

# Vurdering af letbaneprojekter i Hovedstadsområdet

Alex Landex<sup>1</sup>, Civilingeniør, [al@ctt.dtu.dk](mailto:al@ctt.dtu.dk)

Otto Anker Nielsen<sup>1</sup>, Professor, [oan@ctt.dtu.dk](mailto:oan@ctt.dtu.dk)

<sup>1</sup>Center for Trafik og Transport (CTT), Danmarks Tekniske Universitet (DTU)

Bygning 115, st.tv. Bygningstorvet, 2800 Kgs. Lyngby

## 1 Introduktion

Igennem årene har der været undersøgt flere forskellige letbanealternativer for Københavnsområdet. Fælles for undersøgelserne har været, at projekterne – med de givne forudsætninger, trafikmodeller og samfundsøkonomiske metoder – har vist sig at have en moderat, ringe eller endog negativ samfundsøkonomi.

Omvendt har letbaner haft sin sejrsgang i Europa, med anlæg af et meget stort antal nye letbaner i franske byer, og i mere moderat omfang i bl.a. tyske, italienske og svenske byer. Generelt udtrykker disse byer sig meget positivt om deres nye letbaner. Så hvad er årsagen til den dårlige performance af de danske projekter? Er det simpelthen fordi, at letbaner ikke er en velegnet løsning i København? Eller er det den planlægningsmetodik, der anvendes, der er problematisk?

Artiklen søger med udgangspunkt i eksisterende officielle udredninger såvel som en pulje af studenterprojekter ved CTT at diskutere disse forhold. Der er ikke som sådan tale om en videnskabelig udredning af de mange projekter, men mere forfatterens indtryk og vurderinger efter at have læst et stort antal offentlige udredninger om letbaner, samt efter at have rettet mange års studenterrapporter på bachelor, kursus og kandidat (afgangsprojekt) niveau. I alt indgår 33 primære referencer og 21 studenterprojekter som grundlag for artiklen.

## 2 Baggrund

De senere år har der været en del diskussioner om – og undersøgelser af – letbaner i Hovedstadsområdet. Mange af diskussionerne stammer tilbage fra 1980'erne og 1990'erne, hvor der blev undersøgt forskellige linieføringer ad Nørrebrogade [f.eks.: HT 1993] og Amagerbrogade [f.eks.: DSB og Carl Bro 1991]. Senere er forskellige løsningsalternativer for den nuværende københavnske metro blevet diskuteret – bl.a. om der skulle have været etableret en letbaneløsning i stedet [Schittenhelm og da Silva 2001].

Selv om det er valgt at etablere en metroløsning i København, er diskussionen omkring letbaner ikke død, og diskussionen fik ny næring i forbindelse med Projekt Basisnet i 1999 [HT og Trafikministeriet 1999], hvor forskellige letbanealternativer blev undersøgt. Med udgangspunkt i Projekt Basisnet er der i henholdsvis 2001 og 2003 offentliggjort to større udredninger omkring etablering af en letbane langs Ring 3 (se figur 1) [HUR m.fl. 2001] og [Københavns Amt og HUR 2003].

For nyligt er der i forbindelse med diskussionerne om metroringen gennemført en ny sammenlignende udredning om letbaner inden for Kommunegrænsen (se bl.a. [Københavns kommune 2005], [Københavns kommune 2005b] og [Letbaner.dk 2005]).

Især Projekt Basisnet og udredningerne omkring en letbane langs Ring 3 har skabt øget interesse og debat omkring letbaneprojekter i Københavnsområdet, og der er fra flere sider kommet forslag til nye projekter og linier. Især Københavns Amt har været en flittig fortaler for en Ring 3 letbane [Københavns Amt og HUR 2003], mens trafikgruppen Letbaner.dk generelt har argumenteret for letbaner.

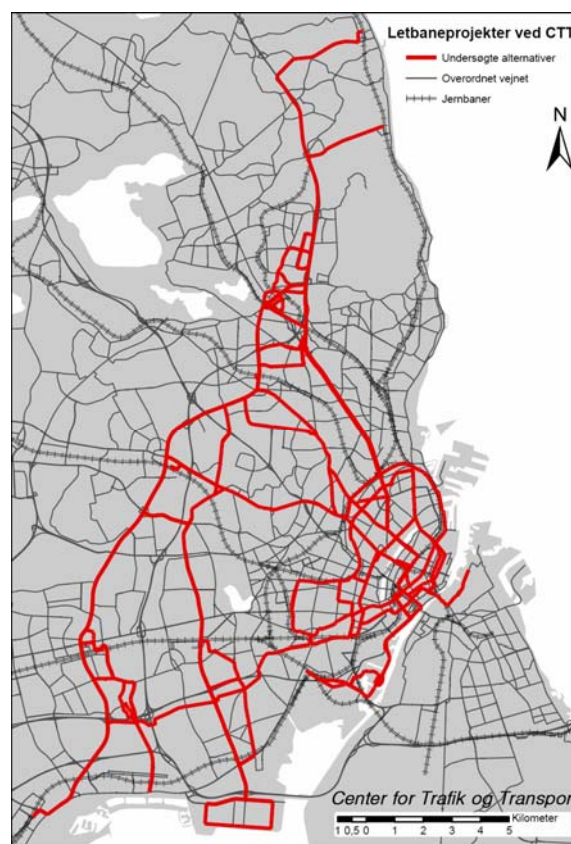
På baggrund af den store interesse omkring letbaner i Københavnsområdet har der på Center for Trafik og Transport på Danmarks Tekniske Universitet (i det følgende forkortet CTT) været gennemført mange projekter og studenterprojekter omkring letbaner i Københavnsområdet (se figur 2). Der er tale om midtvejsprojekter (svarende til Bachelor projekter), specialkurser, afgangprojekter (Civilingeniør), samt projekter i kurset 13120 kollektiv trafikplanlægning

[[www.ctt.dtu.dk/Uddannelse/Kurser.aspx?coursecode=13120](http://www.ctt.dtu.dk/Uddannelse/Kurser.aspx?coursecode=13120), 2/8-2005]. Projekterne har haft forskellige tilgangsvinkler til planlægningen af letbanerne, og er derfor kommet ud med forskellige resultater.

Artiklen beskriver nogle af de letbaneprojekter, der har været undersøgt på CTT, og beskriver de samfundsøkonomiske resultater – og forskellene herpå – for de enkelte projekter. På denne baggrund drages nogle generelle konklusioner på vigtigheden af forskellige planlægningsparametre.



Figur 1 Alternativer for letbane langs Ring 3 [HUR 2003]



Figur 2 Letbaneprojekter ved CTT

### 3 Analysemetoder

For at kunne sammenligne de samfundsøkonomiske resultater af letbaneprojekter, er det nødvendigt at undersøge projekterne på nogenlunde samme måde. Forskellige analyser udført af forskellige personer til forskellige formål vil dog sjældent være gennemført på nøjagtig samme måde, hvorfor en sammenligning kan være nærmest umulig. For at kunne sammenligne resultaterne er alle undersøgelserne forsøgt bygget op efter følgende faser (hvoraf flere af analyserne har udeladt et eller flere elementer):

1. Identifikation af mulige linieføringsalternativer
2. Bestemmelse af linieførings- og standsningsstedsalternativer, evt. ved hjælp af oplandsanalyser
3. Etablering af drifts- og køreplansoplæg
4. Tilpasning af det eksisterende busnet
5. Kodning af rutevalgsmode og rutevalgsberegninger samt evt. trafikspring (i mangel af egentlige trafikmodeller, som typisk er benyttet i de officielle udredninger)
6. Beregning af drifts- og samfundsøkonomi

I fase 1 og 2 bestemmes og vælges linieføringsalternativ og standsningsmønster/standsningmønstre for letbanen. Alternativerne udvælges på baggrund af analyser af mulig tracé og forventede passagemængder. De forventede passagemængder kan estimeres ved hjælp af mere eller mindre komplicerede oplandsanalyser, hvor antallet af indbyggere og arbejdspladser langs linieføringen og deraf bestemmes linieføringens standsningssteder. Oplandsanalyserne giver sammen med en vurdering af mulige korrespondancer til f.eks. S-tog et godt fingerpeg om, hvilke linieføringer og standsningssteder, der er "uinteressante" og derved kan fravælges i de videre analyser. På CTT er disse analyser gennemført ved brug af ArcGIS.

Efter valg af linieføring og standsningsmønster bestemmes i fase 3 et mere eller mindre detaljeret driftsoplæg. Driftsoplægget danner grundlag for etableringen af en egentlig køreplan, der benyttes som grundlag for rutevalgsberegningerne i fase 5. Før rutevalgsberegningerne for letbanescenariet/-scenariene er det dog (i fase 4) nødvendigt at foretage en tilpasning af det eksisterende busnet i letbanens influensområde, så busser og letbane ikke konkurrerer om passagererne, men i stedet supplerer hinanden.

I fase 5 kodes både et basisscenario med den eksisterende infrastruktur og køreplaner samt et eller flere scenarier for letbanen. På CTT gennemføres kodearbejdet i en GIS-baseret datamodel med grafiske editingsværktøjer, hvor det er muligt at importere det meste af basisscenaariets modeldata fra "Rejseplanen.dk" (datamodel og editingsværktøjer er udviklet i et samarbejde mellem CTT og Rapidis ApS). Når data er kodet foretages der rutevalgsberegninger for henholdsvis basisscenaariet og letbanescenaariet med en af CTT udviklet køreplansbaseret rutevalgsmode for kollektiv trafik [Nielsen og Frederiksen 2001], samt en rutevalgsmode for biltrafikken [Nielsen m.fl. 2002].

