

Denne artikel er publiceret i det elektroniske tidsskrift

Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet

(Proceedings from the Annual Transport Conference
at Aalborg University)

ISSN 1603-9696

www.trafikdage.dk/artikelarkiv

Bluetooth-datas egnethed til bestemmelse af retningsfordelinger og trafikmængder i vejkryds

Asbjørn Halskov-Sørensen, mailadresse

Aarhus Kommune

Abstrakt

Som et led i uddannelsen til civilingeniør i Veje og Trafik på Aalborg Universitet, udarbejdede undertegnede, i forbindelse med et virksomhedsophold i efteråret 2014 hos COWI A/S Aalborg, et projekt omkring mulighederne for at anvende Bluetooth-data til estimering af trafikmængder og retningsfordelinger i vejkryds. Essensen i arbejdet var at finde ud af, hvorvidt de mange Bluetooth-sensorer, som allerede er opsat i en række danske byer, kan anvendes til mere end det de primært er tiltænkt – at estimere rejsetider.

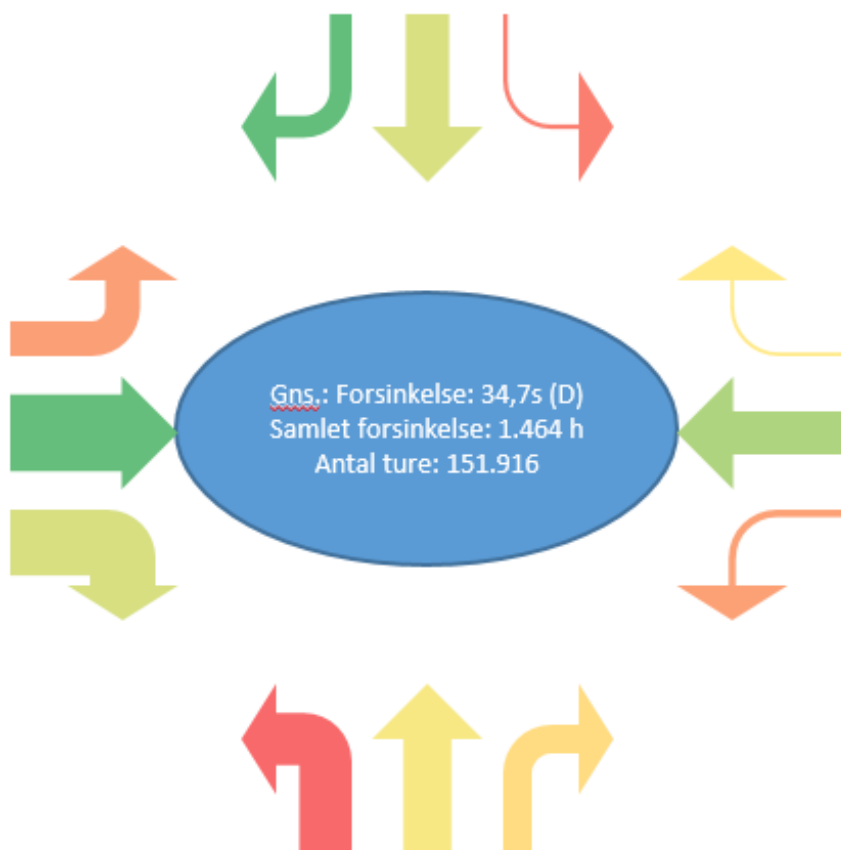
Projektet tog udgangspunkt i data fra to større signalregulerede kryds i Aarhus, og resultaterne viser, at Bluetooth-sensorerne er underkastet så mange ukontrollerbare bias – primært relateret til de stedsspecifikke fysiske omgivelser, at de ikke i sig selv kan estimere trafikmængder eller retningsfordelinger.

Baggrund

Det stigende bilejerskab og den følgelig stigende biltrafik stiller stadig større krav til en effektiv udnyttelse af den til rådighed værende infrastruktur. I den forbindelse er det alment kendt, at det er vejnettets knudepunkter, som i langt de fleste tilfælde sætter barren for vejnettets kapacitet og dermed vejnettets evne til at afvikle trafikken så hurtigt og så gnidningsløst som muligt.

For at kunne optimere trafikflowet gennem trafiksystemets knudepunkter, er det altafgørende at have kendskab til trafikken størrelse og retningsfordeling i det enkelte knudepunkt. Jo mere detaljeret disse størrelser kendes, des bedre er fundamentet for at kunne foretage optimeringer af trafikafviklingen i knudepunkterne. Særligt i forbindelse med signalanlæg vil en detaljeret viden om trafikken størrelse og retningsfordelinger være værdifuld, fordi denne viden hurtigt vil kunne effektueres i en optimering af signalanlæggets programmer.

