

Hermes Traffic Intelligence

$$\Delta_{sum, norm} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (1 - \alpha) \sum_{h=1}^H$$
$$R_{th}^{max} \leq R_{th}^J A_t^J + M(1 - \alpha)$$
$$R_{th}^{max} \leq R_{th}^D A_t^D + M(1 - \alpha)$$
$$R_{th}^{max} \leq R_{th}^C A_t^C + M(1 - \alpha)$$



Evalueringsrapport: Grøn Bølge for Busser

Forfatter: Lars Rosenberg Randleff

Dato: 14. juni 2023

Grøn Bølge for Busser, evalueringsrapport

Rapportnummer 2021007-1

Lars Rosenberg Randleff

© Hermes Traffic Intelligence ApS, 2023

Indhold

1	Sammenfatning	5
2	Baggrund for evalueringsrapporten.....	7
3	Casebeskrivelser	8
3.1	København	8
3.2	Ballerup	10
4	Metodebeskrivelse.....	11
4.1	Baseline- og driftsperioder.....	12
4.2	Resultatindikatorer	14
4.2	Datakilder anvendt i evalueringen.....	15
5	Evaluering, København	16
5.1	Punktlighed	16
5.2	Pålidelighed.....	17
5.3	Tidsreduktion i kryds.....	18
6	Evaluering, Ballerup	19
6.1	Punktlighed	19
6.2	Pålidelighed.....	20
6.3	Tidsreduktion i kryds.....	21
6.4	CO ₂ -reduktioner	23
6.5	Sammenligning af radar- og FlowCube-målinger.....	24
6.5.1	Tælling af biler og estimering af kølængder	24
6.5.2	Detektion og klassificering af biltyper.....	29
6.6	Påvirkning af andre trafikanter	31
6.6.1	Bløde trafikanter	32
6.6.2	Kølængder	35
7	Fejlkilder.....	37
8	Diskussion	38
9	Konklusion.....	39
	Kilder	44
	Bilag A: Prioriteter og vægtning af buslinjer	45
	København	45
	Ballerup	46
	Bilag B: Evalueringsramme	47
	Bussernes tilgængelighed / Bus Accessibility	47

Bussernes tilgængelighed, CO ₂ -reduktioner / Bus Accessibility, CO ₂ Reductions	47
Systemfunktionalitet / System functionality	47
Andre trafikanter / Additional road users	47
Bilag C: Datakilder	48
Buslinjer	48
Positionsdata.....	48
Bilag D: Databehandling.....	50
Fri- og helligdage.....	50
Kortudsnit	51
Positionsdata.....	52
Fremkommelighedsanalyse	53
Analyse af videoer.....	53
Behandling af aggregerede data fra IntelliGo.....	53
Måling af kølængder	53
Bilag E: Forskel på forsinkelser på første og sidste busstop	54
Bilag F: Begreber	57

1 Sammenfatning

I 2022 blev der afholdt et forsøg med intelligent busprioritering i henholdsvis København, Ballerup og i DOLL. Denne rapport beskriver evalueringen af forsøget i København og Ballerup, og den er opdelt efter disse steder. I rapporten benævnes den del af forsøget, der foregik i København som København-casen, mens den del af forsøget, der foregik i Ballerup, benævnes Ballerup-casen.

For forsøget i København er nedenstående et resumé af de fund, der er blevet gjort i forbindelse med evalueringen.

- **Punktlighed.** De fleste buslinjer i korridoren i København oplever et fald i den målte forsinkelse i driftsperioden i forhold til baselineperioden. Den største forbedring ses for tre af de fire buslinjer i myldretiden. For linje 14 ses dog en øget forsinkelse i både myldretiden (2,36%) og uden for myldretiden (32,42%). Dette kan til dels forklares ved, at linjen kun passerer to signalanlæg i korridoren, der derfor kun har ringe indflydelse på linjens forsinkelse. Desuden har linje 14 en lav prioritet i begge retninger. Det skal bemærkes, at den oplevede forsinkelse også kan skyldes en lang række forhold, der ligger uden for projektets kontrol.
- **Pålidelighed.** Tre af de fire buslinjer i korridoren i København (linjerne 5C, 350S og 1A) oplever øget pålidelighed i driftsperioden end de gør i baselineperioden, og den fjerde buslinje (linje 14) oplever kun en lille reduktion i pålidelighed. De positive tendenser ses også uden for myldretiden, hvor de dog er mindre tydelige. Det skal også her bemærkes, at forhold, der ligger uden for projektet, kan have indflydelse på pålideligheden.
- **Tidsreduktion i kryds.** I nogle signalanlæg opleves en lille forbedring i passagetid, mens der i andre opleves en lille forværring. Den største forbedring ses for linje 1A (der har høj prioritet) i signalanlæg 1804, hvor en passage i driftsperioden i gennemsnit tager 13,17 sekunder mindre end i baselineperioden. Den største forværring ses for linje 5C i signalanlæg 504, hvor passagetiden er tiltaget med 3,38 sekunder.

Evalueringen af forsøget i Ballerup er kort resumeret i nedenstående:

- **Punktlighed.** I myldretiden oplever linjerne 147 og 157 en reduktion i den gennemsnitlige forsinkelse på henholdsvis 26,80% og 27,12%. Til gengæld har linje 216 en øgning i den gennemsnitlige forsinkelse på hele 125,10%. Både linje 147 og linje 157 har en prioritetsscore på 150, mens linje 216 er lavere prioriteret, da den kun har en prioritetsscore på 125
- **Pålidelighed.** I myldretiden oplever flere af busserne, at spredningen af forsinkelsernes størrelse i driftsperioden sammenlignet med baselineperioden, er blevet mindre. Det betyder, at bussernes ankomsttidspunkt til de enkelte stoppesteder er blevet mere pålidelig i driftsperioden her. De største forbedringer ses for linjerne 350S (17,54%) og 500S (20,34%), mens linje 216 til gengæld oplever en forværring i spredningen på 24,84%. Uden for myldretiden er tendensen dog ikke lige så positiv, da de fleste buslinjer her oplever en stigning i spredningen af forsinkelserne.
- **Tidsreduktion i kryds.** Halvdelen af de buslinjer, der passerer signalanlægget i Ballerup, oplever en reduktion af køretiden i myldretiden, når passagetider i driftsperioden

sammenlignes med passagetider i baselineperioden. Den største reduktion ses for linje 164 på strækningen mellem Ballerup St. og Parkvej, hvor køretiden falder med gennemsnitligt 16,90% fra baselineperioden til driftsperioden, svarende til ca. 30 sekunder. Til sammenligning ses den største øgning af køretiden for linje 400S på strækningen fra busstoppet ved Psykiatrisk Center Ballerup til Ballerup St. Her er øgningen på 3,52%, hvilket svarer til ca. seks sekunder. Uden for myldretiden oplever linje 164 igen den største reduktion i køretid, dog "kun" på 11,58%, svarende til ca. 18 sekunder. Den største forøgelse ses igen hos linje 400S. Forøgelsen er her på 3,76%, svarende til ca. seks sekunder.

- **CO₂-reduktioner.** Man kan forsigtigt antage, at der i gennemsnit opleves mindre passagetid i signalanlægget i driftsperioden end i baselineperioden. Med mindre passagetid vil der også være et mindre CO₂-udslip fra busserne. Størrelsen af reduktionen af CO₂-udslippet lader sig dog ikke måle med de tilgængelige data.
- **Tælling af biler og estimering af kølængder.** Den aktuelle konfiguration af FlowCube-enheden har gjort, at denne ikke er medtaget i denne del af sammenligningen, der altså kun gælder radar- og videoregistreringer. Der er ikke stor forskel på de antal af køretøjer, der er registreret med henholdsvis video og radar i hverken højre eller venstre vognbane fra Linde Allé mod Hold-An Vej i krydset i Ballerup. Der er dog en tendens til, at der er registreret flere køretøjer med radar. Dette kan muligvis tilskrives radarens udfordringer med at detektere køretøjer, der holder stille. Mængden af trafik inden for morgenmyldretiden (der er sat til at være mellem kl. 07:00 og kl. 09:00) er ikke væsentlig større end den registrerede trafik uden for myldretiden. De beregnede gennemsnitlige kølængder, ud fra video- og radarregistreringer, er sammenlignelige.
- **Detektion og klassificering af biltyper.** Der er stor overensstemmelse mellem antallet af biler/varevogne, der er registreret med de tre metoder (video, radar og FlowCube). Der ses ofte et identisk antal registreringer med video og med FlowCube-enheden for fem-minutters intervaller. Registreringerne med radar lader til ofte at have færre køretøjer end de andre metoder. Antallet af registrerede busser/lastbiler virker også til at være nogenlunde ens for video- og FlowCube-registreringer, mens antallet registreret med radar fluktuerer mere, og ofte er højere end for video og FlowCube-enheden. Det er derfor nærliggende at antage, at flere af de køretøjer, der af f.eks. FlowCube registreres som bil eller varevogn, af radaren registreres som bus eller lastbil.
- **Bløde trafikanter.** Mængden af bløde trafikanter, der venter på passage i lyskrydset i Ballerup, falder fra baselineperioden til driftsperioden. For cykler går andelen af ventende fra 37,65% til 5,15%, mens andelen af ventende fodgængere falder fra 70,59% til 9,09%. Den gennemsnitlige passagetid for både cykler og fodgængere er halveret i driftsperioden i forhold til baselineperioden. Dette til trods for, at den indførte busprioritet i driftsperioden i udgangspunktet alene ikke burde give denne effekt. Effekten skyldes også overgangen til trafikstyring af signalanlægget.
- **Kølængder.** Der er ikke blevet opsamlet kølængder i hverken baselineperioden eller i driftsperioden i krydset i Ballerup. Der ses derfor på kølængderne for to udvalgte dage: en dag inden der blev indført trafikstyring og intelligent busprioritering i krydset i Ballerup (3. juni 2022), og en dag, hvor både trafikstyring og intelligent busprioritering var indført (19. september 2022). Det ses, at kølængderne i juni er længst. Evalueringen viser derfor, at den

indførte intelligente busprioritering, kombineret med trafikstyring af signalet, ikke giver de øvrige trafikanter længere køer, som man ellers kunne frygte.

Formålet med forsøget har været at undersøge, om man kunne forbedre situationen for busser, der er bagud i forhold til deres køreplan, uden at dette giver en forringelse for andre trafikanter. Konklusionen er umiddelbart, det kan man godt, navnlig hvis den intelligente busprioritering kombineres med trafikstyring af signaler, som det er tilfældet i Ballerup. Evalueringen giver dog ikke altid entydige resultater, da bl.a. køretid og forsinkelser i forhold til køreplan også afhænger af faktorer, der står uden for projektets kontrol.

2 Baggrund for evalueringsrapporten

Evalueringsrapporten beskriver resultaterne i forbindelse med projektet Grøn Bølge for Busser, der blev afviklet i perioden 2021 – 2023. Projektet afprøvede intelligente prioriteringsløsninger for busser i dele af Region Hovedstaden for at forbedre busfremmeligheden. Evalueringsrapportens resultater er udviklet i et Offentlig-Privat Innovationspartnerskab (OPI), som har haft til formål at udvikle og teste nye prioriteringsløsninger for busser. De udviklede løsninger er testet i et større lyskryds ved Ballerup Centret i Ballerup, som dagligt gennemkøres af et højt antal buslinjer, og ligeledes på en central og stærkt trafikeret vejstrækning i området omkring Nørreport Station i København, som involverer flere signalanlæg.

Evalueringsrapportens fokus på busfremkommelighed hænger sammen med Region Hovedstadens Trafik- og Mobilitetsplan (2019) [1], som har en målsætning om at styrke den kollektive transport, så den i fremtiden bliver et førstevalg for flere. Et skridt på vejen er optimering af eksisterende trafiksignalanlæg, så de kan prioritere fremkommeligheden, og styrke den kollektive trafik.

En styrkelse af den kollektive trafik er væsentligt af flere årsager. Det ses, at trafikken i Region Hovedstaden er stigende, og det har konsekvenser for såvel bilister som passagerer i busserne, som har svært ved at komme frem på vejene. Herudover er transportens CO₂-udledning stigende, og i skrivende stund er den på lidt over 1990-niveau. Dette giver også en forringelse af den kollektive trafiks konkurrencedygtighed, hvis denne forsinkes af den samme trængsel som bilerne. Dermed kommer de, der bidrager mindst til trængslen, også langsomt frem, og det er ikke hensigtsmæssigt, hvis ønsket er, at trængslen reduceres. Dermed er der umiddelbart lang vej til klimamålet om en CO₂-reduktion på 70 procent for transportsektoren i 2030. Den forventede udvikling bygger bl.a. på forventninger om et stigende bilejerskab, og et transportarbejde, der forventes at stige omkring 20% frem mod 2030 [1].

Udover forventninger om et stigende CO₂-aftryk fra trafikken, eller i bedste fald en lavere CO₂-reduktion, som dog ikke er på højde med 70%-reduktionsmålet, så er passagertilfredsheden også under pres [1]. Kundertilfredsheden i den kollektive transport ligger generelt lavt i Hovedstadsområdet i sammenligning med andre storbyregioner, og der er et stigende antal passagerer pga. lange rejsetider, og flere skift. En befolkningsundersøgelse, foretaget i 2020, viser dog, at et flertal af danskerne vil have, at busserne bliver prioriteret i trafikken, når der er trængsel. F.eks. mener 54 %, at busserne skal have mere plads i trafikken, og 51% synes, at busserne bør prioriteres fremfor bilerne, hvor der er trængsel [2].

Udover i de to kommuner, hvor to forskellige busprioriteringsløsninger har været afprøvet, så har Grøn Bølge for Busser også implementeret en løsning i DOLL, der er Danmarks første *living lab* for intelligente lyskryds, beliggende i Albertslund kommune. Dette er sket som en del af OPI-partnerskabet med Technolution, hvor LACROIX har fungeret som underleverandører af signalteknologien. Der er ikke foretaget en egentlig kvantitativ evaluering af løsningen, da formålet med etableringen i første omgang har været at demonstrere, hvordan et fremtidsorienteret trafiksignal med høj innovationsgrad kan se ud.

Projektet er blevet til i et samarbejde mellem flere interessenter, som har haft et ønske om at styrke den kollektive trafik. Region Hovedstaden har støttet projektet økonomisk, ligesom Movia, Ballerup og Københavns kommuner har deltaget og bidraget med medfinansiering. Gate 21 har været projektleder, mens Technolution har indgået i OPI-partnerskabet, og leveret systemløsninger til signalanlæggene. I Ballerup kommune har Technolution samarbejdet med IntelliGo, som har stået for den trafikstyrede løsning.

Evalueringsrapporten er skrevet og samlet af Hermes Traffic Intelligence, dog med indledende afsnit skrevet af Gate 21. Spørgsmål og kommentarer til evalueringen kan sendes til Lars Rosenberg Randleff på lrr@hermestraffic.com.

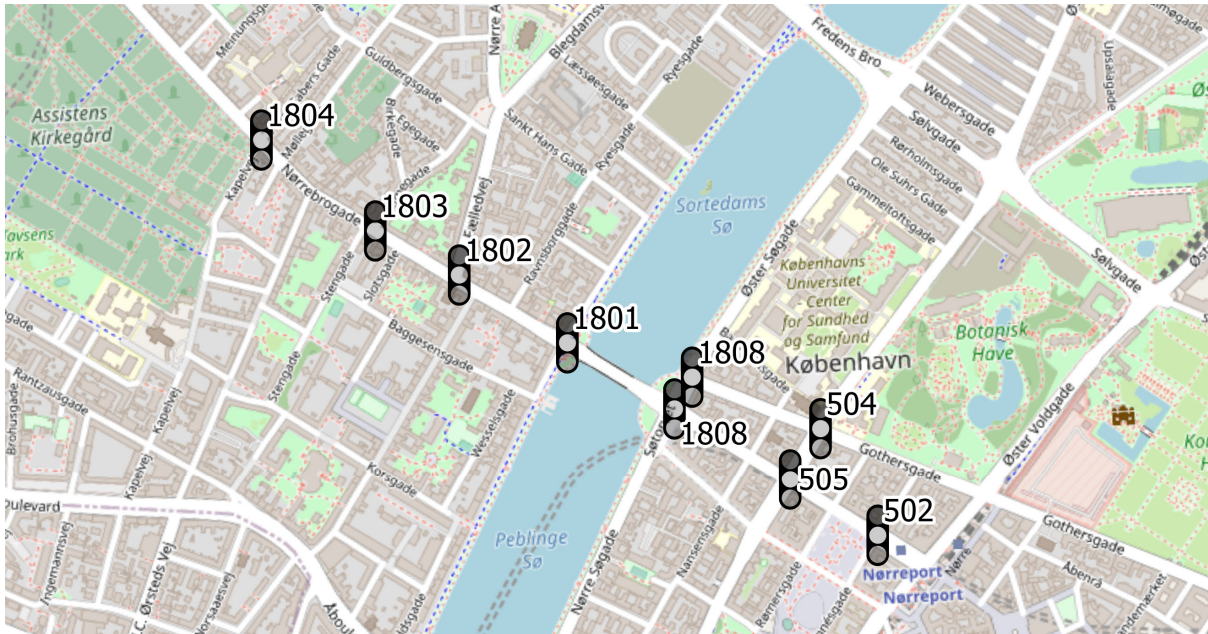
3 Casebeskrivelser

3.1 København

Ved Nørreport Station i København har projektet haft fokus på at optimere det eksisterende busprioriteringssystem. Det nye, optimerede system bygger oven på et MobiMaestro City Traffic Management System, der blev implementeret i 2017 for at overvåge og optimere trafikken af biler, busser og cyklister. Systemet er leveret af Technolution.

Der er otte signalanlæg i den testkorridor, hvor det nye system er afprøvet. Korridoren dækker Frederiksborggade og dele af Nørrebrogade - og inkluderer busser til og fra Nørreport Station, som er den togstation i Danmark med flest daglige passagerer.

Fire buslinjer - 1A, 5C, 14 og 350S - kører i eller på tværs af testkorridoren, hvilket stiller store krav til busprioriteringssystemet. I alt 78.071 passager brugte busserne en hverdag i fjerde kvartal 2022. [3]. Linje 5C er med med cirka 12 millioner passagerer i 2021 en af de mest benyttede buslinjer i Danmark.



Figur 1: I testkorridoren, hvor den optimerede busprioriteringsløsning er implementeret, er der i alt otte signalanlæg; to fra Swarco og seks fra Dynniq. Flere højfrekvente busser passerer dagligt testkorridoren. Signalanlæggene er i figuren forsynet med de tal, der identificerer det enkelt anlæg i evalueringen. (© OpenStreetMap, tilføjelser af forfatteren.)

Det eksisterende busprioriteringssystem i København er baseret på først til mølle-princippet. Det betyder, at den første bus, der ankommer til trafiksignalet, prioriteres med grønt lys. Det kan give u hensigtsmæssige prioriteringer, hvor eksempelvis en højfrekvent S-bus må vente ved et signalanlæg, da en lokal A-bus kan have fået prioritet.

Den nye intelligente busprioriteringsløsning, der er testet i projektet, giver muligheder for at tildele en individuel prioritetscore på baggrund af buslinjenummer, og hvorvidt bussen er forsinket. Det sker på baggrund af realtidsdata fra Movia, som leverer buspositioner og aktuelle forsinkelser i forhold til køreplanen.

MobiMaestro-systemet kombinerer data om bussenes position med ruteinformation for at bestemme, hvor bussen er i forhold til signalanlæggene. Hertil er der en række virtuelle anmelde- og afmeldepunkter før og efter stoplinjen ved et signalanlæg. Når en bus når et af disse punkter, beregnes en prioritetscore, som afgør, om en anmodning om at prioritere bussen sendes til signalanlægget. Signalanlægget kan vælge at imødekomme anmodningen om at prioritere bussen ved for eksempel at forlænge grøntiden, så bussen kan nå over.

