte. Dette kan illustreres ved efterspørgselskurven som ses på figur 16. De nye rejsendes nytte kan ses som det areal der udgøres af forskellen i rejseomkostninger ($C_0 - C_1$), tilvæksten i rejsende ($N_1 - N_0$) og efterspørgselskurven. Da efterspørgselskurven kan være svær at fastlægge nøjagtigt, regnes der med at den tilnærmelsesvis er lineær. Denne antagelse kaldes for Rule of a Half.

Således vil nytten for de nye rejsende udgøres af et areal svarende til en retvinklet trekant og den kan dermed findes således:

$$\text{Nytte af tid for nye rejsende:} \quad \frac{1}{2} * (C_0 - C_1) * (N_1 - N_0)$$

Den samlede nytte som opnås ved infrastrukturændringen og som inkluderer de nye rejsende, kan kaldes N. Det er denne nytte som er interessant i den fortsatte sammenligning mellem basisscenariet og alternativer. Den samlede nytte N, kan nu findes som nytten for de eksisterende rejsende sammenlagt med nytten for de nye rejsende:

$$\begin{aligned} \text{Samlet nytte af tid for alle rejsende:} \quad N &= (C_0 - C_1) * N_0 + \frac{1}{2} * (C_0 - C_1) * (N_1 - N_0) \\ &= \frac{1}{2} * (C_0 * N_0 - C_1 * N_0 + C_0 * N_1 - C_1 * N_1) \end{aligned}$$

I praksis foregår udregninger ved at der for hvert zonepar findes den brugte tid for rejser, altså ved at finde det samlede tidsforbrug (herunder alle former for tider: rejsetider, ventetider etc.) for rejser mellem to zoner og multiplicere med antallet af rejsende i mellem det samme zonepar. Udregninger foregår på matriceniveau og kan illustreres således:

$$N = \frac{1}{2} * \left(\sum (C_{Basis} * OD) - \sum (C_{Alt} * OD) + \sum (C_{Basis} * OD_{Opskrevet}) - \sum (C_{Alt} * OD_{Opskrevet}) \right)$$

Nytten af tid er udregnet for begge alternativer (scenarie 1 og scenarie 2). Resultater og delresultater kan ses på bilag 2. Det overordnede resultat kan ses nedenfor.

¹² Notat om samfundsøkonomiske beregninger

		Bolig-arb	Erhverv	Udd/andet	Samlet
		[timer]	[timer]	[timer]	[timer]
<i>Basis</i>	Tidsforbrug	81.581	2.587	12.535	96.702
<i>Scenarie 1</i>	Tidsbesparelse	489	15	50	553
<i>Scenarie 2</i>	Tidsbesparelse	462	14	47	523

Tabel 1: Tidsbesparelser i netværket som følge af letbanen

Disse tidsforbrug og tidsbesparelser er udregnet på baggrund af modelperiodens to timer i morgenmyldretiden. De tidsbesparelser der ses i tabellen ovenfor er således det antal timer der spares i tidsrummet 7:00 – 9:00. Senere når tidsbesparelserne skal værdisættes, bliver det nødvendigt at kende besparelsen over hele døgnet.

For at kende den reelle samfundsøkonomiske effekt af tidsbesparelserne, skal de værdisættes og heri indgår en vægtning af de forskellige former for tid (rejsetider, ventetider mm). Dette bliver gjort i næste afsnit. Her er de samlede tidsbesparelser medtaget for at give et overblik over hvad der i timer, samlet set, kan spares i netværket ved at anlægge en letbane. Som det ses kan der ved en letbaneløsning fra Nærum til Hovedbanegården spares 553 timer i det betragtede tidsinterval. For en letbaneløsning fra Nærum til Nørreport kan spares 523 timer. Der er altså 30 timer mere at hente på tidsbesparelser i scenarie 1 i forhold til scenarie 2, hvilket svarer til 6 %.

11 Samfundsøkonomi

I vurderingen om et nyt kollektivt infrastrukturprojekt er fordelagtigt at realisere, kan de allerede behandlede faktorer som antallet af rejsende på den nye linie og tidsbesparelser i netværket som følge af den nye linie anvendes. Disse er vigtige indikatorer på projektets samfundsmæssige gevinster og dermed dets berettigelse. Imidlertid skal disse også holdes op imod de ulemper som etablering af en letbane vil koste samfundet. Her tænkes fortrinsvis på anlægs- og driftsomkostninger, men også på øget støj, luftforurening mm. Ved en analyse kan den samfundsøkonomiske værdi af det nye kollektive infrastruktur findes, når fordele vejes op imod ulemper. Analysen kan i mere håndterlige og gennemskuelige termer (kroner og ører), give et overblik over om projektet er en god investering for samfundet, eller med andre ord om projektet er samfundsøkonomisk rentabelt. Anlægsomkostninger er en stor enkeltstående udgiftspost og kan direkte måles i kroner og ører, ligesom fx driftsomkostninger. Andre faktorer som indgår i analysen er mere diffuse og kan være vanskeligere at prissætte. Uheld, støj, luftforurening og tid er eksempler på disse og de prissættes ved en vurderet enhedspris.

Analysen bygger på at værdisætte både de samfundsmæssige fordele og ulemper (benefits og disbenefits) som der opnås ved det nye infrastrukturprojekt. Disse indgår i de samlede benefits som summen af alle benefits og disbenefit, hvor benefits er positive og disbenefits er negative. Når dette er gjort kan de fundne benefits og anlægsomkostningerne (cost) holdes op imod hinanden i et indbyrdes forhold, en såkaldt B/C rate, eller som en difference. Hvis benefits overstiger cost, vil det således give et B/C rate med en værdi over én, eller en positiv difference og projektet er rentabelt. Ofte kaldes en sådan analyse også en cost-benefit analyse (CBA).

Udregningen af benefits er på årlig niveau, som tager udgangspunkt i beregningsåret (at betragte som anlægsåret). Det er dog meget få større projekter der har så store benefits at det allerede i løbet af det første år vil overstige anlægsomkostningerne. Derfor bruges der en afskrivningsperiode på en årrække, hvor de fundne værdier af benefits kan betragtes som en konstant annuitet. Afskrivningsperioder for vejprojekter ligger ofte på 30 år, men højere for kollektive infrastrukturprojekter.

I dette projekt beregnes nutidsværdien (NPV = Net Present Value) på baggrund af de fundne benefits og cost og der anvendes afskrivningsperioder på 30, 40 og 50 år.

11.1 Årsprisniveau

Enhedspriser for de forskellige effekter bygger på forskellige undersøgelser og er derfor hentet forskellige steder fra. Dette betyder også at de ikke alle er i det samme årsprisniveau. For at kunne lave udregningerne er det derfor vigtigt at alle effekters priser frem- eller tilbagediskonteres til det årsprisniveau som det vælges at lave udregningen i. Det behøver ikke nødvendigvis at være årsprisniveauet for anlægsåret når blot benefits og cost findes i samme årspriser, men det må gerne være i relativ nærhed. Der kan være andre faktorer som afgør det årsprisniveau der vælges, fx årsprisniveauet for de enhedspriser der anvendes.

En frem- eller tilbagediskontering af priser indeholder nogle usikkerheder som kan ændre lidt på resultatet. Derfor er det ofte fordelagtigt at foretage udregningen i det årsprisniveau som enhedsprisen på en af de tungeste effekter er opgivet i. Således slipper denne post for usikkerheden i frem- eller tilbagediskonteringen, mens det er de lidt mindre effekter som ikke vejer ligeså tungt i det samlede, der vil få usikkerheden fra frem- eller tilbagediskonteringen. Usikkerheden og dens fejlpåvirkning skulle på den måde samlet set blive mindre.

Anlægsomkostninger er klart den numerisk største post, men denne er et engangsbeløb og dens værdi opgives kun i anlægsåret. Tidsbesparelser derimod, indgår som en årlig benefit og som det før er nævnt er det ofte den effekt der vejer tungest.

Enhedspriserne for tid er opgivet i 2001-priser og hele den samfundsøkonomiske beregning vil derfor foregå i dette årsprisniveau. Andre anvendte enhedspriser findes i 1999- og 2000-priser og der vil her derfor kun blive tale om fremdiskontering af enhedspriser. Denne fremdiskontering kan ses på bilag 3.

I det følgende vil de effekter som skal indgå i den samfundsøkonomiske analyse blive vurderet og værdisat. Herefter bliver de vejet op i mod hinanden for at finde letbaneprojektets rentabilitet og der findes en nutidsværdi af projektet over de forskellige afskrivningsperioder. Dette gøres for både scenarie 1 og scenarie 2.

11.2 Værdisætning af tid

For at få den samfundsøkonomiske effekt af tidsbesparelser, skal der laves en værdisætning af tid. På den måde kan tidsbesparelserne indgå på lige fod med andre samfundsøkonomiske effekter i cost-benefit-analysen.

Trafikministeriet har opgivet enhedspriser for tid for kollektiv rejsende¹³. Disse kan ses nedenfor (og omregninger på bilag 2).

¹³ Nøgletalskatalog – til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet

kr./time	Bolig-arbejde	Erhverv	Andet
Kollektive rejsende			
Rejsetid	57	253	34
Ventetid	113	506	68
Skiftetid	113	506	68
Frekvens (skjult ventetid)	28	127	18
Forsinkelsestid	113	506	68

Tabel 2: Trafikministeriets anbefalede tidsværdier (2001-priser) pr. person

Rejsetid er den tid som rejsende bruger på selve transporten med kollektive linier. Altså tiden brugt i bussen eller toget. I modellen opgivet som TimeInVehicle og delt op på de forskellige kollektive transportmidler. Prisen for rejsetiden har mindre værdi end prisen for ventetider og skiftetider, hvilket hænger sammen med at rejsetiden er det egentlige og kalkulerede tidsforbrug på rejsen og en bevægelsestid.

Ventetid er den tid der bruges på at vente mellem to skift. I modellen opgivet som TimeWait. Prisen for ventetiden er høj da den reelt er spildtid og ikke fører den rejsende tættere på sin destination.

Skiftetid er den tid der bruges på at transportere sig mellem to stoppesteder ved et skift. Skiftetiden er med andre ord den tid der bruges på skiftekanten (changes). Skift foregår næsten altid til fods (hvorfor også hastigheden på skiftekanten er sat til fem km/t) og i modellen derfor opgivet som TimeWalk. Prisen for skiftetid er den samme som for ventetid, da de i natur er meget ens. Selvom skiftetiden er en bevægelsestid, kan der fx bevæges i modsat retning af rejsens destination.

Frekvens, eller *skjult ventetid* er den tid der bruges på at vente i hjemmezonen. I modellen opgivet som TimeWaitInZone og altså den tid fra en rejsende bliver udlagt i systemet, til det bliver muligt at komme med det pågældende kollektive transportmiddel. Prisen for den skjulte ventetid er den laveste eftersom tiden i virkeligheden ikke bruges i systemet og derfor kan anvendes til andet end selve rejsen (fx hvis bussen afgår 10 min senere om morgenen end den egentlige præference, vil den rejsende måske vælge at sove 10 min længere og derfor ikke føle samme tab ved ventetiden).

I modellen forudsættes at alle linier kører planmæssigt med den indtastede regularitet. Der kan således ikke forekomme forsinkelser og der arbejdes derfor ikke med forsinkelsestider.

I modellen findes endnu en tidsværdi kaldet TimeZoneConnector, som er tidsforbruget på zoneophæng (connectors). I enhedspriserne fra Trafikministeriet findes ikke priser som direkte kan overføres på det som i modellen repræsenteres af connectortid. I dette projekt regnes nemlig med et differentieret transportmiddelvalg afhængende af længden på

connectors. Derfor kan fx prisen for skiftetid ikke overføres til connectortid, da denne baserer sig på gang. Som følge af denne problemstilling, er det valgt ikke at prissætte tid brugt på connectors. De udelades derfor af den samlede værdisætning af tid. Dette kan forsvares med connectorrejsetiden formentlig ikke ændres ret meget fra det nuværende til ændrede netværk. De steder hvor ændringer fortrinsvis forekommer, er i området omkring den nye letbane og her er netværket meget mere detaljeret end andre steder og connectorlængder derfor mindre. Endvidere bruger letbanen i modellen udelukkende eksisterende infrastruktur og tilmed ligger mange af dens stoppesteder i knuder som i forvejen har et busstoppested. Det vil sige at det ofte er de samme connectors der bruges.

Connectortider er dog repræsenteret i udregningen af tidsbesparelserne (kap 10 Tidsbesparelser), så den samlede oversigt kan ses der.

11.2.1 Fremgangsmåde

Den samfundsøkonomiske effekt af tid udregnes principielt på samme måde som tidsbesparelserne i kap 10. Men eftersom der findes enhedspriser for de forskellige former for tidsforbrug i en rejse (rejsetider, ventetider mm.), kan der ikke bare findes en samlet tidsbesparelse og multiplicere denne med en enhedspris. Enhedspriserne skal ganges på hver af de separate former for tidsforbrug, inden selve udregningerne kan begynde. I udregningen af effekten, bliver der således tale om at regne med priser og ikke med tid.