Problemet er, at disse størrelser ofte bestemmes gennem manuelle tællinger, og dermed er både omkostningstunge at indhente samt er af begrænset omfang og af historisk karakter. Det er derfor undersøgt, hvorvidt det er muligt at anvende Bluetooth-sensorer til at estimere trafikens størrelse og retningsfordeling gennem vejkryds. Et forslag til, hvordan sådanne data vil kunne vises er vist på Figur 1. Piltykkelsen illustrerer trafikmængden, mens farven illustrerer forsinkelsestiden.



Figur 1: Skitseforslag til visning af, trafikmængder, retningsfordelinger og rejsetider for et kryds (COWI's skitse).

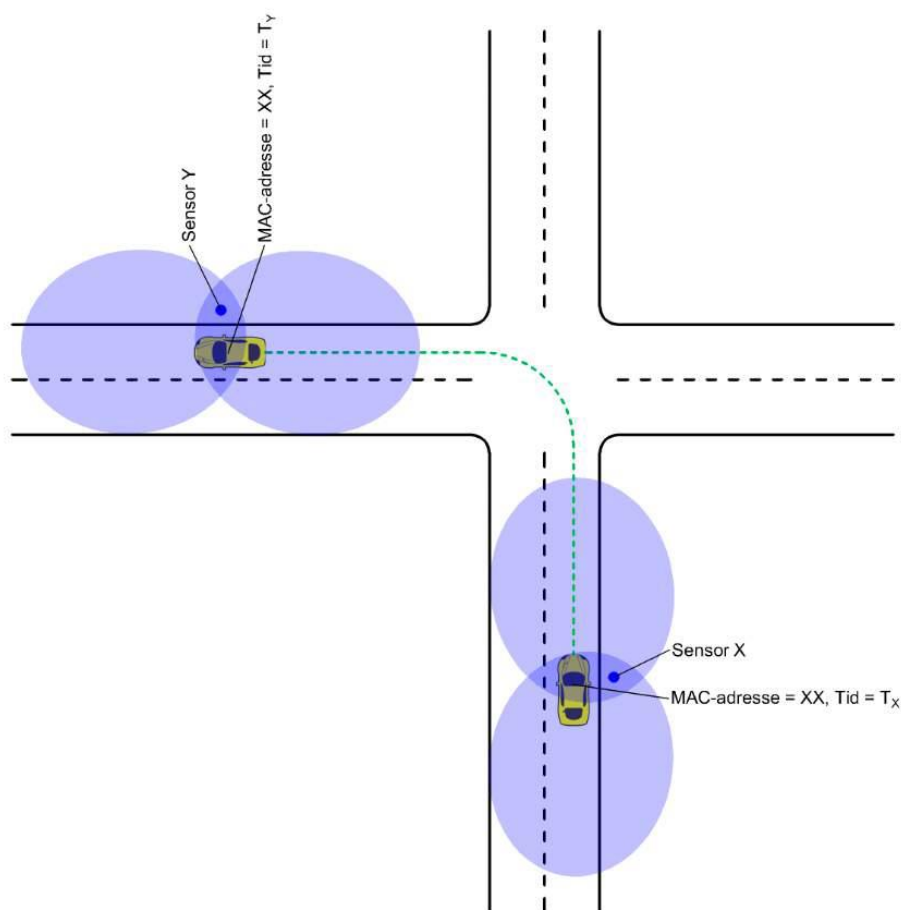
Ideelt set vil figuren kunne vises for vilkårlige tidsintervaller således, at det er muligt at spotte uhensigtsmæssigheder på forskellige tider af døgnet, rette dem til (eksempelvis i signalstyringen) og efterfølgende kunne kontrollere, hvorvidt rettelserne har haft den ønskede effekt. Dette stiller naturligvis store krav til pålideligheden af de data som figuren vil skulle basere sig på, hvorfor denne altså, for Bluetooth-datas vedkommende, er undersøgt.

Undersøgelsen svarer grundlæggende på følgende tre spørgsmål:

- Hvilke afvigelser er der mellem registreringer med Bluetooth og manuelle kameratællinger?
- Er afvigelserne systematiske eller tilfældige, og kan betydningen af afvigelserne fjernes ved at betragte større tidsrum?
- Kan der opsættes retningslinjer for, hvornår Bluetooth kan anvendes?

Bluetooth som trafikdataindsamler

Bluetooth-sensorer anvendes i dag primært – i trafikmæssig sammenhæng – til at kortlægge rejsetider mellem opsatte sensorer. Teknologien udnytter, at mange trafikanter medbringer tændt Bluetooth-udstyr når de transporterer sig. Dette være sig mobiltelefoner, navigationsanlæg, håndfri headsets mv. Enhederne udsender, når de er tændte, deres unikke MAC-adresser, som opfanges af sensorerne ved passage, og som anvendes til at parre registreringer mellem forskellige sensorer, hvorved der konstrueres ture, og kan beregnes rejsetider. Princippet er illustreret på Figur 2.