På baggrund af de indledende rutevalgsberegninger for henholdsvis basis- og letbanescenarierne foretages der en kvalitetssikring af data. Efterfølgende beregnes den ekstra trafik, som letbanen genererer (trafikspringet). Herefter foretages en sidste rutevalgsberegning. Denne bestemmelse er i de fleste tilfælde søgt foretaget efter en empirisk metode, som CTT udledte i forbindelse med Havnetunnelprojektet i 1998 [Nielsen m.fl. 1998], og er derfor kun et kvalificeret skøn, modsat egentlige trafikmodelberegninger som i de officielle letbaneudredninger.

Resultaterne fra rutevalgsmodellerne danner baggrund for en drifts- og samfundsøkonomisk vurdering af letbaneprojektet i fase 6. Den samfundsøkonomiske vurdering koncentrerer sig primært omkring kerneeffekterne (tid, driftsomkostninger, uheld, støj og emissioner) i den traditionelle Cost-Benefit-analyse. Ofte inddrages de strategiske effekter kun som en kvalitativ beskrivelse, da det ofte er svært (næsten umuligt) at prisfastsætte de strategiske effekter.

På baggrund af analyserne for en række projekter, der er udført efter de 6 ovenfor beskrevne faser, foretages der i næste afsnit en samfundsøkonomisk sammenligning af ovenstående projekter.

## 4 Beskrivelse af udvalgte projekter

Der er foretaget mange undersøgelser af forskellige letbaneprojekter ved CTT, hvorfor det vil være for omfattende at sammenligne alle projekterne i denne artikel. Derfor er de 3 hyppigst undersøgte korridorer udvalgt til sammenligning:

- Ring 3
- Ring 2½
- Nørrebrogade-korridoren

Disse korridorer er også valgt, fordi de har vist sig mere rentable (eller mindre urentable) end de andre undersøgte projekter. Erfaringer fra vurderinger af andre projekter inddrages dog også i diskussionen i de efterfølgende afsnit.

### 4.1 Ring 3

Ring 3 korridoren (se figur 1 ovenfor) er i dag den bedst beskrevne korridor, da både Projekt Basisnet [HT og Trafikministeriet 1999] og to andre udredninger [HUR m.fl. 2001] og [Københavns Amt og HUR 2003] har beskæftiget sig med denne korridor. Ring 3 letbanen følger ringvej 3 rundt om København (i Københavns Amt) fra Lyngby i nord (evt. fra en lokalitet nord for Lyngby) via Buddinge og Herlev til Glostrup. Fra Glostrup har der været diskuteret to forskellige linieføringsalternativer til henholdsvis Brøndby Strand og Ishøj, hvor linieføringen til Brøndby Strand er den korteste (og billigste), mens linieføringen til Ishøj giver flest passagerer [Københavns Amt og HUR 2003].

## 4.2 Ring 2½

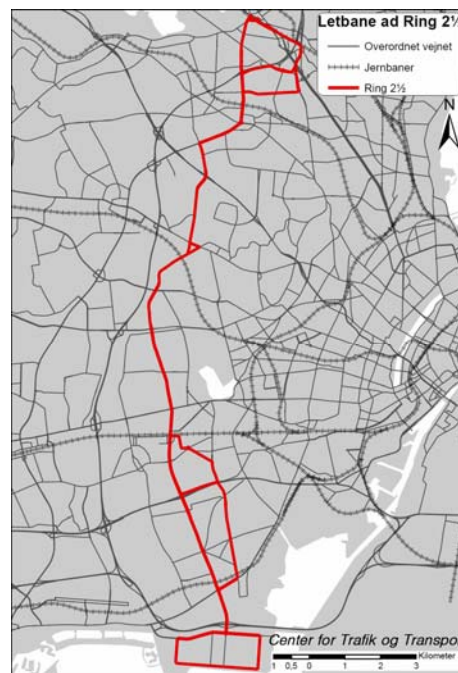
En letbane langs Ring 2½ er en variant af letbanen langs Ring 3, som CTT har arbejdet med i flere omgange. Linieføringen går ligesom for Ring 3 fra Lyngby i nord (eller en lokalitet nord for Lyngby) til Buddinge, men fra Gladsaxe Trafikplads vælges der en linieføring, der er tættere på København ad Mørkhøjvej via DR's nuværende TV-by til Husum station og derfra videre til Friheden station eller evt. Avedøre Holme via Rødovre Centrum og Rødovre station (jf. figur 3).

Linieføringen langs Ring 2½ har den fordel i forhold til en linieføring langs Ring 3, at den er noget kortere og samtidig primært løber gennem tættere bebyggelse og dermed med en tættere koncentration af potentielle brugere af letbanen. Den tættere bebyggelse betyder dog også, at letbanen ikke kan køre "lange" stræk med en høj hastighed som på Ring 3.

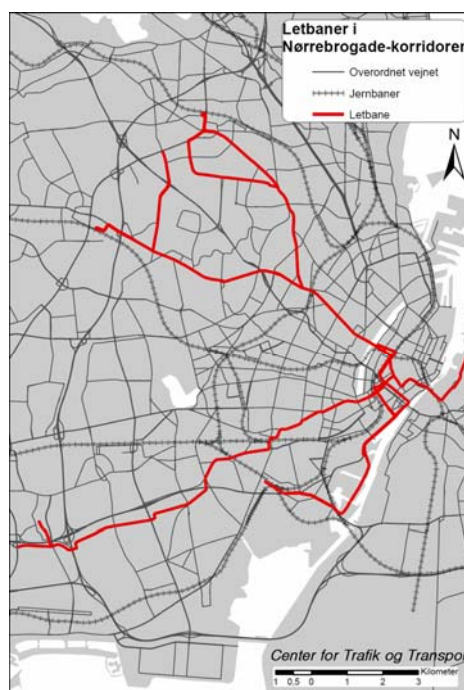
## 4.3 Nørrebrogade-korridoren

En letbane i Nørrebrogade-korridoren fra Nørreport st. til Nørrebro st. vil betjene nogle af de tættest bebyggede områder i København og aflaste nogle af HT/HUR's mest benyttede buslinier (linie 5A og 350S). En letbane i Nørrebrogade-korridoren vil dog ikke kun skulle betjene Nørrebrogade, men kan fra Nørrebro station forlænges mod forstæderne til f.eks. Husum/Herlev, Gladsaxe Trafikplads og/eller Buddinge. Ligeledes kan letbanen forlænges fra Nørreport station gennem det centrale København til en anden radial ud mod forstæderne – f.eks. Hvidovre, Brøndby, Ellebjerg, Holmen og Amagerbrogade.

Ofte betragtes Nørrebrogade-korridoren kun fra Nørreport station (eller en anden lokalitet i det centrale København) og udad Nørrebrogade og videre til forstæderne. Ved disse begrænsede projekter opnås der ikke de fulde fordele af projektet, da mange passagerer bliver nødt til at foretage skift til andre transportmidler ved f.eks. Nørreport station.



Figur 3 Letbane ad Ring 2½



Figur 4 Letbanealternativer i Nørrebrogade-korridoren

## 5 Sammenlignende projektdiskussion

Sammenligningen af de forskellige letbaneprojekter viser store forskelle i samfundsøkonomien mellem de enkelte projekter. Disse forskelle optræder selv inden for projekter i samme korridor, alt afhængig af standsningsmønster, graden af trafikering, gener for biltrafikken og hastigheden for letbanen. Således giver vurderinger af samme projekt – selv efter samme overordnede vurderingsmetodik – meget forskellige resultater. Det vil være for omfattende at komme ind på alle detaljer i nærværende artikel, men bilag 1 viser en oversigt over de tre primære korridorer, der er undersøgt. Generelt er samfundsøkonomien så dårlig i de øvrige projekter i Hovedstadsområdet<sup>1</sup>, at de ikke diskuteres nærmere i nærværende artikel.

En konklusion på denne baggrund er, at standsningsmønsteret og køreplanen har meget stor betydning for samfundsøkonomien i letbaneprojekter, men også at der skal udvises forsigtighed med at genere biltrafikken for meget. Afhængigt af projektets udformning kan der opstå flaskehalse i vejnettet, der qua bilisters tidsværdier tæller meget negativt i projektvurderingen. Man kan generelt konkludere, at relativt detaljerede operationelle forudsætninger påvirker den taktisk/strategiske vurdering af projektet ganske betydeligt.

Selv om der er store forskelle i samfundsøkonomien for de analyserede letbaneprojekter, ses der en klar tendens til, at letbaneløsninger i Nørrebrogade (og Lyngbyvej<sup>2</sup>) korridorerne ser ud til at være nogenlunde rimelige investeringsprojekter for den kollektive trafik. Dette skyldes dels, at der allerede i dag er mange passagerer i de to korridorer, og dels at disse korridorer kan tiltrække passagerer fra et større opland samtidig med at passagerernes rejsemønster ændres.

Undersøgelserne af en letbanelinie langs Ring 2½ fra Lyngby til Hvidovre via Buddinge, Husum og Rødovre (langs den nuværende linie 200S) viser, at denne linieføring kan være et godt alternativ og/eller et godt supplement til en letbane langs Ring 3. Dette skyldes som nævnt, at linieføringen er noget kortere, og der generelt er en større bebyggelsestæthed langs linieføringen, samtidig med at der er færre ”flaskehalse” i forhold til biltrafikken. Linieføringen langs Ring 2½ har de samme problemer omkring Lyngby station, som en linieføring langs Ring 3. Ved anlæg af to letbanelinier (en langs Ring 2½ og en langs Ring 3) kan løsningen omkring Lyngby station ”genbruges” til gavn for begge projekters samfundsøkonomiske rentabilitet<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Jævnfør figur 2 er der på CTT alene undersøgt en lang række andre projekter, f.eks. letbaneringe i centrum, linieføringer af Lyngbyvej (de forskellige letbaneprojekter i Lyngbyvej-korridoren har varierende samfundsøkonomi alt efter bl.a. standsningsmønster og trafikering), andre grene ud af centrum end Nørrebrogade, samt linieføringsvarianter af de forskellige projekter.

