

Letbanering i Indre København – en konsekvensvurdering

af

Cand. polyt. Bernd Schittenhelm

Cand. polyt. Russel da Silva

Atkins Danmark

Indledning

Dette indlæg belyser, hvorledes et nyt højklasset transportsystem, i dette tilfælde en letbane, kan implementeres inden for den indre S-banering i København. Dette studie blev gennemført som et eksamensarbejde ved DTU og Scanrail Consult (i dag Atkins Danmark). For at gennemføre studiet skal der tages hensyn til en række faktorer. I dette indlæg ses på behovet for et sådant system. På behovsanalysen baseres en mulig linieføring og optimerede stoppestedsplaceringer. Derefter undersøges mulige driftsvarianter af transportsystemet og der anbefales en køreplan. Med dette haves alle nødvendige input til en trafikmodel, som giver et fingerpeg om den fremtidige benyttelse af en ny letbane i København. Til sidst gives et bud på anlægsøkonomien for et projekt af denne type.

Behovsanalyse

Inden for den indre S-banering skal det bestemmes, hvilke områder letbanen skal betjene. For at finde ud af hvilke hovedområder banen skal forløbe igennem, er det nødvendigt at opstille en række kriterier herfor. Disse kriterier er f.eks., er området tæt befolket; er der mange biler i området; hvordan er gennemsnitsindkomsterne; er der mange arbejdspladser og hvor transportintensive er de.

København er i denne sammenhæng blevet delt ind i zoner, der alle har deres karakteristiske data for ovenstående. Disse data bliver alle aggregeret til nogle kort, der illustrerer værdien af data for den enkelte zone, ved hjælp af et Geografisk Informations System (GIS). Den vigtigste bedømmelsesparameter er rejsepotentialet. Rejsepotentialet (passagerpotentialet) er det antal personer, der er potentielle passagerer for letbanen. Denne parameter er fastlagt ud fra antallet af arbejdspladser og indbyggere i en given zone, og er givet ved:

$$[Rejsepotentiale] = [indbyggertal] + 1,75 \cdot [Antal arbejdspladser]$$

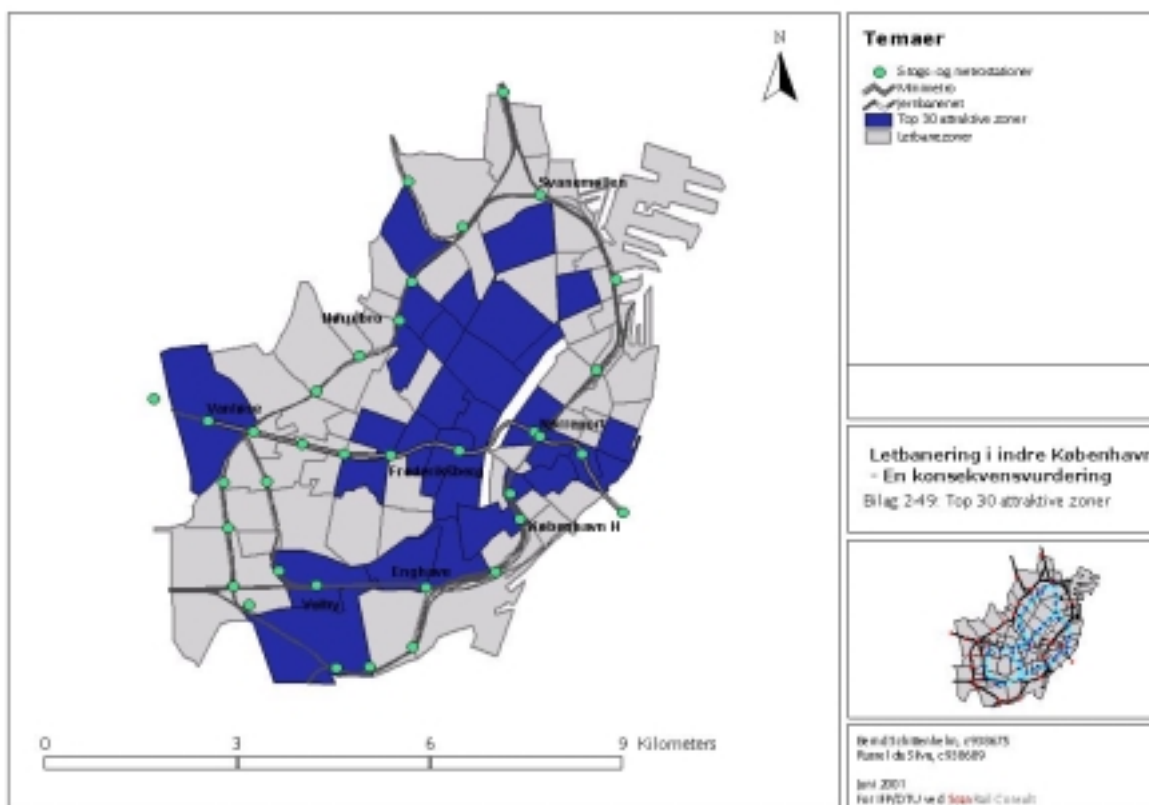
Hver eneste af de indgående parametre vægtes herefter, og zonerne får en værdi, der viser hvor "givtige" de er for en letbane. Dette er gjort ud fra et skøn om hvilke parametre, som er væsentlige for tiltrækningskræften af et letbanesystem. Værdierne fremgår af nedenstående tabel.