Følgende elementer karakteriserer den optimerede busprioriteringsløsning, der er blevet testet i Københavns Kommune:

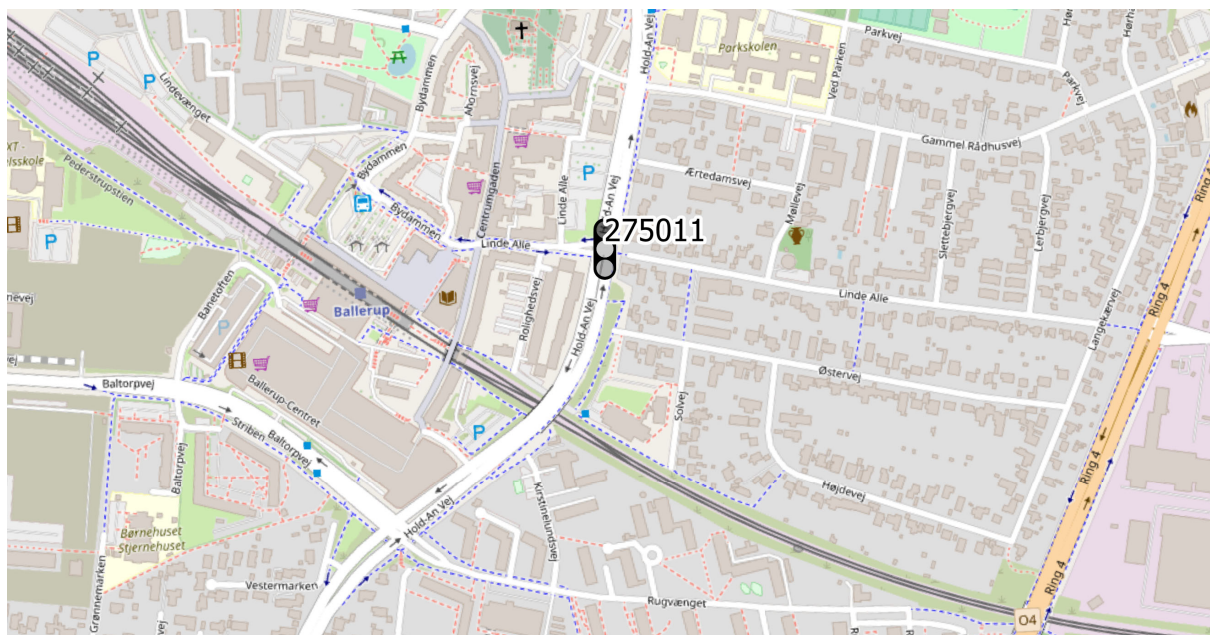
- Udnytter opdaterede positionsdata fra Movia til at fastslå, hvor en bus er, når den anmoder om prioritet. Det tillader en individuel prioritering af busser baseret på buslinje og forsinkelse. I fremtiden kan nye data om eksempelvis antallet af passagerer på bussen indgå i prioriteringen, når realtidsdata bliver tilgængelige.
- Løsningen tilbyder åbne standarder og protokoller som GTFS-RT til busdata og RSMP til at kommunikere med trafiklys.
- RSMP-protokollen bruges til at kommunikere med lyssignalerne, da København har taget dette til sig som en åben standard for alle signalanlæg.

- Den testede løsning kan uden videre opskaleres til de cirka 170 signalanlæg i København, som i forvejen har en basal busprioritetsløsning. Til sammenligning har Technolution stået for en lignende implementering med mere end 400 signalanlæg i Oslo. Der vil ikke være behov for at investere i og installere ekstra udstyr i de enkelte signalanlæg i forbindelse med en opskalering.

3.2 Ballerup

I Ballerup har projektet fokus på krydset mellem Linde Allé og Hold-An Vej. Krydsets placering fremgår af Figur 2. Det nuværende signalanlæg er styret af Swarco og har været med en busprioriteringsløsning og med et tidstyret signalprogram, der er samordnet med øvrige signalanlæg.

Det er et travlt kryds, hvor i alt ti regionale-, lokale- og servicebus-linjer passerer dagligt. Det gør det til et oplagt sted at teste en busprioritetsløsning. I alt 32.041 passagerer transporterede sig på en hverdag i fjerde kvartal af 2022 med buslinjerne: 147, 156, 157, 164, 216, 350S, 400S, 500S, 834 og 835. [3]. Tre buslinjer: 156, 834 og 835 indgik ikke i forsøget.



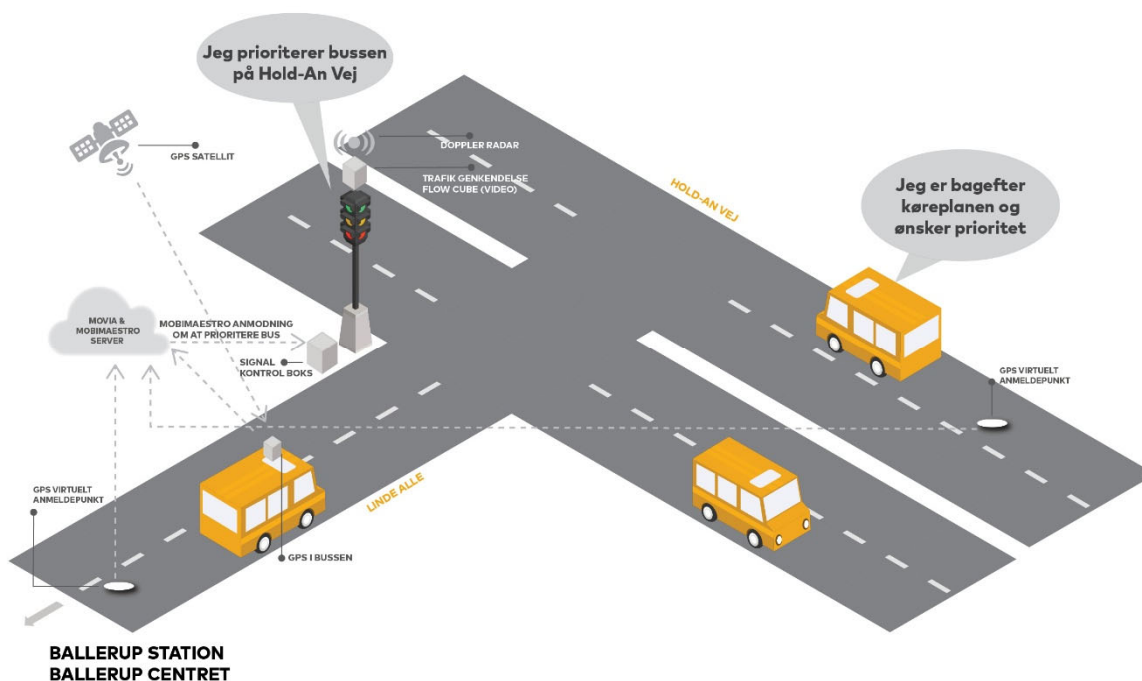
Figur 2: Placering af det anvendte signalanlæg i Ballerup.

Technolution har i testperioden installeret en datadrevet intelligent busprioritetsløsning til at styre signalanlægget i krydset. Løsningen er en del af trafikstyringsplatformen MobiMaestro og suppleres af en dynamisk trafiksignalstyringsløsning fra IntelliGo. Hensigten er at optimere trafikafvikling og fremkommelighed for bilister – og der evalueres på den samlede effekt af de to løsninger.

Den intelligente busprioritetsløsning virker grundlæggende med en given prioritetscore for hver buslinje. Alle de prioriterede buslinjer i Ballerup har fået en forholdsvis høj prioritetscore for at teste den samlede effekt af en højprioritetsbusløsning. Dog har der været tre niveauer i prioriteringen, hvor de regionale buslinjer 350S, 400S og 500S har været højest prioriteret - dernæst de lokale buslinjer - og lavestrangeret var servicebuslinjerne.

Den aktuelle prioritetsscore bestemmes ud fra bussens position, retning og eventuelle forsinkelse. Den oversættes til en prioriteret anmodning, som sendes til trafiksignalet for hver forsinket bus, der nærmer sig vejkrydset. Trafiksignalanlægget kan herefter tildele forlænget grøntid til busen med den højeste score.

MobiMaestro indsamler realtidsdata om positionerne, retninger, ruter og forsinkelser for hver bus i service. Disse data kommer fra Movia, der indsamler køretøjsdata fra systemer installeret i busserne og fra virtuelle notifikationspunkter langs ruten. Figur 3 viser en skitse over krydset i Ballerup.



Figur 3: Skitse over lyskrydset i Ballerup. 10 buslinjer gennemkører krydset med mere end 50 busafgange i timen i myldretiden.

Karakteristika ved busprioritetsløsningen i Ballerup:

- Mulighed for individuel prioritering af busser baseret på faktorer som linjenumre, og om en bus er foran eller bagud i forhold til køreplanen. Dette beregnes på baggrund af realtidsdata fra Movia.
- En højtprioritets busløsning, hvor buslinjerne 147, 157, 164, 216, 350S, 400S og 500S er højt prioriteret i krydset.
- En FlowCube trafiksensor, der kan genkende og tælle forskellige trafikanter (biler, lastbiler, busser, cyklister eller fodgængere). De indsamlede FlowCube-data sammenlignes med en traditionel radarbaseret trafiksensor, som kun tæller biler.
- Mulighed for analyse af de eventuelle negative effekter af en intelligent busprioriteringsløsning og et trafikstyret signalanlæg på andre trafikantgrupper som cyklister og gående.
- Udnytte intelligente signalanlæg, der bruger en IntelliFlow-boks, med IntelliGos dynamiske signalstyring, til tilpasning af grøntiden ud fra den aktuelle trafikmængde. Det erstatter traditionelt koordinerede signalplaner med fast omløbstid.

- Åbne standarder og protokoller som GTFS-RT til busdata og RSMP til at kommunikere med signalanlæg.
- Trafikoperatører kan overvåge drift og ydeevne af busprioriteringsløsningen via MobiMaestro.
- I nær fremtid kan data om antal passagerer, eller andre aspekter, også benyttes i den samlede prioritetscore

4 Metodebeskrivelse

For at sikre en god fremkommelighed for busserne bør de, ideelt set, kun holde ved busstoppestederne, og i videst muligt omfang undgå at stoppe ved de signalregulerede kryds. Der er flere måder busfremkommeligheden kan søges forbedret på, bl.a. gennem følgende:

- Ruteoptimering.
- En separat busfase i signalprogrammet.
- Geometriske ændringer ved vejinfrastrukturen (f.eks. busbaner og stoppestedsforbedringer med fremskudte stoppesteder).
- Signalprioritering.

Evalueringen fokuserer på busfremkommelighedstiltag, hvor der f.eks. kan tildeles forlænget grøntid i bussens retning. Forlængelsen af grøntiden sker ved hjælp af en busprioriteringsløsning, hvor de enkelte buslinjer kan prioriteres højt eller lavt, og i forhold til om de er forsinkede eller ej. De enkelte signalanlæg afgør selv, hvornår og hvordan anmodninger imødekommes. De buslinjer, der er indgået i evalueringen for hver case, kan ses af Tabel 1 herunder.

Tabel 1: Buslinjer, der indgik i forsøget med intelligent busprioritering i Ballerup.

	København	Ballerup
Prioriterede buslinjer	5C, 350S, 1A og 14	147, 157, 164, 216, 350S, 400S, 500S
Ikke-prioriterede buslinjer	-	156, 834, 835

I Ballerup kommuner viste det sig vanskeligt at prioritere særligt tre buslinjer, som måtte udgå af denne evaluering. Det er skyldes at busprioriteringsløsningen ikke har kunnet genkende linjernes kørselsretning ud fra deres destination, da linjerne har cirkulære ruter, hvor destinationen er den samme. Dette kunne have været undgået med en systemopdatering, men blev fravalgt, da det ellers ville have udskudt driftsperioden. De individuelle prioriteter, og vægtning af buslinjer for både København og Ballerup, kan ses i "Bilag A: Prioriteter og vægtning af buslinjer."

4.1 Baseline- og driftsperioder

Evalueringen af projektet er foregået ved at foretage en førmåling i en såkaldt baselineperiode, og sammenligne denne med en eftermåling i en driftsperiode, hvor den intelligente busprioriteringsløsning har været implementeret. Baseline- og driftsperioden er systematisk sammenlignet med udgangspunkt i en evalueringsramme med i alt otte udvalgte resultatindikatorer, der er nærmere forklaret i afsnit 4.2. Formålet med sammenligningen har dels været at beskrive forskelle og ligheder, dels at forklare, hvorfor forskellene opstår.

Det har givet mening at lave før- og eftermålinger for København og for Ballerup hver for sig. Det har ikke givet mening at sammenligne resultater på tværs af de to cases, da de har meget forskellige signaltekniske opsætninger, og delvist forskellige formål.

En af de klassiske kilder til støj, eller systematiske fejl, i effektmålingen kan være forskelle i før- og eftermålingerne. Den kan f.eks. være, hvis de to tidspunkter for målinger ligger for langt fra hinanden, og påvirkes af ændringer i trafikmønstre forårsaget af f.eks. trafikarbejder, særlige events eller lignende, som påvirker normalsituationen. For at få den mest retvisende evaluering, er det derfor vigtigt, at der generelt ikke er stor forskel på trafikmønstret i de to perioder, så det kan sandsynliggøres, at fundne forskelle og ligheder i resultatindikatorerne mellem perioderne vil stamme fra prioriteringen af busserne.

Forsøgene med intelligent busprioritet blev gennemført i 2022 i de baseline- og driftsperioder, der fremgår af Tabel 2

Tabel 2: Uger (2022) med baseline- og driftsperioder for København og Ballerup kommuner.

	København	Ballerup
Baselineperiode (førmåling)	18, 19, 20, 21	10, 11, 12, 13, 14
Driftsperiode med intelligent busprioritering (eftermåling)	22, 23, 24, 25	34, 35, 36, 37, 38

I tidsrummet mellem baselinemålingerne og målingerne i driftsperiode kan der formodes at være en generel trafiktilvækst i både Københavns og Ballerup kommuner. Dette skyldes, at baselineperioden i begge kommuner ligger umiddelbart efter den seneste nedlukning i forbindelse med coronarestriktioner, som har haft stor betydning for antallet af privatbiler på vejene. Det må derfor formodes, at trafikken i driftsperioden vil have nået et mere normalt niveau, altså et niveau, der svarer til niveauet før coronanedlukningerne. Dette særligt i tilfældet med Ballerup-casen, hvor det ikke har været muligt at få baseline- og driftsperioder i umiddelbar forlængelse af hinanden. Dette forhold skyldes primært tekniske integrationsudfordringer mellem Technolution og IntelliGos systemer, og gentagne forbindelsesudfordringer med den installerede FlowCube, som har krævet signalleverandøren Swarcos involvering.

Med en antagelse om, at der opleves mere trafik i driftsperioden end i baselineperioden, er det også nærliggende at antage, at busser vil opleve f.eks. øget forsinkelse i forhold til køreplanen her, da trafikmængden har direkte indflydelse på størrelsen af forsinkelser. Dette kan give ringere resultater ved sammenligning af målinger i driftsperioden med tilsvarende fra baselineperioden, end hvad der kunne forventes, hvis disse havde ligget tættere, og trafikmængderne derfor i udgangspunktet havde været mere ens.

Projektet har i udgangspunktet forsøgt at få baseline- og driftsperioderne til at ligge i to sammenhængende femugers perioder, der ville give data nok til sammenligningen. Hvis perioderne blev længere end dette, kunne forskelle i trafikken muligvis skyldes sæsonudsving, og det ville man i nogen grad undgå med kortere perioder. I tilfældet med København-casen er det dog ikke helt lykkedes pga. *Tour de France Grand Départ*, som blev afviklet i uge 26, hvilket medførte store trafikale ændringer i testkorridoren.

Af bilag "Bilag D: Databehandling" ses, hvilke dage, der betragtes som fri- eller helligdage i evalueringen. Disse dage er ikke medtaget i evalueringen, da de betragtes som støj, hvor både busser og øvrig trafik har et andet trafikmønster end på hverdage. I nogle tilfælde har det også givet mening at opdele perioderne, hvor trafikken er målt, i myldretid og ikke-myldretid. I disse tilfælde er myldretiden sammensat af to perioder: morgenmyldretiden, der ligger på hverdage i tidsrummet 7-9, og eftermiddagsmyldretid, der ligger i tidsrummet 15-18. Opdelingen har været ønskelig, fordi det formodes, at busfremkommeligheden er bedre udenfor myldretid end i myldretiderne, og mulighederne for, og udfordringerne ved, at forbedre busfremkommeligheden derfor også er forskellig.

4.2 Resultatindikatorer

Evalueringen, og de dertilhørende dataanalyser, er gennemført med baggrund i en samlet evalueringsramme, som indeholder en række veldefinerede resultatindikatorer. De enkelte resultatindikatorer er beskrevet herunder. Tabel 3 viser i hvilke cases de enkelte resultatindikatorer er blevet anvendt.

- **Punktlighed.** I dette arbejde måles en buslinjes punktighed ud fra størrelsen af den registrerede forsinkelse i forhold til linjens køreplan, når bussen ankommer til et stoppested. Det betyder, at buslinjer, der har større forsinkelser, vil være mindre punktligt end buslinjer, der har mindre forsinkelser.
- **Pålidelighed.** Buslinjers pålidelighed er, som deres punktighed, beregnet ud fra størrelsen af deres registrerede forsinkelser i forhold til deres køreplan. I dette arbejde er buslinjernes pålidelighed defineret ud fra spredningen af størrelsen af deres forsinkelser. En buslinje, der ofte har store forsinkelser, og dermed lav punktighed, kan derfor godt have en stor pålidelighed, og omvendt. Det er her vigtigt at bemærke, at der ikke er tale om en spredning af bussernes ankomsttidspunkt, men udelukkende en spredning i størrelsen af deres forsinkelser.
- **Tidsreduktion i kryds.** For København-casen benyttes den reducerede tid brugt i vejkryds. Denne er målt som det gennemsnitlige antal sekunder det tager at passere krydset, målt fra bussen er 30 meter før krydset, til den er 30 meter efter krydset. For Ballerup-casen benyttes den tid det har taget for de enkelte buslinjer at køre fra seneste busstop før krydset til første busstop efter krydset.
- **CO₂-reduktioner.** Det antages, at busser, der kører med en hastighed efter forholdene, ikke har en nævneværdig ændring i deres CO₂-udslip som følge af den intelligente busprioritering. CO₂-udslippet fra busser, der holder stille, kan derimod godt være påvirket af busprioriteringen. Udgangspunktet for resultatindikatoren er at beregne en CO₂-reduktion for busser, der er drevet af fossile brændstoffer, ved krydset i Ballerup.
- **Bløde trafikanter.** For at se, hvordan introduktionen af bl.a. den intelligente busprioritering kan påvirke andre trafikanter, ses specielt på den påvirkning, der kan måles blandt bløde trafikanter (cyklister og gående) i krydset i Ballerup. Resultatindikatoren ser både på andelen af bløde trafikanter, der må vente på grønt lys, og på den gennemsnitlige tid det tager de bløde trafikanter at passere krydset.

- **Køtlængder.** Tiltag, der søger at øge busfremmekommeligheden, kan have negative tidsmæssige konsekvenser for øvrige trafikanter. I Ballerup-casen er der set på konsekvenserne for den øvrige trafik, herunder særligt for cyklister, gående og biltrafik, der kører i tværetningen af den prioriterede trafik, da det kan forventes, at vil blive påvirket negativt. Der ses specifikt på køtlængder på kørebanen, forårsaget af øget eller ændret busprioritering.
- **Tælling af biler og estimering af køtlængder.** For at kunne vurdere, om målinger fra en FlowCube-enhed kan erstatte målinger foretaget med radar, vurderes begge nøjagtighed i forhold til registreringer foretaget ud fra videooptagelser. Radarens rapporterede registrering af biler i to vognbaner, samt en køtlængde beregnet ud fra disse registreringer, måles med tilsvarende foretaget ud fra videoregistreringer. Denne resultatindikator gælder kun Ballerup-casen.
- **Detektion og klassificering af biltyper.** Detektering af køretøjstyper ud fra videooptagelser, radarregistreringer og med en FlowCube-enhed. Registreringerne fra de tre målemetoder vurderes ud fra kategorierne biler/varevogne og busser/lastbiler. Denne resultatindikator gælder også kun Ballerup-casen.