<sup>2</sup> Vurderingerne af Lyngbyvejprojekterne har meget divergerende konklusioner, fra negativ samfundsøkonomi (nutidsværdi, førsteårsforentning) til pænt positiv.

<sup>3</sup> Det bemærkes, at et problem i de eksisterende vurderinger af Ring 3 og 2½ er de ifølge de - efterhånden ret forældede turmatricer – tilsyneladende få tværrrejser via S-banen. Dette betyder, at de primære benefits skyldes passagerer fra letbanernes næroplande. Men det betyder også, at en kombiløsning med både Ring 2½ og 3 ikke vil konkurrere med sig selv.

Helt generelt må det konkluderes, at følgende forhold især giver anledning til en negativ performance ved vurdering af letbaneprojekterne:

1. Anlægsomkostningerne er forholdsvis høje sammenlignet med f.eks. vejprojekter, og der er også store investeringer i rullende materiel.
2. Selvom de kollektive passagerer får en tidsgevinst (se dog afsnit 8.1 og 8.2 for en diskussion heraf), så tæller ekstra tidsforbrug for bilister som følge af trængsel ofte meget negativt.

Det må også konkluderes, at afledte effekter (eksternaliteter) tæller meget lidt i vurderingerne, hvilket ikke skyldes lav værdisætning, men at de støjmæssige, miljømæssige og sikkerhedsmæssige benefits i hvert fald på kort sigt faktisk er begrænsede. Der er intet, der tyder på, at mere detaljerede beregninger af disse forhold på nogen måde ville rykke på vurderingen af de konkrete projekter.

Det er også klart efter at have læst de mange vurderinger af letbaner, at der især inden for tre områder sker en systematisk undervurdering af benefits og valg af forholdsvis dyre løsninger<sup>4</sup>, nemlig ved fastlæggelsen af projektpremisserne (se afsnit 6), gennemførelsen af modelberegningerne (afsnit 7) samt i selve de samfundsøkonomiske vurderinger (afsnit 8).

## 6 Diskussion af projektpremisser

Som nævnt i afsnit 5, så kan forskellige operationelle beslutninger have stor betydning for resultatet af projektvurderingen. Disse omfatter dels systemvalget som sådan, dels tilrettelæggelsen af driftsoplæg for et givent system.

### 6.1 Systemvalg

En væsentlig generel vurdering er, at mange af de undersøgte projekter kun opnår en beskedent forbedring af fremkommeligheden af den kollektive trafik. Dette kan dels skyldes driftsoplægget (se afsnit 6.2), dels mere systemmæssige forudsætninger;

- Generelt er der forudsat meget høje sikkerhedsniveauer af letbanerne, hvilket giver sig udslag i lave hastigheder i blandet tracé, men i særlig grad mindre hurtige hastigheder i eget tracé, end hvad der formentlig er muligt. Dette vil selvsagt højne sikkerhedsniveauet i forhold til visse udenlandske letbaner. Men det reducerer også fremkommeligheden, hvilket ”koster” i den samfundsøkonomiske vurdering. Det synes som om man inden for jernbanesektoren – og deraf også letbaner – lægger sig tæt på det maksimalt mulige sikkerhedsniveau, mens man i vejsektoren afbalancerer fremkommelighed med sikkerhed. Man kunne jo tilsvarende også sænke hastighedsgrænsen fra 130

---

<sup>4</sup> Her tænkes alene på selve de valgte løsninger, som måske kan være mindre ambitiøse og billigere, f.eks. ved at undgå tunnelloøsninger. Forfatterne er bekendt med Bent Flyvbjergs forskning på AUC, der påviser en systematisk undervurdering af trafikprojekter. Vi har ikke taget stilling til, om det er tilfældet i de konkrete projekter, men alene selve projektdesignet.

km/t til 90 km/t på motorveje og indføre automatisk hastighedskontrol. Omvendt støder det mod omfattende modstand, f.eks. at hæve en letbanes hastighed i eget tracé fra 80 til blot 100 km/t trods veluddannede chauffører og diverse sikkerhedssystemer. Reelt burde løsninger med forskellige hastighedsniveauer opstilles som separate scenarier – og tidsbenefit burde her opvejes mod sikkerhed<sup>5</sup>.

- Afhængigt af typen af driftsoplæg (antal og længde mellem stationer), vil forskellige typer materiel opnå den bedste fremkommelighed, idet accelerationsevne og maksimal hastighed skal afvejes med stationsafstande og standsningsmønstre.
- Ofte vælges relativt dyre løsninger, f.eks. med delstrækninger i tunnel eller på anden vis ude af niveau. Et eksempel er de forskellige Ring 3 letbaneudredninger, hvor der i de senere udredninger [f.eks.: Københavns Amt og HUR 2003] er fundet væsentligt billigere løsninger i Lyngby uden tunnel med nær samme fremkommelighed som i de tidligere projektforslag.
- Ofte tages forholdsvist høje hensyn til biltrafikkens fremkommelighed, hvilket ud fra sædvanlige samfundsøkonomiske tidsværdikriterier formentligt også er det mest hensigtsmæssige. Dog vil det typisk mindske fremkommeligheden for letbanen – især ved manglende prioritering i signalregulerede kryds. Hvis det politiske ønske er en reduktion af biltrafikken og fredeliggørelse af byen, så er der en modstrid mellem dette ønske og de vurderingskriterier, der benyttes. Reelt er det primært tidsbesparelser og tidsværdier, der tæller. Men i en række sammenhænge f.eks. ved anlæg af gågader, cykelstier, bevarelse af parker og naturområder, lader man jo også andre hensyn tælle.

## 6.2 Driftsoplæg

Givet at et bestemt system er valgt, fastlægges typisk antallet af stationer/standsningssteder, standsningsmønstret samt selve køreplanen:

- Letbaners standsningsmønstre og driftsoplæg kan have stor betydning for såvel passagerens rejsetid, som materielforbrug og drift [Hansen 2004]. I nogle tilfælde kan et ekstra stop være ”gratis”, hvis der f.eks. ønskes en fast frekvens på 10 min. for letbanen. I andre tilfælde vil det ekstra stop kræve et ekstra togsæt, og det kan således ud over den øgede anlægsinvestering koste meget ekstra på materiellet. Generelt er beslutningen om et ekstra stop en afvejning mellem ekstra tidsforbrug for gennemkørende passagerer i forhold til kortere gangafstand eller sparet rejsetid for påstigere. Dertil kommer så anlægsomkostninger til det ekstra stop, samt eventuelt øget materielforbrug<sup>6</sup>. Et samfundsøkonomisk uhensigtsmæssigt driftsoplæg kan let øge materielinve-

---

<sup>5</sup> I nogle tilfælde og delstrækninger har de S-busser, som letbanerne erstatter, sågar hurtigere gennemsnitshastighed, f.eks. på motorvejsstrækninger og visse dele af ringvejene. En letbane i eget trace burde kunne køre hurtigere end S-bus i blandet tracé, og alligevel opnå en sikkerhedsgevinst.

<sup>6</sup> En besynderlighed i forbindelse med en del af letbaneudredningerne er, at nøgletalskataloger for letbaner ofte regner med omkostninger per kørt km., mens f.eks. HUR i virkeligheden afregner busser i bustimer. Da materi-



steringen med 20% samtidigt med at tidsbenefit reduceres med 20%. Dette giver således en stor forskel i cost/benefit forholdet (i eksemplet 50%).

- En del af projekterne er så højfrekvente – f.eks. med mere end 5 min frekvens – at alle vognløb har samme standsningsmønstre. Imidlertid kunne man overveje at blande langsomme og hurtige vognløb for nogle af de undersøgte letbaner. Fordelen ved et hurtigt vognløb er som ovenfor ved vurdering af standsningssteder dels at passagerne i vognløbet får en bedre fremkommelighed, dels at materielforbruget er mindre<sup>7</sup>. Hvorvidt dette er en fordel eller ej vil afhænge af fordelingen af passagerer langs ruten, idet det primært er ruter med både store og små stationsoplade, der vil kunne drage fordel af blandede driftsoplæg.
- I mange af vurderingerne af letbaner er der kun gennemført en moderat tilpasning af busnettet til letbanen, ligesom buskøreplanen ikke er (gen)optimeret<sup>8</sup> (korrespondancer til letbanen og det eksisterende togsystem). I virkeligheden skal letbanen tilpasses de eksisterende højklassede baner, og derefter skal korresponderende buslinier tilpasses. Men da nettet netop er et net, forgrener effekterne sig som ringe i vandet, og det kan derfor også medføre et behov for yderligere tilpasninger af busnettet. En mangelfuld justering af busnettet betyder på den ene side, at busnettets driftsomkostninger måske bliver uforholdsmæssigt høje, samtidigt med, at korrespondancer og nettet som sådan giver for højt tidsforbrug for passagererne. Et ”klassisk” eksempel, der går igen i mange af de vurderede rapporter er, at højklassede S- og A-busser, der forløber i letbanekorridoren helt lukkes, selvom de måske dækker en længere linieføring end letbanen. Dette betyder, at kollektive passagerer i de dele af korridoren, hvor S-bussen nedlægges og letbanen ikke kører, stilles voldsomt dårligere end før, hvilket i den samfundsøkonomiske vurdering ”æder mange af letbanens fordele op”.