| Type | Vægt |
|--|------|
| Rejsepotentiale | 3 |
| Tætheder (Arbejdsplads, befolkning, bilejerskab) | 2 |
| Indkomst | 1,5 |
| Antal (jobs) | 1 |
| Afstigere fra HTs busser | 1 |
| Påstigere fra HTs busser | 1 |

Tabel Fejl! Ukendt argument for parameter.: **Vægtningstabel for zoneattraktivitet**

Det tilstræbes efterfølgende, at banen passerer igennem de områder der umiddelbart har mest tiltrækningskraft. For at få et mere kvalitativt bud på de bedste områder, er der indført et pointsystem, hvor hver zone får tildelt point, efter hvor attraktive de er ud fra den givne

parameter. Dette fører frem til en oversigt over de 30 mest attraktive zoner, hvilket kan ses af nedenstående figur.



Figur Fejl! Ukendt argument for parameter.: Top 30 Attraktive zoner

Af figuren fremgår, at det er givtigt at placere et transportsystem inden for den indre S-togsring som et ringlinje system. Systemet skal da forløbe fra Enghave over Vesterbro, forbi Hovedbanegården og videre mod det sydlige Østerbro. Her deles systemet i to, den ene gren går nordpå videre igennem Østerbro, for at fortsætte parallelt med S-banen til Nørrebro. Herfra når grenen ned til Frederiksberg. Den anden gren forløber fra det sydlige Østerbro mod Frederiksberg parallelt med søerne. Ved Frederiksberg deles systemet igen i to. Den ene gren føres via Valby mod Enghave, og den anden forsætter ned igennem Frederiksberg mod Enghave.

Valg af linieføring og stationsplacering

Zonerne banen skal betjene, er blevet udpeget, og nogle vejstrækninger hvorpå banen kan tænkes ført igennem, er ligeledes bestemt. Udvalgelsen af strækningsalternativerne er blevet bestemt ved en fysisk inspektion af mulige veje, samt et efterfølgende skitseprojekt i et CAD system for at verificere, at pladsforholdene i forhold til kurveradier og vejbredder er tilstrækkelige. Det er her, at letbanens endelige linieføring og stationsplaceringer skal udvælges. Linieføringen er afhængig af, hvor der er størst rejsepotentiale. Dette er givet ud fra stationernes opland. Stationerne har to områder hvorfra passagererne kommer. Der haves et primært opland og et sekundært opland. Det primære opland dækker fra 0-300m i radius fra stationen og det sekundære 300-600m. Det antages, at 100% indenfor det primære opland er