Den samfundsøkonomiske effekt af tid for de to scenarier inden for det observerede tidsinterval kan ses nedenfor.

kr.	Bolig- arb	Erhverv	Udd/ andet	Samlet
Scenarie 1	20.926	3.525	1.530	25.981
Scenarie 2	19.810	3.330	1.428	24.568

Tabel 3: Sparede kroner som følge af sparet tid

På de to timer i morgenmyldretiden kan der altså samlet spares 25.981 kroner ved opførelsen af en letbane fra Nærum til Hovedbanegården og 24.568 kroner ved opførelsen af en letbane fra Nærum til Nørreport. Dette svarer henholdsvis til 12.991 og 12.284 sparede kroner pr. time i morgenmyldretiden.

Ifølge notatet om samfundsøkonomiske beregninger¹⁴ vil trafikken i de to timer i morgenmyldretiden udgøre 20-25 % af hverdagsdøgnet. Ved at summere OD-matricer fra alle perioder i døgnet, kunne det fastslås mere præcist hvilken andel af døgnetrafikken som modellen afvikler i morgenmyldretiden. Ifølge en tidligere undersøgelse (som dog er udregnet

¹⁴ Notat om samfundsøkonomiske beregninger

på baggrund af KRM¹⁵ matricer og ikke den her anvendte OTM¹⁶) svarer dette til 23 %¹⁷. Hvis det forudsættes at turens længde og destinationer er nogenlunde jævnt fordelt over hele døgnet, kan besparelserne opskrives til et hverdagsdøgn. Hvis det endvidere antages at turens længde og destinationer er nogenlunde jævnt fordelt over hele året, kan besparelserne opskrives til årsniveau, idet der bruges at trafikken i et hverdagsdøgn er 10 % større end i et årsdøgn, altså $\text{ÅDT} = \text{HVDT} / 1,1$

Årsbesparelsen kan derfor opgøres til:

Scenarie 1: $25.981 \text{ kr.} / (0,23 * 1,1) * 365 = 37.482.470 \text{ kr.} \approx 37,5 \text{ mio. kr.}$

Scenarie 2: $24.568 \text{ kr.} / (0,23 * 1,1) * 365 = 35.443.953 \text{ kr.} \approx 35,4 \text{ mio. kr.}$

Opskrivningen af besparelser til årsniveau gøres fordi det er på dette niveau at den samfundsøkonomiske analyse skal foregå. Ovenstående besparelser af tid for de to scenarier vil senere indgå i cost-benefit-analysen.

11.3 Anlægsomkostninger

Anlægsomkostningerne dækker omkostninger i forbindelse med opførelse af den nye letbane alt inklusive. Det vil sige anlæggelsen af skinner, indkøb af vogne, ledningsomlægninger mm. Enhedspriser for disse omkostninger kan ses i bilag 3, samt fremdiskonteringen af dem¹⁸.

Baneteknik: Inkluderer spor, strøm og signaler der har en enhedspris pr. kilometer. Eftersom letbanen kommer til at køre i begge sider af vejen alt efter køreretning, skal der altså etableres spor, strøm og signaler i begge retninger. Det vil sige omkostningen bliver opgjort som enhedsprisen multipliceret med to gange længden af letbanen.

Standsningssteder: Omkostningen for etablering af stationer/stoppesteder. Da letbanen kører i niveau og desuden skal have samme stoppesteder som busser, er etableringen ikke så kostelig som etablering af andre typer af stationer. Det er en enhedspris pr. standsningssted. Som linieføringen er lagt, skal der etableres to standsningssteder ved hvert stop (i hver sin side af vejen) indtil der køres i samme trace fra Klampenborgvej til Nærum st.. Fra og med Klampenborgvej og til Nærum st. er der fire standsningssteder hvor stationen kan betjene begge køreretninger. Det betyder at der i alt skal etableres $2 * 14 + 4 = 32$ standsningssteder på letbanen i scenarie 1, og $2 * 11 + 4 = 26$ standsningssteder på letbanen i scenarie 2.

¹⁵ København-Ringsted- modellen

¹⁶ Ørestadsmodellen

¹⁷ Bedre nærbanebetjening af København

¹⁸ Enhedspriserne stammer fra et notat om anlæg og drift fra kurset Kollektiv Trafikplanlægning

Depot, klargøring og kontrolcenter: Herunder også rangeringsareal. Der behøves kun ét depot til hele letbanen, som formentlig vil blive placeret et sted i området mellem DTU og Nærum st.

Ledningsomkostninger: Der er ret store omkostninger til ledninger, som oven i købet skal laves i begge sider af vejen. Det vurderes at der formentlig findes mange brugbare ledninger i forvejen, især i forløbet på Lyngbyvejen (til en evt. udvidelse af vejen). Det antages derfor at der kun vil være brug for at etablere det fulde ledningssystem på halvdelen af letbanens strækning. Scenarie 1 giver derfor: $2 * \frac{1}{2} * 18,1 \text{ km} = 18,1 \text{ km}$ og scenarie 2: $2 * \frac{1}{2} * 16,1 \text{ km} = 16,1 \text{ km}$ hvor der skal etableres fuldt ledningssystem.

Rullende materiel: Det rullende materiel er selve letbanevognene. Det skal derfor først bestemmes hvor mange vogne der bliver behov for i henhold til køreplan og kapacitet af letbanen.

En togstamme svarer til en afgang, altså hvad der skal sendes af sted hver gang letbanen afgår. Antallet af togstammer der skal bruges på letbanen findes ud fra omløbstiden og den højeste frekvens. Omløbstiden er den tid en togstamme er om at køre et helt omløb (fra fx afgangstiden på Nærum st. til næste afgangstid på Nærum st.).

Omløbstiden er ikke bare den skemalagte køretid fra Nærum til Hovedbanegården/Nørreport og tilbage igen, der skal også inkluderes en holdetid. Som udgangspunkt antages det at når letbanen efter endt omløb ankommer til Nærum st., står der en ny chauffør/letbanefører klar til at tage næste tur. På den måde vil der ikke være brug for ret meget holdetid i Nærum. Da der vælges en letbanetype som kan føres i begge retninger, er der heller ikke brug for vendetid på endestationerne. Det sted hvor behovet for holdetid opstår, er på Hovedbanegården/Nørreport. Den holdetid er så chaufføren/letbaneføreren kan nå at skifte fra den ene ende af letbanevognen til den anden og eventuelt lige indsamle gratisaviser og andet iøjefaldende affald på vejen. Holdetiden skal helst vælges så stammebehovet går op (ingen decimaltal) og det er derfor valgt at tildele holdetider på 8 og 6 minutter for henholdsvis scenarie 1 og scenarie 2. Det menes at det lige nøjagtig kan forsvares med så lave holdetider, når argumenterne ovenfor tages i betragtning.

Højeste frekvens på letbanen bliver 5 minutters drift, det vil sige 12 afgang i timen.

Stammebehov for letbanen:

Scenarie 1: $\text{Omløbstid} * \text{frekvens} = (2 * 26 + 8) / 60 * 12 \text{ timer}^{-1} = 12 \text{ stammer}$

Scenarie 2: $\text{Omløbstid} * \text{frekvens} = (2 * 22 + 6) / 60 * 12 \text{ timer}^{-1} = 10 \text{ stammer}$

Selve letbanetypen blev foreslået at kunne være Eurotram kendt fra fx Strasbourg. Denne kører som minimum med en vogn bestående af tre sektioner som i alt kan indeholde 285 passagerer¹⁹. Da dette antal passagerer er langt større end hvad fx 150S kan medbringe og da letbanens høje afgangshyppighed sikrer at der på intet sted eller tid er flere end 160 passagerer (se kap. 8 Passagertal på letbanen), vurderes det at der kun skal bruges én vogn pr. afgang. Hver togstamme består derfor af én vogn.

Imidlertid skønnes det at være nødvendigt med to ekstra stammer/vogne for at køreplanen altid kan overholdes. Således kan der til enhver tid være en vogn til reparation, mens en anden kan stå standby i tilfælde af tekniske problemer på en vogn i funktion.

De opregnede anlægsomkostninger kan ses i tabellerne nedenfor.

Scenarie 1			
<i>Anlægsomkostninger</i>	Enhedspris	Mængde	I alt
	[mio. kroner]		[mio. kr]
Baneteknik			
Spor	10,2 pr. km	2 * 18,1 km	369,2
Kørestrøm og strømforsyning	8,2 pr. km	2 * 18,1 km	296,8
Signaler, telekommunikation m.m.	2,0 pr. km	2 * 18,1 km	72,4
Standsningssteder			
Station i niveau	3,1 pr. station	32 stationer	99,2
Depot, klargøring og kontrolcenter	165,9	1 depot	165,9
Ledningsomlægninger			
Afløbsledninger	4,1 pr. km	18,1 km	77,1
Telefon- og elkabler	2,0 pr. km	18,1 km	37,6
Fjernvarme	25,6 pr. km	18,1 km	481,3
Vandledninger	6,1 pr. km	18,1 km	114,7
Gasledninger	6,1 pr. km	18,1 km	114,7
Rullende materiel	14,3 pr. vogn	14 vogne	200,2
Udstyr til passagerinformation, kommunikation m.m.	0,3 pr. vogn	14 vogne	4,2
I alt			2033,3

Tabel 4: Anlægsomkostninger for letbanen i scenarie 1

¹⁹ Railway-technology.com

Scenarie 2			
<i>Anlægsomkostninger</i>	Enhedspris	Mængde	I alt
	[mio. kroner]		[mio. kroner]
Baneteknik			
Spor	10,2 pr. km	2 * 16,1 km	328,4
Kørestrøm og strømforsyning	8,2 pr. km	2 * 16,1 km	264,0
Signaler, telekommunikation m.m.	2,0 pr. km	2 * 16,1 km	64,4
Standsningssteder			
Station i niveau	3,1 pr. station	26 stationer	80,6
Depot, klargøring og kontrolcenter	165,9	1 depot	165,9
Ledningsomlægninger			
Afløbsledninger	4,1 pr. km	16,1 km	66,0
Telefon- og elkabler	2,0 pr. km	16,1 km	32,2
Fjernvarme	25,6 pr. km	16,1 km	412,2
Vandledeledninger	6,1 pr. km	16,1 km	98,2
Gasledninger	6,1 pr. km	16,1 km	98,2
Rullende materiel	14,3 pr. vogn	12 vogne	171,6
Udstyr til passagerinformation, kommunikation m.m.	0,3 pr. vogn	12 vogne	3,6
I alt			1785,4

Tabel 5: Anlægsomkostninger for letbanen i scenarie 2

11.4 Driftsomkostninger

Driftsomkostninger er omkostningen på driften af letbanen og derfor en løbende omkostning der opgøres pr. år. Driftsomkostninger indeholder både vedligeholdelse af anlægget, samt drift af det rullende materiel. Enhedspriser og deres fremdiskontering, kan ses i bilag 3. Udregning af kørte kilometer for letbanen kan ses på bilag 4.

Baneteknik: Omkostningen dækker over vedligeholdelse af anlægget (spor mm.). Det er de samme dele af anlægget der her betegnes under baneteknik som i anlægsomkostninger. Omkostningen er derfor opgivet som en hvis årlig procentdel af anlægsomkostningen.

Standsningssteder: Herunder kommer vedligeholdelsen af stationer. Som for baneteknik, udgøres omkostningen af en årlig procentdel af anlægsomkostningen.

Rullende materiel: Omkostningen dækker driften af selve letbanen, vedligeholdelse af vogne mm. og opgøres derfor som en enhedspris pr. vognkm. Driftsprisen for en letbane kan findes til 50 kr. pr. vognkm²⁰. Denne enhedspris baserer sig imidlertid på bykørsel med en formodet gennemsnitshastighed på 20 km/t. Letbanen har kun en lille del af sit forløb som decideret bykørsel, resten foregår mere eller mindre i eget trace og der kan køres væsentlig hurtigere. Det bevirker at letbanens gennemsnitshastighed er på (scenarie 1: 18,1 km / (26 / 60) t = 42 km/t og scenarie 2: 16,1 km / (22 / 60) t = 44 km/t) over 40 km/t. Derfor er det valgt at nedsætte enhedsprisen til 30 kr. pr. vognkm (i 1999-priser).

Opregnede driftsomkostninger kan ses nedenfor.

Scenarie 1			
<i>Driftsomkostninger pr. år</i>	Enhedspris	Mængde	I alt [mio. kroner]
Baneteknik	3 % af anlægspris	738,4 mio. kr.	22,2
Standningssteder	2 % af anlægspris	99,2 mio. kr.	2,0
Rullende Materiel	32 kr. pr. vognkm	1.488.800 km	47,6
I alt			71,8

Tabel 6: Driftsomkostninger for letbanen i scenarie 1

Scenarie 2			
<i>Driftsomkostninger pr. år</i>	Enhedspris	Mængde	I alt [mio. kroner]
Baneteknik	3 % af anlægspris	656,8 mio. kr.	19,7
Standningssteder	2 % af anlægspris	80,6 mio. kr.	1,6
Rullende Materiel	32 kr. pr. vognkm	1.325.100 km	42,4
I alt			63,7

Tabel 7: Driftsomkostninger for letbanen i scenarie 2

11.5 Eksternaliteter

Eksternaliteter dækker over de lidt mere u håndgribelige effekter som er svære at prissætte. Her er det omkostninger ved støj- og luftforurening, samt uheldsomkostninger. De er opgivet som en enhedspris pr. vognkm. Enhedspriser kan ses i bilag 3 og udregning af kørte kilometer for letbanen kan ses på bilag 4.