Problemet med ovenstående forhold er, at det dels kræver en detaljeret køreplansbaseret trafikmodel (se afsnit 7), dels kræves der meget kodearbejde og mange iterationer (vurdering af mange driftsoplæg), før man når frem til den rette løsning. I mange tilfælde hævdes det, at

---

elbehov typisk fastlægges i diskrete enheder (f.eks. 7 versus 8 togsæt) skal man passe på med at arbejde med gennemsnitstal. Modsat biltrafik, hvor ændringer i et 5-cifret antal biler kan antages at være tilnærmelsesvist kontinuerte i analyserne, så er et snitbehov på f.eks. 6,9 togsæt lig 7 nødvendige togsæt, mens 7,1 er lig 8 nødvendige. Derudover er såvel kapitalomkostninger som lønomkostninger timebaserede. Energiforbrug er både tids- og længdebaseret (10 km med 2 stop bruger mindre energi end 10 km med 4 stop, hvor længden er samme, men sidstnævnte tager længere tid). Derfor vil det generelt være problematisk at benytte kilometerbaserede nøgletal for drifts- og materielomkostninger af letbaner.

<sup>7</sup> Hvis man f.eks. på Ring 3 har en samlet rejsetid på 35 min og 10 min frekvens kræver det 8 togsæt (indberegnet vendetider). En øgning til 5 min. frekvens vil da øge materielbehovet til 16 togsæt. Her kunne et alternativ være en langsom linie på 35 min og en hurtiglinie på 27 min (med behov for 6 togsæt alene) Her sparer man således 2 togsæt samtidigt med at de gennemkørende passagerer får en tidsgevinst.

<sup>8</sup> Jf. [Pedersen m.fl. 2002] for beskrivelse af metode til optimering (uden genoptimering), hvor korrespondancerne i basiskøreplanen er langt fra optimalitet

den slags operationelle detaljer ikke har betydning i de indledende strategiske analyser. Imidlertid er det efter at have læst de mange projekter vores vurdering, at optimeringen af køreplaner kan have endog meget stor betydning for benefits. Typisk kan det forbedre tidsbenefit med 50-100% og driftsomkostninger kan reduceres med 20-30% i forhold til, hvis man ikke fintuner disse forhold.

## 7 Diskussion af modelforudsætninger

Efter at projektforsudsætningerne er defineret, vurderes letbaneprojekter typisk ved brug af trafikmodelberegninger. Disse er i flere sammenhænge kritiseret, blandt andet fordi forskellige modeller har givet meget forskellige resultater for samme projekt jf. bl.a. projekt basisnet [HT og Trafikministeriet 1999].

Da effekten for antal ture, turfordeling og transportmiddelvalg typisk ikke afviger markant mellem de forskellige modeller (fordi disse effekter er små), så skyldes forskellene primært rutevalgsmodellerne. Desværre er der – bortset fra i København-Ringsted studiet [Nielsen m.fl. 2000] benyttet ret simple rutevalgsmodeller i Danmark; typisk frekvensbaserede modeller og modeller, der kun undersøger få alternativer og uden en nyttebaseret tilgang. [Nielsen 2000] beskriver udviklingen af mere avancerede rutevalgsmodeller inden for dette område.

I flere af CTT's projekter er der benyttet køreplansbaserede state-of-the-art modeller [Nielsen og Frederiksen 2001]. Man kan konkludere, at disse giver mere detaljerede resultater og kvalificerer beslutningsgrundlaget. Men der er ikke belæg for at konkludere at de generelt øger eller mindsker trafikken på de vurderede letbaner; det kan alene konkluderes at prognoserne bliver mere nøjagtige.

En række andre forhold vedrørende trafikmodeller har også været diskuteret i fagkredse og internt på CTT;

- Modellerne i Hovedstadsområdet bygger på meget gamle turmatricer. Dette kan måske for tværletbanerne (f.eks. Ring 3) betyde, at der er for få tværrejser. Sammenligninger med trafikken på tværvejene og med S-busser i korridorerne underbygger måske denne antagelse. For øjeblikket er der i et stort projekt, som Danmarks Transport Forskning leder, ved at blive opbygget nye matricer for Hovedstadsområdet. Da disse dels bygger på nyindsamlede rejsevanedata, dels på tællinger fra tællebusser, togtællinger og skiftemønsteranalyser, vil tesen om manglende tværrejser forholdsvis snart kunne be- eller afkræftes.
- De eksisterende trafikmodeller beregner ikke trafikspring for visse turformål, mens det for de resterende turformål må anses for at beskrive kortsigtede trafikspring alene. Da trafikspring bør tælle positivt med i de samfundsøkonomiske vurderinger [Nielsen 2005], så undervurderes benefit herved. Idet trafikspringene typiske er ret begrænsede er der dog kun tale om en lille undervurdering af projekternes fordele.
- Derimod er der i flere udenlandske sammenhænge set mere langsigtede strategiske trafikeffekter af letbaneprojekter (påvirkning af bilejerskab), strategiske lokaliseringsef-

fekter (valg af bopæl, arbejdsplads, ejendomspriser), samt strategisk afledte effekter (f.eks. påvirkning af arbejdsmarked og butikslivet). Der har kun været få forsøg på at inddrage sådanne effekter ved studier af lejligheds- og huspriser i stations- versus stationsfjerne lokaliteter [Rich og Nielsen 2004] og [Plum og Stokkendal 2004].

- Ved vurdering af et projekt med virkning mange år ud i fremtiden, bør gennemregningen af fremtidsåret ske som en fuld beregning – og ikke alene som fremskrivninger. [Jf. Nielsen og Fosgerau 2005], så er der en klar risiko for at fejlvurdere benefits i såvel trafikmodeller som i den samfundsøkonomiske analyse, hvis fremtidsåret ikke beregnes fuldt ud. I særlig grad er det tilfældet hvad angår trængsel-effekter for biltrafikken. I forbindelse med letbaner kan dette virke to veje; på den ene side så udgør en letbane et mere attraktivt alternativ til bil end bus, og letbanen vil således få større benefits, hvis trængsel indregnes. På den anden side tager letbanens tracé måske vejkapacitet og forværrer derfor trængselen yderligere.

## **8 Diskussion af samfundsøkonomiske metoder**

I forbindelse med udarbejdelsen af de forskellige letbaneprojekter på CTT er det fundet, at der er en række forhold, som har stor betydning for resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse. Disse forhold er eksempelvis diskonteringsrenter, langsigtede strategiske effekter og byfortætningsmuligheder, værdisætningen af tid, ledningsomlægninger og korrekt vurdering af den nye infrastruktur. Ovenstående og en række andre forhold er generelt beskrevet i [Lan-dex og Salling 2005]. Nedenfor gives en beskrivelse af nogle centrale forhold, som ofte over-sees i forbindelse med undersøgelse af letbaneprojekter.

### **8.1 Beregning af tidsbenefit**

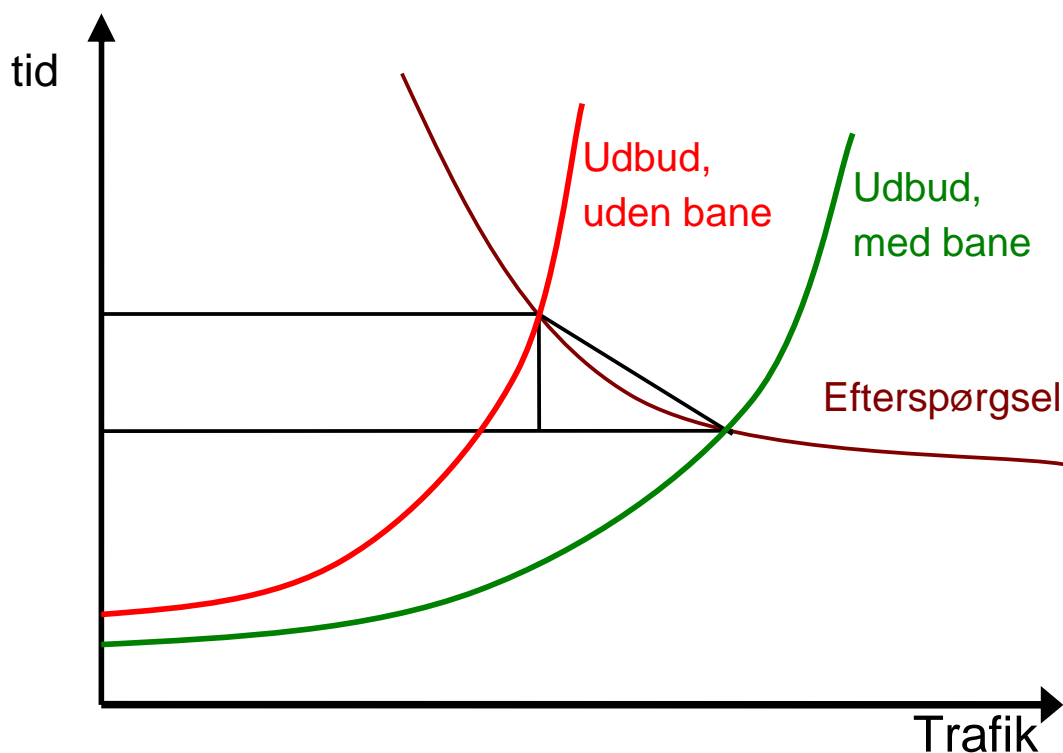
Et af hovedargumenterne for langt de fleste infrastrukturanlæg – også letbaner – er, at der kan spares tid, og ofte er benefitten af tidsbesparelser et af de væsentligste bidrag i den samfundsøkonomiske vurdering. De samfundsøkonomiske beregninger for tidsbesparelser forudsætter, at de rejsende maksimerer deres nytte ved valg af rejserute. De rejsendes efterspørgsel bestemmes ud fra relevante udbudsvariable for transportmarkedet såsom rejsetid, billetpris med mere samt de rejsendes egne karakteristika som f.eks. indkomst [Gissel 2000].

#### **8.1.1 Traditionel udbudskurve**

Figur 5 illustrerer den sædvanlige sammenhæng mellem trafik og udbud. Hvis letbanen udgør en fordel – målt i tid eller generaliseret nytte – så vil den resultere i nye passagerer. Eksisterende passagerer får den fulde fordel af tidsbenefit, mens de nye passagerers benefit tilnærmes med trekanten under kurven (se [Nielsen og Fosgerau 2005] for en grundigere gennemgang).