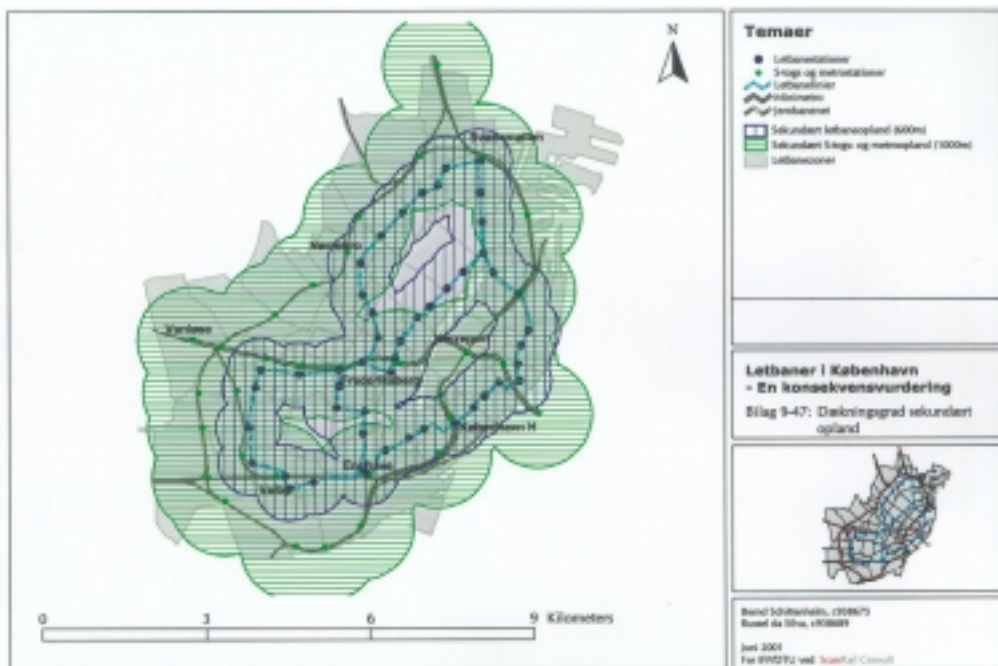
potentielle passagerer, tilsvarende 50% for det sekundære opland. I de områder hvor S-banen har overlappende oplande, er potentielle passagerer blevet fordelt mellem de to oplande efter en afvægtning, der tager hensyn til, at S-banen har en større tiltrækningskraft end en letbane. Fordelingsnøglen fremgår af nedenstående tabel.

| Type | Vægt i letbane favør |
|---|----------------------|
| 300m oplandszone (Letbane), alene | 1 |
| 600m oplandszone (Letbane), alene | 1 |
| 300m oplandszone (Letbane) delt med 500m oplandszone (S-tog) | 0,5 |
| 300m oplandszone (Letbane) delt med 1000m oplandszone (S-tog) | 0,9 |
| 600m oplandszone (Letbane) delt med 500m oplandszone (S-tog) | 0,3 |
| 600m oplandszone (Letbane) delt med 1000m oplandszone (S-tog) | 0,5 |

Tabel Fejl! Ukendt argument for parameter.: Oplandsvægte

Herefter er der, for at lette beregningerne, blevet indført nogle såkaldte faste stationer. Disse er lagt ved strategiske punkter, såsom eksisterende S-togs- og metrostationer, ved større kryds med skiftemuligheder til busser samt ved attraktioner som fx Tivoli og Parken. De indgår herved i samtlige kombinationer af stationsplaceringer. Imellem disse faste stop er der mulighed for at inddele de potentielle strækninger i etaper. Her er der placeret mulige stationer. Efterfølgende beregnes, hvor meget potentiale en given kombination af stationer har. Den kombination med mest potentiale og den bedst mulige stationsafstand, dvs. mellem 500 og 600m, vælges. Denne afstand skyldes, at der skal være et lille overlap af de primære oplande mellem to stop, for at opnå en hensigtsmæssig gangafstand til nærmeste stop. I enkelte tilfælde er andre forhold også taget til efterretning, det kan f.eks. være at to hovedfærdselsårer, der løber tæt parallelt, begge skal have skiftemulighed til letbane. Ud fra disse data bestemmes placeringen af stationerne, og herved er det endelige strækningsnet givet.