Tabel 3: Overblik over fordelingen af resultatindikatorer for Ballerup og København. Årsagen til forskellen skyldes bl.a. forskelle i den implementerede busprioritetsløsning. Herudover har det i København ikke været muligt at måle på køtlængder, da radardata ikke har været tilgængelige i testkorridoren.

Københavns kommune	Ballerup kommune
<ul style="list-style-type: none"> ● Punktlighed ● Pålidelighed ● Tidsreduktion i kryds 	<ul style="list-style-type: none"> ● Punktlighed ● Pålidelighed ● Tidsreduktion i kryds ● CO₂-reduktioner ● Bløde trafikanter ● Køtlængder ● Tælling af biler og estimering af køtlængder ● Detektion og klassificering af biltyper

4.2 Datakilder anvendt i evalueringen

Den praktiske udførelse er sket gennem dataindsamling fra datakilder, der er nærmere beskrevet nedenfor. For hver datakilde er det angivet (i parentes), hvem der har leveret datasættet.

- **Prioriteringsanmodninger (datasæt fra Movia).** I tilknytning til de signalregulerede kryds, med mulighed for busprioritering, har vejmyndigheden/signalleverandøren defineret virtuelle anmelde- og afmeldepunkter. Disse benyttes til at fremsende prioriteringsanmodninger til styreskabet i krydset, når bussen passerer punkterne. Udover tidsstempling indeholder data om prioriteringsanmodninger bl.a. også oplysninger om linje- og turnummer, samt om hvorvidt bussen er forsinket/for tidlig i forhold til køreplanen.
- **Køretidsdata på turniveau (datasæt fra Movia).** Data indeholder oplysninger om både køretiden mellem stoppestederne på turniveau, og den tid bussen benytter ved de enkelte stoppesteder til bl.a. passagerudveskling og udligning. Data kan benyttes til at lave en

såkaldt fremkommelighedsanalyse, som beskriver, hvor lang tid det har taget at køre mellem stoppestederne, og hvor lang tid bussen har holdt ved de enkelte stop.

- **Positionsdata på sekundniveau (datasæt fra Movia).** Busoperatørerne er forpligtet til at fremsende positionsdata fra busserne til Movia. Disse indeholder oplysninger om buslinje og turnummer, en angivelse af bussens position, tidsstempling og den aktuelle hastighed. For København og Ballerup er data indsamlet inden for nærmere bestemte områder, som kan ses i "Bilag C: Datakilder." Der har ikke været positionsdata tilgængelige for driftsperioden i Ballerup, da indsamlingen af data ikke har været koordineret med den endelige fastsættelse af perioden.
- **Logdata fra MobiMaestro (datasæt fra Technolution).** MobiMaestro er det system, som kontrollerer/håndterer anmodninger, inden de sendes til signalanlæggene. MobiMaestros logfiler fortæller bl.a., hvor en bus befandt sig, da den anmodede om at blive prioriteret.
- **Logdata fra signalanlæg (datasæt fra Dynniq).** Logdata fra signalanlæggene fortæller, hvor lang tid et signalanlæg har været i en given tilstand, og tidspunktet for dette. Dette kan bruges til at vise, om et anlæg har længere grøntid end normalt.
- **Køllængder (datasæt fra IntelliGo og optagne videoer).** Køllængderne, målt i meter, er bestemt ud fra henholdsvis radardata og optagne videoer.
- **Registreringer fra radar og FlowCube (datasæt fra IntelliGo og Technolution).** De opsamlede data behandles af IntelliGo til brug i deres eget system. De rå registreringer for en enkelt dag er dog brugt til beregning af køllængder, og bestemmelse af køretøjsspecifikation.

Det har været vanskeligt at fremskaffe logfiler fra de signalregulerede kryds, der serviceres af Swarco. Det drejer sig om signalanlægget i Ballerup, samt to af signalanlæggene langs testkorridoren i København.

Logdata fra henholdsvis MobiMaestro og signalanlæggene i København har ikke været fulgt af en fortolkningsbeskrivelse, og den anvendte fortolkning er derfor foretaget ud fra antagelser, der ikke er blevet bekræftet.

De anvendte datakilder er nærmere beskrevet i "Bilag C: Datakilder."

5 Evaluering, København

5.1 Punktlighed

For at måle, om den intelligente busprioritering har haft indflydelse på, hvor forsinkede busserne har været i forhold til køreplanen, ses på data, der beskriver bussernes *anmelde-* og *afmeldetidspunkter*. De anvendte anmelde-/afmeldelsesdata angiver bl.a., hvor stor en forsinkelse en bus har i forhold til køreplanen, når den ankommer til anmeldepunktet.

Tabel 4 og Tabel 5 herunder viser, hvor store forsinkelser, i forhold til køreplanen, der i gennemsnit er målt på buslinjerne langs korridoren i København. Målingerne er foretaget i både baselineperioden og i driftsperioden, og i henholdsvis myldretiden og uden for myldretiden.

Opdelingen i myldretid/ikke-myldretid er sket for at undersøge, om den øgede trafikmængde, som antages at være i myldretiden, har en målbar effekt på resultaterne af den intelligente busprioritering.

Tabel 4: Gennemsnitlige forsinkelser, målt i sekunder, ved ankomster til anmeldepunkterne i København. Målingerne gælder i myldretiden i både baselineperioden og driftsperioden.

Buslinje	Forsinkelser, baseline	Forsinkelser, drift	Ændring
14	44	45	2,36%
5C	137	124	-9,66%
350S	74	60	-18,36%
1A	86	65	-24,28%

Tabel 5: Gennemsnitlige forsinkelser, målt i sekunder, ved ankomster til anmeldepunkterne i København. Målingerne gælder uden for myldretiden i både baselineperioden og i driftsperioden.

Buslinje	Forsinkelser, baseline	Forsinkelser, drift	Ændring
14	33	44	32,42%
5C	118	118	-0,32%
350S	61	59	-2,16%
1A	81	58	-27,74%

Tabellerne viser, at de fleste buslinjer oplever et fald i den målte forsinkelse i driftsperioden i forhold til baselineperioden. Dette fald ses som en negativ ændring mellem den gennemsnitlige forsinkelse i de to perioder. Selvom det største fald ses for linje 1A uden for myldretiden (27,74%, markeret med grønt), så opleves den generelt største forbedring for tre af de fire buslinjer i myldretiden. For linje 14 ses dog en øget forsinkelse i både myldretiden (2,36%, markeret med rødt) og uden for myldretiden (32,42%, også markeret med rødt). Dette kan til dels forklares ved, at linjen kun kører gennem to signalanlæg i korridoren, og har stoppested meget tæt ved de to signalanlæg. Derfor er der en begrænset indflydelse på forsinkelsen i forhold til køreplanen. Desuden har linje 14 en lav prioritet, både i retning af Nørreport (en prioritetsscore på 70) og i retning mod Ryparken (en prioritetsscore på 50). Til sammenligning er prioritetsscoren for de øvrige buslinjer i København mellem 150 og 190. Prioritetsscorerne fremgår af "Bilag A: Prioriteter og vægtning af buslinjer".

Det skal bemærkes, at størrelsen på forsinkelser i korridoren afhænger af en række faktorer, der står uden for projektets fokus. En af disse faktorer er, at forsinkelser kan være opstået, før en bus nåede til korridoren. En beregning af forskellene i forsinkelser fra de enkelte buslinjers første og sidste busstop i korridoren er vist i "Bilag E: Forskel på forsinkelser på første og sidste busstop".

En anden faktor er den formodede stigning i trafikmængden fra baselineperioden til driftsperioden. En øgning i trafikmængden vil, alt andet lige, formentlig også øge den oplevede forsinkelse. At der ikke umiddelbart ses en entydig stigning i størrelsen af forsinkelser kan derfor i nogen grad skyldes den intelligente busprioritering.

5.2 Pålidelighed

For at bedømme en bus' punktlighed ses på størrelsen af bussens forsinkelse i forhold til køreplanen, mens dens pålidelighed bestemmes ud fra spredningen i bussens forsinkelse. I Tabel 6 vises spredningen af forsinkelser for de enkelte buslinjer på korridoren i København i myldretiden i

henholdsvis baselineperioden og driftsperioden. Bemærk, at der ikke er tale om spredningen af busser over tid, men udelukkende spredning af størrelsen af forsinkelser for de enkelte buslinjer.

Tabel 6: Spredning i forsinkelser for busser i København i myldretiden.

Buslinje	Spredning, baseline	Spredning, drift	Ændring
14	1,66	2,48	49,44%
5C	4,84	4,40	-9,00%
350S	3,22	2,25	-30,18%
1A	2,84	2,64	-6,82%

Der er en mindre spredning i forsinkelsen for de tre buslinjer med højest prioritet (5C, 350S og 1A, markeret med grønt i Tabel 6) i baselineperioden, hvilket indikerer, at bussernes pålidelighed er øget her. Til gengæld ses også, at linje 14 (markeret med rødt), der har den laveste prioritet, oplever en stigende spredning i baselineperioden, hvilket betyder, at dens pålidelighed er faldet.

Tabel 7 viser samme værdier for busser i København, uden for myldretiden.

Tabel 7: Spredning i forsinkelser for busser i København uden for myldretiden.

Buslinje	Spredning, baseline	Spredning, drift	Ændring
14	1,15	2,71	135,60%
5C	3,82	4,08	6,72%
350S	2,16	2,13	-1,44%
1A	2,55	2,38	-6,64%

Spredningen på forsinkelser for alle fire buslinjer er ikke lige så god som i myldretiden, hvilket betyder, at bussernes pålidelighed uden for myldretiden ikke forbedres nævneværdigt. Igen udmærker linje 14 (markeret med rødt) ved at have en betydeligt ringere pålidelighed i driftsperioden end i baselineperioden. Det skal her igen bemærkes, at den generelle tilvækst i trafikken i driftsperioden formentlig alene vil resultere i øgede forsinkelser.

5.3 Tidsreduktion i kryds

For at bestemme busprioritetens effekt på den tid det tager en bus at passere et kryds, benyttes bussernes positionsdata, der med høj frekvens rapporterer bussernes position. Passagetiden for en bus defineres her som den tid, der går fra bussen er 30 meter før et kryds, til den er 30 meter efter krydset. Det skal her bemærkes, at placeringen af krydset er beskrevet med et enkelt punkt, typisk nogenlunde i midten af krydset.

Tabel 8 viser, hvordan den gennemsnitlige passagetid for busser i København er ændret fra baselineperioden til driftsperioden. Øverste linje i tabellen angiver *identen* for de enkelte signalregulerede lyskryds (1804, 1803, ...), der er det tal, som identificerer signalanlægget i krydset. Se Figur 1 for en oversigt over, hvor disse signalanlæg er placeret.

Tabel 8: Stigning i den gennemsnitlige passagetid for de enkelte buslinjer i hvert af de involverede signalregulerede kryds i København i myldretiden. Et negativt tal angiver et fald i passagetid. Passagetiden er angivet i sekunder.

Buslinje	1804	1803	1802	1801	1808	505	504	502
14	-	-	-	-	-	-0,05	1,03	0,93
5C	0,08	0,55	-2,01	-2,11	-0,43	1,17	3,38	0,63
350S	-0,09	-0,03	-1,6	-1,4	-0,1	0,49	2,45	0,36
1A	-13,17	0,69	0,06	4,5	-2	-	-	-

I nogle signalanlæg opleves en lille forbedring i passagetid, mens der i andre opleves en lille forværring. Den største forbedring (markeret med grønt) ses for linje 1A (der har høj prioritet) i signalanlæg 1804, hvor en passage i driftsperioden i gennemsnit tager 13,17 sekunder mindre end i baselineperioden. Den største forværring ses for linje 5C (markeret med rødt) i signalanlæg 504, hvor passagetiden er tiltaget med 3,38 sekunder. Gennemsnittet af tallene i tabellen er -6,67 sekunder, hvilket indikerer, at buslinjerne overordnet set oplever en forbedring i passagetid fra baselineperioden til driftsperioden. Dette gennemsnit tager dog ikke højde for bl.a. de enkelte buslinjers frekvens, og kan derfor ikke bruges som et gennemsnit for alle buslinjer.

6 Evaluering, Ballerup

6.1 Punktlighed

I Tabel 9 herunder ses forskellene mellem forsinkelser i henholdsvis baselineperiode og driftsperioden for de enkelte buslinjer i Ballerup i myldretiden.

Tabel 9: Gennemsnitlige forsinkelser, målt i sekunder, ved ankomster til stoppestedet ved krydset i Ballerup i myldretiden.

Buslinje	Forsinkelser, baseline	Forsinkelser, drift	Ændring
147	46	33	-26,80%
157	28	20	-27,12%
164	29	42	44,74%
216	8	19	125,10%
350S	55	52	-5,10%
400S	101	100	-0,52%
500S	37	36	-3,00%

Tilsvarende ses i Tabel 10 værdierne for busserne uden for myldretiden.

Tabel 10: Gennemsnitlige forsinkelser, målt i sekunder, ved ankomster til stoppestedet ved krydset i Ballerup uden for myldretiden.

Buslinje	Forsinkelser, baseline	Forsinkelser, drift	Ændring
147	52	41	-20,84%
157	18	21	18,08%
164	52	53	1,32%
216	8	19	136,74%
350S	53	61	15,88%
400S	88	102	16,78%

500S	33	38	17,44%
------	----	----	--------

I myldretiden (Tabel 9) oplever linjerne 147 og 157 (markeret med grøn) en reduktion i den gennemsnitlige forsinkelse på henholdsvis 26,80% og 27,12%. Til gengæld har linje 216 (markeret med rødt) en øgning i forsinkelse på hele 125,10%. Både linje 147 og linje 157 har en prioritetscore på 150, mens linje 216 er lavere prioriteret, da den kun har en prioritetscore på 125. I tid er både reduktioner og øgning i størrelsesordenen af 10 sekunder.

Uden for myldretiden (Tabel 10) oplever alle linjer, på nær linje 147 (markeret med grønt), tilsyneladende en øget gennemsnitlig forsinkelse, igen på op til ca. 10 sekunder. Linje 147 oplever igen en reduktion i den gennemsnitlige forsinkelse, her på 20,84%, svarende til godt 10 sekunder.

6.2 Pålidelighed

Bussers pålidelighed bestemmes ud fra spredningen på deres forsinkelser. En bus, der konsekvent har nogenlunde samme forsinkelse, anses derfor for mere pålidelig end en bus, der i gennemsnit har en mindre forsinkelse, men hvor spredningen på forsinkelsen er større.

Spredning i forsinkelserne for de busser, der passerer signalanlægget ved Hold-An Vej/Linde Allé ses i Tabel 11 (i myldretiden) og Tabel 12 (uden for myldretiden).

Tabel 11: Spredning i forsinkelser for busser i Ballerup i myldretiden.

Buslinje	Spredning, baseline	Spredning, drift	Ændring
147	1,7	1,83	7,64%
157	2,33	2,12	-9,06%
164	2,72	2,57	-5,58%
216	1,27	1,59	24,84%
350S	2,71	2,24	-17,54%
400S	3,31	3,53	6,40%
500S	1,9	1,51	-20,34%

Ud fra Tabel 11 ses en tendens til, at buslinjerne i myldretiden har en lavere spredning i forsinkelserne i driftsperioden end i baselineperioden. Det betyder, at bussernes ankomsttidspunkt til de enkelte stoppesteder er blevet mere pålidelig her. Især linjerne 350S og 500S (markeret med grønt) oplever et stort fald i spredningen på henholdsvis 17,54% og 20,34%. Til gengæld har linje 216 (markeret med rødt) en stigning i spredningen på 24,84%. Linje 216 har en prioritetscore på 125, linje 350S har en prioritetscore på 190 og linje 500S har en prioritetscore på 200. De største forbedringer ses derfor for buslinjer med høj prioritetscore, mens den største forværring ses for en buslinje med en lavere prioritetscore.

Tabel 12 viser samme værdier for busser i Ballerup som Tabel 11, blot uden for myldretiden.

Tabel 12: Spredning i forsinkelser for busser i Ballerup uden for myldretiden.

Buslinje	Spredning, baseline	Spredning, drift	Ændring
147	1,55	1,56	0,62%
157	1,03	2,4	133,86%
164	3,24	2,79	-13,86%
216	1,1	1,61	46,56%
350S	2,22	2,46	10,58%
400S	2,6	3,57	37,14%
500S	1,49	1,6	6,96%

Uden for myldretiden (Tabel 12) ses, at linje 157 (markeret med rødt), med en prioritetscore på 150, oplever den største forværring i spredningen på 133,86%. De fleste linjer oplever, at spredningen øges, og dermed, at deres ankomsttidspunkt er blevet mindre pålideligt. Kun linje 164 (markeret med grønt), der også har en prioritetscore på 150, oplever en lille forbedring i spredningen på 13,86%.

At forsinkelserne i Ballerup ikke er forbedret mere, hænger formentlig sammen med, at den intelligente busprioritering kun har været aktiv i et enkelt signalanlæg, og at størrelsen af forsinkelsen måles ved ankomst til dette, og ikke ved afgang fra det. Desuden kan den antageligt større trafikmængde i driftsperioden også have indflydelse på resultaterne her.

6.3 Tidsreduktion i kryds

For at vurdere, om de enkelte buslinjer, der passerer signalanlægget i Ballerup, oplever en tidsreduktion i krydset, ses på de køretider, der fremgår af fremkommelighedsanalyser for de enkelte buslinjer i området. I analysen benyttes køretider på de strækninger, der går fra sidste busstoppested inden signalanlægget til første busstoppested efter signalanlægget. For de linjer, der passerer signalanlægget i begge retninger, ses på tidsreduktionen i begge disse retninger. De enkelte buslinjers stoppesteder er fundet hos tjenesten Moovit [4].

Køretiden for de enkelte buslinjer i myldretiden, i henholdsvis baselineperioden og driftsperioden, fremgår af Tabel 13.

Tabel 13: Køretider for de enkelte buslinjer, der passerer signalanlægget i Ballerup i myldretiden i henholdsvis baselineperioden og driftsperioden. Den angivne køretid er tiden mellem to på hinanden følgende stoppesteder. Afstande er givet i meter, og køretider er givet i sekunder. Tallene i parentes i anden kolonne angiver en identifikation af de stoppesteder køretiden er målt mellem.

Linje	Strækning	Afstand	Køretid (baseline)	Køretid (drift)	Ændring
147	Ballerup Centret (2484) - Ballerup St. (53563)	767,75	135,11	129,36	-4,26%
157	Ballerup St. (52623) - Ballerup Centret (2453)	926,14	168,30	162,41	-3,50%
164	Ballerup St. (52625) - Parkvej (2126)	675,73	180,69	150,14	-16,90%
	Parkvej (2183) - Ballerup St. (52625)	645,65	125,03	120,41	-3,70%

216	Ballerup St. (52623) - Ballerup Centret (2453)	926,14	161,79	166,36	2,82%
	Ballerup Centret (2484) - Ballerup St. (53563)	767,75	126,67	129,35	2,12%
350S	Ballerup St. (52626) - Psykiatrisk Center Ballerup (4523)	1384,62	237,38	230,63	-2,84%
	Psykiatrisk Center Ballerup (3561) - Ballerup St. (52626)	1147,65	160,01	160,53	0,32%
400S	Ballerup St. (52626) - Psykiatrisk Center Ballerup (4524)	1330,26	212,94	214,39	0,68%
	Psykiatrisk Center Ballerup (3561) - Ballerup St. (52625)	1161,18	161,43	167,10	3,52%
500S	Ballerup St. (52626) - Psykiatrisk Center Ballerup (4524)	1330,26	196,96	196,36	-0,30%
	Psykiatrisk Center Ballerup (3561) - Ballerup St. (52625)	1161,18	164,01	165,32	0,80%

Ud fra værdierne i Tabel 13 ses, at halvdelen af buslinjerne oplever en reduktion af køretiden ved passage af signalanlægget i myldretiden (hvis man tæller en buslinje, der passerer signalanlægget i begge retninger som to buslinjer), mens den anden halvdel oplever en øget køretid. Tre stigninger, og en enkelt sænkning, er på mindre end en procent, og kan formentlig forklares med naturlig variation. Den største reduktion ses for linje 164 på strækningen mellem Ballerup St. og Parkvej (markeret med grønt), hvor køretiden falder med gennemsnitligt 16,90% fra baselineperioden til driftsperioden, svarende til ca. 30 sekunder. Til sammenligning ses den største øgning af køretiden for linje 400S på strækningen fra busstoppet ved Psykiatrisk Center Ballerup til Ballerup St. Her er øgningen på 3,52%, hvilket svarer til ca. seks sekunder.