Ved et givet driftsoplæg er udbudskurven for letbaner tilnærmelsesvist lodret (medmindre siddepladssandsynlighed, forsinkelsesmodellering og evt. afviste passagerer indgår i modelberegningerne). Men ved store ændringer i passagermængder må man antage, at det kollektive

trafikselskab ændrer driftsoplæg og køreplan, hvilket kan fortolkes som en trinvis kurve (se også [Hansen 2004]), se afsnit 8.1.2.



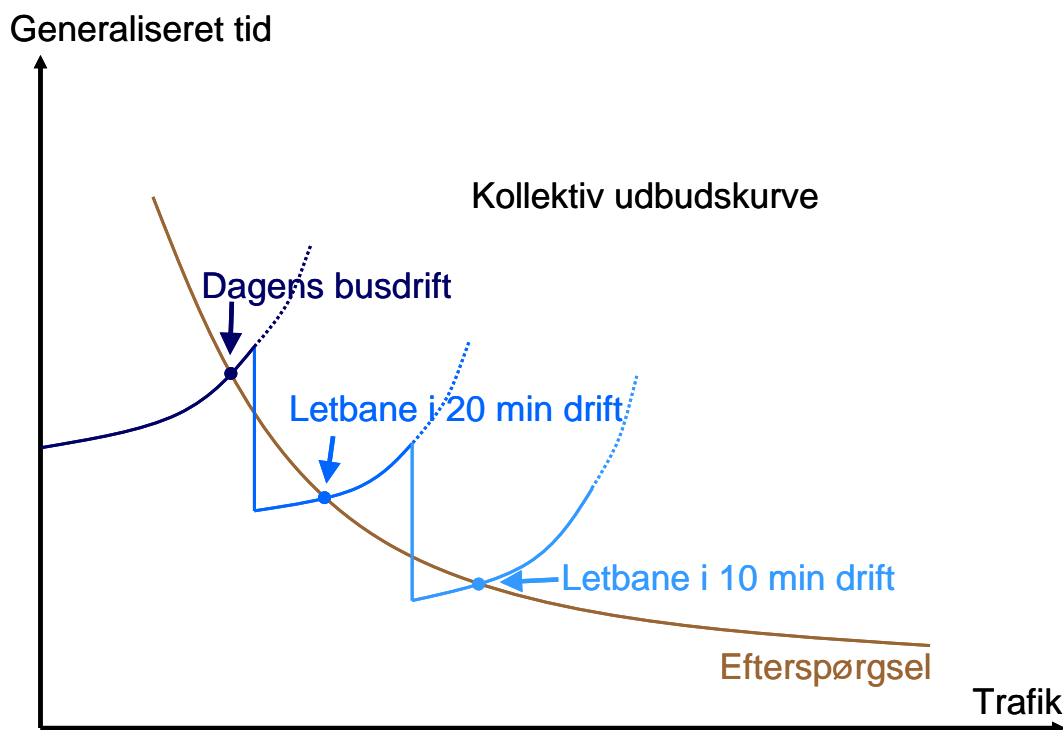
**Figur 5 Sædvanlig beregning af tidsbenefit**

Som for vej [Nielsen og Fosgerau 2005] samt [Nielsen 2005] kan der også for den kollektive trafik ske bias ved opgørelsen af tidsbenefit, såfremt der ikke gennemføres fulde beregninger i basisår såvel som fremtidsår, samt såfremt der ikke skelnes mellem forskellige typer effekter, f.eks. rent trafikspring, ændrede destinationer, transportmiddelvalg og rutevalg [Nielsen 2005].

I nogle af de læste letbaneudregninger udregnes tidsbenefit som (det samlede antal rejsende uden letbane ganget med tid ganget med tidsværdi) minus tilsvarende for antal rejsende med letbanerne. Hermed ses der helt bort fra trafikspring og overflytning mellem destinationer, turformål og transportmidler [jf. Nielsen 2005]. Eksempelvis vil en ny rejse tælle som tid efter, men ikke som tid før. Og derved vil den tælle 100% negativt, hvor den burde tælles som 50% positivt jf. rule-of-the-half [Nielsen 2005]. For trafikspring er fejlen således 150%, mens den typisk er 50% for overførte ture, hvor der ikke benyttes rule-of-a-half. [Nielsen 2005] præsenterer en metodik, hvor man ud fra trafikmodellers aggregerede output kan værdisætte disse effekter. Men det bedste vil naturligvis være, hvis trafikmodellen selv leverede resultaterne segmenteret på forskellige effekter, hvilket dog af tekniske eller metodiske årsager ofte er vanskeligt.

### 8.1.2 Udbudskurve for kollektiv trafik

For kollektiv trafik er den traditionelle udbudskurve (som beskrevet i afsnit 8.1.1) ikke altid fyldestgørende, da udbuddet er afhængigt af den generaliserede tidsomkostning (dvs. tid vægget med tids-/geneværdi), der benyttes i det kollektive trafiksystem. For kollektiv trafik vil udbudskurven udtrykt i generaliseret tid kunne se ud som vist på figur 6.



Figur 6 Beregning af tidsbenefit for kollektiv trafik

Den blå linie udtrykker den diskrete variation i generaliseret tid (som et udtryk for udbuddet). I basissituationen haves der en fast generaliseret tid med busdrift, hvilket resulterer i en ligevægt for en given trafikmængde (markeret med pil i figur 6). Når der etableres en letbane i 20 minutters drift vil der opnås et mindre tidsforbrug og højere komfort (typisk afspejlet i en lavere tidsværdi), hvilket vil skabe en ny ligevægtssituation (markeret med pil i figur 6). Ændres letbanens frekvens, således at letbanen kører med 10 minutters frekvens vil den generaliserede tid igen falde som følge af mindre vente- og skiftetid og der vil opnås endnu en ligevægtssituation (ligeledes markeret med pil i figur 6).

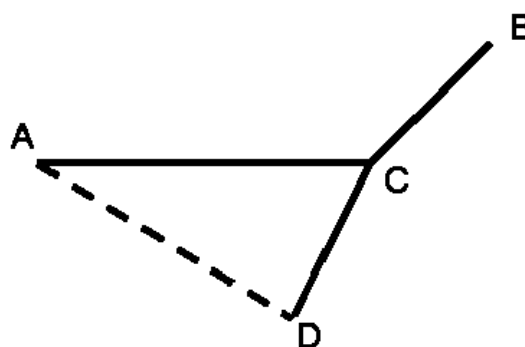
### 8.2 Værdien af tid

Der er især i Norden, udført en lang række tidsværdistudier, hvor forskellige turformål og tidskomponenter er blevet vægget og forsøgt værdisat. Problemet er selvklaart, at tid vægtes utrolig individuelt selv inden for et bestemt segment. [Buus m.fl. 2003] giver et overblik over socioøkonomiske tidsværdier.

For den kollektive trafik vurderes vente- og skiftetider ofte som større gene end tiden, der tilbringes i selve transportmidlet, hvorfor tidsværdien for ventetid og skiftetid bør være høje-

re. Forskellige transportmidler har forskellig komfort, hvorfor rejsetiden i bus bør have en større tidsværdi end rejsetiden i tog.

Benyttes samme tidsværdi for alle kollektive transportmidler kan den paradoksale situation opstå, at analysen viser negative tidsbenefits på trods af at passagerne opfatter et projekt som en forbedring. Betragtes eksemplet på figur 7, hvor en rejsende skal fra A til B, kan den rejsende tage bussen fra A til B med skift i C. Bygges der nu en ny metro, letbane eller S-bane mellem A og D (uden ændring i de eksisterende busforbindelser), vil nogle rejsende vælge at tage banen fra A til D og der skifte til bussen, der kører til B.



Figur 7 Rejsemuligheder for rejser mellem A og B [Landex og Salling 2005]

Antallet af rejsende fra A til B via D afhænger af den tidsbesparelse der opnås. Men selv om det måske tager lige lang tid, eller måske endda lidt længere tid at rejse via D er der stadig nogle passagerer, der vil vælge det, da det er mere komfortabelt at rejse med tog end bus. Beregnes den samfundsøkonomiske benefit af tidsbesparelsen ud fra en generel værdi for kollektiv trafik vil rejsen via D imidlertid betragtes som en disbenefit, hvis den tager længere tid end tidligere. Dette problem ville undgås med separate danske gene-/tidsværdier for forskellige kollektive transportmidler. Endnu er der ikke nogle generelle tidsværdier til brug for forskellige kollektive transportmidler [jf. Trafikministeriet 2004], men et dansk tidsværdistudium er undervejs ledet af Danmarks Transportforskning (DTF).

Resultaterne fra de analyserede letbaneprojekter lider generelt af, at der benyttes samme tidsværdier i den samfundsøkonomiske analyse uanset hvilket kollektivt transportmiddel, der benyttes<sup>9</sup>. Ved at differentiere tidsværdierne i den samfundsøkonomiske beregning, så de bedre matcher passagerernes præferencer og adfærd, har foreløbige analyser på CTT vist at der kan opnås en tidsbenefit, der er 15-40% større end den traditionelle tidsbenefit alt afhængig af letbanens linieføring og ”tiltrækningsevne” [f.eks. Mühlendorph og Petersen 2005].