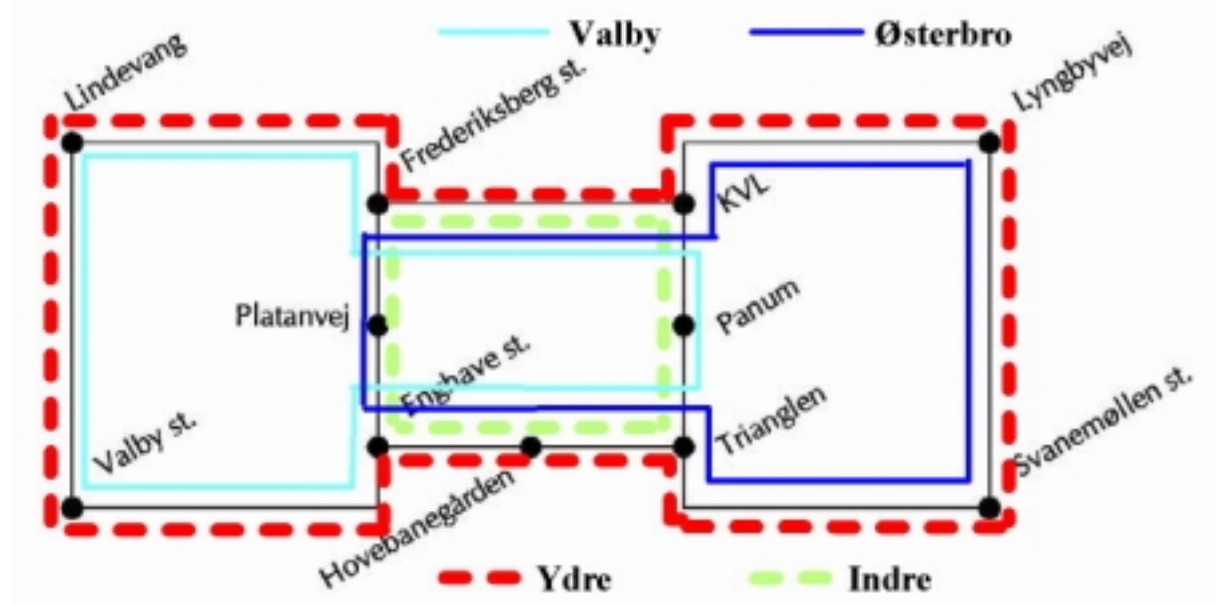
Denne procedure fører frem til, at der skal ligge 48 stationer på letbanenet. Det er i denne sammenhæng lykket at placere stationerne, således at størstedelen af de 30 "bedste" zoner bliver betjent af letbanen. Disse stationer giver tilsammen en stigning på 6,1% i passagerpotentialet for det samlede banenet bestående af S-tog, metro og letbane, inden for den indre S-togsring. Samtidig opnås det, at næsten 100% af det betragtede område, som det fremgår af nedenstående figur, har maksimalt 12 minutters gåtid til nærmeste banebetjente station.



Figur Fejl! Ukendt argument for parameter.: **Dækningsgrad med sekundært opland**

Driftsoplæg

Efter linieføring og stationsplacering er bestemt, udarbejdes et oplæg til driften for letbanesystemet. Med den valgte linieføring fås den mest fornuftige dækning ved at bruge to linier. Som det ses af nedenstående figur, kan disse struktureres på to måder.



Figur Fejl! Ukendt argument for parameter.: **Linieføringsvalg**

Her på kan der gennemføres en køretidsbestemmelse. Denne er bestemt ud fra tracéringen (eget tracé eller blandet tracé), som giver strækningshastigheden, samt de valgte kurveradier, der er bestemt af vejgeometrien. Køretiden bestemmes ud fra en simulering med et

køreplanlægningsværktøj som UX-simu. Dette giver omløbstider og rejsehastigheder som de fremgår af nedenstående tabel.

| Alternativ | Lineføring | Omløbstid [min] | Længde [km] | Rejsehastighed [km/t] |
|------------|------------|-----------------|-------------|-----------------------|
| 1 | Østerbro | 50 | 15,9 | 19,1 |
| | Valby | 51 | 15,9 | 18,7 |
| 2 | Indre | 44 | 12,8 | 17,5 |
| | Ydre | 57 | 19,0 | 20,0 |

Tabel Fejl! Ukendt argument for parameter.: **Resultater fra køretidsberegning**

Alternativ 1 vælges, hvor to linier gennemkører hver deres rute på næsten samme tid. Dette gør det lettere at køre med et konstant interval gennem den centrale strækning fra Enghave st. til Trianglen, hvor der forventes flest brugere af systemet. Ved udarbejdelsen af køreplanen kan der vælges mellem to forskellige typer. En standard køreplan hvor togene afgår til et fast minuttal f.eks. hvert 5. minut, og en fleksibel køreplan hvor togene hele tiden kører. Den sidste løsning er valgt, da den er fundet mest hensigtsmæssig, pga. den konstante kørsel. Herved opnås der ikke den samme forsinkelse, som når togene skal vente på at køre til et bestemt tidspunkt, men kræver formentlig central styring, således at togene ikke kører i klumper.