Nedenfor ses de samlede omkostninger for eksternaliteter.

²⁰ Projekt Basisnet

Scenarie 1			
<i>Eksternaliter</i>	Enhedspris	Mængde	I alt
<i>omkostninger pr. år</i>	kr. pr. 1000 vognkm	1000 vognkm	[mio. kroner]
Støj	63	1.488,8	0,09
Luftforurening	367	1.488,8	0,55
Uheld	722	1.488,8	1,07
I alt			1,7

Tabel 8: Omkostninger for eksternaliteter i scenarie 1

Scenarie 2			
<i>Eksternaliter</i>	Enhedspris	Mængde	I alt
<i>omkostninger pr. år</i>	kr. pr. 1000 vognkm	1000 vognkm	
Støj	63	1.325,1	0,08
Luftforurening	367	1.325,1	0,49
Uheld	722	1.325,1	0,96
I alt			1,5

Tabel 9: Omkostninger for eksternaliteter i scenarie 2

11.6 Sparet drift mm. af nedlagte buslinier

Når letbanen er etableret vil der kunne skæres nogle eksisterende bustimer væk. Det kan både være nedlæggelse af nogle buslinier, eller nedsættelse af antallet af afgang på andre linier. Disse busser har også en omkostning i form af drift, støj, luftforurening og uheld. Når disse bustimer skæres væk, giver det altså en besparelse på de ovennævnte effekter. Eftersom der ikke bliver sparet bustimer i den indre by, er det der spares på nedskårede buslinier ens for de to scenarier. Enhedspriser ses i bilag 3 og udregning af vogntimer og kørte kilometer kan ses på bilag 4.

Nedenfor ses de samlede besparelser for de bustimer der skæres væk i forbindelse med letbanen.

	Enhedspris	Mængde	I alt [mio. kroner]
Buslinie 173E			
Drift	468 kr/vogntime	3.600 vogntimer	1,68
Støj	0,489 kr/vognkm	135.200 vognkm	0,07
Luftforurening	0,839 kr/vognkm	135.200 vognkm	0,11
Uheld	0,101 kr/vognkm	135.200 vognkm	0,01
I alt			1,87
Buslinie 150S			
Drift	468 kr/vogntime	19.500 vogntimer	9,13
Støj	0,489 kr/vognkm	698.800 vognkm	0,34
Luftforurening	0,839 kr/vognkm	698.800 vognkm	0,59
Uheld	0,101 kr/vognkm	698.800 vognkm	0,07
I alt			10,13
Buslinie 184			
Drift	468 kr/vogntime	5.800 vogntimer	2,71
Støj	0,489 kr/vognkm	133.400 vognkm	0,07
Luftforurening	0,839 kr/vognkm	133.400 vognkm	0,11
Uheld	0,101 kr/vognkm	133.400 vognkm	0,01
I alt			2,90
Total			14,9

Tabel 10: Besparelser som følge af nedlagte buslinier

11.7 Samfundsøkonomisk Analyse

Ovenover er gennemløbet de samfundsøkonomiske effekter der skal indgå i analysen af letbanens rentabilitet. Det er de såkaldte kerneeffekter, som er relativt lette at prissætte og på den baggrund giver god mulighed for et regnestykke som kan antyde om letbanen vil være samfundsøkonomisk rentabel. Analysen bygger på en opvejning af omkostninger (costs) og besparelser (benefits) og letbanens rentabilitet undersøges med nutidsværdien (NPV).

Nedenfor ses de samfundsøkonomiske omkostninger og besparelser som fås ved letbaneprojektet for både scenarie 1 og 2 i beregningsåret 2001. Det forudsættes at denne værdi vil være konstant for alle år i afskrivningsperioderne og der er derfor tale om en konstant annuitet.

Scenarie 1	
Effekter	Total (2001-priser) [mio. kr.]
Årlige udgifter til Letbanen	
Drift	- 71,8
Eksternaliteter	- 1,7
Årlige besparelser på busser	
Drift + Eksternaliteter	+ 14,9
Tidsbesparelser	+ 37,5
Total	- 21,1

Tabel 11: Årlige benefits og disbenefits som følge af letbanen i scenarie 1

Scenarie 2	
Effekter	Total (2001-priser) [mio. kr.]
Årlige udgifter til Letbanen	
Drift	- 63,7
Eksternaliteter	- 1,5
Årlige besparelser på busser	
Drift + Eksternaliteter	+ 14,9
Tidsbesparelser	+ 35,4
Total	- 14,9

Tabel 12: Årlige benefits og disbenefits som følge af letbanen i scenarie 2

Som det ses har letbanen samlet negative benefits, da summen af disbenefits er større end summen af benefits. Ved en cost/benefit-analyse indgår som før omtalt både omkostninger (costs) og besparelser (benefits). Costs udgøres af anlægsomkostningerne og benefits af de besparelser som opnås årligt. På den måde vil projekter med positive benefits, over en afskrivningsperiode normalt kunne opveje anlægsomkostningerne og projektet har så at sige tjent sig selv hjem. Dette forudsætter først og fremmest at der er tale om årlige samfundsøkonomiske besparelser som følge af etableringen af den nye infrastruktur.

Letbaneprojektet har altså en negativ konstant annuitet. Det betyder at letbanen ikke kan komme til at betale sig selv, ligegyldig hvilken periode der afskrives over.

Derfor vil det i princippet ikke være særligt relevant at beregne en BC-rate, når der kun kigges på rentabiliteten af det enkelte projekt. Heller ikke en nutidsværdi er specielt relevant, men kan dog fortælle hvor meget samfundet taber ved anlæggelsen af letbanen. Imidlertid kan både BC-raten og nutidsværdien alligevel bruges. Fx som sammenligningsgrundlag med andre ikke-rentable projekter og i dette tilfælde altså sammenligningen mellem scenarie 1 og scenarie 2.

11.8 Scrap-værdi

Når de samfundsøkonomiske analyser beregner rentabilitet af projekter, gøres det ud fra en afskrivningsperiode der ideelt set burde betragtes som infrastrukturens levetid. Denne levetid kan naturligvis være meget svær at forud bestemme og normalt regnes med en kortere afskrivningsperiode end levetiden. Derfor vil infrastrukturen have en værdi efter afskrivningsperioden, den såkaldte scrap-værdi eller restværdi. I dette projekt er blevet anvendt afskrivningsperioder på 30, 40 og 50 år. Hvis letbanen stadig er funktionsdygtig efter disse afskrivningsperioder, har den således en rimelig høj scrap-værdi. Selvom den ikke skulle være funktionsdygtig, vil den formentlig stadig have en scrap-værdi i form af materialer, men denne vil naturligvis være langt mindre.

I dette projekt er der regnet med at der årligt bruges 2-3 % af anlægsomkostningerne til vedligeholdelse af skinner og stationer og det formodes at der indgår en lignende andel i enhedsprisen på det rullende materiel. Med de tal vil der kunne opretholdes en god standard på letbanen og vedligeholdelsen vil kunne komme mange af ældningsproblemerne i forkøbet. Det forventes derfor at letbanen vil kunne holdes i fuld funktionsdygtig stand gennem alle de anvendte afskrivningsperioder og med lidt god tilnærmelse vil det betyde at letbanen har samme værdi ved endt afskrivningsperiode som da den blev etableret. Altså at scrap-værdien er lig anlægsomkostningerne. Denne værdi skal derfor medtages i de samfundsøkonomiske beregninger som en benefit.

11.9 Nutidsværdi

Nutidsværdi er et generelt term for en tilbagediskontering af en fremtidsværdi til priser i nutiden, men i denne rapport bruges termen på lige fod med en BC-rate. Nutidsværdien er bare en difference i stedet for et forhold. Når der snakkes om nutidsværdi her, er det altså en metode til at vurdere hele projektets værdi og rentabilitet opgjort i en nutidsværdi. En BC-rate kan på den bedst overskuelige måde fortælle om et projekt er rentabelt, men den siger intet om hvilken reel værdi projektet har. Det gør en nutidsværdi til gengæld. Til tider kan en faktor dog være mere overskuelig end en reel værdi og det kan derfor anbefales at udregne både BC-rate og nutidsværdi.

Nutidsværdien findes som summen af de årlige benefits tilbagediskonteret, plus den benefit som fås fra scrap-værdien tilbagediskonteret, minus anlægsomkostningerne i anlægsåret. En positiv nutidsværdi betyder normalt at projektet er rentabelt over den pågældende afskrivningsperiode. Da alle priser i analysen er regnet i 2001-årsprisniveau, vil nutidsværdien i princippet også blive regnet til dette år.

Når det som her antages at scrap-værdien er lig anlægsomkostningerne, kan scrap-værdien findes som anlægsomkostningerne tilbagediskonteret.

Nutidsværdien (NPV) findes som følger:

$$NPV = \sum_{t=0}^T B_t \cdot (1+r)^{-t} + C_0 \cdot (1+r)^{-T} - C_0$$

hvor:

T er afskrivningsperioden

B_t er de samlede benefits og disbenefits i år t

C_0 er anlægsomkostninger i år 0

r er kalkulationsrenten

Ud fra ovenstående formel findes nutidsværdien af letbaneprojektet for både scenarie 1 og scenarie 2. For afskrivningsperioder på 30, 40 og 50 år og en fastholdt samfundsøkonomisk kalkulationsrente på 6 %²¹

Nutidsværdi i mio. kroner	Afskrivningsperiode		
	30 år	40 år	50 år
Scenarie 1	-1970	-2153	-2255
Scenarie 2	-1680	-1836	-1923

Tabel 13: Nutidsværdi af letbaneprojektet for forskellige afskrivningsperioder

Som det var formodet på forhånd, ville nutidsværdien blive negativ, på grund af den negative konstante annuitet. Endvidere ses det at jo længere afskrivningsperioden er, des mindre bliver nutidsværdien. Som udgangspunkt vil dette altid være tilfældet når den konstante annuitet er negativ, da der for hvert år tilføjes et nyt underskud til samfundet. Men når scrap-værdien som her udgøres af de tilbagediskonterede anlægsomkostninger, vil en negativ nutidsværdi kun blive mindre jo længere afskrivningsperioden er, også selvom der var tale om en positiv konstant annuitet. Det skyldes at det der vindes på større samlede benefits som følge af en længere afskrivningsperiode, ikke kan opveje det der tabes på scrap-værdien. Først idet nutidsværdien bliver positiv, vil en længere afskrivningsperiode betyde en større nutidsværdi. Som følge af dette vil et projekt der balancerer (nutidsværdi = 0), have den samme konstante annuitet, uanset afskrivningsperiode. Så medmindre at den konstante annuitet er høj nok til at sikre en positiv nutidsværdi, vil det i teorien faktisk være at foretrække med en så kort afskrivningsperiode som muligt.

Det ses at selvom begge scenarier opnår en negativ nutidsværdi, er scenarie 2 det projekt der bedst kan betale sig for samfundet, her taber samfundet så at sige mindst.

²¹ Kalkulationsrenten er fundet fra Trafikministeriets Nøglelaskatalog – til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet

Benefit-cost udregninger kan ses i bilag 5. Her kan også ses BC-rater for de forskellige afskrivningsperioder. Ved brug af en solverfunktion kan det findes ud af hvor stor den konstante annuitet skulle have været for at projektet kunne blive samfundsøkonomisk rentabelt. Her er det undersøgt for de værdier der gør at projektet lige nøjagtigt balancerer, det vil sige at benefits er lig med cost ($B/C = 1$ og nutidsværdi = 0).

I mange tilfælde ønskes at projekter mere end balancerer, de skal så at sige give overskud til samfundet. I sådanne tilfælde ville kravet måske være en BC-rate på minimum 1,5. Sådanne krav gælder ofte for vejprojekter, men for kollektive projekter bliver det lidt mere komplekst. Som det vil blive berørt senere, findes der også andre effekter end lige dem der indgår i cost-benefit-analysen, som skal tages i betragtning og de kan måske godt opveje for en mindre god BC-rate.

Men faktum er at dette projekt ikke er rentabelt set ud fra cost-benefit-analysen, og derfor er det undersøgt hvad der egentlig skal til bare for at få det til at balancere. Det viser sig at for at projektet kan balancere, skal der i scenarie 1 være en positiv konstant annuitet på 122 mio. kr. og i scenarie 2 på 107 mio. kr.