Tabel 14 viser tilsvarende køretider for de enkelte buslinjer, blot målt udenfor myldretiden.

Tabel 14: Køretider for de enkelte buslinjer, der passerer signalanlægget i Ballerup uden for myldretiden i henholdsvis baselineperioden og driftsperioden. Den angivne køretid er tiden mellem to på hinanden følgende stoppesteder. Afstande er givet i meter og køretider er givet i sekunder. Tallene i parentes i anden kolonne angiver en identifikation af de stoppesteder køretiden er målt mellem.

Linje	Strækning	Afstand	Køretid (baseline)	Køretid (drift)	Ændring
147	Ballerup Centret (2484) - Ballerup St. (53563)	767,75	126,51	126,98	0,38%
157	Ballerup St. (52623) - Ballerup Centret (2453)	926,14	161,72	159,24	-1,54%
164	Ballerup St. (52625) - Parkvej (2126)	675,73	160,99	142,36	-11,58%
	Parkvej (2183) - Ballerup St. (52625)	645,65	124,67	117,31	-5,90%
216	Ballerup St. (52623) - Ballerup Centret (2453)	926,14	170,05	166,58	-2,04%
	Ballerup Centret (2484) - Ballerup St. (53563)	767,75	128,55	129,73	0,92%
350S	Ballerup St. (52626) - Psykiatrisk Center Ballerup (4523)	1384,62	230,00	222,36	-3,32%

	Psykiatrisk Center Ballerup (3561) - Ballerup St. (52626)	1147,65	149,32	154,42	3,42%
400S	Ballerup St. (52626) - Psykiatrisk Center Ballerup (4524)	1330,26	205,24	210,50	2,56%
	Psykiatrisk Center Ballerup (3561) - Ballerup St. (52625)	1161,18	157,93	163,87	3,76%
500S	Ballerup St. (52626) - Psykiatrisk Center Ballerup (4524)	1330,26	190,42	190,27	-0,08%
	Psykiatrisk Center Ballerup (3561) - Ballerup St. (52625)	1161,18	153,48	157,70	2,74%

Som i Tabel 13 ses i Tabel 14 en reduktion af køretiden for omkring halvdelen af buslinjerne, mens den anden halvdel oplever øget køretid i driftsperioden i forhold til baselineperioden. Både reduktioner og øgninger i køretid lader til at være mindre uden for myldretiden, hvilket kan forklares med, at mindre trafik generelt vil give en mere ensartet køretid. Igen oplever linje 164 på strækningen Ballerup St. til Parkvej (markeret med grønt) den største reduktion i køretid, dog "kun" på 11,58%, svarende til ca. 18 sekunder. Den største øgning ses igen hos linje 400S på strækningen fra busstoppet ved Psykiatrisk Center Ballerup til Ballerup St (markeret med rødt). Øgningen er her på 3,76%, svarende til ca. seks sekunder.

Da de strækninger, som køretiderne er målt for, er forholdsvis lange (med en afstand mellem Ballerup St. og stoppestedet ved Psykiatrisk Center Ballerup på knapt 1,4 km), vil køretiderne formentlig være afhængige af andre faktorer end en ændring af busprioriteringen, og styringen i signalanlægget ved Linde Allé og Hold-An Vej. Det lader til, at den reduktion i køretid ved passage af signalanlægget, som nogle buslinjer oplever, opvejer den øgede køretid, som andre buslinjer oplever.

6.4 CO₂-reduktioner

For at undersøge en mulig reduktion af bussernes CO₂-udledning, kan der ses på den tid busser bruger på passage af signalanlægget. Her antages det, at en bus, der skal accelerere til en hastighed svarende til hastigheden af den øvrige trafik, efter et stop for rødt lys, har et væsentligt brændstofforbrug, og dermed et stort CO₂-udslip. Kun de buslinjer, der betjenes af busser, som benytter fossile brændstoffer, bør medtages i evalueringen. Eldrevne busser vil nok have et større energiforbrug når de accelererer, men da en mulig øgning af CO₂-udslippet ved produktion af den ekstra energi afhænger af faktorer, der er ligger uden for projektet, medtages disse ikke i denne del af evalueringen.

For at undersøge, om busser står mindre stille ved kryds i driftsperioden end i baselineperioden, og dermed antageligt udleder mindre CO₂, kan der ses på den tid busserne bruger på de sidste 100 meter op til krydset i Ballerup. Da der desværre ikke har været positionsdata tilgængelige for driftsperioden i Ballerup, har det ikke været sammenlignelige målinger for de to perioder.

Tabel 14 (i afsnit 6.3) viser, at forsinkelser for de buslinjer, der passerer signalanlægget, og som oplever mindre forsinkelser i driftsperioden end i baselineperioden, opvejer for de forsinkelser, der opleves af de busser, der ser en øgning i den gennemsnitlige forsinkelse. Man kan derfor forsigtigt antage, at der i gennemsnit opleves mindre passagetid i signalanlægget i driftsperioden end i

baselineperioden. Med mindre passagetid vil der også være et mindre CO₂-udslip fra busserne. Størrelsen af reduktionen af CO₂-udslippet lader sig dog ikke måle med de tilgængelige data.

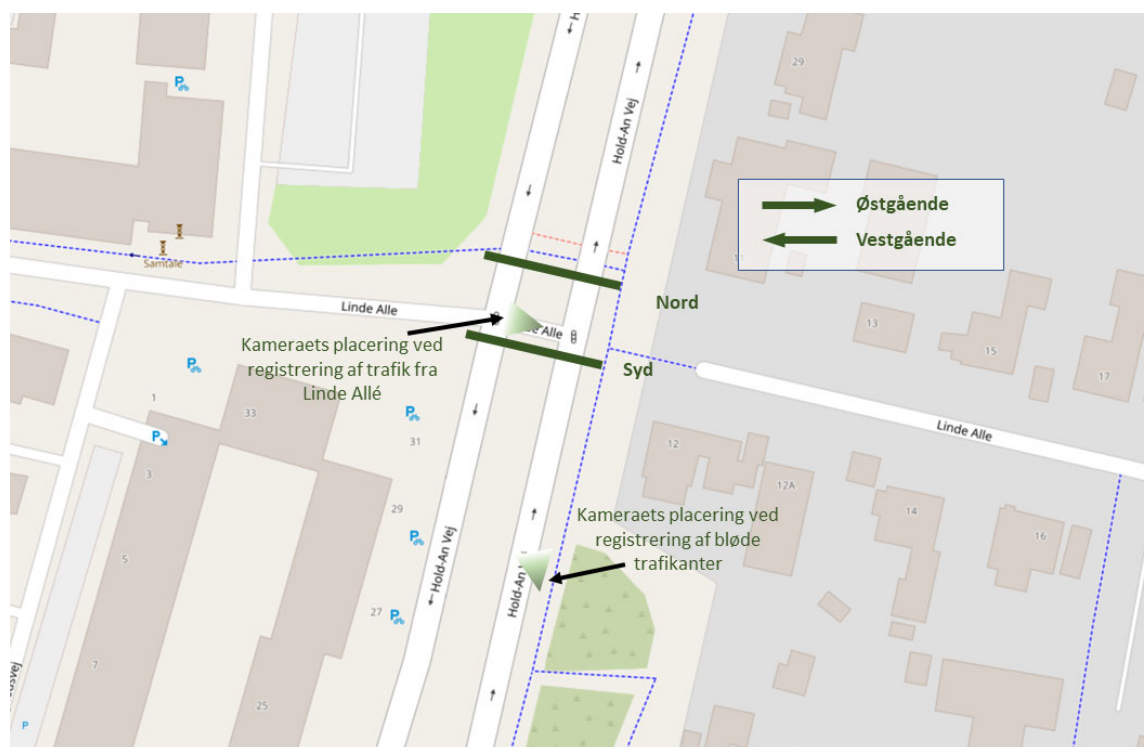
6.5 Sammenligning af radar- og FlowCube-målinger

6.5.1 Tælling af biler og estimering af kølængder

Mens forsøget kørte, kom et ønske om at undersøge forskellen på to forskellige sensormetoder til at detektere trafikken omkring signalanlægget i Ballerup. I forsøget i øvrigt har radardata været anvendt som en del af det system, der styrer signalanlægget. Målinger fra en FlowCube, der fremstilles af Technolution, og som detekterer og klassificerer køretøjer og kølængder ved brug af kamerateknologi og kunstig intelligens, overvejes til lignende forsøg fremover. En bedømmelse af de to sensormetoder er derfor blevet føjet til den oprindelige evaluering. IntelliGo har foretaget en lignende analyse på vegne af Technolution, og resultaterne af denne kan ses i [5].

For at kunne foretage bedømmelsen er der blevet optaget videoer fra krydset i Ballerup kommune 23. september 2022 i tidsrummet 7:45 til 11:00. Ud fra de optagne videoer er køretøjer blevet registreret når de passerede stoplinjen i krydset. For hvert køretøj er dets køretøjstype (bil/varevogn, bus eller lastbil) blevet noteret, dets vognbane (højresvingende i sydlig retning ad Hold-An Vej eller venstresvingende i nordlig retning) og passagetidspunktet. Ved en sammenligning med henholdsvis radar- og FlowCube-data anses videoregistreringerne som *ground truth*. I samme tidsrum er der desuden registreret målinger fra henholdsvis en FlowCube-enhed og en dopplerradar, der begge også har registreret køretøjer fra Linde Allé i retning mod Hold-An Vej.

Figur 4 viser, hvordan kameraet, til videooptagelserne, var placeret.



Figur 4: Oversigt over det signalregulerede kryds i Ballerup, hvor videoundersøgelser har fundet sted. Placeringen af kameraet til registrering af køretøjer fra Linde Allé, der er fortsat ad Hold-An Vej, fremgår af kortet. Bløde trafikanter, der har passeret enten nord eller syd for krydset, er også blevet videofilmet og registreret, og kameraets placering i den forbindelse fremgår også af kortet. (© OpenStreetMap, tilføjelser af forfatteren.)

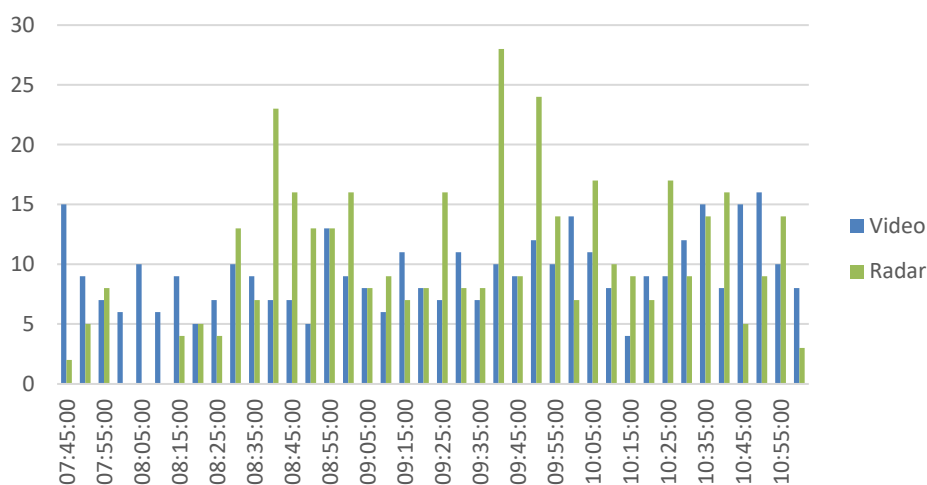
Kameraets montering er vist i Figur 5.



Figur 5: Montering af kamera til registrering af køretøjer fra Linde Allé.

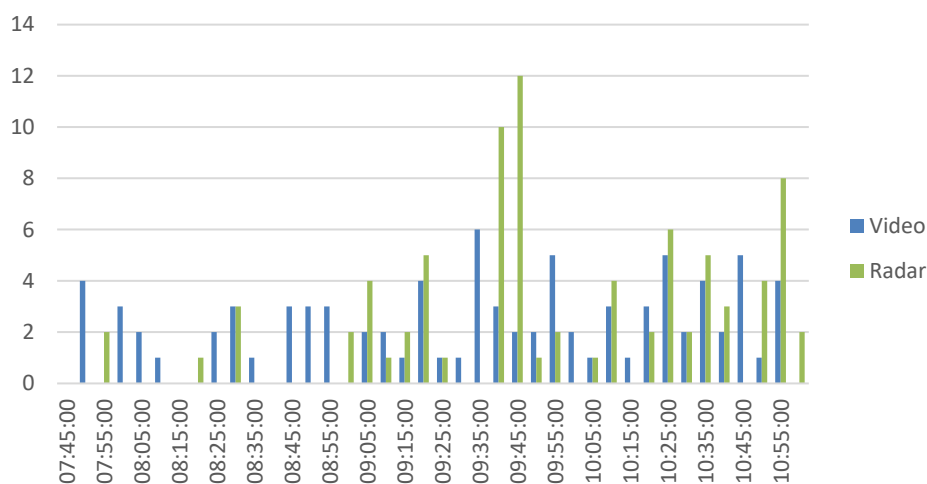
I Figur 6 og Figur 7 ses antallet af køretøjer, der er registreret i henholdsvis de optagne videoer og med radar i henholdsvis højre vognbane (venstresvingende trafik) og venstre vognbane (højresvingende trafik). Den opsatte FlowCube-enhed har ikke været konfigureret til den foretagne sammenligning, og dette betyder bl.a., at de registreringer af køretøjer, der passerer stoplinjen i krydset, ikke viser, hvilken vognbane passagen foregik i. Derfor er tællinger fra FlowCube-enheden ikke medtaget i figurerne.

Højresvingende (venstre vognbane)



Figur 6: Fordeling af højresvingende trafik i krydset i Ballerup, optalt i fem-minutters intervaller. Registreringer er foretaget ud fra henholdsvis videooptagelser og radar.

Venstresvingende (højre vognbane)



Figur 7: Fordeling af venstresvingende trafik i krydset i Ballerup, optalt i fem-minutters intervaller. Registreringer er foretaget ud fra henholdsvis videooptagelser og radar.

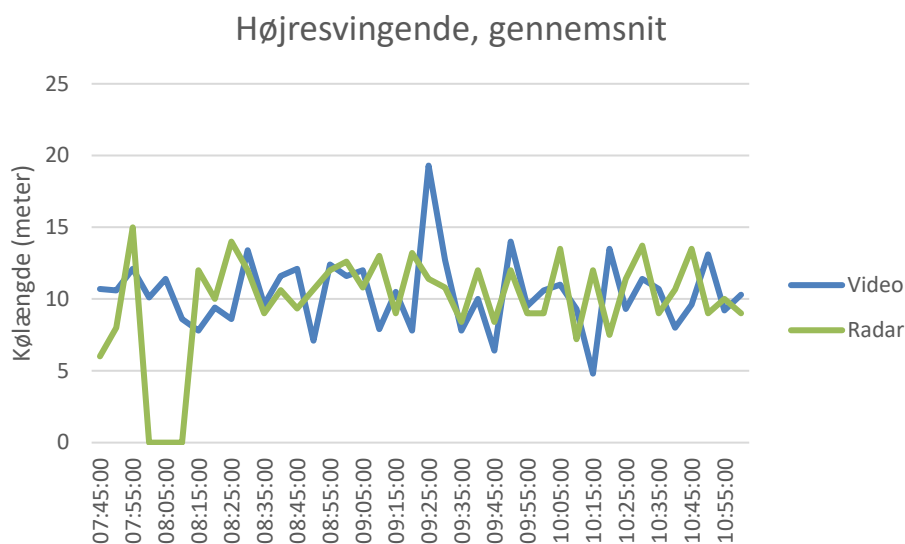
Som det fremgår af ovenstående figurer, er der en tendens til, at der er registreret flere køretøjer med radar end der er ud fra videooptagelserne. Dette kan muligvis tilskrives radarens udfordringer med at detektere køretøjer, der holder stille, og køretøjer kan derfor registreres flere gange som forskellige køretøjer.

Ud fra figurerne ses også, at mængden af trafik inden for morgenmyldretiden (der er sat til at være mellem kl. 07:00 og kl. 09:00) ikke, som man kunne formode, er væsentlig større end den registrerede trafik uden for myldretiden. Figurerne viser også, at der er stor forskel på antallet af køretøjer, der drejer til højre ad Hold-An Vej, og antallet, der drejer til venstre. Det lader til, at denne forskel ikke er afhængig af, om det er myldretid eller ej.

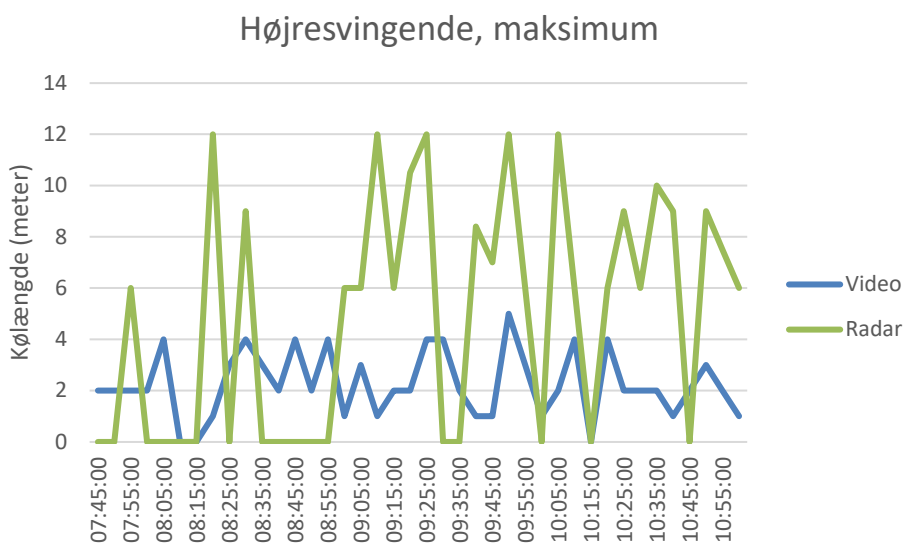
Da videooptagelserne ikke angiver en egentlig kølængde, er det ikke direkte muligt at sammenligne de kølængder, der måles med radaren med en *ground truth*. Derfor skabes en beregnet kølængde som summen af længder af køretøjer, der passerer gennem krydset kort tid efter hinanden, med en passende afstand mellem køretøjerne. Ved at beregne kølængder på samme måde for både radar og videoregistreringer, er det muligt at sammenligne metodernes registrering af køretøjer, der passerer krydset i kort tid efter hinanden.

Igen må registreringer fra FlowCube-enheden udgå af sammenligningen, da enheden ikke har været konfigureret til at registrere de enkelte køretøjers passage af stoplinjen i henholdsvis venstre og højre vognbane. FlowCube-enheden er i stand til at foretage denne registrering, men den opsatte enhed har i stedet været konfigureret til at aggregere registreringer af køretøjer til fem-minutters intervaller, da dette i højere grad sikrer de enkelte køretøjers anonymitet.