Derimod er der ofte fremført det – misforståede – argument, at tidsværdier favoriserer bilister i den danske vurderingsmetodik. Dette er ikke korrekt, idet tidsværdierne er højere for kollektiv trafik end for bil. Eller med andre ord, så vil en sparet time for de kollektive trafikanter tælle højere i vurderingerne end en sparet time for en bilist. Hvis den kollektive trafik bliver forbedret så meget, at bilister skifter hertil, så vil det i trafikmodellen skyldes at tid gange med tidsværdi forbedres. Medmindre der er stor diskrepans mellem trafikmodellens tidsværdier og

<sup>9</sup> En af årsagerne til dette problem har i mange af CTT’s modeller været, at rutevalgsmodellen [Nielsen og Frederiksen 2001] netop skelner mellem forskellige kollektive trafikmidler via forskellige tidsværdier, der bygger på København-Ringstedprojektet [Nielsen m.fl. 2000], mens den samfundsøkonomiske værdisætning har bygget på Trafikministeriets manual [Trafikministeriet 2004] og det tilhørende nøgletalskatalog [Trafikministeriet 2003].

de samfundsøkonomiske værdier for bil versus kollektiv trafik – hvilket vi ikke mener der er belæg for at kunne påstå i de danske modeller – så vil det også medføre en positiv benefit.

### **8.3 Beregningsperiode, scrap-værdi og ledningsomlægninger**

Beregningsperioden bør ideelt set svare til projektets levetid, men da transportinvesteringsprojekter ikke som sådan har en fast levetid (banen København-Roskilde blev f.eks. taget i brug i 1847, og vil formentlig eksistere mange år fremover), er det nødvendigt med en kortere (og mere relevant) beregningsperiode.

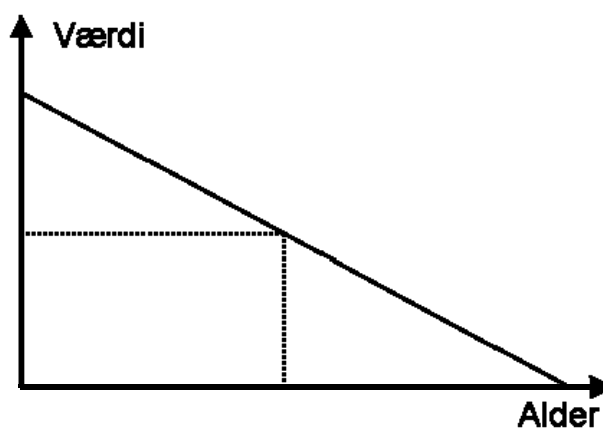
For større infrastrukturprojekter anbefaler Trafikministeriet en kalkulationsperiode på 50 år [Trafikministeriet, 2003], men for ”almindelige” vejprojekter benyttes ofte en kalkulationsperiode på 20 år. For mere driftsrelaterede samfundsøkonomiske beregninger, f.eks. investeringer i nyt jernbanemateriel, bør beregningsperioden svare nogenlunde til driftsmateriellets levetid.

Mange af de vurderede rapporter og udredninger regner med en – for letbaner og baner – kort vurderingsperiode, der er set helt ned til 20 år, mens 30 år er det mest almindelige. Når der benyttes en kortere beregningsperiode end selve projektets levetid, bør projektets scrap-værdi beregnes. Scrap-værdien (eller restværdien) svarer til den kapitalværdi, som projektet repræsenterer ved beregningsperiodens udløb, og denne værdi skal medtages som en benefit i de samfundsøkonomiske beregninger for det år, hvor beregningsperioden udløber. Regnes der med reinvesteringer samt vedligehold af infrastrukturanlægget kan scrap-værdien (groft) sættes til at være den samme som anlægsomkostningen (undtagen for ledningsomlægninger) og eventuel materielinvesteringer. Dette skyldes, at infrastrukturanlægget er vedligeholdt.

I flere af de vurderede rapporter sættes der en scrap-værdi på 0 kr. efter de 30 år – projektet afskrives med andre ord over hele denne periode. Dette er som nævnt ovenfor ikke rimeligt, fordi man må formode at letbanen løbende vedligeholdes og drives, og således har en værdi også efter de 30 år (eksempelvis er den Københavnske S-bane ikke værdiløs i dag). Eftersom letbaneprojekterne ofte er dyre i anlæg vil scrap-værdien efter kalkulationsperiodens udløb kunne have en forholdsvis stor betydning for nutidsværdien og/eller samfundsøkonomien.

Ledningsomlægninger er ofte en stor omkostning i forbindelse med (især) projekter for kollektiv trafik. Mange ledninger i Danmark, f.eks. kloakledninger, er imidlertid så gamle og nedslidte at de snart skal udskiftes – eller burde have været udskiftet [ATV 2001]. Ved beregning af ledningsomkostningerne bør der derfor tages højde for, at der under alle omstændigheder på et eller andet tidspunkt skulle have været foretaget ledningsudskiftninger. Derfor er det udelukkende meromkostningen ved ledningsomlægninger i forhold til de eksisterende ledningers scrap-værdi der skal indgå i den samfundsøkonomiske kalkule. Flere af studenterprojekterne udført ved CTT har vist at ledningsomlægningerne udgør en stor andel af den samlede anlægsinvestering og dermed samfundsøkonomi, hvorfor det er vigtigt at tage højde for ledningernes ofte fremskredne alder.

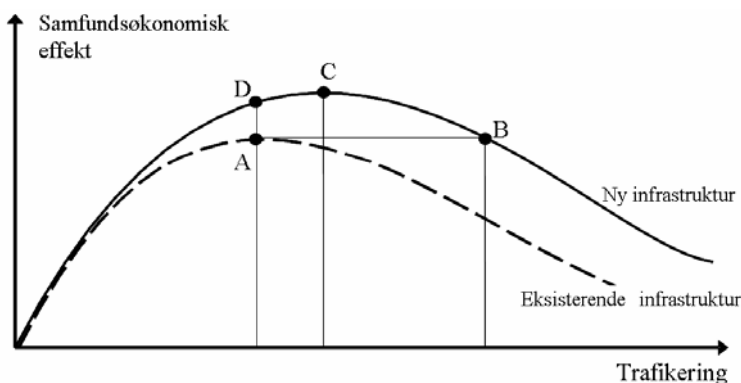
En simpel måde at beregne prisen for ledningsomlægninger under hensyntagen til deres scrap-værdi er at antage, at prisen for ledningsomlægningerne kun er den halve af anlægsinvesteringen. Denne antagelse bunder i en antagelse om at ledningerne afskrives i lige store dele over hele deres levetid, og at der foretages fornyelse af ledningerne når deres restværdi er 0. Endelig forudsættes det at alderen på ledningerne er jævnt fordelt, hvilket jf [ATV 2001] er en meget optimistisk antagelse. Når disse forudsætninger er opfyldt vil ledningernes alder i gennemsnit være halvdelen af deres levetid, hvilket vil sige at scrap-værdien er halvdelen af deres "nyværdi" – jævnfør figur 8.



Figur 8 Ledningers scrap-værdi [Landex og Salling 2005]

#### 8.4 Fejlvurdering af kollektive projekter

Den samfundsøkonomiske effekt af et infrastrukturanlæg er, som det fremgår af figur 9, afhængig af belastningen af infrastrukturen. Udnyttes den eksisterende infrastruktur samfundsøkonomisk optimalt (A), vil en udbygning med uændret trafikering opnå en højere samfundsøkonomisk effekt. Den forbedrede samfundsøkonomiske effekt (D) fremkommer som følge af forbedret regularitet og eventuelle tidsbesparelser. Den mest optimale samfundsøkonomiske effekt som følge af ny infrastruktur (C) kan optræde ved en øget trafikering, da det bliver muligt med eksempelvis flere direkte forbindelser.



Figur 9 Samfundsøkonomisk effekt af infrastrukturprojekt afhængig af trafikeringen (frit efter [Nielsen m.fl. 2001b])

Øges trafikeringen af den nye infrastruktur mere end det samfundsøkonomisk optimale (C), vil den samfundsøkonomiske effekt begynde at falde. Øges trafikeringen så meget, at den samfundsøkonomiske effekt er lige så stor som den optimale samfundsøkonomiske effekt på den eksisterende infrastruktur (B), vil selv en lille forøgelse i antallet af tog betyde, at der opnås en negativ samfundsøkonomisk effekt. At finde den samfundsøkonomisk optimale belastning af infrastrukturen (trafikeringen) er en "iterativ" proces, der kræver gennemregning af forskellige drifts-/køreplansoplæg for den nye infrastruktur. Det er således ikke nok, som



det ofte gøres, at regne på et enkelt køreplansoplæg.

Den samfundsøkonomiske nyttekurve i figur 9 for den nye infrastruktur kan ændres/forskydes som følge af følgeinvesteringer – f.eks. udvidet signalprioritering til en letbane eller øget kapacitet på den eksisterende infrastruktur.

### **8.5 Strategiske effekter og bedre byrum**

Det er ikke alle effekter, der umiddelbart lader sig kvantificere i økonomiske termer, eksempelvis bedre bymiljø, mere overskuelige køreplaner. Disse effekter kan ikke indgå i en cost-benefit-analyse men derimod i den såkaldte multikriterieanalyse, ved hjælp af vægte eller pointfordelinger, hvorved sammenlignende analyser muliggøres [Leleur 2000].

Letbaner benyttes ofte som et argument for at få forskønnet bymiljøet i de kvarterer letbanen passerer igennem, f.eks. Strassburg. Men reelt set burde det ikke være letbaneprojektet der bør/skal betale for denne forskønnelse af bymiljøet, hvilket ofte belaster letbaneprojekternes samfundsøkonomi. Derudover vil letbaner ofte mere eller mindre tilsigtet være med til lokalt at forskønne bymiljøet, da der sker en ombygning af vejene. Denne byforskønnelse medtages sjældent i projekterne som benefits, da den er svær at kvantificere mens de fulde anlægsomkostninger næsten altid medtages.

Projekter kan endvidere have langsigtede strategiske effekter såsom ændret lokalisering af boliger og/eller virksomheder, ændret bilejerskab etc., der kan få stor indflydelse på den fremtidige transport. Disse effekter er ofte så langsigtede, at de på grund af tilbagediskonteringen kun i ringe grad indgår i almindelige samfundsøkonomiske analyser. Der findes dog hedoniske<sup>10</sup> metoder til prisfastsættelse af nogle af de strategiske effekter – se evt. [Rich 2002].