12 Forskellige faktorerers indflydelse på benefits

Som det blev konstateret i foregående afsnit om samfundsøkonomi, har letbaneprojektet i begge scenarier negative årlige benefits og bliver derfor ikke rentabelt. Dette kunne være en konklusion i sig selv og analysen baseret på de samfundsøkonomiske kerneeffekter ville ikke tælle for en udførelse af projektet. Hvis det havde vist sig at projektet var rentabelt, havde den konklusion formentlig fået lov at stå. Men eftersom det ikke er tilfældet, ledes efter årsagerne. Mest nærliggende er det naturligvis at konkludere at en letbane langs Helsingørmotorvejen simpelthen ikke er rentabel ud fra en CBA, men der kan være nogle faktorer i analysen der kan skævvride resultatet. I udregningerne af benefits i den samfundsøkonomiske analyse er brugt nogle antagelser og vurderede enhedspriser mm. Disse er naturligvis skønnet på en kvalificeret måde og formodes derfor at give det bedste billede. Men det kan ikke udelukkes at de kunne være skønnet anderledes og at det ville have en effekt på det endelige resultat.

I det følgende undersøges nogle faktorerers indflydelse på projektets årlige benefits. Ændring i disse benefits kan nemlig påvirke det endelige resultat af den samfundsøkonomiske analyse.

12.1 Med flere fraskårede busser

Som det før er blevet beskrevet ville en etablering af en letbane formentlig betyde en større omlægning af bussystemet, især i scenarie 1 som jo også kører inde i City. Denne omlægning har det ikke været muligt at skønne i dette projekt. De busser der er blevet skåret væk som følge af letbanen er derfor kun dem der åbenlyst ville være konkurrerende. Dette betyder at der ikke spares så mange penge på drift mm af fraskårede busser og der ville formentlig kunne hentes mere i virkeligheden.

Det kunne tænkes at flere buslinier med hård hånd blev skåret væk. Eksempelvis kunne 184 helt skæres væk og ikke bare mindskes i afgang. 6A kunne omlægges. 185 kunne skæres væk eller reduceres kraftigt og endelig kunne 150S være blevet skåret helt væk og videre færd mellem Nærum og Kokkedal måtte overtages af en aflægger af 300S. Inde i byen ville der i scenarie 1 kunne skæres i nogle bustimer. Fra hvilke linier er dog vanskelig at vurdere pga. den større kompleksitet.

Alt i alt ville det godt kunne forsvares at spare flere bustimer væk. En overslagsberegning giver at der kunne spares ca. fem millioner årligt på hver af de to linier 184 og 185, hvis de blev skåret helt væk. En fuldstændig nedskæring af 150S ville kunne give yderligere otte millioner i sparede udgifter om året. At antage at de tre buslinier derfor vil kunne give en samlet besparelse på ca. 18 millioner kroner, er dog ikke helt rigtig. En fjernelse af disse busser der også har andre funktioner som vil være en ulempe at skære væk, vil betyde noget for rejsende i det kollektive netværk. En fjernelse af yderligere linier uden nogen erstatning

(udover letbanen som jo har indgået i rutevalgsberegningen), vil betyde en forringelse af netværket og dermed mindre besparelser på tid. Hvis en fuldstændig nedskæring af de ovennævnte linier skulle indgå som en del af den samfundsøkonomiske analyse, ville det være nødvendigt at lave nye modelberegninger hvor disse linier ikke indgår. Det er ikke gjort her, men alligevel synes det godt at kunne forsvares at nedskære ekstra buslinier der samlet betyder en besparelse på mellem 10 og 15 millioner kroner om året (også med de mindre tidsbesparelser i betragtning). Det er langt fra sikkert at der ville blive tale om fuldstændige nedlæggelser, ej heller er det sikkert at det lige nøjagtig skulle være 184, 185 og 150S det bliver aktuelt for. Men samlet vurderes det at der for scenarie 1 med den medfølgende busomlægning alt i alt vil kunne spares hvad der ca. svarer til to hele, men mindre befærdede buslinier udover de buslinier der blev skåret væk inden den samfundsøkonomiske analyse. For scenarie 2 vil det nok være lidt mindre, da letbanen her ikke kører så meget inde i City. Det anslås derfor at der i scenarie 1 i alt kan spares 15 mio. kroner om året og i scenarie 2 kan spares 10 mio. kr. udover de i forvejen fra- og nedskårede.

12.2 Med driftenhedspris på letbanen på 25 i stedet for 30 kr/vognkm

Enhedsprisen for drift af en letbane, kunne ud fra Projekt Basisnet findes til til 50 kr/vognkm (1999-priser). Det blev tidligere beskrevet at denne bygger på decideret bykørsel med en gennemsnitshastighed på 20 km/t. Da der med letbanen køres med en gennemsnitshastighed på over 40 km/t, blev det vurderet at enhedsprisen for driften af letbanen kunne nedsættes. I og for sig kunne det argumenteres at eftersom letbanen i dette projekt kører over dobbelt så hurtigt som den hastighed enhedsprisen baserer sig på, kunne enhedsprisen halveres. I stedet for at halvere den til 25 kr/vognkm (1999-priser), blev den nedsat til 30 kr/vognkm (1999-priser). Argumentationen om at halvere enhedsprisen kan godt forsvares. Med en nedsætning af enhedsprisen på 5 kr/vognkm (til 25 kr/vognkm i 1999-priser), kan driftsomkostningerne udregnes igen og det viser sig at der derved kan spares 7,4 mio kroner om året på driften i scenarie 1 og 6,6 mio. kr. om året i scenarie 2.

12.3 Med 20 % i andelen af myldretiden

I følge notatet om samfundsøkonomiske beregninger, vil 20 til 25 % af den kollektive trafikmængde blive afviklet i morgenmyldretidens to timer. Her blev anvendt en andel på 23 %. Denne baserer sig på en opsummering af OD-matricer for hele døgnet for KRM og ikke den her anvendte OTM. Det kunne med andre ord tænkes at det kun er 20 % af den kollektive trafikmængde der afvikles i morgenmyldretiden (eller 25 % for den sag skyld, men det er irrelevant her). Hvis det antages at det kun er 20 % i morgenmyldretiden vil det få en positiv indflydelse på tidsbesparelserne. På et år vil det betyde en tidsbesparelse svarende til 5,6 mio. kr. i Scenarie 1 og 5,3 mio. kr. i scenarie 2.

12.4 Med oprindelig køreplan

I det oprindelige forslag til køreplan for letbanen²², var der skævet en del til den nuværende vigtigste buslinie i korridoren, buslinie 150S. Den oprindelige køreplan lignede derfor køreplanen for 150S, dog med hyppigere afgange og minimum 20-minutters drift også om aftenen. Eftersom letbanen i dette projekt blev afkortet fra Kokkedal til Nærum, blev den mere at betragte som en bybane. Med denne betragtning fulgte det ræsonnement at serviceniveauet skulle være højere og afgangshyppigheden sættes væsentlig op. I den nye køreplan er der som minimum 10-minutters drift både aftener og weekender. Det giver sig selv at det betyder øgede driftsomkostninger at have flere afgange, derfor var der på forhånd ikke nogen tvivl om at ved at anvende den nye køreplan, øgedes de samlede driftsomkostninger.

Det kunne derfor være interessant at se hvilke driftsomkostninger letbanen ville have såfremt den oprindelige køreplan havde været anvendt. Dette kan undersøges forholdsvis nemt, da de to køreplaner har et identisk afgangsmønster i hele morgenmyldretiden. Det er således ikke nødvendigt at lave nye modelberegninger, men udelukkende fokusere på forskellene som ligger udenfor morgenmyldretiden.

Dette kan dog kun lade sig gøre hvis det vælges at negligere den ændring i tidsbesparelser en ændring i frekvensen vil medføre. Da ændringerne sker udenfor simuleringsperioden er det ikke muligt at bestemme, og frem for et ukvalificeret skøn vælges det simpelthen at se bort fra disse forskelle. Men det er klart at en lavere frekvens også vil betyde mindre tidsbesparelser og resultatet her skal derfor tages med et hvis forbehold. Metoden til at undersøge dette ville være at køre rutevalgsberegninger på resten af døgnet for de to køreplaner, hvilket også generelt ville give mere korrekte tidsbesparelser. Det kræver imidlertid OD-matricer for hele døgnet og væsentlig længere beregningstider og er derfor ikke blevet gjort her.

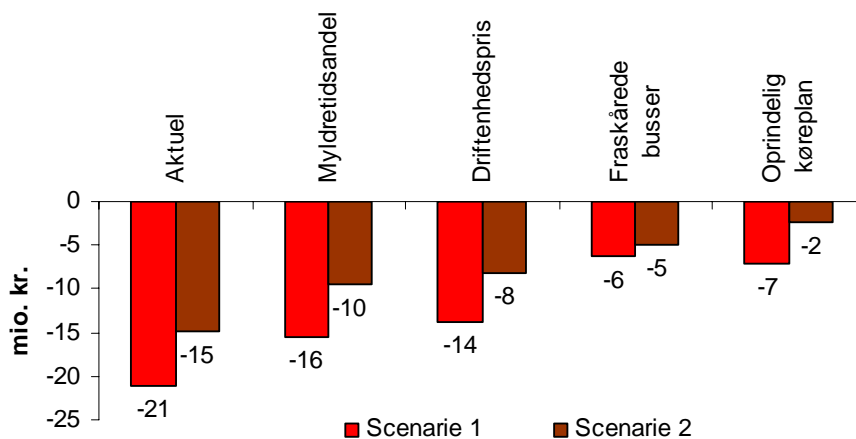
Beregninger og forklaringer kan ses på bilag 6.

Udregningerne viser sig at der på driften og eksternaliteter kan spares 14,5 mio. kr. årligt i scenarie 1 og 12,9 mio. kr. årligt i scenarie 2. Dette betyder at scenarie 2 pludselig ikke er så langt fra at give positive årlige benefits.

²² Køreplanen udarbejdet i den tidligere rapport: Letbane langs Helsingørmotorvejen – et projekt i kollektiv trafikplanlægning, er her omtalt som den oprindelige eller gamle køreplan

12.5 Oversigt

I nedenstående figur kan det anskues hvorledes ovennævnte faktorer kan have indflydelse på de årlige benefits. Figuren viser hvad værdien af den konstante annuitet beregnet ud fra den samfundsøkonomiske analyse, vil være såfremt der ændres på faktorerne som beskrevet ovenover.



Figur 17: Årlige benefits med forskellige faktorerers indflydelse

Aktuel refererer til den værdi der blev udregnet ud fra den samfundsøkonomiske analyse, foretaget i kapitel 11.

Myldretidsandel refererer til den værdi der fås når der regnes med at morgenmyldretiden kun udgør 20 % af det samlede hverdagsdøgns trafikmængde i stedet for 23 %.

Driftenhedspris refererer til den værdi der fås når enhedsprisen for drift af letbanen nedsættes fra 30 til 25 kr/vognkm (1999-priser).

Fraskårede busser refererer til den værdi der fås når flere busser skæres væk eller ved en større busomlægning.

Oprindelig køreplan refererer til den værdi der fås ved det driftoplæg der fås ud fra den gamle/oprindelige køreplan.

12.6 Andet

Idet det må konstateres at der ikke vindes så meget på tid som det måske var forventet, kan det nævnes at der i dette projekt er blevet anvendt differentierede enhedspriser for tid. Dette formodes at give bedre og mere realistiske resultater. Tidsbesparelserne ville, før de nye enhedspriser fremkom, have været udregnet efter de gamle enhedspriser, som i virkeligheden kun var én enhedspris baseret på et vægtet gennemsnit af de forskellige turformål og som ikke tog hensyn til forskellen i værdisætningen af fx ventetider kontra rejsetider. Hvis denne enhedspris (58 kr./time/person) var blevet anvendt i stedet for de differentierede enhedspriser, ville der i følge beregningen have været et sted mellem 8 og 9 millioner kroner større besparelser på tid årligt i begge scenarier.

12.7 Vurdering

Det ses hvordan fx en ændret køreplan næsten kunne give positive benefits i scenarie 2. Nu bliver de stadig negative, så en ny udregning af nutidsværdien eller B/C-raten synes ikke så meningsfuld. Noget tyder dog på at det med justeringer i nogle af disse faktorer, faktisk kan lykkes at opnå små positive benefits. Dette alene er dog ikke nok til at projektet kan betale sig hjem, eftersom der stadig er nogle store anlægsomkostninger. Men bare det at projektet giver nogle positive benefits til samfundet, gør muligvis at der ses med større velvilje på det.

Ovenstående analyse bekræfter at der med holdbare argumenter godt kan skrues på flere faktorer i udregningen af benefits, hvorved det endelige resultat kan forskydes. Hvis alle de faktorer der er taget i betragtning her blev ”drejet” i retning af en positiv indflydelse på slutresultatet (ligesom det også er blevet gjort i det ovenstående), ville deres samlede effekt medføre at projektet kunne opnå positive benefits på adskillige millioner kroner årligt.

Det menes dog stadig at de faktorer der er blevet anvendt i den oprindelige samfundsøkonomiske analyse er de bedst skønnede (måske med undtagelse af sparede bustimer) og på baggrund af disse må det konstateres at projektet ikke er rentabelt ud fra en CBA.