De beregnede kølængder, ud fra video- og radarregistreringer, for højresvingende køretøjer i krydset, ses i Figur 8, der viser den gennemsnitlige kølængde i fem-minutters intervaller, og i Figur 9, der viser den maksimale kølængde.



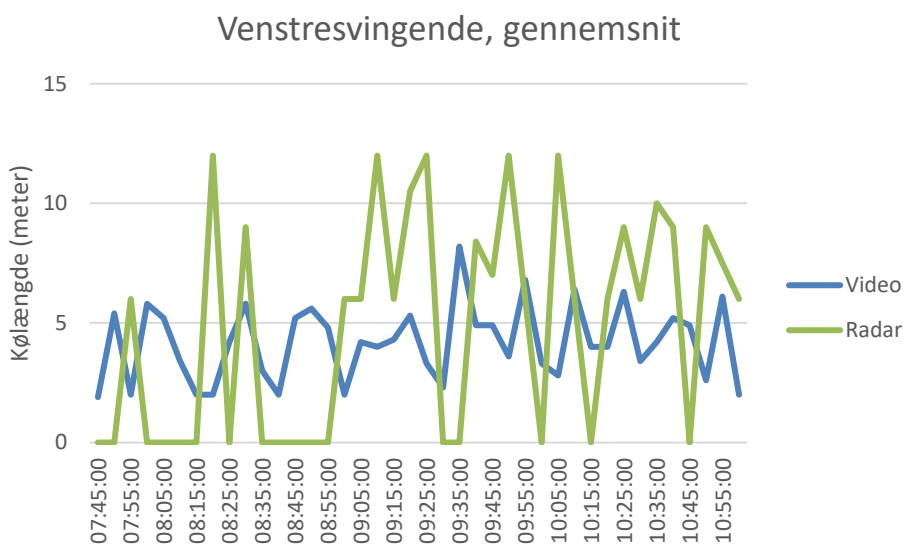
Figur 8: Gennemsnitlige kølængde for højresvingende trafik, målt over intervaller af fem minutter.



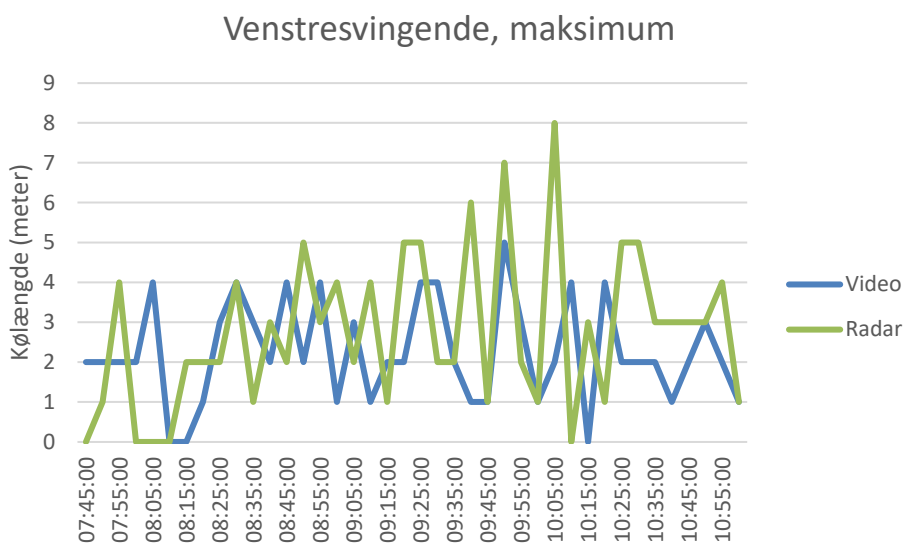
Figur 9: Maksimum kølængder for højresvingende trafik, målt over intervaller af fem minutter.

Af Figur 8 ses, at radarregistreringer og videoregistreringer giver nogenlunde samme gennemsnitlige kølængder. For de maksimale kølængder, som ses i Figur 9, ses dog igen en tendens til, at radarregistreringerne giver en lidt længere kø end videoregistreringerne. Dette kan muligvis igen forklares med radarens udfordringer med at registrere køretøjer, som holder stille.

Figur 10 og Figur 11 viser på samme måde de beregnede kølængder ud fra video- og radarregistreringer for venstresvingende køretøjer i krydset.



Figur 10: Gennemsnitlige kølængde for venstresvingende trafik, målt over intervaller af fem minutter.



Figur 11: Maksimum kølængder for venstresvingende trafik, målt over intervaller af fem minutter.

Af Figur 10, der viser den gennemsnitlige kølængde for venstresvingende trafik, ses det, at kølængderne baseret på radarregistreringer passer nogenlunde med kølængderne baseret på videoregistreringer; dog med den forskel, at der ses større fluktuationer i længderne baseret på radarregistreringer. Figur 11 viser igen, at radarregistreringer har højere maksimumværdier af kølængder, hvilket kan passe med, at radaren registrerer køretøjer flere gange, hvis de holder stille, f.eks. op til stoplinjen.

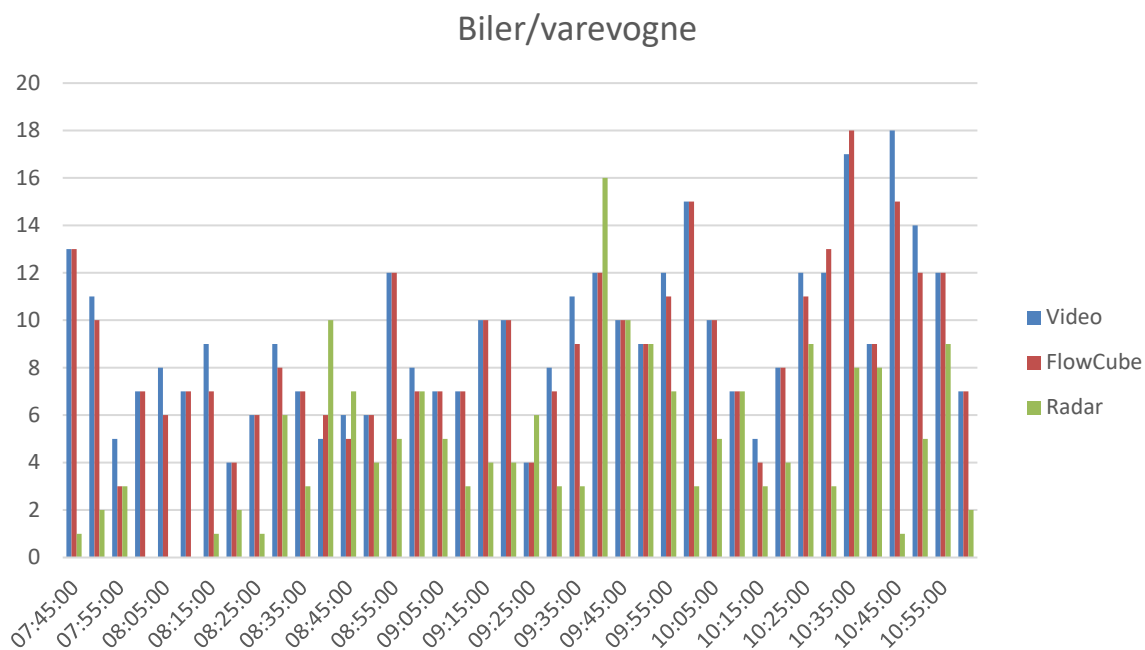
6.5.2 Detektion og klassificering af biltyper

For at sammenligne registreringer foretaget med henholdsvis radar og FlowCube, ses ikke kun på antallet af talte køretøjer, men også på klassificering af de talte køretøjer. Klassificeringen er ikke i sig selv vigtig for den intelligente busprioritering, men kan være vigtig, hvis de anvendte registreringer skal benyttes til f.eks. modellering af trafikken i et område.

Ud fra de optagne videoer er køretøjer blevet registreret i tre kategorier: *bil/varevogn*, *bus* og *lastbil*. Registreringerne fra FlowCube-enheden er inddelt i kategorierne *bil*, *varevogn*, *bus* og *lastbil*¹, mens registreringerne fra den opsatte radar har kategorierne *bil*, *varevogn* og *lastbil*. For at kunne sammenligne tællinger af køretøjer registreret med de tre metoder, er det derfor nødvendigt at samle tællingerne i følgende to kategorier: *bil/varevogn* og *bus/lastbil*.

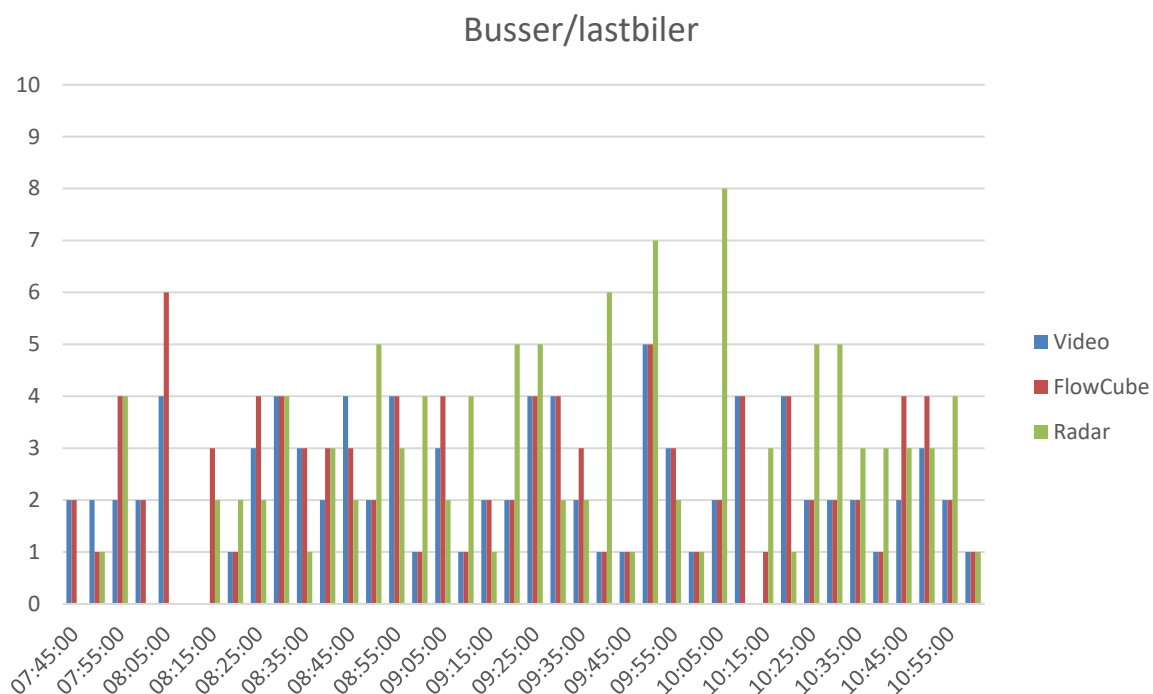
Da FlowCube-enheden ikke har været konfigureret til at se på de to vognbaner separat, ses der i det følgende udelukkende på den samlede trafik fra Linde Allé mod Hold-An Vej. I Figur 12 ses antallet af biler/varevogne registreret med hver af de tre metoder.

¹ Der ses her bort fra registreringer inden for kategorierne *motorcykel*, *cykel* og *fodgænger*.



Figur 12: Antallet af højresvingende biler/varevogne i fem-minutters intervaller.

Af Figur 12 ses det, at der er stor overensstemmelse mellem antallet af biler/varevogne, der er registreret med de tre metoder. Især mellem registreringer ud fra video og med FlowCube-enheden ses der ofte et identisk antal for et fem-minutters interval. Registreringerne med radar lader dog til ofte at have færre biler/varevogne end de andre metoder.



Figur 13: Antallet af højresvingende busser/lastbiler i fem-minutters intervaller.

Af Figur 13 ses igen, at antallet registrerede busser/lastbiler virker til at være nogenlunde ens for video- og FlowCube-registreringer, mens antallet registreret med radar fluktuerer mere, og ofte er højere end for video og FlowCube-enheden. Det er derfor nærliggende at antage, at flere af de køretøjer, der af f.eks. FlowCube registreres som bil eller varevogn, af radaren registreres som bus eller lastbil.

6.6 Påvirkning af andre trafikanter

Ved at give busser en forlænget grøntid i et lyskryds, risikeres det, at trafikanter fra andre retninger i det involverede kryds får en forværret trafikal oplevelse pga. deres forlængede rødtid. Ved evalueringen af forsøget blev det derfor undersøgt, om cyklister og fodgængere, samlet kaldet bløde trafikanter, oplevede en forøgelse i den tid de skulle bruge på at komme over krydset.

Sammen med indførelse af intelligent busprioritering i Ballerup, er signalanlægget gået fra at være tidsstyret til at være trafikstyret. Det er derfor den samlede effekt af disse to tiltag, der evalueres i denne rapport.

I en tretimers periode i både baselineperioden og i driftsperioden er de bløde trafikanter blevet videofilmnet, og efterfølgende registreret, når de passerede krydset. Krydset er vist i Figur 4, hvor de bløde trafikanter passerede fra vest mod øst, eller omvendt, enten nord for krydset eller syd for krydset. Placeringen af kameraet ved disse optagelser er også angivet i figuren. Udsynet fra kameraet fremgår af Figur 14.



Figur 14: Placering af kamera ved registrering af bløde trafikanter.

6.6.1 Bløde trafikanter

Der er foretaget to analyser af trafikken ved krydset, en i baselineperioden og en i driftsperioden. Begge analyser er foretaget på baggrund af videoer optaget i krydset. Videoerne er optaget på to fredage, henholdsvis 22. april (baselineperioden) og 26. august (driftsperioden), for at lade trafikken på de to dage være så ens som mulig. Begge dage er der optaget videoer i ca. tre timer. Det var desværre ikke muligt at optage videoerne på to fredage, der lå tættere på hinanden, hvilket formentlig kunne have gjort, at trafikmønstrene på de to optagedage var mere ens.

Ud fra de optagne videoer er registreret, hvilket tidspunkt fodgængere og cykler ankommer til krydset, og hvornår de har passeret krydset. El-løbehjul og knallerter tæller i analysen som cykler, da den tid det tager for dem at passere krydset er tættere på den tid det tager for cyklister end den tid det tager for fodgængere.

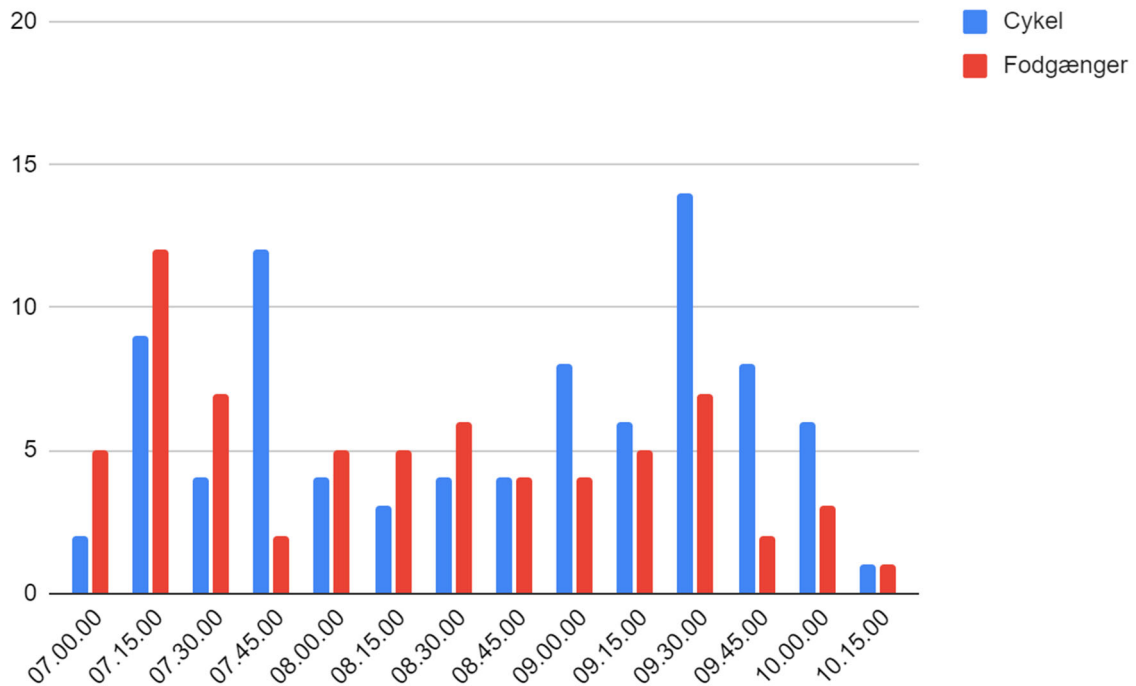
Tabel 15 herunder viser, hvor mange cyklister og fodgængere, der passerede krydset ved de to optagelser. De bløde trafikanter har passeret enten nord for krydset eller syd for krydset, og alle passager er sket i enten østgående eller vestgående retning. Det fremgår af tabellen hvor trafikanterne er blevet talt.

Tabel 15: Tællinger af bløde trafikanter i henholdsvis baseline- og driftsperioderne

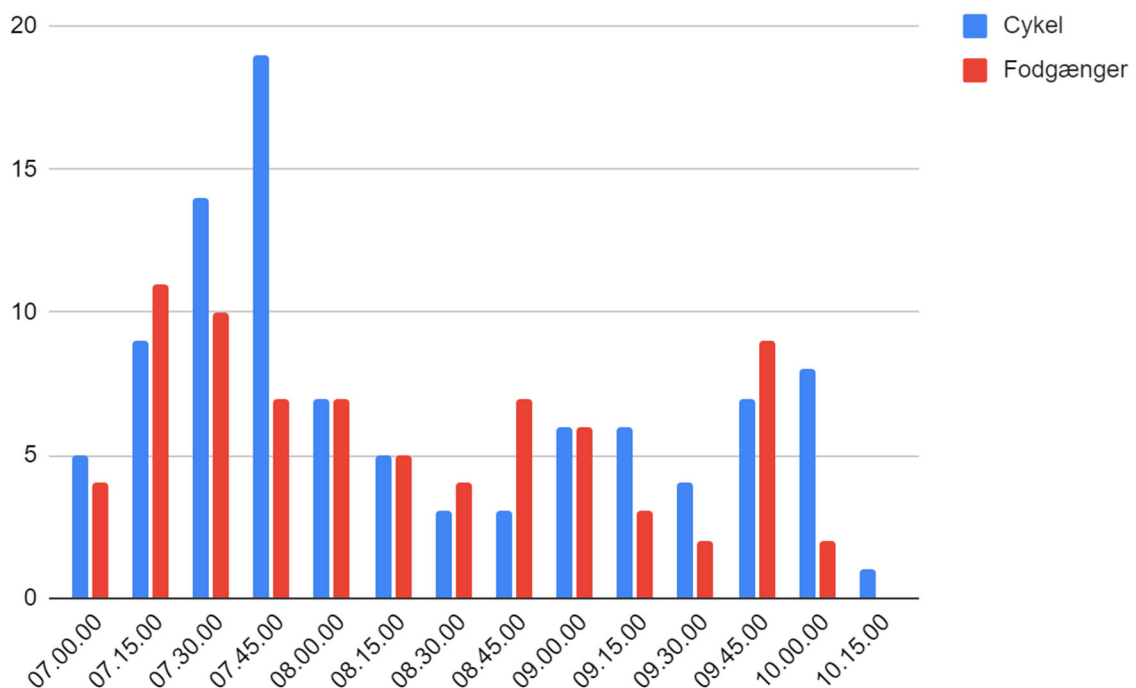
		Baseline		Drift	
		Cykel	Fodgænger	Cykel	Fodgænger
Nord	Østgående	2	11	4	8
	Vestgående	33	11	40	13
Syd	Østgående	44	14	45	24
	Vestgående	6	32	8	32
Total		85	68	97	77

Som det fremgår af Tabel 15, er der talt sammenlignelige antal cykler og fodgængere i de to optageperioder. At der er talt 12 cykler og 11 fodgængere mere i driftsperioden end i baselineperioden antages ikke at have stor indflydelse på den videre evaluering. Da optællingen er sket over to tretimers perioder, vil stigningen i bløde trafikanter kun give omkring fire flere trafikanter af hver type per time i driftsperioden end i baselineperioden.