## **9 Konklusion**

Gennem årene har der været undersøgt mange forskellige letbanealternativer for Københavnsområdet. Fælles for undersøgelserne har været, at projekterne – med de givne forudsætninger, trafikmodeller og samfundsøkonomiske metoder – har vist sig at have en moderat, ringe eller endog negativ samfundsøkonomi. Artiklen har med udgangspunkt i eksisterende officielle udredninger såvel som en pulje af studenterprojekter ved CTT søgt at diskutere disse forhold.

### **9.1 Årsager til ringe samfundsøkonomi**

Især to forhold er med til at gøre projekternes performance ringe;

1. Letbaneprojekterne er typisk ret dyre. Selvom omkostningerne kan reduceres ved at vælge mindre forkromede løsninger samt ved optimering af standsningsmønstre og

---

<sup>10</sup> Dvs. metoder hvor man implicit fastsætter priser ved at vurdere forskelle på andre kriterier – f.eks. ved at vurdere forskelle i huspriser i forskellige områder.

driftsoplæg, så er anlægsomkostninger klart letbaners akilleshæl.

2. Tidsbenefits er ikke overvældende for de kollektive rejser, mens bilisterne bruger mere tid som følge af den reducerede vejkapacitet. Dette skyldes dels designet af letbanesystemerne selv (max hastighed, standsningsmønstre, m.v.), dels visse mangler i opførelsen af tidsbenefits. Men der er også tale om en reel problemstilling vedrørende konkurrencen mellem bil og kollektiv trafik i samme gaderum.

Det må også konkluderes, at afledte effekter (eksternaliteter) tæller meget lidt i vurderingerne, hvilket ikke skyldes lav værdisætning, men at de støjmæssige, miljømæssige og sikkerhedsmæssige benefits i hvert fald på kort sigt er begrænsede. Der er intet der tyder på, at mere detaljerede beregninger af disse forhold vil rykke på vurderingen af de konkrete projekter.

## **9.2 Projektpræmisser**

En række forhold vedrørende projekternes præmisser resulterer måske i for dyre og langsomme løsninger. Mens trafiksikkerhed i vejprojekter typisk er et element i den samfundsøkonomiske analyse, så søges i letbaneprojekter typisk den maksimalt sikre løsning, før projekterne vurderes. Derved benyttes implicit en endog særdeles høj værdi af sikkerhed. Vi anbefaler, at løsninger med forskellige hastighedsniveauer opstilles som separate scenarier – og tidsbenefit herved opvejes mod sikkerhed.

Generelt er der i projekterne arbejdet for lidt med standsningsmønstre, driftsoplæg og køreplaner, og vi anbefaler grundigere analyser som beskrevet i afsnit 6.2.

## **9.3 Trafikmodellering**

Et væsentligt problem ved hidtidige vurderinger af letbaner er, at der typisk er benyttet taktiske trafikmodeller.

Her overser man på den ene side, at operationelle forhold har stor betydning for rejsetider, passagerstrømme og omkostninger. Hvor man for biltrafik med god tilnærmelse kan tillade sig at regne kontinuert på et taktisk niveau (f.eks. fordi 5-cifrede antal biler på en bestemt vej er nær kontinuert), så er materielbehov i størrelsesordenen 5,6,7... letbanetogsæt og diskrete afgangstider med f.eks. 10 eller 20 min. frekvens langt fra kontinuerte.

På den anden side overses helt de formentligt betydelige langsigtede strategiske effekter, der kan opnås af letbaner, f.eks. påvirkning af bilejerskab, lokalisering og arbejdsmarked.

Endelig er der fundet en række tekniske problemer i forbindelse med beregning af fremtidsårs trafik, opgørelsen af trafikspring og overført trafik, samt beregning af tidsbenefits. Disse problemer – som egentligt er trivielle metodefejl – er kort beskrevet i afsnit 7 og 8.2, mens der for en mere grundig gennemgang henvises til [Nielsen 2005] og [Nielsen og Fosgerau 2005].

## 9.4 Samfundsøkonomiske vurderinger

Det overskyggende problem ved næsten alle de vurderede projekter er, at der er benyttet en samlet tidsværdi for kollektiv trafik, frem for en segmentering på bus, letbaner og tog. Enkelte undersøgelser på CTT har vist, at det kan undervurdere tidsbenefits for konkrete projekter med 15-40%. Når værdier fra det nye danske tidsværdistudium offentliggøres, så burde dette problem være i hvert fald delvist løst.

Enkelte af udredningerne har foretaget tvivlsomme antagelser om omkostninger og værdien af ledningsomlægninger og scrap-værdi af projektet (afsnit 8.3) ved at benytte for korte analyseperioder i forhold til letbaners levetid (ved løbende vedligehold holder den faste infrastruktur for de fleste letbaner mere end 30 år, mens det rullende materiel bør udskiftes). Dette har en tendens til at undervurdere benefits (eller overvurdere costs).

## 9.5 Vejen frem

Artiklen har peget på en række problemer i forskellige udredninger og analyser af letbaner. Selvom disse ikke kan generaliseres til alle udredninger kan det dog konkluderes, at der har været en tendens til en undervurdering af letbaners fordele. Ud over at drage nytte af artiklens observationer, kunne et forslag være, at der blev udarbejdet en slags manual for vurdering af letbaneprojekter (og måske baneprojekter i øvrigt).

## 10 Referencer

Generelt kan de større af CTTs projekter downloades fra CTT's hjemmeside, [www.ctt.dtu.dk](http://www.ctt.dtu.dk), mens de nyere artikler fra Trafikdage på AUC findes på [www.trafikdage.dk](http://www.trafikdage.dk).

Akademiet for de Tekniske Videnskaber (ATV) 2001: Dansk infrastruktur i forfald? - En hvidbog om vedligeholdelse. ATV, ISBN 87-7836-015-3, 2001

Buus, Niels; Brems, Camilla Riff; Nielsen, Otto Anker, Rich, Jeppe; Fosgerau, Mogens, Jovicic, Goran og Pilegaard, Ninette 2003: Forstudium for socio-økonomiske tidsværdier. Rapport, Trafikministeriet. 130 sider. Kan downloades fra Trafikministeriets hjemmeside.

DSB og Carl Bro 1991: Bybane eller minimetro – Undersøgelse af letbaner til Amager, DSB og Carl Bro A/S, 1991

Gissel, Stine 2000: Vurdering af tidsgevinster i KRM (Notat), Banestyrelsen Rådgivning, Transportplanlægning

Hansen, Sten 2004: Store transportinfrastrukturprojekter og deres strategiske virkninger med særlig fokus på effekter for virksomheder, Ph.d.-afhandling ved CTT, CTT Rapport 2004-2, Del II, 2004

HT 1993: Letbaner i Storkøbenhavn? – en trafikal og økonomisk forundersøgelse, Udarbejdet af Anders Nyvig A/S og Rambøll, Hannemann og Højlund A/S, 1993

- HT og Trafikministeriet 1999: Projekt Basisnet – Teknisk rapport, Udarbejdet af Rambøll i samarbejde med TetraPlan, Anders Nyvig, Systra-Sofretu-Sofrerail og KHRAS arkitekter
- HUR, Københavns Amt og Trafikministeriet 2001: Undersøgelse af den tværgående trafik-korridor i Københavns Amt – Teknisk rapport, Udarbejdet af Cowi i samarbejde med Semaly, Banestyrelsen rådgivning og Europlan arkitekter, ISBN 87-90269-62-4, 2001
- HUR 2003: Trafikplan 2003 – Forslag, ISBN 87-7971-090-5, 2003
- Landex, Alex 2003: To nye S-banespor gennem København, Trafikdage på AUC, 2003
- Landex og Salling 2005: Methodology and Appraisal of a Transport Infrastructure Projects by use of a Socio-Economic Analysis, Notat, CTT-DTU, 2005
- Københavns Amt og HUR 2003: Korridorprojektet – Beslutningsgrundlag for højklasset kollektiv trafik Lyngby-Glostrup – Teknisk rapport, Udarbejdet af Cowi i samarbejde med Semaly og Europlan arkitekter, ISBN 87-7951-010-8, 2003
- Københavns kommune 2005: Planredegørelse for den kollektive trafik i København, 2005
- Københavns kommune 2005b: Planredegørelse for den kollektive trafik i København - Sammenfatning, 2005
- Leleur, Steen 2000: Road Infrastructure Planning – a Decision-oriented approach, Polyteknisk Forlag, 2. edition 2000, ISBN 87-502-0824-1
- Letbaner.dk 2005: Analyse af Planredegørelsen fra Københavns kommune, 2005
- Mühlendorph, Morten og Petersen, Nikolaj Berg 2005: Trafikale konsekvenser af letbaner på Nørrebrogade, Midtvejs (Bachelorprojekt) ved CTT, 2005
- Nielsen, Otto; Israelsen, Thomas; Nielsen, Erik Rude 1998: Trafikanalyser af havnetunnelprojekt – Forudsætninger og resultater, CTT Rapport 1 1998, ISBN 87-7341-102-7, 1998
- Nielsen, Otto Anker; Filges, Dorte; Sørensen, Majken; Brix, Jens 2000: København-Ringsted modellen. Trafikdage på AUC, Supplementsbind, Vol. 1, side 55-72 (præsenteret i 1999)
- Nielsen, Otto Anker 2000: Udvikling af rutavalgsmodeller – fra heuristiske til teoretisk grundlag. Prispapir fra Professor Bendtsens mindelegat for Transport Forskere. Trafikdage på AUC). Trafikdage på AUC, Supplementsbind, side 51-82.
- Nielsen, Otto Anker og Frederiksen, Rasmus Dyhr 2001: Optimering af køreplansbaserede stokastiske modeller for passagerers rutevalg i den kollektive trafik. Trafikdage på AUC, Supplementsbind, side 143-157.
- Nielsen, Otto Anker; Hansen, Christian Overgaard og Daly, Andrew 2001: A Large-scale model system for the Copenhagen-Ringsted railway project. Paper in Travel behaviour Research: The Leading Edge. Chapter 35, in book edited by David Hensher. Pergamon press, Elsevier. pp 603-626
- Nielsen, Otto Anker; Frederiksen, Rasmus Dyhr og Daly, Andrew 2002: A stochastic multi-class

road assignment model with distributed time and cost coefficients. Networks and spatial economics. No 2. pp. 327-346. Kluwer.