13 Strategiske effekter og multikriterier

Det der dannede grundlag for den samfundsøkonomiske analyse, var de såkaldte kerneeffekter. Disse kan indgå i cost-benefit-analyser (CBA) fordi de baserer sig på økonomiske effekter, eller med andre ord at de kan prissættes. CBA er en monetær analysemetode og det ligger der en begrænsning i. Ved større infrastrukturprojekter opnås ofte andre effekter, hvis indflydelse skal ses over en længere periode og som generelt er vanskelige at prissætte. De såkaldte strategiske effekter som bl.a. kan have en indflydelse på arealanvendelsen. Nye skinnebårne kollektive projekter, kan med deres attraktivitet føre byudvikling med sig. Områder som før måske var svært tilgængelige og som lige pludselig får en station på en helt ny linie, bliver mere attraktive og kan opnå en udvikling og fortætning.

For virksomheder spiller stationsnærhedspolitikken her en rolle, men i de senere år ses også en udvikling hvor især videnbaserede virksomheder ønsker at opføre nye domiciler i nærheden af gode kollektive forbindelser. Dette skal ses som en service fra virksomheden til sine medarbejdere og stille dem bedre i forsøget på at tiltrække den bedst kvalificerede arbejdskraft. Undersøgelser viser at hvis en virksomhed har en stationsnær placering, vil dens medarbejdere også benytte sig af det. På den måde vil det skabe yderligere passagerer til den kollektive linie. Det behøver dog ikke kun at være virksomheder der bliver tiltrukket af en stationsnær placering, men også boliger da mange folk gerne vil bo stationsnært.

Faktisk er det før erfaret hvordan skinnebårne kollektive linier kan bruges som et byplanlægningsværktøj, hvor bysamfund skyder op langs en ny banes stationer. Dette sås fx med den københavnske fingerplan og S-togene, og tendensen ses også i Ørestaden med Metroen. Attraktive skinnebårne linier kan altså over længere sigt have en selvforstærkende effekt, der ikke blot giver flere passagerer, men også giver byudvikling til et område og måske bedre livskvalitet for de nye beboere og arbejdstagere. Det er selvsagt vanskeligt at prissætte sådanne faktorer og udviklingen kan også strække sig over årtier.

Derfor arbejdes der også med såkaldte multi-kriterie-analyser (MCA), som kan håndtere effekter som de strategiske. Disse baserer sig ikke på økonomi, men fx på en tildeling af score, hvor hver effekt vurderes og får tildelt en score på en prædefineret skala. Multi-kriterie-analyser kan som navnet indikerer indeholde mange kriterier eller effekter, også dem der kan prissættes. Det vil sige de kan kombinere cost-benefit-analyser med strategiske analyser. Dog kan de ikke sammenlignes direkte da deres enhed stadig vil være forskellig.

Der findes mange forskellige metoder til multi-kriterie-analyser, men de vil ikke blive gennemgået her. De strategiske effekter indgår derfor ikke direkte i undersøgelsen af letbaneprojektet, men der er opmærksomhed på deres eksistens, hvilket også påvirker den endelige betragtning.

14 Diskussion

De undersøgelser der her er foretaget af letbaneprojektet langs Helsingørmotorvejen giver ikke nogen entydig indikation af dets berettigelse. Med det forstås at ikke alle undersøgelserne peger i samme retning. Den samfundsøkonomiske analyse giver naturligvis en indikation på at letbaneprojektet er en dårlig forretning. Imidlertid sås det at letbanen ifølge modelberegningen, faktisk vil opnå nogle høje passagertal. Det kan derfor undre hvorfor dette ikke udmønter sig i større tidsbesparelser. De tidsbesparelser der opnås ved letbanen er mindre end det forventede og det giver derfor en ikke særlig tungtvejende post i den samfundsøkonomiske analyse. Set i lyset af de høje passagertal, burde større tidsbesparelser kunne forventes. Den umiddelbare forklaring kan være at der er mange rejsende i netværket som opnår en større nytte ved at tage med letbanen, men at den tidsbesparelse de får ud af det er marginal. Hvis en rejsende kun lige akkurat opnår større nytte ved at tage letbanen, vil den blive valgt. Men selvom den er det bedste valg for den rejsende, er der måske et andet alternativ til letbanen som giver næsten den samme nytte. På den måde vil det være marginalt hvad den rejsende sparer. Hvis dette er tilfældet for mange rejsende i netværket, vil det resultere i en situation som her, hvor der er mange rejsende med letbanen, men tidsbesparelserne er forholdsvis små.

Det kan også konstateres at de fraskårede busser som før varetog betjeningen af Helsingørmotorvejen faktisk er ganske hurtige. Selvom de er langsommere end letbanen og har en lavere frekvens, må det nok siges at motorvejsbusserne er nogle af de hurtigste busser. Det vil derfor give en mindre tidsbesparelse for passagerer der kører i korridoren både før og efter etablering af letbanen, end hvis der havde været tale om langsommere busser.

Derudover kan letbanens tiltrækningskraft som følge af en højere attraktivitet end busser også spille ind. Letbaner har i modellen fået nogle parametre som skal tage højde for dens attraktivitet. Disse parametre skal afspejle den såkaldte skinnefaktor samt den bedre regularitet som skinnebårne linier ofte har (i forhold til busser). Faktorer der gør at skinnebårne kollektive linier er mere attraktive end busser. Det kan være at disse parametre spiller en større rolle end antaget.

Havde tidsbesparelserne været dobbelt så store, ville det have betydet at letbanen ville give adskillige millioner kr. i årlige benefits til samfundet. Modelberegninger kan være mangelfulde og det er ikke sikkert de giver helt realistiske resultater. Men uanset årsagen til, og realismegraden af, de forholdsvis små tidsbesparelser, må de betragtes som det bedste bud der kan gives og derfor kvalificerede til anvendelse i analysen om letbanens berettigelse.

Det er meget få tilfælde hvor større kollektive infrastrukturprojekter ved en cost-benefit-analyse viser sig at være rentable. Det behøver imidlertid ikke at være en hindring for deres

gennemførelse, fordi også andre effekter spiller ind. Det synes dog umiddelbart vanskeligt at forsvare et projekt som giver 15-20 mio. kr. årligt underskud til samfundet og som har kostet tæt på 2 mia. kr. at anlægge. Et samfundsøkonomisk underskud som der skal nogle seriøse alternative effekter til for at opveje. Det viste sig at de årlige benefits skulle beløbe sig til et godt stykke over 100 mio. kr. for at projektet kunne blive rentabelt. Det virker voldsomt og det er meget tvivlsomt om nogle letbaneprojekter overhovedet kan nærme sig benefits i den størrelsesorden. Men mindre kan også gøre det. Med de effekter der er medtaget i dette projekts samfundsøkonomiske analyse, ville et mindre årligt overskud på nogle få millioner kr. allerede være ret interessant. Selvom det langt fra er nok til at betale sig selv hjem, så er det en årlig overskudsforretning og det er i sig selv vigtigt. Resten og måske mere til kunne hentes på ikke undersøgte effekter som de strategiske, overflytning af private rejsende og øgede billetindtægter. Derudover er et letbaneprojekt et prestigeprojekt og det kan måske opveje noget af de relativt dyre anlægsomkostninger. Se blot på hvor mange penge der pumpes i et prestigeprojekt som den københavnske Metro, selvom der måske findes billigere, men knapt så prangende løsninger.

14.1 Vurderet letbaneløsning

Hvis der på baggrund af undersøgelserne i dette projekt skulle advokeres for en letbane langs Helsingørmotorvejen, er der tre vigtige faktorer der bør kigges nærmere på. Disse faktorer har nemlig den største indflydelse på om letbaneløsningen i større eller mindre grad vil være anbefalelsesværdig.

14.1.1 Scenarie

Det første er valg af scenarie. Her synes det klart at scenarie 2, hvor der kun køres mellem Nærum og Nørreport er at foretrække. For det første er det ca. 250 mio. kr. billigere at anlægge end scenarie 1. For det andet giver det over seks millioner kr. større årlige benefits. Både tidsbesparelserne og passagertallet indikerer klart at der ikke er meget at hente på en videreførelse til Hovedbanegården. Eksempelvis sås det at der kunne vindes 6 % mere i tidsbesparelser ved at føre letbanen til Hovedbanegården, til gengæld vil denne videreførelse blive 14 % dyrere i anlægsomkostninger. Hvis samme sammenligning kunne laves for passagertallet, ville forskellen højst sandsynligt være endnu mere markant.

At der ikke vindes så meget ved en videreførelse, skyldes formentlig, som tidligere nævnt, det i forvejen store udbud af kollektive linier i City. Et af de punkter hvor scenarie 1 bliver interessant er dets aflastning af "Røret", selvom det dog ikke er med meget. Skal der virkelig vindes på en forlængelse til Hovedbanegården, skal det nok med i betragtningen at letbanen med tiden kan videreføres fra Hovedbanegården og ud mod Rødovre/Hvidovre. Det er naturligvis et separat projekt at undersøge om sådan en videreførelse vil være fordelagtig, men umiddelbart lyder ideen tiltalende. En hel eller delvis overtagelse af buslinierne 650S og

1As betjening af stationsfjerne områder i Sydhavnen og Rødovre/Hvidovre, samt eventuelt Brøndbyerne (og en mulig forbindelse til en letbane langs Ring 3). I så fald bliver det også en investering med fremtidsperspektiver. Dette er dog svært at vurdere på baggrund af dette projekt og hvis en letbane langs Helsingørmotorvejen er eneste prioritet, må scenarie 2 anbefales.

14.1.2 Køreplan

Det fremgik af undersøgelserne at den foreslåede køreplan til letbanen var dyr i driftsomkostninger. Det kan diskuteres, men det er muligt at afgangshyppigheden udenfor myldretiden kan nedsættes. Som det også fremgik, var det med en smule forbehold muligt at spare 12-13 mio. kr. årligt i scenarie 2 hvis køreplanen blev ændret til den oprindelige med helt op til 20-minutters drift på aftener og weekender. Om det kan forsvares er svært at vurdere, netop letbanens gode frekvens har jo i myldretiden bidraget til at give den nogle høje passagertal og de lavere tidsbesparelser vil formentlig også spille en rolle. Det bør nok undersøges nærmere og eventuelt køre nogle rutevalgsberegninger udenfor myldretiden med forskellige køreplaner.

14.1.3 Busomlægning

En omfattende busomlægning har, som før omtalt, en større grad af kompleksitet. Ikke desto mindre ville det være en nødvendighed hvis en ny letbane skal etableres. I dette projekt er det udelukkende forsøgt at skære de buslinier væk som er direkte konkurrerende til letbanen, eller dem hvis funktion letbanen vil overtage. Imidlertid vil en ny letbane højst sandsynlig give anledning til en revurdering og omlægning af store dele af bussystemet. Ikke bare fordi nogle busser bliver overflødige, men også fordi en letbaneinvestering i milliard klassen, fra politisk hold, formentlig vil medføre færre penge til busdriften. En sådan omlægning er et større puslespil, men udover de her foreslåede nedskæringer, kunne der også kigges på andre linier. Scenarie 1 ville med dets videreførelse til Hovedbanegården kunne give anledning til større busomlægning inde i City, mens scenarie 2 ikke ville kunne give helt det samme. For begge gælder dog at de bl.a. kører i samme korridor som 6A en del af strækningen, 184 og 185 en endnu større del af strækningen. Desuden er der arbejdet med en afkortet 150S hvis funktion måske kunne overtages af en aflægger af 300S. Det blev vurderet tidligere at en busomlægning som følge af letbanen i scenarie 2 ville kunne spare 10 mio. kr. mere om året på busdriften, men det ville formentlig blive til endnu mere i realiteten.

14.2 Generelt

Letbanen løber i et område som er betjent med andre radiale linier (primært Hillerødbanen). Ikke unaturligt kommer den til at skulle konkurrere med disse. Som det også kunne konstateres via illustrationen af differencer over passagermængder (figur 9 og figur 10), vil letbanen hente en stor del af sine passagerer fra Hillerødbanen. Dette kan være en fordel da den rimeligt belastede Hillerødbane derved bliver aflastet. Imidlertid er der mere eller mindre tale om en deling af kunderne og den valgte letbaneføring vil nok ikke skabe et nyt stort potentielt kollektivt transportbehov. Set i det lys, kan det diskuteres om der ikke findes andre steder i Hovedstadsområdet, hvor en letbane er mere påkrævet. Hvor oplandet er større og uden deciderede konkurrerende baner, som på bedre vis kunne give en synergi i det kollektive transportsystem (her tænkes først og fremmest på ringbaner).

I forvejen findes også nogle korridorer hvor det nuværende kollektive trafikflow er væsentlig større end på Helsingørmotorvejen og hvor en letbaneløsning kunne være mere presserende (fx Nørrebrogade-korridoren)

Imidlertid er der andre områder hvor en letbane langs Helsingørmotorvejen har nogle klare fordele. For det første vil den forholdsvis nemt kunne anlægges og fungere uden at være til væsentlig gene for privattrafikken. Lyngbyvejen langs Helsingørmotorvejen giver gode pladsforhold helt uden at komme i konflikt med bilerne på motorvejen. Dog vil den i sit forløb i selve byen (Ryparken st. – Nørreport/Hovedbanegården) ikke kunne undgå at genere biltrafikken. Men ses det i sammenligning med fx Nørrebrogade, er der langt færre problemer med hensyn til pladsforhold for letbaneløsningen langs Helsingørmotorvejen.