Udover registrering af antallet af bløde trafikanter har analysen også registreret, hvornår de ankom til krydset, og hvornår de havde passeret det. I Figur 15 og Figur 16 ses, hvordan de registrerede bløde trafikanter fordelte sig over tid i henholdsvis baselineperioden og driftsperioden.



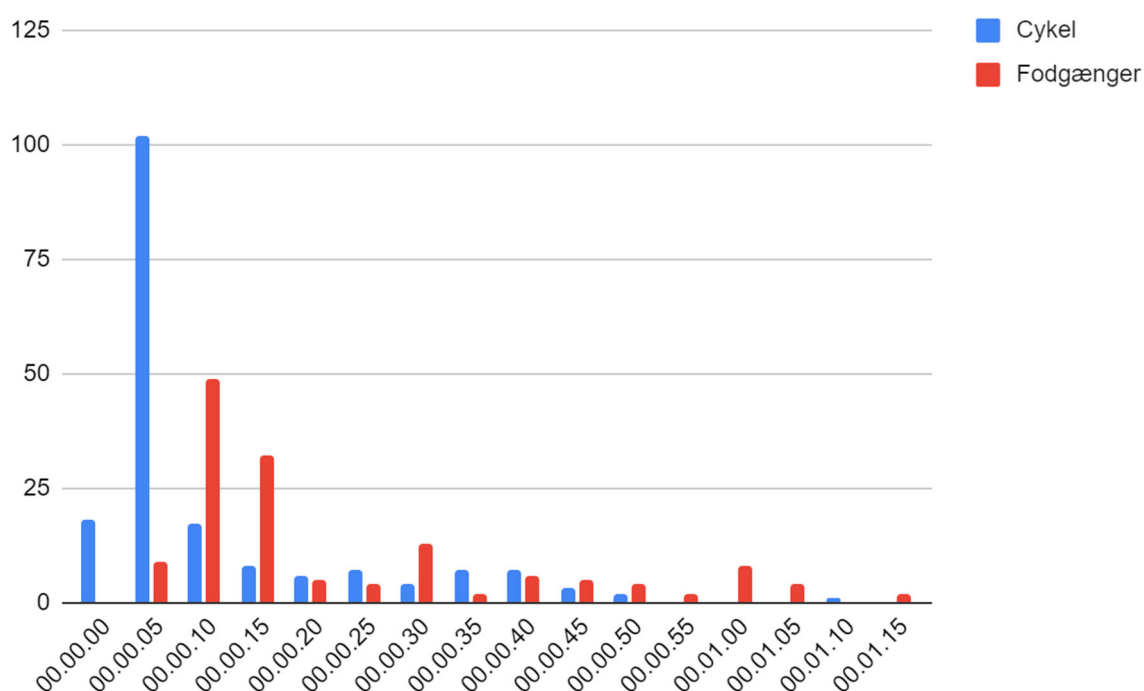
Figur 15: Fordeling af bløde trafikanter over tid i baselineperioden.



Figur 16: Fordeling af bløde trafikanter over tid i driftsperioden.

Begge figurer viser, at fordelingen af trafikanter har to toppe, den første omkring klokken 7:45, og den anden omkring klokken 9:30/10:00. Selvom fordelingen i baselineperioden er mere flad end tilsvarende i driftsperioden, er der ikke umiddelbart noget, der indikerer, at analyserne fra de to perioder ikke kan sammenlignes.

For at kunne bestemme andelen af bløde trafikanter, der måtte vente på grønt lys når de skulle passere krydset, er det nødvendigt at bestemme, om hver passage har haft rødt eller grønt lys til at begynde med. Da analysen af videooptagelserne ikke angiver signalvisningen ved ankomst til krydset, ses i stedet på den tid, der har været brugt på en passage. For at gøre dette, benyttes de samlede registrerede passager, både fra baselineperioden og fra driftsperioden. Figur 17 viser, hvordan varigheden af passager er fordelt over femsekunders intervaller. Af figuren fremgår det, at både cykler og fodgængere har en stor del af deres passager på 20 sekunder eller derunder, mens de resterende passager fordeler sig i intervaller fra 20 sekunder til mere end et minut. Dette passer med en antagelse om, at man kan passere krydset på højst 20 sekunder, hvis der er grønt lys i signalet når man ankommer, mens det kan tage mere end et minut, hvis man først skal vente på, at der bliver grønt.



Figur 17: Fordelingen af den tid det tager at passere krydset for henholdsvis fodgængere og cyklister.

Ud fra fordelingerne i Figur 15 antages det, at en passage af krydset, for både fodgængere og cyklister, på højst 20 sekunder er sket uden venten for grønt lys, mens antallet af passager, der har taget mere end 20 sekunder, har ventet på grønt lys. En fordeling af antallet af passager, der venter eller ikke venter på grønt lys, fremgår af Tabel 16.

Tabel 16: Fordelingen af bløde trafikanter, der ikke venter/venter på grønt lys i baseline- og driftsperioderne.

	Baseline				Drift			
	Cykel		Fodgænger		Cykel		Fodgænger	
Ikke venter	53	62,35%	20	29,41%	92	94,85%	70	90,91%
Venter	32	37,65%	48	70,59%	5	5,15%	7	9,09%

Af Tabel 16 ses det, at mængden af bløde trafikanter, der venter på passage i lyskrydset, tydeligt falder fra baselineperioden til driftsperioden. For cykler går andelen af ventende fra 37,65% til blot 5,15%, mens andelen af fodgængere, der venter i krydset, falder fra 70,59% til 9,09%.

Resultaterne i Tabel 16 giver indtryk af, at de bløde trafikanter oplever en forbedring af deres trafikale situation i driftsperioden, sammenlignet med situationen i baselineperioden. For at nuancere dette indtryk, ses også på den gennemsnitlige tid brugt på passage af krydset. Denne fremgår af Tabel 17.

Tabel 17: Gennemsnitlig passagetid for bløde trafikanter i baseline- og driftsperioderne.

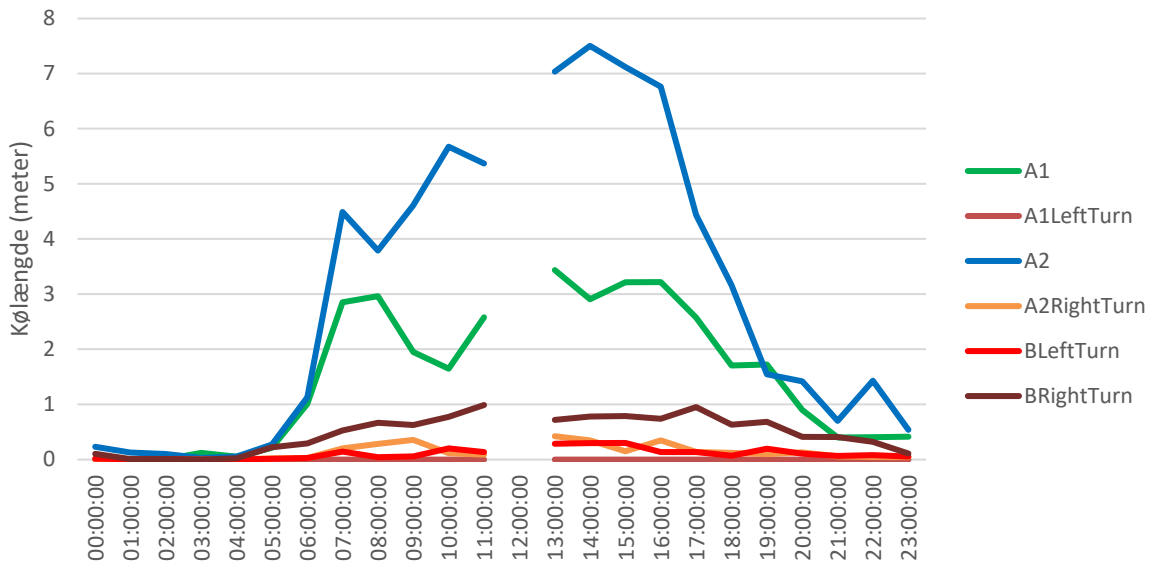
Trafikanttype	Baseline	Drift
Cykel	0.00.19	0.00.09
Fodgænger	0.00.37	0.00.16

Af Tabel 17 ses det, at den gennemsnitlige passagetid for både cykler og fodgængere er halveret i driftsperioden i forhold til baselineperioden. Dette til trods for, at den indførte busprioritet i driftsperioden i udgangspunktet alene ikke burde give denne effekt. Det er her vigtigt at huske, at den målte effekt både skyldes den indførte busprioritet og overgangen til trafikstyring af signalanlægget, og at det er den kombinerede effekt af disse tiltag, der giver en halvering af passagetid for cykler og fodgængere.

6.6.2 Kølængder

Med en mulig forlængelse af grøntiden for busser i krydset i Ballerup kan køretøjer, der kører på andre indfaldsveje til krydset end bussen gør, opleve en forlænget rødtid, hvilket muligvis kan betyde, at kølængden på disse indfaldsveje forlænges. Da der ikke er rapporteret kølængder for hverken hele baselineperioden, eller for hele driftsperioden, ses i stedet på kølængderne for to udvalgte dage: en dag før der blev indført trafikstyring og intelligent busprioritering i krydset (3. juni), og en dag, hvor både trafikstyring og intelligent busprioritering er indført (19. september). Det skal her bemærkes, at kølængderne i denne del af evalueringer stammer direkte fra radarregistreringer. De er altså ikke beregnet som kølængderne i 6.5.1.

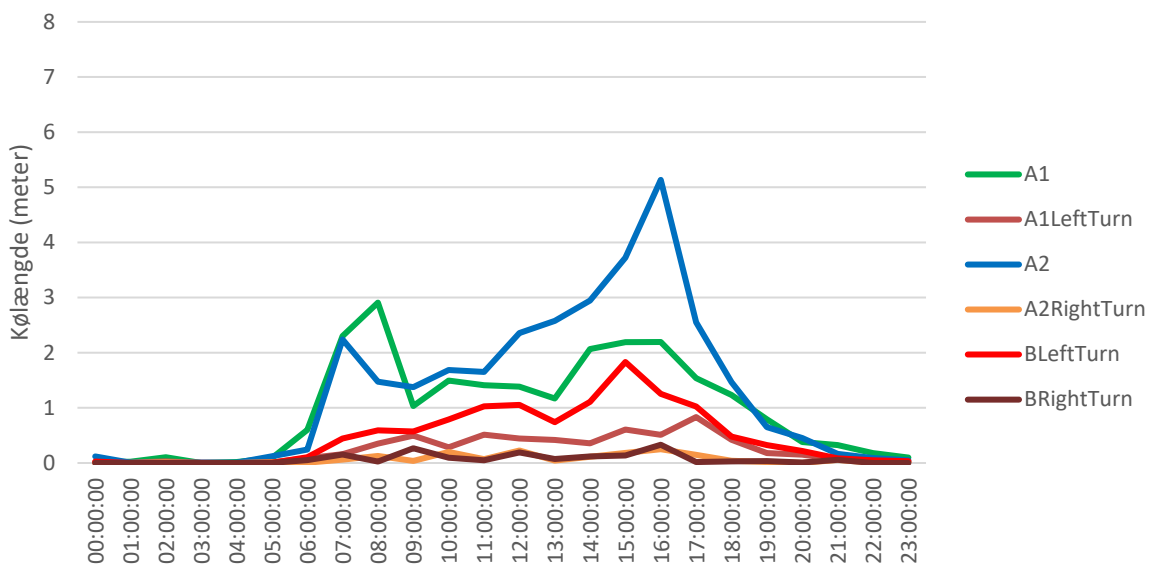
Ud fra radardata er den gennemsnitlige kølængde bestemt for hvert kvarter på de pågældende dage. Kølængderne er bestemt for både Hold-An Vej og Linde Allé i de baner, der leder op til krydset. I Figur 18 ses disse gennemsnitlige kølængder aggregeret over hele timer for 3. juni, altså før både trafikstyring af signalet og den intelligente busprioritering var indført.



Figur 18: Målte kølængder i krydset i Ballerup 3. juni, fordelt over døgnet 24 timer. Bemærk, at der har været udfald i datastrømmen mellem kl. 12 og kl. 13.

Af figuren ses, at de længste køer er målt på Hold-An Vej for trafik, der kører lige ud i henholdsvis nordlig retning (A1) og i sydlig retning (A2). Her ses de længste køer på lidt over 7 meter i gennemsnit omkring kl. 14.

På tilsvarende måde er kølængder blevet bestemt for 19. september, hvor både trafikstyring af signalet og den intelligente busprioritering er blevet indført. Disse kølængder ses i Figur 19.



Figur 19: Målte kølængder i krydset i Ballerup 19. september, fordelt over døgnet 24 timer.

Figuren viser, at de længste køer stadig opleves på Hold-An Vej for sydgående trafik (A2), og det er forholdsvis nemt at se, at kølængderne i juni er længst. Sammenlignes de to figurer time for time i intervallet 8:00 til 17:00, hvor der ses de største målte kølængder, er kølængderne målt i september højst 86% (for A1) og 72% (for A2) i forhold til kølængderne for tilsvarende time målt i juni; og oftest er de endnu mindre. Evalueringen viser derfor, at den indførte intelligente busprioritering,

kombineret med trafikstyring af signalet, ikke giver længere køer for den øvrige trafik, som man ellers kunne frygte.

7 Fejlkilder

Inden de beskrevne baseline- og driftsperioder begyndte, blev det aftalt, hvilke data, der skulle indsamles af de involverede parter. Desværre er det ikke lykkedes at samle data fra alle de aftalte datakilder, eller både i baselineperioden og i driftsperioden, hvilket har gjort, at ikke alle dele af den planlagte evaluering har været mulige at gennemføre. Dette gælder bl.a. kølængder målt over både baseline- og driftsperioderne. Derudover er det kun lykkedes at indsamle logfiler fra de seks Dynniq-signalanlæg, der er anvendt i København. Der er altså ikke lykkedes at indsamle logfiler fra de tre Swarco-signalanlæg i København, eller fra Swarco-anlægget i Ballerup.

Der er små uoverensstemmelse mellem de lyssignaler, der er markeret i [6] og de data, der er modtaget fra Movia. I førstnævnte er fremhævet et signal i lyskrydset Nørre Voldgade/Linnésgade, som ikke fremgår af Movias data. Til gengæld har Movia data fra krydset Fredensborggade/Linnésgade, der ikke er medtaget i den oprindelige beskrivelse af projektet [6]. Dette har dog ingen indflydelse på de foretagne analyser.

Der kan mangle positionsdata for nogle af de busser, der har været en del af forsøget. Dette kan bl.a. skyldes, at indsamlingen af data ikke har været korrekt konfigureret, f.eks. hvis en bus indsættes på en anden rute end det hidtil var meningen.

I den anvendte version af MobiMaestro er det ikke muligt at håndtere buslinjer, der passerer signalanlægget i Ballerup flere gange i løbet af deres rute. Da systemet ikke kan bestemme, hvilken del af ruten en bus kører, er det heller ikke muligt at aktivere anmelde- og afmeldepunkterne. Buslinjerne 156, 834 og 835 er derfor ikke med i forsøget. Funktionalitet, der kan håndtere buslinjer som disse, forventer Technolution vil være med i fremtidige versioner af MobiMaestro.

Der har ikke været givet fortolkningsanvisninger til logfiler fra henholdsvis MobiMaestro og signalanlæggene i København. Disse er derfor blevet fortolket ud fra antagelser, der ikke er blevet bekræftet.

Ved tælling af bløde trafikanter i Ballerup antages det, at trafikanter, der har haft rødt lys når de skulle krydse Hold-An Vej, kan bestemmes ud fra den tid, de har ventet. Antagelsen tager derfor ikke højde for de trafikanter, der krydser vejen, uden at de har grønt lys. Hvis det antages, at handlinger som disse er uafhængige af busprioriteringen, kan der ses bort fra dem.

Registreringen af bløde trafikanter viser, at det ikke er et stort antal, der passerer krydset, selvom registreringen til dels er foregået i morgenmyldretiden. Det forholdsvis lave antal gør, at målinger for selv få trafikanter kan give store udsving i de samlede resultater. En registrering over længere tid, muligvis over flere dage, ville formentlig have udlignet de forskelle, der opleves af de enkelte trafikanter, og kunne derfor have givet et mere retvisende billede.

Registreringen af trafikanter, der ankommer ved krydset, er foretaget som en manuel proces, der af naturlige årsager kan være fejlbehæftet.

Ved opsætningen af kamera til analyserne, var der tvivl om, hvorvidt en forlængelse af grøntiden også gælder for trafik, der kører ligeud ad Hold-An Vej, eller kun for trafik, der drejer ned ad Linde Allé. Hvis den kun gælder for trafik, der drejer fra Hold-An Vej til Linde Allé, eller omvendt, kan det have indflydelse på de bløde trafikanter, der passerer syd for krydset, og ikke nødvendigvis for dem, der passerer nord for krydset. Da antallet af trafikanter, der passerer krydset i de to optageperioder, ikke er stort, og der derfor formentlig ikke er statistisk materiale til at lave en kvalificeret analyse på forskellen på trafikken ved henholdsvis den sydlige og den nordlige passage, er dette ikke undersøgt nærmere.

8 Diskussion

Inden forsøget blev udført, og evalueringen blev foretaget, blev der udvalgt 12 resultatindikatorer, som evalueringen skulle undersøge. Under evalueringen blev yderligere to resultatindikatorer føjet til, der skulle undersøge, om man med fordel kunne erstatte radarregistreringer af køretøjer med registreringer foretaget af en FlowCube. Et tidligere udkast til denne rapport indeholdt evalueringer af alle 14 resultatindikatorer, og det viste sig, at flere af dem ikke bragte den klarhed over områder af evalueringen, som det var hensigten. I den endelige rapport er antallet af resultatindikatorer blevet reduceret til otte, og evalueringen af forsøgets resultater burde derfor stå skarpere, om end stadig mangelfulde, da data ikke altid har været tilgængelige. Om det er de rigtige resultatindikatorer, der står tilbage, kan naturligvis diskuteres, men de er bl.a. blevet udvalgt ud fra de resultater, det har været muligt at beregne ud fra de datakilder, som har været til rådighed.

De datakilder, der har været til rådighed ved evalueringen, i nogen grad bestemt, hvordan evalueringen er foregået. Nogle data er ikke blevet tilgængelige i forbindelse med evalueringen, og fortolkningen af andre har ikke været trivial. Helt konkret drejer det sig om manglende logfiler fra signalanlægget i Ballerup, og manglende angivelse af forlængelse af grøntiden for signalanlæggene i København, ligesom en metode til fortolkning af logfilerne fra MobiMaestro heller ikke er blevet givet. Disse kilder blev brugt i forbindelse med en resultatindikator, der viste, hvor stor en andel af de busser, som var forsinkede ved ankomst til et signalanlæg, som fik bevilget forlænget grøntid. Dette gjorde, at de beregnede resultater var misvisende, og resultatindikatoren blev derfor udeladt. Manglende positionsdata fra Ballerup i driftsperioden har også gjort, at passagetiden for krydset her ikke kunne beregnes på samme måde som den blev for København-casen. I stedet er tiden fra sidste stoppested før krydset til første stoppested efter krydset benyttet. De manglende positionsdata skyldes, at driftsperioden blev udskudt flere gange, uden at dette er blevet koordineret med indhentningen af positionsdata. Positionsdata er kun tilgængelige i et kort tidsrum efter at være blevet indhentet, og da behandlingen af data endeligt fandt sted, var det for sent at indhente nye positionsdata fra driftsperioden i Ballerup.