Nielsen, Otto Anker og Fosgerau, Mogens 2005: Overvurderes tidsbenefits af vejprojekter? Trafikdage på AUC, 2005.

Nielsen, Otto Anker 2005: Opgørelse af trængsels tidsomkostninger baseret på trafikmodelberegninger. Trafikdage på AUC, 2005.

Pedersen, Michael Berliner; Jansen, Neel Leise, og Nielsen, Otto Anker 2002: Optimering af buskøreplaner for at minimere passagerers skiftetider. Trafikdage på AUC, Supplementsbind, side 105-118

Plum, Christian og Stokkendal, Anders 2004: Public transportation versus travel potential, Kursusarbejde på CTT i kursus 13165 ArcGIS for overbygningsstuderende, 2004

Rich, Jeppe 2002: Long-term Travel Demand Modelling, CTT·DTU Rapport 2002-1, ISBN 87-91137-06-3

Rich, Jeppe og Nielsen, Otto Anker 2004: Assessment of traffic noise impacts, Intern. J. Environ. Studies Vol. 61(1), pp. 19-29

Salling, Kim Bang 2003: Øresundsbrons socio-økonomiske konsekvenser belyst igennem en ex-post analyse, CTT·DTU

Schittenhelm Bernd og da Silva, Russel 2001: Letbanering i indre København – En konsekvensvurdering, Eksamensprojekt ved CTT 2001

Trafikministeriet 2003: Manual for samfundsøkonomisk analyse – anvendt metode og praksis på transportområdet, ISBN: 87-91013-36-4, 2003

Trafikministeriet 2004: Nøgletalskatalog – til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet, 2. udgave, ISBN 87-91511-31-3, 2004

### ***10.1 Studenterprojekter, der ikke er refereret direkte til i artiklen***

Andersen, Jonas L. E. og Johansen, Mette H. 2003: Letbane langs Helsingørmotorvejen, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2003

Andersen, Jonas L. E. 2005: Letbane langs Helsingørmotorvejen – Uddybende analyse, Specialkursus på CTT, 2005

Barbieri, Giorgio Galileo; Paruscio, Valerio og Rinaldi, Marco 2004: The RING project, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2004

Brædder, Lotte og Larsen, Marie Karen 2005: Letbane langs Ring 2½, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2005

Jeppesen, Sara Lise; Knudsen, Mette Aagard og Pedersen, Erik Stilling 2003: Cityletbanen – Linieføring og køreplanlægning, Kursusarbejde på CTT i kursus 13122 Togsimulering, 2003

Jepsen, Anne Mette Schock; Rue, Iben Østergaard og Warburg, Valdemar 2003:

- Letbaneprojekt Lyngby – DTU, Kursusarbejde på CTT i kursus 13122 Togsimulering, 2003
- Johansen, Hans Martin 2005: Vurdering af Letbane Lyngby-Vedbæk/Skodsborg – Forlængelse af Ring3, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2005
- Jónsdóttir, Anna Maria og Karlsdóttir, Lilja G. 2004: Letbane på Ring 3, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2004
- Landex, Alex og Greve, Ole 2001: Højklasset kollektiv transport i Nørrebrogade-korridoren, Bachelorprojekt ved CTT, 2001
- Litman, Anna-Sarah og Larsen, Maiken K. 2004: Letbanering, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2004
- Madsen, Thomas Bredahl 2004: Samlev vurdering af letbaneprojekt i Nørrebrogadekorridoren, Afgangprojekt (Civilingeniør) på CTT, 2004
- Mortensen, Morten og Andersen, Marie B. 2005: Vurdering af et letbaneprojekt fra Operaen til Herlev St., Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2005
- Mühlendorph, Morten og Rosenstand, Kasper 2004: Letbanering, et alternativ til Metrocityringen, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2004
- Pedersen, Erik Stilling; Knudsen, Mette Aagaard og Jeppesen, Sara Lise 2004: Tværbanen – kom let på tværs, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2004
- Petersen, Nikolaj Berg og Müllendorph, Morten 2003, Letbane 2½, Kursusarbejde på CTT i kursus 13122 Togsimulering, 2003
- Petersen, Nikolaj Berg og Andersen, Kenneth Rask 2004, Et letbaneprojekt fra Nørreport Station til Nærum Station, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2004
- Rue, Iben Østergaard og Warburg, Valdemar 2004: Letbaneprojekt Buddinge st. – City – Ny Ellebjerg st., Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2004
- Røssel, André A. og Madsen, Thomas B. 2003: Letbane på Ring 3, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2003
- Stokkendal, Anders 2004: Light-rail extension: Ishøj or Brøndby, Specialkursus på CTT, 2004
- Zabic, Martina og Hansen, Allan Steen 2003: Undersøgelse af en indre ringbane i København, Kursusarbejde på CTT i kursus 13120 Kollektiv Trafikplanlægning, 2003
- Özdikmen, Dide Bøggild; Engelsborg, Caroline og Sørensen, Rikke Hougaard 2003: Højklasset Transportsystem på Ring 3, Kursusarbejde på CTT i kursus 13122 Togsimulering, 2003

## 11 Bilag 1, Sammenligningsskemaer

Kilde	Projekt	AR	Trafikmodel	Busomlægning	Rutevalg	Optimering af standsningsmønster	Optimering af korrespondancer	Frekvens (min)	Vurderet periode	Scrapværdi	Strategiske effekter	FYRR	B/C	NPV (mio)	Bemærkning
Alex Landex & Ole Greve	Nørrebrogade-korridoren	2000	Ingen	Tilpasning	Skøn	Bufferanalyser	Ingen	5 Døgn	NEJ	Kvantitativ				-0,22 til +0,22	-18,6 til +23,0
Morten Mortensen & Marie Thomas B. Madsen	Operaen til Herlev st.	2005	Rutevalg	Delvis	TA, køreplansbaseret (for mange afgang på busser og tog)	Delvise bufferanalyser	Herlev	10 MM	NEJ	Kvalitativ		MANGLER		-0,00014	
	Nørrebrogade - Herlev st./Gladsaxe Trafikplads	2004	Rutevalg	Begrænset	TRIP, køreplansbaseret	Bufferanalyser	Nej, kun Nørreport	MM	NEJ	Kvalitativ		MANGLER			
Jonas og Mette - KTP	Nørreport - Hørsholm/Kokkedal	2003	Rutevalg	Ingen (erstatte 150S)	TOP	Bufferanalyser	JA	MM	NEJ	Meget lidt		MANGLER	MANGLER	MANGLER	
Jonas	Nørreport/Hovedbanen - Nærum st.	2005	Rutevalg	Tilpasning	TRIP, køreplansbaseret	Bufferanalyser	JA	MM	JA	Kvalitativ		MANGLER	MANGLER	-2255 til -1680 mio	
Nikolaj og Kenneth	Nørreport - Nærum	2004	Rutevalg	Ingen (erstatte 150S)	TRIP, køreplansbaseret	Bufferanalyser	JA	MM	NEJ	Meget lidt		MANGLER	MANGLER	-1,7 mia	Korrigeret ift. rapport
Anna-Sarah og Maiken	Ring 2½	2004	Rutevalg	Ingen (erstatte 200S)	TRIP, køreplansbaseret	Bufferanalyser	NEJ	5 MM	NEJ	Meget lidt				-0,021	-2,6
Marie og Lotte	Ring 2½	2005	Rutevalg	Ingen (erstatte 200S)	TA, køreplansbaseret (for mange afgang på busser og tog)	Bufferanalyser	JA	10 MM	JA	Kvalitativ				-1,14	-842,57
André og Thomas	Ring 3	2003	Rutevalg	Ingen (erstatte 300S)	TOP	Ingen	NEJ	5 MM	NEJ	Kvalitativ		MANGLER	MANGLER	MANGLER	
Anna Maria og Lijla	Ring 3	2004	Rutevalg	Ingen (erstatte 300S)	TRIP, køreplansbaseret	Bufferanalyser	JA	10 MM	NEJ	Kvantitativ ikke til samf. Øk.		MANGLER	MANGLER	MANGLER	
Hans Martin Johansen	Ring 3 forlængelser mod nord	2005	Rutevalg	Begrænset	TA, køreplansbaseret (for mange afgang på busser og tog)	Bufferanalyser	JA	10 MM	JA	Nej				-10% til -12%	-1588 til -1808
Allan Steen Hansen og MZ	Cityring	2003	Rutevalg	Ingen	TOP	Ingen	NEJ	MM	NEJ	Nej			0,09	MANGLER	MANGLER
Morten og Kasper	Cityring	2004	Rutevalg	Begrænset	TRIP, køreplansbaseret	Bufferanalyser	JA	5 MM	NEJ	Kvantitativ ikke til samf. Øk.		MANGLER		0,15	447,5
Iben og Valdemar	Buddinge-City-Ny Ellebjerg	2004	Rutevalg	Begrænset	TRIP, køreplansbaseret	Bufferanalyser	JA	5 MM	NEJ	Kvalitativ		MANGLER	MANGLER		Omkring eller over break even
Erik, Mette og Sara Lise	Tværbanen - let på tværs	2004	Rutevalg	Begrænset	TRIP, køreplansbaseret	Bufferanalyser	JA	10 MM	NEJ	?		MANGLER	MANGLER		-7036