Derudover var ideen også at en letbane langs Helsingørmotorvejen, skulle kunne udnytte noget af det store flow som dagligt strømmer i denne korridor i form af privattrafik. Hvilket kunne resultere i en overflytning af bilister til letbanen. Letbanen bør suppleres med park & ride pladser fx ved Nærum st. så muligheden for overflytning er tilstede. Der ses ofte lange bilkøer på Helsingørmotorvejen mod København i morgenmyldretiden og kunne der spares væsentlig tid (hvad der formentlig kan) ved at skifte fra bil til letbanen, vil den blive et seriøst alternativ til bilen. Undersøgelser peger dog på at en sådan overflytning er meget vanskelig (bilister prioriterer den personlige frihed ved bilen højt) og de kollektive forhold og tidsbesparelser skal være ganske gode for at bare en lille overflytning finder sted. Dog må det siges at dette projekts letbaneføring giver meget optimale forhold for fx park & ride og hvis en rimelig overflytning overhovedet kan finde sted, vil dette være strækningen hvor det i så fald kunne ske.

Det har dog ikke været muligt at undersøge disse forhold med den model som er anvendt i dette projekt, da den udelukkende simulerer kollektiv trafik og derfor kun bygger på en omfordeling af de kollektive rejsende. Fremkaldt trafik som følge af overflytning fra andre transportformer kan derfor ikke modelleres.

15 Konklusion

Vurderet ud fra de undersøgte effekter i dette projekt, synes en letbane langs Helsingørmotorvejen ikke umiddelbart at have sin berettigelse. Den vil godt nok opnå nogle høje passagertal, men dette afspejles ikke rigtigt i tidsbesparelser eller i den samfundsøkonomiske analyse. Letbanen kan ikke betale sig selv hjem pga. negative benefits og den vil dermed give et yderligere underskud for samfundet.

Den umiddelbare konklusion er derfor at hvis beslutningen om en letbane langs Helsingørmotorvejen udelukkende skulle basere sig på den samfundsøkonomiske analyse, ville den ikke kunne anbefales. Selv med de høje passagertal, ville det ikke kunne forsvares at den årligt samlet set koster samfundet 15-20 mio. kr. plus små 2 mia. kr. i anlægsomkostninger. Ud fra dette kan det kun forventes at der findes bedre (billigere) løsninger på denne strækning. Korridoren betjenes måske bedst med busser, og en evt. opgradering af disse ville muligvis være mere interessant.

Men som det også blev vist, skal der ikke så meget til for at vende de negative benefits til positive og selvom det aldrig når op på de over 100 mio. kr. årligt som kræves for at blive samfundsøkonomisk rentabel, kan der måske skabes et lille årligt overskud til samfundet. I det tilfælde vil projektet blive mere interessant, hvis det ellers vurderes at det der vindes på andre effekter, som de strategiske, kan opveje nogle af anlægsomkostningerne

Imidlertid er letbaners tiltrækningskraft i danske forhold ikke kendt og det kan derfor ikke med sikkerhed vurderes hvor stor succes de vil kunne blive. På den baggrund er det også svært at udtale sig om hvad der kræves for at berettige en letbaneløsning.

Et kollektivt infrastrukturprojekt behøver ikke at vise sig rentabel ved en cost-benefit-analyse for at blive gennemført. Langtidseffekter (som fx byudvikling) kan nemlig være i en større størrelsesorden end korttidseffekterne og i sidste ende gøre projektet rentabelt. Strategiske effekter, fremkaldt trafik som følge af overflytning mellem transportformer og derved bl.a. øgede billetindtægter bør også tages med i betragtningen og indgå i vurderingen af letbanens berettigelse.

Uanset indflydelsen af ikke undersøgte effekter, viser dette projekt at en videreførelse mellem Nørreport og Hovedbanegården ikke er særlig hensigtsmæssigt, der vindes simpelthen ikke nok på det. Dette gælder både for passagertal og tidsbesparelser. Der kan dog alligevel være en hvis idé i sådan en videreførelse, hvis det påtænkes at føre letbanen videre fra Hovedbanegården og ud mod Rødovre/Hvidovre. Men til solo betjening af Helsingørmotorvejen, er endestation ved Nørreport at foretrække. Kombineret med en køreplan hvor afgangshyppigheden uden for myldretider ikke er helt så høj som det blev

foreslået i dette projekt og med en god busomlægning, vil dette give det bedste bud på en letbane langs Helsingørmotorvejen.

Selvom de fleksible letbaner kan vise sig at være nyttige redskaber til afhjælpning af trafikproblemer i Hovedstadsområdet, er det ikke sikkert de bliver et seriøst alternativ. Der er i Danmark ikke erfaring og tradition for letbaneløsninger og for beslutningstagere kan de fremstå som et forsøg på at genindføre et forældet sporvognssystem. Men nye letbaner er helt i tidens ånd. De kan have sporvognsegenskaber, men også køre med en høj hastighed i eget tracé. De er moderne, fleksible og komfortable, med gode pladsforhold, i modsætning til de ofte tætpakkede busser. I andre lande fungerer letbaner med stor succes som sporvogne i bytrafikken. Letbaner vil kunne afhjælpe trafikproblemer på eksisterende strækninger som i dag er betjent af busser, køre i eget tracé på helt nye linieføringer, eller en kombination af disse. De kan meget vel vise sig at blive en succes i København også, selvom nuværende undersøgelser ikke entydigt peger i den retning.

Litteraturliste

- Mette Johansen & Jonas L.E. Andersen Letbane langs Helsingørmotorvejen – et projekt i kollektiv trafikplanlægning
CTT – 2003
- Stephen Hansen & Jonas L.E. Andersen GIS-modellering af kollektiv trafik
CTT – 2004
- Alex Landex Notat om samfundsøkonomiske beregninger
CTT – 2004
- Otto Anker Nielsen, Thomas Israelsen & Erik Rude Nielsen Trafikanalyser af Havnetunnelprojektet – Forudsætninger og resultater
IFP, DTU – Jan 1998
- Trafikministeriet Nøgletalskatalog – til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet
TRM – Juni 2003 – ISBN: 87-91013-42-9
<http://www.trm.dk/graphics/Synkron-Library/trafikministeriet/Publikationer/pdf/Nogletalskatalog.pdf>
- Danmarks Statistik Forbrugerprisindeks og årlig inflation
<http://www.dst.dk/Statistik/seneste/Indkomst/Priser/FPI%20og%20inflation.aspx>
- DSB S-Tog 7 Planlægningstemaer for S-tog – 2. reviderede udgave
Seminar feb 1995, marts 1995
- Alex Landex Bedre nærbanebetjening af København
CTT – Atkins – Juli 2003
- Rambøll, HT, Trafikministeriet Projekt Basisnet – Teknisk rapport
April 1999

Øvrige:

Kenneth Rask
Andersen &
Nicolaj Berg
Petersen

Database med indlagte ruter i Helsingørmotorvejskorridoren

Alex Landex

Diverse vejledninger fra kurset "Kollektiv Trafikplanlægning"
herunder notat om "Anlægs- og driftsomkostninger"

Railway-technology.com

<http://www.railway-technology.com/projects/strasbourg/index.html>).

Bilag

Bilag 1 – Transportmåde til og fra station

Bilag 2 – Tid

Bilag 3 – Fremdiskontering af enhedspriser

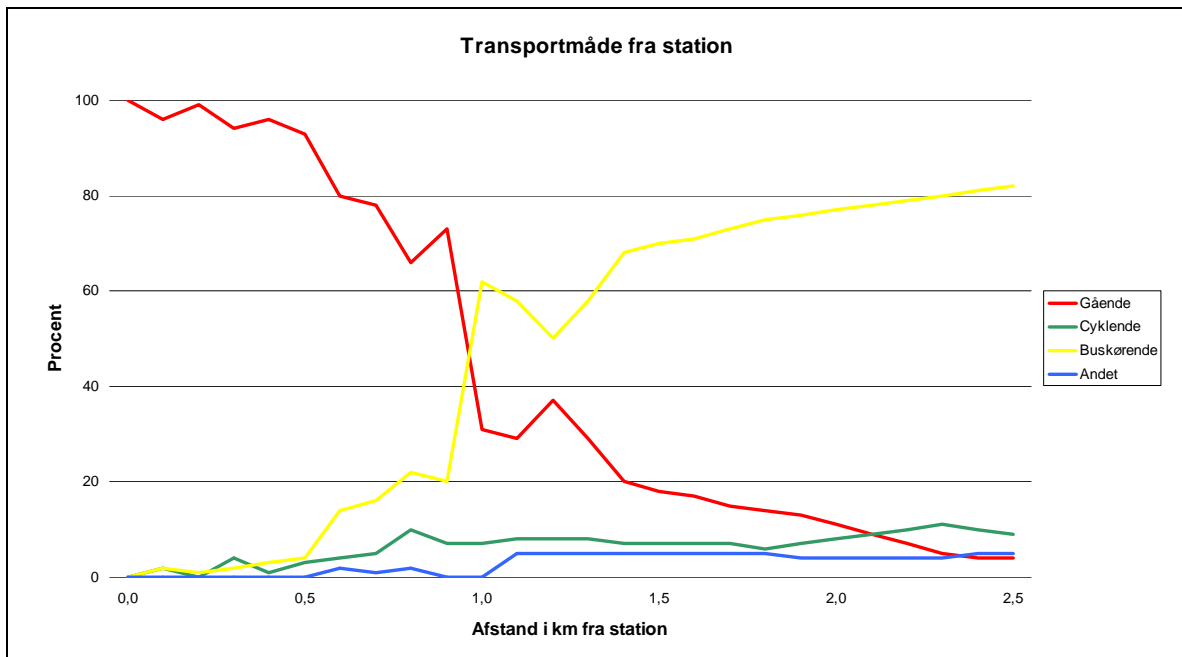
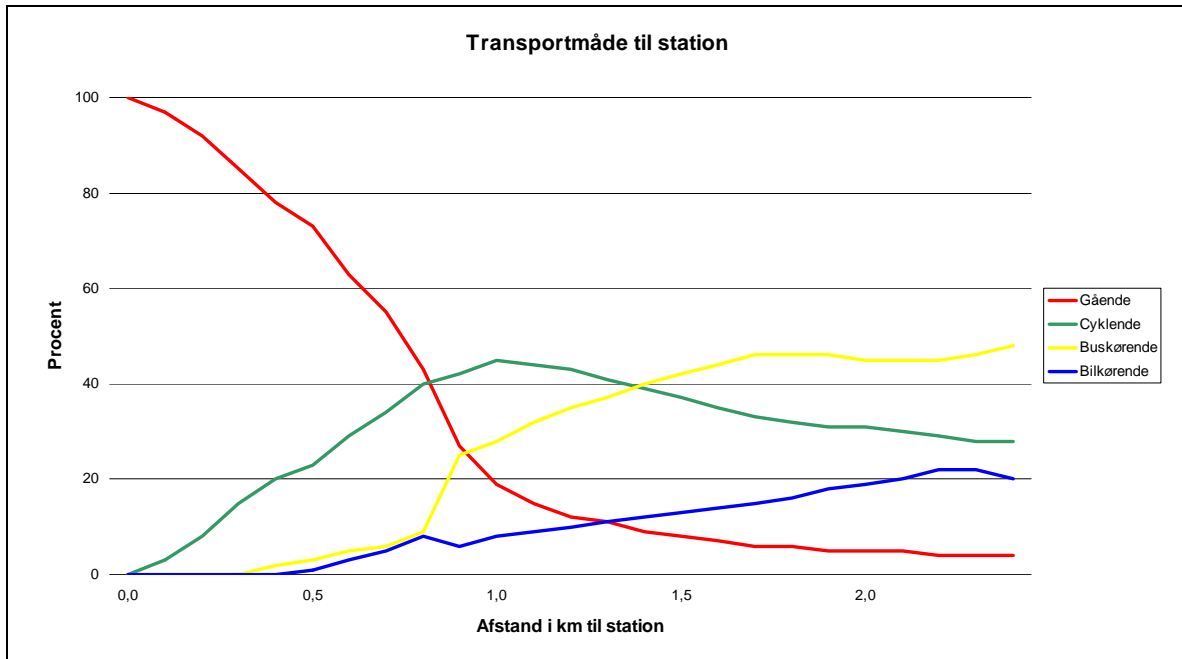
Bilag 4 – Vogntimer og kørte kilometer

Bilag 5 – Cost-Benefit-Analyse

Bilag 6 – Benefits med oprindelig køreplan

Bilag 7 – Indhold af vedlagte CD

Bilag 1 – Transportmåde til og fra station



Bilag 2 – Tid

Tidsbesparelser

Anvendte tidsværdier

Benefit af tid

Tidsbesparelser

Beregnet over morgenmyldretiden (7-9)