Man kunne med fordel have foretaget en tidlig før-evaluering, hvor alle datakilder var tilgængelige, og processering af data fra de enkelte kilder var foretaget. Dette havde givet et hurtigere overblik over, hvilke resultater, som kunne opnås ved brug af de enkelte datakilder, hvilket kunne give en bedre styring af den evaluering, man ønskede at foretage.

Ved databehandlingen (der er beskrevet i "Bilag D: Databehandling") er der lagt vægt på, at tolkning af de fundne resultater skulle være letforståelig. Derfor er mere avanceret statistik som f.eks. t-tests til at afgøre, om der er signifikant forskel på målinger i baselineperioden og driftsperioden, blevet

erstattet med brugen af gennemsnit. En ulempe ved dette er, at resultaterne kan synes tilfældigt udvalgte, når forskellen på målingerne ikke fremgår som resultat af en samlet statistisk behandling.

De to resultatindikatorer, der blev indført i løbet af forsøget, undersøger, om FlowCube-registreringer kan erstatte radarregistreringer. Selvom behandlingen af disse resultatindikatorer fylder forholdsvis meget i denne rapport, har de kun perifer tilknytning til den busprioritering, der er fokus for evalueringen. Der kan derfor argumenteres for, at de ikke burde være en del af den foretagne evaluering.

Ved anvendelse af prioritetscorer i signalanlægget i Ballerup oversættes en buslinjes prioritetscore i MobiMaestro, der ligger i intervallet fra – 200 til + 200, til enten at være ”høj” eller ”lav” prioritet i den løsning, der er implementeret af IntelliGo, og som styrer signalanlægget. Mulighederne for prioritet er derfor væsentligt reduceret, og dette kan have haft en effekt på den intelligente busprioritering, især da alle de buslinjer, der indgår i forsøget, har forholdsvis høj prioritet i det oprindelige interval.

Selvom nogle af de valgte resultatindikatorer viser gode resultater på de udvalgte steder, er det ikke givet, at man ville få tilsvarende resultater ved f.eks. at udbrede den intelligente busprioritering til hele København eller Ballerup. Dette kunne med fordel undersøges, f.eks. ved at have intelligent busprioritering på krydsende korridorer med tæt bustrafik, for at se, om der kan opnås tilsvarende resultater på alle involverede korridorer.

Af tekniske årsager er baseline- og driftsperioder blevet udskudt flere gange i løbet af forsøget, og selv efter, at målinger i baselineperioderne har været foretaget, er driftsperioderne blevet rykket, især for Ballerup-casen. Da det ikke har været muligt at lægge perioderne på samme tid af året, på hinanden følgende år, og det ikke kunne sikres, at perioderne lå i umiddelbar forlængelse af hinanden, kan det heller ikke garanteres, at de trafikale situationer i baseline- og driftsperioderne er nogenlunde ens. Dette kan i nogen grad sikres, hvis forsøgene skulle køres igen, hvis baseline- og driftsperioderne i udgangspunktet ligger i forlængelse af hinanden, og også gerne har en varighed på mindst fem uger. Dette har dog ikke været muligt inden for dette projekt.

Det ses af de enkelte resultatindikatorer, især de, der beskriver punktlighed og pålidelighed, at de buslinjer, der har fået højeste prioritetscore, også er dem, der opnår de største forbedringer i driftsperioden. Til gengæld har de buslinjer, der har fået den laveste prioritetscore, kun opnået forværrede resultater. Det kunne være interessant, hvis forsøget skulle gentages, at undersøge, om resultaterne kunne forbedres/forværres endnu mere, hvis man ændrede prioritetscorerne yderligere.

9 Konklusion

Forsinkelserne er blevet (lidt) mindre for busser med høj prioritet

De fleste buslinjer, der passerer korridoren i København, oplever et fald i den målte forsinkelse i forhold til køreplanen i driftsperioden i forhold til baselineperioden. Selvom det største fald ses for linje 1A uden for myldretiden (27,74%), så opleves den generelt største forbedring for tre af de fire buslinjer i myldretiden (linjerne 5C, 350 og 1A), mens linje 14 har øget forsinkelse i både myldretiden (2,36%) og uden for myldretiden (32,42%). Dette kan til dels forklares ved, at linjen kun kører

gennem to signalanlæg i korridoren, og har stoppested meget tæt ved de to signalanlæg. Derfor er der en begrænset indflydelse på forsinkelsen i forhold til køreplanen. Desuden har linje 14 en lav prioritet, både i retning af Nørreport (en prioritetsscore på 70) og i retning mod Ryparken (en prioritetsscore på 50). Til sammenligning er prioritetsscoren for de øvrige buslinjer i København mellem 150 og 190.

Omkring krydset i Ballerup oplever linjerne 147 og 157 en reduktion i den gennemsnitlige forsinkelse på henholdsvis 26,80% og 27,12% i myldretiden. Til gengæld har linje 216 en øgning på hele 125,10%. Både linje 147 og linje 157 har en prioritetsscore på 150, mens prioritetsscoren for linje 216 er på 125. Uden for myldretiden oplever alle linjer, på nær linje 147, tilsyneladende en øget gennemsnitlig forsinkelse. Linje 147 oplever igen en reduktion i den gennemsnitlige forsinkelse, her på 20,84%. I tid er både reduktioner og øgning i størrelsesordenen af 10 sekunder.

Øget pålidelighed for busser med høj prioritet

Bussernes pålidelighed i København er øget i driftsperioden, hvilket ses af en mindre spredning i de registrerede forsinkelser i forhold til køreplanen. Den største forbedring af passagetid i et enkelt signalanlæg fra baselineperioden til driftsperioden ses for linje 1A, der i et enkelt signalanlæg oplever en gennemsnitlig reduktion i passagetid på 13,17 sekunder, mens linje 5C i et andet signalanlæg oplever, at passagetiden er tiltaget med 3,38 sekunder. Ud fra de fundne reduktioner ses en tendens til, at buslinjerne i korridoren oplever et fald i passagetid.

I signalanlægget i Ballerup oplever flere af busserne, at spredningen af forsinkelserne størrelse i myldretiden i driftsperioden sammenlignet med myldretiden i baselineperioden, er blevet mindre. Det betyder, at bussernes ankomsttidspunkt til de enkelte stoppesteder er blevet mere pålidelig her. Uden for myldretiden er tendensen ikke lige så tydelig.

Stor forbedring og lille forværring af køretiden

Halvdelen af de buslinjer, der passerer signalanlægget i Ballerup, oplever en reduktion af køretiden i myldretiden, når passagetider i driftsperiodens sammenlignes med passagetider i baselineperioden. Den største reduktion ses for linje 164, hvor køretiden falder med gennemsnitligt 16,90%, svarende til ca. 30 sekunder. Til sammenligning ses den største øgning af køretiden for linje 400S, hvor den er på 3,52%, hvilket svarer til ca. seks sekunder. Uden for myldretiden oplever linje 164 igen den største reduktion i køretid, dog "kun" på 11,58%, svarende til ca. 18 sekunder. Den største forøgelse ses igen hos linje 400S. Forøgelsen er her på 3,76%, svarende til ca. seks sekunder.

CO₂-reduktion ikke målt

Hvis man forsigtigt antager, at der i gennemsnit opleves mindre passagetid i signalanlægget i Ballerup i driftsperioden end i baselineperioden, vil der også være et mindre CO₂-udslip fra busserne. Størrelsen af reduktionen af CO₂-udslippet lader sig dog ikke måle med de tilgængelige data.

FlowCube er en bedre løsning end radar

Den aktuelle konfiguration af FlowCube-enheden har gjort, at denne ikke er medtaget til vurdering af tællinger i de to retninger fra Linde Allé til Hold-An Vej i Ballerup. Der er ikke stor forskel på antallet af køretøjer, der er registreret med video og radar i hverken højre eller venstre vognbane fra

Linde Allé. Der er dog en tendens til, at der er registreret flere køretøjer med radar. Dette kan muligvis tilskrives radarens udfordringer med at detektere køretøjer, der holder stille.

De beregnede gennemsnitlige kølængder er sammenlignelige, dog med den forskel, at der ses større fluktuationer i længderne baseret på radarregistreringer, hvilket kan passe med, at radaren registrerer køretøjer flere gange, hvis de holder stille, f.eks. op til stoplinjen.

Når de tre målemetoder: video-, radar og FlowCube-registreringer, sammenlignes, er der stor overensstemmelse mellem antallet af registrerede biler/varevogne i signalanlægget i Ballerup. Der ses ofte et identisk antal registreringer med video og med FlowCube-enheden for fem-minutters intervaller. Registreringerne med radar lader til ofte at have færre biler/varevogne end de andre metoder. Antallet af registrerede busser/lastbiler virker også til at være nogenlunde ens for video- og FlowCube-registreringer, mens antallet registreret med radar fluktuerer mere, og ofte er højere end for video og FlowCube-enheden. Det er derfor nærliggende at antage, at flere af de køretøjer, der af f.eks. FlowCube registreres som bil eller varevogn, af radaren registreres som bus eller lastbil. Ses der udelukkende på de kriterier, der er evalueret i denne rapport, kan der derfor konkluderes, at brugen af FlowCube-enheder er at foretrække fremfor brugen af radar. Denne konklusion tager dog ikke højde for prisforskellen på de to sensortyper, ligesom faktorer som vejrlig, sollys, montering, vedligehold, m.m. heller ikke tages med.

Situationen for de bløde trafikanter er forbedret, ikke forværret

Ud fra de to optageperioder i Ballerup ses ikke den forværring af den trafikale situation for de bløde trafikanter, som man kunne frygte at indførelsen af den intelligente busprioritering kunne give. Analyse af videoer optaget i krydset viser en tydelig tendens til, at de bløde trafikanter kommer mindst 50% hurtigere over krydset i driftsperioden i forhold til baselineperioden. Denne effekt kan dog ikke tilskrives busprioriteringen alene, da indførelsen af trafikstyring i signalanlægget er sket samtidig.

Kølængderne bliver ikke længere

Der er foretaget en sammenligning af kølængderne i Ballerup for to udvalgte dage: en dag før der blev indført trafikstyring og intelligent busprioritering i krydset i Ballerup (3. juni), og en dag, hvor både trafikstyring og intelligent busprioritering var indført (19. september). Heraf ses, at kølængderne målt for en time på dagen i september højst er 86% af kølængderne for tilsvarende time målt i juni. Evalueringen viser derfor, at den indførte intelligente busprioritering, kombineret med trafikstyring af signalet, ikke giver de øvrige trafikanter længere køer.

Den tydelige forbedring i Ballerup skyldes ikke busprioriteringen alene. At signalet i krydset i forbindelse med afprøvningen af den intelligente busprioritering også er gået fra at være tidsstyret til at være trafikstyret forklarer den forbedring, der ses for de bløde trafikanter. Eventuelle negative effekter for cykler og fodgængere ved den intelligente busprioritering overskygges af de positive effekter ved samtidigt at overgå til trafikstyring af signalet.

Intelligent busprioritering har virket i København

Et af formålene med at indføre den intelligente busprioritering har været, at buslinjer med høj prioritet skulle få forbedret både deres punktlighed (som måles på størrelsen af deres forsinkelse i forhold til køreplanen) og deres pålidelighed (som måles på spredningen af størrelsen af deres forsinkelser). For linje 14, der er den af de fire buslinjer, som indgår i forsøget i København, med laveste prioritet, ses en generel forværring i både punktlighed og pålidelighed, både i og uden for myldretiden. Det omvendte ses for linjerne 5C, 350S og 1A, der alle har høj prioritet. Dog ses der en forværring i pålideligheden for linje 5C uden for myldretiden på 6,72%, der dog ikke er i nærheden af den forværring der ses for linje 14 på 135,60%.

Resultaterne i Ballerup er ikke entydige

Formålet med forsøget har bl.a. været at undersøge, om man kunne forbedre situationen for busser, der er bagud i forhold til deres køreplan, uden at dette giver en forringelse for andre trafikanter, bl.a. de bløde trafikanter. Her er konklusionen kort, at det kan man godt; navnlig hvis den intelligente busprioritering kombineres med trafikstyring af signaler, som det er tilfældet i Ballerup.

Fire ud af de syv buslinjer (147, 157, 164, 216, 350S, 400S og 500S) i Ballerup-casen er blevet mere pålidelige i myldretiden, hvor der ses en forbedring på mellem 5,58% og 20,34% i spredningen på størrelsen af buslinjernes forsinkelse i forhold til køreplanen. Den positive tendens er dog mindre tydelig udenfor myldretiden, hvor pålideligheden kun er forbedret for buslinje 164, der oplever en forbedring på 13,86% i forhold til baselinemålingen. Evalueringen giver altså ikke entydige resultater på tværs af alle buslinjer, og det er derfor ikke tydeligt om busprioriteringen har virket efter hensigten eller ej. De højest prioriterede buslinjer, 350S, 400S og 500S, er heller ikke de linjer, der oplever de største positive effekter i forhold til punktlighed og pålidelighed.

Ved at sammenligne størrelsen af forsinkelser for buslinjerne i henholdsvis baseline- og driftsperioden ses det, at der samlet er 29 minutters øget forsinkelse på et hverdagsdøgn i driftsperioden i forhold til baselineperioden. Langt størstedelen af denne øgede forsinkelse ligger uden for myldretiden, da den samlede forsinkelse for buslinjerne i myldretiden er på under et minut.

Selvom resultaterne for Ballerup ikke er entydige, så ses kan det overvejes, om forsøget skal gentages, bl.a. da resultaterne fra målinger i myldretiden ser bedre ud end resultaterne uden for myldretiden. En gentagelse af forsøget bør dog ske under ændrede forudsætninger: 1) det skal foregå over flere signalanlæg, der ligger i nærheden af hinanden, da der så kan måles over en længere teststrækning, 2) effekter af busprioritering og trafikstyring skal evalueres adskilt, så det er muligt at se, om busprioriteringen alene opnår den ønskede effekt, 3) baseline- og driftsperioderne bør ligge tættere, da der så formentlig kun vil være mindre forskelle i bl.a. trafikmængder

Potentialer i opskalering

Det er væsentligt at bemærke, at den intelligente busprioritering har været afprøvet på et meget begrænset antal signalanlæg: I København har der været i alt otte signalanlæg involveret, mens det er i Ballerup, kun har været intelligent busprioritering i et enkelt signalanlæg. De fremtalte positive gevinster for særligt de højt-prioriterede buslinjer i København er derfor begrænset til ganske få signalanlæg set i forhold til det antal signalanlæg, som busserne passerer på deres rute. Det kan derfor antages, at de faktiske gevinster kan være en del større, hvis busprioriteringen blev udbredt

til flere signalanlæg. I denne sammenhæng er det vigtigt at pointere, at den anvendte intelligente busprioritering for København kan implementeres i de ca. 170 signalanlæg, der i dag har en basal busprioriteringsløsning, uden installation af fysisk udstyr i de enkelte signalanlæg. For Ballerup er det en anden sag, da udvidelsen af den implementerede løsning vil kræve investering i trafikstyret regulering, og installation af enten radar eller FlowCube i øvrige signalanlæg.

Kilder

- [1] »Trafik- og Mobilitetsplan for hovedstadsregionen,« 2019. [Online]. Available: https://www.regionh.dk/trafik/trafik_og_mobilitetsplan/Documents/Trafik-og_mobilitetsplan_RegionHovedstaden_samlet_april2019.pdf. [Senest hentet eller vist den 5. marts 2023].
- [2] »Passagerpuls,« 2022 januar. [Online]. Available: <https://passagerpuls.taenk.dk/system/files/2022-12/Tr%C3%A6ngsel%20og%20busfremkommelighed.pdf>. [Senest hentet eller vist den 13. marts 2023].
- [3] »Movia passagertal,« 2022. [Online]. Available: [Moviatrafik.dk](https://www.movia.dk/trafik). [Senest hentet eller vist den 3. april 2022].
- [4] »moovit,« Moovit Inc., 2023. [Online]. Available: <https://moovitapp.com/danmark-2965/poi/da>. [Senest hentet eller vist den 22. februar 2023].
- [5] IntelliGo, »Comparing existing radar system and Technolution FlowCube system as a traffic controller sensor,« IntelliGo, Aalborg, 2022.
- [6] *Green wave for buses - case solution description for: City of Copenhagen pilot site*, Technolution, 2021.
- [7] *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, Vienna: R Core Team, R Foundation for Statistical Computing, 2021.
- [8] *Green wave for buses - case solution description for: Ballerup municipality pilot site*, Technolution, 2021.
- [9] *Grøn Bølge for Busser*, Gate 21, 2021.
- [10] *Movia, Pålidelighedsmetoder*, Movia, 2023.
- [11] »Busser i Københavns Centrum,« Din Offentlig Transport, [Online]. Available: <https://dinoffentligtransport.dk/media/2046/busser-i-koebenhavns-centrum-260622.pdf>. [Senest hentet eller vist den 29. oktober 2022].

Bilag A: Prioriteter og vægtning af buslinjer

København

Tabel 18 viser, hvordan de enkelte buslinjer i Københavns kommune, der har kørt på den udvalgte korridor, har været prioriteret indbyrdes. Generelt vil busser med en højere prioritet få fordele ved prioritering i et signalanlæg.

Tabel 18: Prioriteter for busser i København.

Linje	Destination	Prioritet
14	Nørreport	70
	Ryparken	50
5C	Københavns Lufthavn	190
	Herlev Hospital	190
350S	Nørreport	150
	Ballerup St.	100
1A	Hellerup St.	170
	Avedøre St.	170

En prioritetskonflikt opstår hvis to eller flere busser fra forskellige retninger anmoder om prioritet i samme lyskryds på samme tid. Konflikten opstår, da det ikke er muligt at tildele længere grøntid til flere retninger i krydset på samme tid. I den implementerede løsning imødekommes kun anmodninger, der fremsættes i slutningen af grøntiden. Hvis anmodninger derimod kunne fremsættes på et hvilket som helst tidspunkt i et omløb, kunne der opstå egentlige konflikter.

En konflikt kan løses ved en af følgende strategier:

- Først-til-mølle, hvor den bus, der først registrerer sit behov for prioritet ved et signalreguleret lyskryds, vil få det opfyldt, hvis signalanlægget er i stand til det.
- Bussen med den største forsinkelse får tildelt fordelen i lyskrydset.
- Historiske passagertal på tidspunktet for konflikten afgør konflikten, så fordelen går til den bus, der normalt har flest passagerer, for at den kan komme flest til gode (endnu ikke en implementerbar løsning).
- Linjeprioritet, hvor regionale busser prioriteres højere end lokale busser.

Ballerup

Tabel 19 viser den indbyrdes prioritet for busser i Ballerup. Vægtning af buslinjerne i Ballerup påvirker grøntidsfordelingen i det trafikstyrede signalanlæg, da vægtningen sidestilles med et antal køretøjer i signalanlægget.

Tabel 19: Prioriteter for busser i Ballerup.

Linje	Destination	Prioritet
147	Ballerup St.	150
157	Ballerup St.	150
164	Ballerup St.	150
	Oceankaj	150
216	Ballerup St.	125
	Roskilde St.	125
350S	Ballerup St.	190
	Nørreport St.	190
400S	Hundige St.	200
	Lyngby	200
500S	Kokkedal St.	200
	Ørestad St.	200

Bilag B: Evalueringsramme

Dette bilag beskriver de resultatindikatorer, der er benyttet i evalueringen. Beskrivelsen af resultatindikatorerne er holdt på engelsk af hensyn til repræsentanter fra hollandske Technolution.

Bussernes tilgængelighed / Bus Accessibility

- **#1:** Number of requested prioritizations that are granted. This will give an indication of the potential effect of the prioritization.
- **#2:** Reducing delays of buses arriving (arrival time) at bus stops in relation to the time schedule.
- **#3:** Increasing travel time reliability, measured as punctuality variance of the bus arrival (arrival time) to the bus stops in relation to the time schedule.
- **#4:** Reduced time spent at intersections measured as the average number of minutes spent standing still at traffic signals for delayed buses (per line/intersection).
- **#5:** Increased time spent at bus stops (equalization). Measured as an increase of seconds of arrival time in advance of schedule (-x seconds).