| Strækning | Rejsetid Tog+bus [min] | Rejsetid letbane [min] | Besparelse [min] |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| Valby st. – Freriksberg. st. | 17 | 10 | 7 |
| Valby st. – Kongens Nytorv | 19 | 21 | -2 |
| Frederiksberg st. – Trianglen | 26 | 13 | 13 |
| Frederiksberg st – Enghave st. | 23 | 8 | 15 |
| Frederiksberg st. – Svanemøllen st. | 27 | 15 | 12 |
| KVL – Nørrebrogade | 16 | 7 | 9 |
| Hovedbanegården - Trianglen | 18 | 16 | 2 |

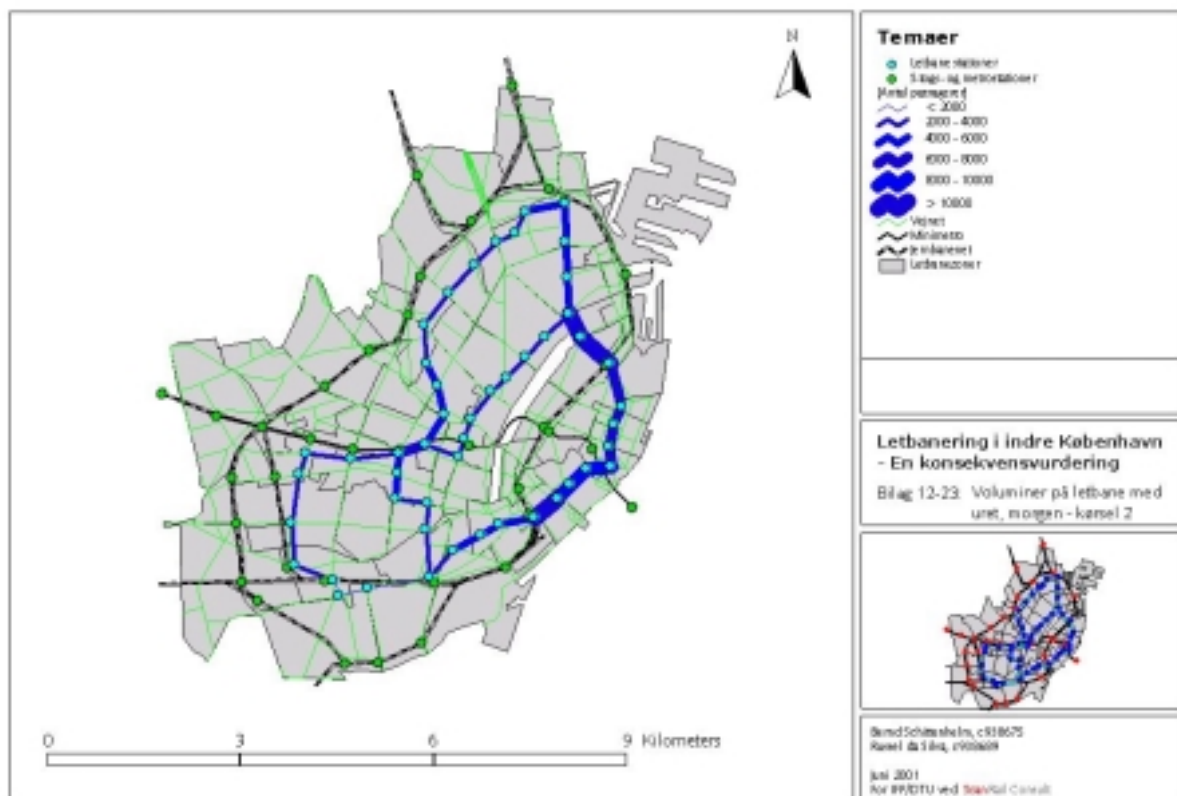
Tabel Fejl! Ukendt argument for parameter.: **Rejsetidsbesparelser**

Af ovenstående tabel ses rejsetiden mellem udvalgte lokaliteter med eksisterende kollektive transportsystemer, såsom tog og bus, samt rejsetiden ved implementeringen af det planlagte letbanesystem. På de strækninger hvor letbanesystemet skaber en ny trafikkorridor, ses de mest markante reduktioner af rejsetider på op til 15 min. Dette ses meget tydeligt i tabellen for rejser med startpunkt på Frederiksberg.