			BA	EE	UA	Sum	x1000
Basis	C0*N0	min	4894839,7506	155192,4104	752104,3742	5802136,5352	5802 min
		timer	81581	2587	12535	96702	
Scenarie 1	C1*N0		4866497,1441	154337,2685	749211,7894	5770046,2020	5770 min
	C0*N1		4915652,7909	155883,8438	753976,9082	5825513,5430	5826 min
	C1*N1		4885306,1586	154962,7123	750920,5782	5791189,4491	5791 min
Scenarie 2	C1*N0		4868047,8978	154385,7148	749386,2400	5771819,8526	5772 min
	C0*N1		4914874,9527	155870,1214	753808,7362	5824553,8103	5825 min
	C1*N1		4886174,5774	155000,1716	750938,8034	5792113,5524	5792 min

Forbedret Nytte
Efter Rule of the half

	BA		EE		UA		Samlet	
	min	timer	min	timer	min	timer	min	timer
Scenarie 1	29345	489	888	15	2974	50	33207	553
Scenarie 2	27746	462	838	14	2794	47	31378	523

Generelle tidsværdier

Anbefalede tidsværdier pr. person (2001-priser)

Kollektiv rejsende		BA	EE	UA
kr./time				
Rejsetid	TimeInVehicle	57	253	34
Ventetid	TimeWait	113	506	68
Skiftetid	TimeWalk	113	506	68
Skjult Ventetid	TimeWaitInZone	28	127	18
kr./minut				
Rejsetid	TimeInVehicle	0,95	4,22	0,57
Ventetid	TimeWait	1,88	8,43	1,13
Skiftetid	TimeWalk	1,88	8,43	1,13
Skjult Ventetid	TimeWaitInZone	0,47	2,12	0,30

Benefit af tid

Beregnet over morgenmyldretiden (7-9)

		BA	EE	UA	Sum
Basis	C0*N0	3549578,8348	513553,3864	336550,8251	4399683,0464 kr
Scenarie 1	C1*N0	3529623,1884	510192,1292	335072,3864	4374887,7040 kr
	C0*N1	3565051,4073	515894,7849	337371,8997	4418318,0918 kr
	C1*N1	3543154,4558	512206,6483	335790,1007	4391151,2048 kr
Scenarie 2	C1*N0	3530684,6970	510378,4180	335170,2516	4376233,3665 kr
	C0*N1	3564527,2048	515854,7823	337309,3056	4417691,2928 kr
	C1*N1	3543801,4773	512369,4825	335833,1742	4392004,1341 kr

Sparede kr som følge af sparet tid
Efter Rule of the half

	BA	EE	UA	Samlet
Scenarie 1	20926 kr	3525 kr	1530 kr	25981 kr
Scenarie 2	19810 kr	3330 kr	1428 kr	24568 kr

Bilag 3 – Fremdiskontering af enhedspriser

Eftersom det er valgt at basere hele den samfundsøkonomiske analyse på det årspriseniveau som enhedspriserne for tid er opgivet i (2001-priser), skal alle andre enhedspriser frem- eller tilbagediskonteres til dette årspriseniveau. Da de enhedspriser som skal bruges enten findes i 1999- eller 2000 priser, vil der kun blive tale om en fremdiskontering til 2001-priser.

Enhedspriserne der bruges og beregnes på i dette bilag, er taget fra Notat om Anlægs- og driftsomkostninger.

Fremdiskontering

$$K_0 = K_n (1 + i)^n$$

Hvor:

K_0 er værdien i beregningsåret

K_n er værdien i år n der skal fremdiskonteres

i er den gennemsnitlige årlige inflation i %

n er antallet af år der skal fremdiskonteres

Ifølge Danmarks Statistik var gennemsnitlige årlige inflation fra 2000 til 2001, 2,4 %. Fra 1999 til 2001 var den $((2,9 + 2,4) / 2) = 2,65$ 2,7 %.

Anlægsomkostninger

Baneteknik (2000-priser)

Spor ca. 10 mio. kr. pr. km

Kørestrøm og strømforsyning ca. 8 mio. kr. pr. km

Signaler, telekommunikation m.m. ca. 2 mio. kr. pr. km

Standsningssteder (2000-priser)

Station i niveau – ca. 3 mio. kr. pr. standsningssted

Depot, klargøring og kontrolcenter (2000-priser)

Cirka 162 mio. kr.

Ledningsomlægninger (2000-priser)

Afløbsledninger 4000 kr. pr. løbende meter

Telefon- og elkabler 2000 kr. pr. løbende meter

Fjernvarme 25000 kr. pr. løbende meter

Vandledninger 6000 kr. pr. løbende meter

Gasledninger 6000 kr. pr. løbende meter

Rullende materiel (2000-priser)

Prisen på rullende materiel varierer leverandørerne imellem alt afhængigt af typen af letbane – et bud er dog ca. 14 mio. kr. pr. vogn

Udstyr til passagerinformation, kommunikation m.m. ca. 300.000 pr. vogn

Driftsomkostninger**Baneteknik**

3 % af anlægsprisen pr. år

Standningssteder

2 % af anlægsinvesteringen pr. år

Rullende materiel (1999-priser)

25 kr. pr. vognkm med afskrivning og forrentning af materiel, depot og værksted

Prisen for drift af busser er 444 kr/vogntime inklusiv afskrivninger

Eksternaliteter (1999-priser)

Følgende eksternaliteter for **letbaner** kan benyttes til overslagsberegninger – pr. 1000 vognkm i 1999-priser

Støj: 60 kr.

Luftforurening: 348 kr.

Uheld: 685 kr.

Følgende eksternaliteter for **busser** kan benyttes til overslagsberegninger – pr. 1000 vognkm i 1999-priser

Støj: 464 kr.

Luftforurening: 795 kr.

Uheld: 96 kr.

Fremdiskonteringen giver følgende enhedspriser:

<i>Anlægsomkostninger</i>	2000-priser	2001-priser
Baneteknik	mio. kr. pr. km	mio. kr. pr. km
Spor	10	10,2
Kørestrøm og strømforsyning	8	8,2
Signaler, telekommunikation m.m.	2	2
Standsningssteder	mio. kr. pr. standsningssted	mio. kr. pr. standsningssted
Station i niveau	3	3,1
Depot, klargøring og kontrolcenter	162 mio. kr.	165,9 mio. kr
Ledningsomlægninger	kr. pr. løbende meter	kr. pr. løbende meter
Afløbsledninger	4000	4096
Telefon- og elkabler	2000	2048
Fjernvarme	25000	25600
Vandleddninger	6000	6144
Gasledninger	6000	6144
Rullende materiel	14 mio. kr.	14,3 mio. kr.
Udstyr til passagerinformation, kommunikation m.m.	300.000 kr. pr. vogn	307200 kr. pr. vogn

<i>Driftsomkostninger</i>	1999-priser	2001-priser
Rullende materiel		
med afskrivning og forrentning af materiel, depot og værksted	30 kr. pr. vognkm	32 kr. pr. vognkm
Prisen for drift af busser inklusiv afskrivninger	444 kr/vogntime	468 kr/vogntime

<i>Eksternaliteter</i>	1999-priser	2001-priser
Letbaner	kr. pr. 1000 vognkm	kr. pr. 1000 vognkm
Støj	60	63
Luftforurening	348	367
Uheld	685	722
Busser	kr. pr. 1000 vognkm	kr. pr. 1000 vognkm
Støj	464	489
Luftforurening	795	839
Uheld	96	101

Bilag 4 – Vogntimer og kørte kilometer

Ligesom i det tidligere projekt om letbane langs Helsingørmotorvejen bliver det antaget at der på et år er:

251 dage hvor der køres efter hverdagsskema
56 dage hvor der køres efter lørdagsskema
58 dage hvor der køres efter søn- og helligdagsskema

Letbanen

Køreplanen for letbanen blev defineret i det tidligere projekt. I dette projekt blev det dog besluttet at for at gøre letbanen mere attraktiv, måtte den køre med minimum 10 minutters drift. I modsætning til den ”gamle” køreplan hvor der forekom 20 minutters drift. Begge dele bliver dog undersøgt.

Letbanens længde:	Scenarie 1:	18.125 meter
	Scenarie 2:	16.132 meter

Ny køreplan med minimum 10 minutters drift

På en hverdag har letbanen (118 * 2) 236 afgang.
På en lørdag har letbanen (103 + 104) 207 afgang
På en søn- eller helligdag har letbanen (97 + 98) 195 afgang.

Køretiden for letbanen bliver regnet for værende konstant:

Scenarie 1: 26 minutter
Scenarie 2: 22 minutter

Antal afgang i året: $251 * 236 + 56 * 207 + 58 * 195 =$ 82.138

Antal vogntimer i året: Scenarie 1: $26 / 60 * 82.138 =$ 35.593

Scenarie 2: $22 / 60 * 82.138 =$ 30.117

Antal kørte kilometer i året: Scenarie 1: $82.138 * 18.125 / 1000 =$ 1.488.751

Scenarie 2: $82.138 * 16.132 / 1000 =$ 1.325.050

Med den oprindelige køreplan (20 minutters drift uden for myldretidsperioder)

På en hverdag har letbanen (94 + 91) 185 afgange.

På en lørdag har letbanen (2 * 52) 104 afgange

På en søn- eller helligdag har letbanen (48 + 49) 97 afgange.

Antal afgange i året: $251 * 185 + 56 * 104 + 58 * 97 =$ 57.885

Antal vogntimer i året: Scenarie 1: $26 / 60 * 57.885 =$ 25.084

Scenarie 2: $22 / 60 * 57.885 =$ 21.225

Antal kørte kilometer i året: Scenarie 1: $57.885 * 18.125 / 1000 =$ 1.049.166

Scenarie 2: $57.885 * 16.132 / 1000 =$ 933.801

Linie 173E

Denne linie skæres helt væk i de to scenarier, hvorfor alle dens vogntimer er sparede. I basis kører denne linie kun mandag til fredag

Hverdage:

Køretid

Rådhuspladsen – Hørsholm Sygehus: 41 min 3 afgange 26.436 meter

Rådhuspladsen – Fredensborg: 66 min 5 afgange 42.096 meter

Gl. Holte – Rådhuspladsen: 32 min 2 afgange 19.091 meter

Fredensborg – Rådhuspladsen: 61 min / 74 min 2 / 3 afgange 42.096 meter

Antal sparede vogntimer i året:

$251 * (3 * 41 + 5 * 66 + 2 * 32 + 2 * 61 + 3 * 74) / 60 =$ 3.602

Antal sparede kørte kilometer i året:

$251 * (3 * 26.436 + 5 * 42.096 + 2 * 19.091 + (2 + 3) * 42.096) / 1000 =$ 135.151

Linie 150S

150S fortsætter med at køre i begge scenarier, dog i en afkortet version der løber fra Nærum til Kokkedal, men som kører med samme frekvens som i basis.

Længden af den fraskårede del af 150S (fra Nørreport til Nærum): 16.132 meter

Hverdage: (2 * 71) 142 afgang (heraf to til Mariehøjvej)

Lørdage: (2 * 39) 78 afgang

Søn- eller helligdage: (29 + 28) 57 afgang

Køretid (fraskårede rute)

Nørreport – Nærum: gennemsnitlig 26 min.

Nærum – Nørreport: gennemsnitlig 28 min.

Gennemsnitlig 27 min.

Antal afgang i året: $251 * 142 + 56 * 78 + 58 * 57 =$ 43.316

Antal sparede vogntimer i året: $43.316 * 27 / 60 =$ 19.492

Antal sparede kørte kilometer i året:
 $43.316 * 16.132 / 1000 =$ 698.774

Linie 184

184 fortsætter med at køre samme rute som i basis, dog er der skåret ned så den i morgen og eftermiddags timerne kører med halv times drift i stedet for 20 minutters drift i basis.