Bussernes tilgængelighed, CO₂-reduktioner / Bus Accessibility, CO₂ Reductions

- **#6:** Reduces the number of buses that need to stop at the intersection.

Systemfunktionalitet / System functionality

- **#7:** Operating costs for municipalities are reduced.
- **#8:** The new bus priority system is capable of monitoring operations and priority given in intersections.
- **#9:** Municipalities and/or Movia can themselves, without additional help or system access from Technolution retrieve necessary data for Data and Monitoring #1.
- **#10:** Conflicting bus priority. Solution on e.g., historical passenger counts.
- **#11:** Data accuracy in relation to counting vehicles and queue length, whether given values are correct and consistent comparing FlowCube data against radar.
- **#12:** Detection and classification of vehicle types, whether given values are correct and consistent, comparing FlowCube data against radar.

Andre trafikanter / Additional road users

- **#13:** Impact on other road users.
- **#14:** Queue length (queue spill back) when priority takes place.

Bilag C: Datakilder

Buslinjer

Der er indhentet data for nedenstående buslinjer. De buslinjer i Ballerup, der er overstreget i listen herunder, har samme start- og slutpunkt, og det har derfor ikke været muligt for MobiMaestro at bestemme, hvilken vej de kørte. De er derfor udeladt i databehandlingen.

København:

- 14, Lokal
- 5C
- 350S
- 1A

Ballerup:

- 147, Lokal (el)
- ~~156, Lokal (el) udelukket~~
- 157, Lokal (el)
- 164, Lokal (el)
- 216, Lokal
- 350S, Regional/hurtigbus
- 400S, Regional/hurtigbus
- 500S, Regional/hurtigbus
- ~~834, Service udelukket~~
- ~~835, Service udelukket~~

Positionsdata

Movia har leveret positioner for busser i både København og Ballerup. Positionerne er udvalgt inden for de firkantede områder, der fremgår af Figur 20. For København er området begrænset af breddegraderne 55.7009 og 55.67735 og længdegraderne 12.53695 og 12.58249. For Ballerup er området begrænset af breddegraderne 55,725744 og 55,737271 og længdegraderne 12.352066 og 12.369404.



Figur 20: De områder i (a) København og (b) Ballerup, der er udtaget punktdata fra.

De leverede punktdata er forsynet med tre tidsstempler:

- **Timestamp**, taget fra bussens GPS for tidspunktet for udlæsning af positionen. Tidsstempet er angivet i millisekunder efter midnat (UTC). Information om datoen indgår ikke i tidsstempet.
- **SendDateTime**, der er et beregnet tidsstempel, baseret på indlæsningsdatoen i Movias datawarehouse, samt bussens UTC-tidsstempel (se ovenfor).
- **ReceivedDateTime**, der med sekundopløsning angiver tidspunktet (UTC) for modtagelsen af positionsmeldingen. Der kan være få sekunders forskel på *SendDateTime* og *ReceivedDateTime*.

Punktdata er desuden forsynet med et linjenummer, der er givet som et heltal. Generelt er dette nummer givet som *publikumsnummeret*, hvor eventuelle bogstaver er fjernes, så f.eks. "350" er linje 350S. Et særligt fælde er linje 400S, hvor linjenummeret er "400". Linje 400 har derfor linjenummer "4400".

Bilag D: Databehandling

Dette bilag giver detaljer for dele af den databehandling, der er foretaget i forbindelse med evalueringen. Størstedelen af databehandlingen er foregået i værktøjet *RStudio*, der benytter sproget *R* [7]. Det udviklede R-program er på ca. 1500 linjer, og tager 5-10 timer at afvikle. Derudover er data behandlet i regneark og i scripts udviklet til formålet.

Fri- og helligdage

I evalueringen er data fra hverdage i baselineperioden sammenlignet med tilsvarende data fra driftsperioden. Da der i begge perioder er en del fri- og helligdage, hvor trafikken formodes at opføre sig anderledes end på hverdage, er data fra disse dage ikke medtaget i evalueringen. Ligeledes er data fra dage i weekenden ikke medtaget, ligesom data fra fredage kun er medtaget i situationer, hvor det skønnes, at der ikke er væsentligt forskel i forhold til andre hverdage. Datoerne i Tabel 20 er identificeret som fri- eller helligdage.

Tabel 20: Fri-og helligdage.

Dato	Fri- eller helligdag	Uge	Periode
12/03/2022	Lørdag	10	Ballerup, baseline
13/03/2022	Søndag		
19/03/2022	Lørdag	11	Ballerup, baseline
20/03/2022	Søndag		
26/03/2022	Lørdag	12	Ballerup, baseline
27/03/2022	Søndag		
02/04/2022	Lørdag	13	Ballerup, baseline
03/04/2022	Søndag		
09/04/2022	Lørdag	14	Ballerup, baseline
10/04/2022	Søndag		
07/05/2022	Lørdag	18	København, baseline
08/05/2022	Søndag		
13/05/2022	St. Bededag	19	København, baseline
14/05/2022	Lørdag		
15/05/2022	Søndag		
21/05/2022	Lørdag	20	København, baseline

22/05/2022	Søndag		
26/05/2022	Kristi Himmelfartsdag	21	København, baseline
27/05/2022	"Klemmedag"		
28/05/2022	Lørdag		
29/05/2022	Søndag		
04/06/2022	Lørdag	22	København, drift
05/06/2022	Pinsedag		
06/06/2022	2. pinsedag	23	København, drift
11/06/2022	Lørdag		
12/06/2022	Søndag		
18/06/2022	Lørdag		
19/06/2022	Søndag	24	København, drift
25/06/2022	Lørdag		
26/06/2022	Søndag	25	København, drift
27/08/2022	Lørdag		
28/08/2022	Søndag	34	Ballerup, drift
03/09/2022	Lørdag		
04/09/2022	Søndag	35	Ballerup, drift
10/09/2022	Lørdag		
11/09/2022	Søndag	36	Ballerup, drift
17/09/2022	Lørdag		
18/09/2022	Søndag	37	Ballerup, drift
24/09/2022	Lørdag		
25/09/2022	Søndag	38	Ballerup, drift

Kortudsnit

De kortudsnit, der anvendt i rapporten, er taget fra OpenStreetMap, vist i QGIS. Identifikation af de enkelte signalanlæg er tilføjet i QGIS, mens andre oplysninger, som f.eks. placering af kamera, er tilføjet senere.

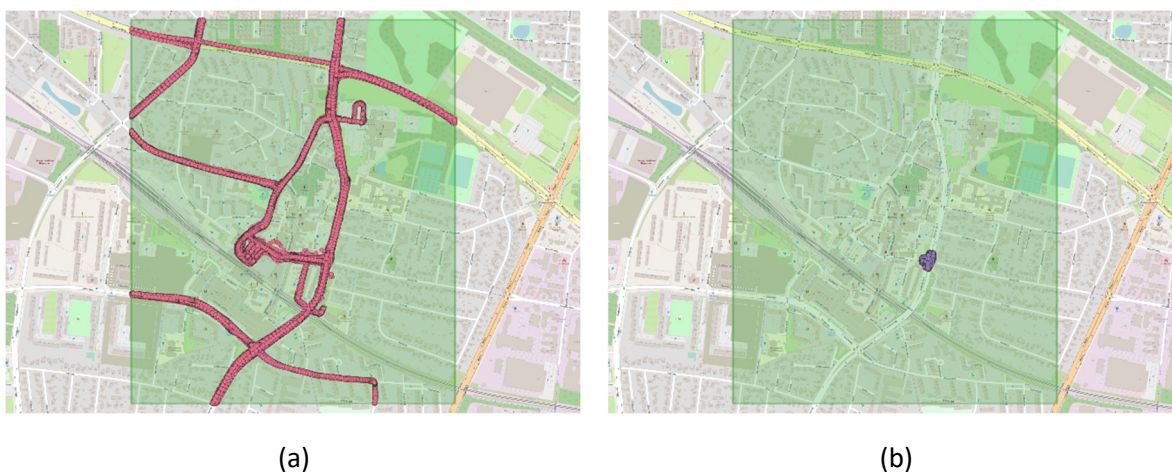
Positionsdata

Ved behandlingen af positionsdata, i forbindelse med evalueringen, er den korteste afstand fra hvert punkt til et af de signalanlæg, der indgår i forsøget, blevet beregnet. De positioner, som ikke ligger i nærheden af et signalanlæg, er derefter blevet filtreret fra, og indgik derfor ikke i den videre databehandling.

Figur 21(a) viser, hvordan de indlæste positioner for København i perioden 1. - 3. maj fordelte sig. Figur 21(b) viser, hvordan de resterende positioner fordelte sig, når positioner, der ikke lå i nærheden af et signalanlæg på den definerede korridor, blev sorteret fra.



Figur 21: Positioner i København for perioden 1. - 3. maj 2022. I (a) ses de 2.648.673 positioner, der blev rapporteret. I (b) ses de 286.793 positioner, der ikke blev sorteret fra. (© OpenStreetMap, tilføjelser af forfatteren.)



Figur 22: (a) viser, hvordan de 290.755 positioner, der er blevet rapporteret i Ballerup d. 22. marts 2022, fordelte sig. (b) viser fordelingen af de 14.643 positioner, der ikke blev sorteret fra. (© OpenStreetMap, tilføjelser af forfatteren.)

For at finde den tid, der bruges op til et signalanlæg, og som afgør, om en bus holder i kø eller ej, benyttes de punkter, der er registreret op til 100 meter før signalanlægget. Passagetiden over et kryds beregnes fra 30 meter før krydset til 30 meter efter. Det er derfor kun punkter, der ligger fra 100 meter før et kryds til 30 meter efter, der er af interesse. For at bestemme, om et punkt ligger før eller efter krydset, sammenlignes afstanden mellem punktet og krydset for to på hinanden følgende punkter. Hvis afstanden falder, er bussen på vej mod krydset, og punktet ligger derfor før krydset. Hvis afstanden stiger er punktet placeret efter krydset.

Fremkommelighedsanalyse

Filerne, der indeholder data fra fremkommelighedsanalyserne, indeholder ikke datoer. Derfor er feltet *JourneyPointRef*, der indeholder datoen som en del af en samlet streng, benyttet i stedet. Datoen er udtrukket fra feltets indhold, og tilføjet som separat felt for videre databehandling.

Analyse af videoer

Tælling af køretøjer er foretaget ud fra videoer, der er optaget af trafikken fra Linde Allé i Ballerup. Kameraet har været placeret, så det har filmet trafikken i krydset forfra. Det betyder, at venstresvingende trafik er kørt i den højre vognbane, og højresvingende har kørt i den venstre vognbane. Videoerne er blevet manuelt analyseret, og et køretøj er blevet registreret, når det har passeret stoplinjen i en af vognbanerne. For hvert køretøj er tidspunktet for passagen, samt køretøjstypen blevet registreret.

Kørlængder er blevet vurderet ud fra ovenstående registreringer. Hvis køretøjer har passeret stoplinjen mindre end ti sekunder efter hinanden er det antaget, at de har været i kø. En anslået kørlængde er herefter beregnet ud fra køretøjstypen på de involverede køretøjer, hvor en personbil/varevogn er sat til seks meter, en lastbil er sat til 15 meter og en bus er sat til 18 meter. Til den samlede køretøjslængde er derefter lagt to meter som mellemrum mellem køretøjer.

Behandling af aggregerede data fra IntelliGo

IntelliGo har leveret aggregerede data fra fire datoer, så de akkumulerede kørlængder kunne sammenlignes, nemlig to dage i juni (2. og 3.) og to datoer i september (19. og 23). Desværre er filerne fra henholdsvis 2. juni og 23. september mangelfulde, og indeholder ikke registreringer før kl. 11.

Måling af kørlængder

I gennemgangen af data i forbindelse med evaluering af RI #14 (se afsnit 6.6.2) henvises til trafik fra forskellige retninger på henholdsvis Hold-An Vej og Linde Allé. Hvordan de retninger, der fremgår af data (*A1Left*, *A1Right*, mv.) henviser til spor på de to veje fremgår ikke direkte af data. Sammenhængen er fundet ud fra en sammenligning af data og de spor, der er i krydset. Selvom disse virker oplagte, kan de være forkert tolkede, og kan derfor være en kilde til fejl.

Da målingen af kørlængder i september ikke er opdelt i de samme spor som målingen i juni, kan det være svært umiddelbart at sammenligne de målte kørlængder. Med en antagelse om, at *A1* i september dækker trafikken på både *A1Left* og *A1Right* fra juni, og tilsvarende for *A2*, anvendes den maksimalt målte værdi i begge retninger i sammenligningen.

Bilag E: Forskel på forsinkelser på første og sidste busstop

En ulempe ved måling af forsinkelserne i forhold til køreplanen ved alle signalanlæg i korridoren er, at dette også medtager den forsinkelse, der allerede måtte være, inden en bus når korridoren. En eventuel formindskelse af forsinkelsen kan derfor blive overskygget af en stor forsinkelse opnået uden for korridoren. Derfor ses herunder på den forskel i forsinkelse, der opnås på korridoren. Konkret betyder det, at forsinkelsen ved en buslinjes sidste stop på korridoren fratrækkes forsinkelsen ved første stop. For at finde et gennemsnit for ændringen i forsinkelse ses på forskellen på den gennemsnitlige forsinkelse ved første og sidste stop i korridoren.

I Tabel 21 herunder ses forskellene på forsinkelserne for de enkelte buslinjer ved deres første og sidste busstop på korridoren i København i myldretiden, i henholdsvis baseline- og driftsperioden. Tilsvarende ses for busser uden for myldretiden i

Tabel 22.

Tabel 21: Forskellene på forsinkelserne ved første og sidste busstop på korridoren i København i myldretiden. Forsinkelser er målt i minutter. Bemærk, at der har været problemer med at behandle data for linje 350S i retning mod Nørreport St.

Buslinje	Retning	Baseline			Drift		
		Gennem-snitlig forsinkelse (første)	Gennem-snitlig forsinkelse (sidste)	Ændring	Gennem-snitlig forsinkelse (første)	Gennem-snitlig forsinkelse (sidste)	Ændring
14	Ryparken	0,65	0,76	18,52%	0,56	0,84	50,24%
5C	Herlev Hospital	1,89	2,28	20,94%	1,5	1,78	18,90%
	Københavns Lufthavn	2,53	2,39	-5,62%	2,53	2,19	-13,46%
350S	Ballerup St.	0,84	1	19,26%	0,59	1,01	71,26%
	Nørreport St.	1,68	-	-	1,31	-	-
1A	Hellerup St.	0,74	0,78	4,40%	1,1	1,12	1,48%
	Avedøre St.	1,96	1,96	0,00%	1,1	1,05	-4,54%

Tabel 22: Forskellene på forsinkelserne ved første og sidste busstop på korridoren i København uden for myldretiden. Forsinkelser er målt i minutter. Bemærk, at der har været problemer med at behandle data for linje 350S i retning mod Nørreport St.

Buslinje	Retning	Baseline			Drift		
		Gennem-snitlig forsinkelse (første)	Gennem-snitlig forsinkelse (sidste)	Ændring	Gennem-snitlig forsinkelse (første)	Gennem-snitlig forsinkelse (sidste)	Ændring
14	Ryparken	0,51	0,57	12,02%	0,54	0,82	52,92%
5C	Herlev Hospital	1,44	1,67	15,62%	1,32	1,58	19,78%
	Københavns Lufthavn	2,39	2,32	-3,02%	2,49	2,19	-12,02%
350S	Ballerup St.	0,67	1,11	64,76%	0,59	1,03	74,78%
	Nørreport St.	1,24	-	-	1,28	-	-
1A	Hellerup St.	0,81	0,92	13,06%	1,02	1,06	3,76%
	Avedøre St.	1,72	1,75	2,04%	0,98	0,92	-5,48%

Ud fra de ovenstående tabeller er det ikke umiddelbart muligt at konkludere, om der entydigt spores en reduktion af forsinkelserne mellem første og sidste busstop på korridoren for de enkelte ruter, når resultaterne for driftsperioden sammenlignes med resultaterne for driftsperioden. Dette gælder både i og uden for myldretiden. Der ses dog en tendens til, at linjerne 5C og 1A oplever en stigning i den gennemsnitlige forsinkelse for busser, der kører i retning væk fra Nørreport St., mens busser, der kører i retning mod Nørreport St. oplever et fald i den gennemsnitlige forsinkelse.

Bilag F: Begreber

Tabellen herunder forklarer en del af de begreber, der indgår i rapporten.

Begreb	Forklaring
Aggressiv busprioritering	Se <i>Busprioritering</i> . Forskellen på aggressiv busprioritering, og almindelig busprioritering er, at der ved aggressiv busprioritering er en større andel af busserne, der bliver prioriteret i signalanlæg, og dermed reduceres den unødige forsinkelse de oplever i krydsene. Med aggressiv busprioritering kan man forsøge at opnå, at busserne kun holder ved stoppestederne til passagerudveksling, og ikke ved de signalregulerede kryds.
Anmelde / Afmelde	Anmelde/Afmelde sker ved et virtuelt geografisk punkt, som er placeret i en given afstand før stoplinjen. Når bussen passerer anmeldepunktet, sendes en anmodning til styreskabet i det kommende signalanlæg.
Anmodning	Se <i>Prioritetsanmodning</i>
Baselineperiode	En periode, hvor det system, hvis effekt skal evalueres, ikke er i drift. Baselineperioden benyttes til at lave målinger uden systemet, der kan sammenlignes med målinger fra driftsperioden, hvor systemet er i drift.
Busprioritering	Ved almindelig busprioritering forstås, at busserne aktiv påvirker grøntidsfordelingen i det enkelte signalanlæg, eller fremkalder en hjælpefase til gavn for busserne, så f.eks. grøntiden for bussen forlænges, eller rødtiden forkortes
Busstoppested	Et fast angivet sted, hvor bussen stopper, for at tage nye passagerer med og sætte andre passagerer af. Et stop/ophold ved et busstoppested er uafhængigt af signalvisning i et nærliggende signalanlæg.
Driftsperiode	En periode, hvor det system, hvis effekt skal evalueres, er i drift. Driftsperioden benyttes til at lave målinger med systemet, der kan sammenlignes med målinger fra baselineperioden, hvor systemet ikke er i drift.
Intelligent busprioritering	Se <i>Busprioritering</i> . Forskellen på intelligent busprioritering, og almindelig busprioritering er, at det ved intelligent busprioritering primært er busser, der er bagud i forhold til deres køreplan, der får prioritet, også selvom der er busser på krydsende veje i et kryds. Derudover vægtes de enkelte buslinjer i forhold til hinanden, når der tages højde for, hvilke busser, der skal have prioritet.
Myldretid	Myldretiden er den tid, hvor der forventes mest trafik i løbet af en dag. Den er typisk sammensat af to perioder: morgenmyldretiden, der ligger på hverdage i tidsrummet 7-9, og eftermiddagsmyldretiden, der ligger i tidsrummet 15-18.
Opholdstid	Den tid en bus opholder sig ved et busstoppested. Den kan bestå af udligningstid ifm. overholdelse af den gældende køreplan og passagerudvekslingstid ifm. på- og afstigning.
Passagerudveksling	Når passagerer enten står af eller på bussen. Sker oftest ved et busstoppested.
Prioritetskonflikt	Hvis busser fra forskellige retninger samtidig anmoder om prioritet i det samme kryds, opstår en prioritetskonflikt, da begge busser ikke kan få førsteprioritet.

Prioritetsanmodning En bus, der ankommer til et signalreguleret kryds, kan anmode om at blive prioriteret i krydset. Hvis dette kan ske, betyder det, at bussen påvirker grøntidsfordelingen.