Trafikmodel

Analysen vha. GIS giver kun et skønsmæssigt billede af, hvor mange der er potentielle passagerer. For at få et mere detaljeret billede af antallet af passagerer der kan forventes at benytte letbanen, er der blevet anvendt en trafikmodel. Til dette er brugt en rutevalgsmode fra København-Ringsted Modellen (KRM). Data der omfatter sporvognstype, køreplaner for alle transportformer, skiftestræk og forbindelse til zonerne indlægges. Det skal her nævnes, at

busruterne ikke er blevet omlagt for at tilpasse sig letbanens linieføring. Herefter haves et resultat, der giver et fingerpeg om, hvor mange brugere, der kan forventes at benytte letbanen.



Figur Fejl! Ukendt argument for parameter.: Passagervolumener på letbane

Skulle det vise sig, at et stop absolut ingen passagerer tiltrækker, kan dette stop fjernes, og modellen kan køres igen. Belastningen af de enkelte strækninger beregnes også som det fremgår af ovenstående figur. Af figuren fremgår det, at der i morgenmyldretiden kan forventes en stor mængde passagerer på den centrale del af letbanen igennem den indre by. Belastningen er så stor, at kapacitetsgrænsen for letbanen nås. Beregningerne viser, at størstedelen af passagererne på letbanen bliver taget fra busserne, hvilket var forventet. Samtidig sker der en tilvækst i antallet af passagerer til S-tog, hvorved det konkluderes, at letbanen har en positiv tilbringereffekt på S-banenettet, hvilket er meget sandsynligt, da letbanen er bundet godt op til S-banen.

Økonomi

Økonomien er ofte det punkt der fortæller om et projekt skal gennemføres eller ej. I dette indlæg ses udelukkende på investeringsomkostningerne. I projektet er dog skelet til de mere samfundsrelevante omkostninger. For investeringsomkostninger er priserne for de enkelte tracétyper bestemt (eget, blandet eller kollektivt), og en pris for ledningsomlægning er herefter tilføjet. Dette giver priserne pr. strækning som de fremgår af følgende tabel.

| Strækning | Antal stationer | Pris [mio. kr.] | Længde [m] | Pris/km [mio. kr. /km] |
|---|-----------------|-----------------|--------------|------------------------|
| Enghave – Trianglen | 15 | 719,8 | 6487 | 111 |
| Trianglen – KVL via Svanemøllen | 12 | 527 | 6824 | 77,2 |
| Trianglen – KVL via Panum | 7 | 285,5 | 3479 | 82,1 |
| KVL – Frederiksberg | 2 | 33,6 | 438 | 76,7 |
| Frederiksberg st. – Enghave st. via Platanvej | 4 | 206,3 | 2545 | 81,0 |
| Frederiksberg st. – Enghave st. via Valby | 8 | 439,1 | 5601 | 78,4 |
| Vendespor og depotspor | 0 | 75,8 | 982 | 77,2 |
| Totaler | 48 | 2287,1 | 26356 | 86,8 |

Tabel Fejl! Ukendt argument for parameter.: Strækingspriser

Dette giver en samlet pris for anlæggelse af letbanens infrastruktur. Hertil kommer en udgift til rullende materiel samt anlæg af depot og værksted svarende til ca. 1,5 mia. kr. Sammenlagt løber denne investering op i 3,9 mia. kr., hvilket giver en kilometerpris på 119 mio. kr..

Konklusion

Der er et tydeligt behov for en letbane i København. Passagergrundlaget er tilstede idet letbanens kapacitetsgrænse nås i myldretiden. Letbanen vil i langt de fleste tilfælde give samme eller lavere rejsetid mellem to udvalgte destinationer. Dette styrker den offentlige transport i konkurrencen om passagerne og giver samfundsøkonomiske fordele.

Med implementering af et centralt beliggende letbanesystem, spår trafikmodellen en fremgang i antallet af passagerer med offentlig transport. Dette vil passe fint ind i Københavns bestræbelser på at holde trafikniveauet nede.

Fra en økonomisk synsvinkel er en letbane en meget stor investering. Men investeringen vil styrke den kollektive transport, idet passagerne når hurtigere frem til deres mål, og rejsende generelt vil få en bedre rejseoplevelse. Samtidig kan anlægsfasen bruges til byforskønnende tiltag.