Længde af buslinie 184: 17.265 meter

Det vil sige at der spares:

Hverdage: (12 * 2) 24 afgang

Lørdage: (9 * 2) 18 afgang

Søn- eller helligdage: Her køres ikke med 20 minutters drift, men det formodes alligevel at kunne spare (6 * 2) 12 afgang

Gennemsnitlig køretid: 45 minutter

Antal sparede afgang i året: $251 * 24 + 56 * 18 + 58 * 12 =$ 7.728

Antal sparede vogntimer i året: $7.728 * 45 / 60 =$ 5.796

Antal sparede kørte kilometer i året:
 $7.728 * 17.265 / 1000 =$ 133.424

Oversigt

Pr. år	Længde	Vogntimer	Kørte kilometer
Letbanen	[kilometer]	[1000 timer]	[1000 kilometer]
Ny køreplan			
Scenarie 1	18,1	35,6	1.488,8
Scenarie 2	16,1	30,1	1.325,1
Oprindelig køreplan			
Scenarie 1	18,1	25,1	1.049,2
Scenarie 2	16,1	21,2	933,8
Pr. år	Længde	Sparede vogntimer	Sparede kørte km
Busruter	[kilometer]	[1000 timer]	[1000 kilometer]
173E	(forskellige)	3,6	135,2
150S	16,1	19,5	698,8
184	17,3	5,8	133,4

Bilag 5 – Cost-Benefit-Analyse

Scenarie 1

Scenarie 2

Scenarie 1

Rente	Benefits	Cost		
0,06	-21,1	2033,3		
	mio. kr.	mio. kr.		
	Afskrivningsperiode:			
År	30 år	40 år	50 år	
1	-19,90566038	-19,90566038	-19,90566038	
2	-18,77892488	-18,77892488	-18,77892488	
3	-17,71596687	-17,71596687	-17,71596687	
4	-16,71317629	-16,71317629	-16,71317629	
5	-15,76714745	-15,76714745	-15,76714745	
6	-14,8746674	-14,8746674	-14,8746674	
7	-14,0327051	-14,0327051	-14,0327051	
8	-13,23840104	-13,23840104	-13,23840104	
9	-12,48905758	-12,48905758	-12,48905758	
10	-11,78212979	-11,78212979	-11,78212979	
11	-11,11521679	-11,11521679	-11,11521679	
12	-10,48605357	-10,48605357	-10,48605357	
13	-9,892503369	-9,892503369	-9,892503369	
14	-9,332550348	-9,332550348	-9,332550348	
15	-8,804292782	-8,804292782	-8,804292782	
16	-8,305936586	-8,305936586	-8,305936586	
17	-7,835789232	-7,835789232	-7,835789232	
18	-7,392253993	-7,392253993	-7,392253993	
19	-6,973824522	-6,973824522	-6,973824522	
20	-6,579079737	-6,579079737	-6,579079737	
21	-6,206678997	-6,206678997	-6,206678997	
22	-5,855357545	-5,855357545	-5,855357545	
23	-5,523922212	-5,523922212	-5,523922212	
24	-5,21124737	-5,21124737	-5,21124737	
25	-4,916271104	-4,916271104	-4,916271104	
26	-4,637991607	-4,637991607	-4,637991607	
27	-4,37546378	-4,37546378	-4,37546378	
28	-4,127796019	-4,127796019	-4,127796019	
29	-3,894147188	-3,894147188	-3,894147188	
30	-3,673723762	-3,673723762	-3,673723762	
31		-3,465777134	-3,465777134	
32		-3,26960107	-3,26960107	
33		-3,084529311	-3,084529311	
34		-2,909933313	-2,909933313	
35		-2,745220106	-2,745220106	
36		-2,589830289	-2,589830289	
37		-2,443236122	-2,443236122	
38		-2,304939737	-2,304939737	
39		-2,17447145	-2,17447145	
40		-2,051388161	-2,051388161	
41		-1,93527185	-1,93527185	
42		-1,82572816	-1,82572816	
43		-1,722385057	-1,722385057	
44		-1,624891563	-1,624891563	
45		-1,532916569	-1,532916569	
46		-1,446147706	-1,446147706	
47		-1,364290289	-1,364290289	
48		-1,28706631	-1,28706631	
49		-1,2142135	-1,2142135	
50		-1,145484434	-1,145484434	
Sum	mio. kr.	-290,437937	-317,476864	-332,5752594

30 år

Scrap-værdi
354,01813 mio. kr.

Nutidsværdi
-1969,7198 mio. kr.

BC-rate
0,0312695

40 år

Scrap-værdi
197,68187 mio. kr.

Nutidsværdi
-2153,095 mio. kr.

BC-rate
-0,0589165

50 år

Scrap-værdi
110,38453 mio. kr.

Nutidsværdi
-2255,4907 mio. kr.

BC-rate
-0,1092759

Mindste påkrævede benefits
(nutidsværdi = 0 & B/C = 1)
121,998

Scenarie 2

Rente	Benefits	Cost		
0,06	-14,9	1785,4		
	mio. kr.	mio. kr.		
	Afskrivningsperiode:			
År	30 år	40 år	50 år	
1	-14,05660377	-14,05660377	-14,05660377	
2	-13,26094696	-13,26094696	-13,26094696	
3	-12,51032732	-12,51032732	-12,51032732	
4	-11,80219558	-11,80219558	-11,80219558	
5	-11,13414678	-11,13414678	-11,13414678	
6	-10,50391205	-10,50391205	-10,50391205	
7	-9,909350993	-9,909350993	-9,909350993	
8	-9,348444333	-9,348444333	-9,348444333	
9	-8,819287107	-8,819287107	-8,819287107	
10	-8,320082176	-8,320082176	-8,320082176	
11	-7,849134128	-7,849134128	-7,849134128	
12	-7,404843517	-7,404843517	-7,404843517	
13	-6,985701431	-6,985701431	-6,985701431	
14	-6,590284369	-6,590284369	-6,590284369	
15	-6,217249405	-6,217249405	-6,217249405	
16	-5,865329627	-5,865329627	-5,865329627	
17	-5,533329837	-5,533329837	-5,533329837	
18	-5,220122488	-5,220122488	-5,220122488	
19	-4,924643856	-4,924643856	-4,924643856	
20	-4,645890431	-4,645890431	-4,645890431	
21	-4,382915501	-4,382915501	-4,382915501	
22	-4,134825944	-4,134825944	-4,134825944	
23	-3,900779192	-3,900779192	-3,900779192	
24	-3,67998037	-3,67998037	-3,67998037	
25	-3,471679595	-3,471679595	-3,471679595	
26	-3,275169429	-3,275169429	-3,275169429	
27	-3,08978248	-3,08978248	-3,08978248	
28	-2,914889132	-2,914889132	-2,914889132	
29	-2,749895408	-2,749895408	-2,749895408	
30	-2,594240951	-2,594240951	-2,594240951	
31		-2,447397123	-2,447397123	
32		-2,308865211	-2,308865211	
33		-2,178174727	-2,178174727	
34		-2,054881818	-2,054881818	
35		-1,938567753	-1,938567753	
36		-1,828837503	-1,828837503	
37		-1,725318399	-1,725318399	
38		-1,627658867	-1,627658867	
39		-1,535527233	-1,535527233	
40		-1,448610597	-1,448610597	
41			-1,366613771	
42			-1,289258274	
43			-1,216281391	
44			-1,147435274	
45			-1,082486108	
46			-1,021213309	
47			-0,963408782	
48			-0,90887621	
49			-0,857430387	
50			-0,808896591	
Sum	mio. kr.	-205,095984	-224,1898234	-234,8517235

30 år

Scrap-værdi
310,856228 mio. kr.

Nutidsværdi
-1679,6398 mio. kr.

BC-rate
0,05923616

40 år

Scrap-værdi
173,580494 mio. kr.

Nutidsværdi
-1836,0093 mio. kr.

BC-rate
-0,0283462

50 år

Scrap-værdi
96,9264412 mio. kr.

Nutidsværdi
-1923,3253 mio. kr.

BC-rate
-0,0772518

Mindste påkrævede benefits
(nutidsværdi = 0 & B/C = 1)
107,124

Bilag 6 – Benefits med oprindelig køreplan

Det blev fra starten af dette projekt besluttet at køreplanen for letbanen skulle ændres i forhold til det oprindelige forslag¹. Dette blev gjort fordi banen blev afkortet til Nærum (mod Kokkedal før) og da der derfor mere blev tale om en bybane, syntes det relevant med en højere frekvens. Mindst 10-minutters drift uden for myldretid og i weekender er en stor service til brugere og med til at gøre letbanen mere attraktiv. Imidlertid er opretholdelsen af en sådan frekvens også dyr. Den oprindelige køreplan var nøje analyseret og bygger bl.a. på 150S nuværende afgangsmønster, med 20-minutters drift uden for myldretider. Som det ser ud i dag, er der sjældent kapacitetsproblemer på 150S eller 184 uden for myldretider. Der er altså noget der tyder på at det sagtens kunne forsvares at nedsætte frekvensen på den nye letbane. Selvfølgelig vil en ny letbane tiltrække flere passagerer end de nuværende busser der betjener samme område, men forslaget til den oprindelige køreplan kører også hyppigere end fx. 150S og kapaciteten af hver afgang er også noget større.

Det er derfor ønsket at se hvad der kan spares på driften (og eksternaliteter) hvis den oprindelige køreplan tages i brug og lade dette indgå i en samfundsøkonomisk analyse.

Dette lader sig forholdsvis let gøre, fordi letbanens afgang i morgenmyldretiden (7-9) og dermed simuleringsperioden for modelberegningerne er ens i den oprindelige og nye køreplan. Havde dette ikke været tilfældet ville en anden køreplan også have givet nogle andre tidsbesparelser og dermed måtte der laves nye modelberegninger. Men da ændringen i køreplanen ikke får indflydelse på simuleringsperioden, kan den samme værdi for tidsbesparelser anvendes i analysen med både den oprindelige og nye køreplan. Dette er så ikke helt realistisk, da en lavere frekvens uden for myldretider også vil betyde lavere tidsbesparelser, men det tager beregningsmetoden alligevel ikke højde for. Resultatet skal dog tages med et hvis forbehold.

Beregninger foretages på tilsvarende måde som det sås i kapitel 11 Samfundsøkonomi og i 2001-priser.

Anlægsomkostningerne vil være de samme som med den nye køreplan. Den højeste frekvens for begge køreplaner er 12 afgang i timen, det betyder at stammebehovet er det samme og der kan altså ikke spares på det rullende materiel selvom der køres færre afgang med den oprindelige køreplan.

¹ Køreplan udarbejdet i det tidligere projekt: Letbane langs Helsingørmotorvejen – et projekt i kollektiv trafikplanlægning

Driftsomkostningerne kan der derimod spares på. Som det sås i bilag 4 er der allerede udregnet brugte vogntimer og kørte vognkm for den oprindelige køreplan.

Der fås nu:

Scenarie 1			
<i>Driftsomkostninger</i> <i>pr. år</i>	Enhedspris	Mængde	I alt
			[mio. kroner]
Baneteknik	3 % af anlægspris	738,4 mio. kr.	22,2
Standsningssteder	2 % af anlægspris	99,2 mio. kr.	2,0
Rullende Materiel	32 kr. pr. vognkm	1.049.200 km	33,6
I alt			57,8

Scenarie 2			
<i>Driftsomkostninger</i> <i>pr. år</i>	Enhedspris	Mængde	I alt
			[mio. kroner]
Baneteknik	3 % af anlægspris	656,8 mio. kr.	19,7
Standsningssteder	2 % af anlægspris	80,6 mio. kr.	1,6
Rullende Materiel	32 kr. pr. vognkm	933.800 km	29,9
I alt			51,2

Der kan altså spares (71,8 – 57,8) 14 mio. kr. på driftsomkostningerne af letbanen om året i scenarie 1 og (63,7 – 51,2) 12,5 mio. kr. i scenarie 2, alene ved ændring af køreplanen.

Eksternaliteter:

Scenarie 1			
<i>Eksternaliter</i> <i>omkostninger pr. år</i>	Enhedspris	Mængde	I alt
	kr. pr. 1000 vognkm	1000 vognkm	[mio. kroner]
Støj	63	1.049,2	0,07
Luftforurening	367	1.049,2	0,39
Uheld	722	1.049,2	0,76
I alt			1,2

Scenarie 2			
<i>Eksternaliteter omkostninger pr. år</i>	Enhedspris	Mængde	I alt
	kr. pr. 1000 vognkm	1000 vognkm	[mio. kroner]
Støj	63	933,8	0,06
Luftforurening	367	933,8	0,34
Uheld	722	933,8	0,67
I alt			1,1

Der kan spares (1,7 – 1,2) 0,5 mio. kr. på eksternaliteter om året i scenarie 1 og (1,5 – 1,1) 0,4 mio. kr. i scenarie 2, ved ændring af køreplan.

Nedlagte og afkortede busruter antages at være det samme uanset køreplan. Dette giver følgende opgørelse over de årlige samfundsøkonomiske omkostninger og besparelser:

Scenarie 1	
Effekter	Total (2001-priser) [mio. kr.]
Årlige udgifter til Letbanen	
Drift	- 57,8
Eksternaliteter	- 1,2
Årlige besparelser på busser	
Drift + Eksternaliteter	+ 14,9
Tidsbesparelser	+ 37,5
Total	-6,6

Scenarie 2	
Effekter	Total (2001-priser) [mio. kr.]
Årlige udgifter til Letbanen	
Drift	- 51,2
Eksternaliteter	- 1,1
Årlige besparelser på busser	
Drift + Eksternaliteter	+ 14,9
Tidsbesparelser	+ 35,4
Total	-2,0

Bilag 7 – Indhold af vedlagte CD

Folder på CDen	Beskrivelse
Data\TripDataModel	Den opdaterede Tripmodeldatabase
Output\Basis	Output-filer fra assignment på basisscenariet
Output\Scenarie 1	Output-filer fra assignment på Scenarie 1
Output\Scenarie 2	Output-filer fra assignment på Scenarie 2
CBA\BenefitCost	Udregninger til cost-benefit-analysen
Tid\Tidsberegninger	Udregninger af tidsbesparelser og benefit af tid
Rapport\Rapport	Denne rapport i pdf-format