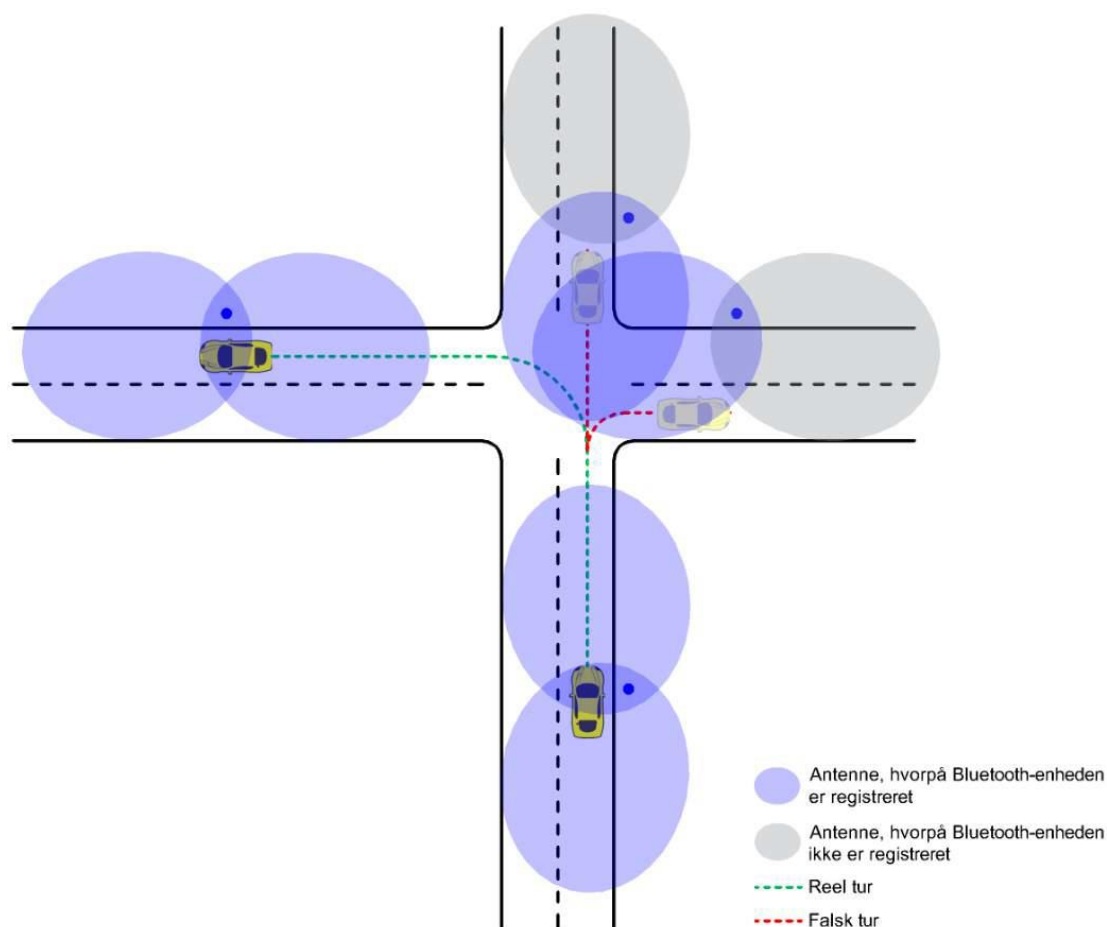
Figur 2: Princippet i brugen af Bluetooth-sensorer til trafikdataregistrering.

Rejsetidsestimeringer er i mindre grad afhængige af, i hvor høj grad der på forskellige ruter registreres lige store andele af trafikken. Når det kommer til at anvende data til at estimere trafikmængder og retningsfordelinger gennem kryds, er det dog helt afgørende, at der er en rimelig tydelig korrelation mellem antallet af køretøjer som passerer gennem et kryds og antallet af registreringer der indsamles, og at forholdet herimellem er nogenlunde identisk for enhver tur mellem to sensorer. Idet der reelt set ikke tælles trafik men Bluetooth-enheder er der imidlertid en lang række faldgruber, som kan give væsentlige bias i resultaterne. Rent teknisk kan disse relatere sig til:

- Placeringen af Bluetooth-sensorerne og indstillingen af disses antenner
- Størrelsen af sensorernes dækningsområde

Meget tyder på, at der er sammenhæng mellem sensorernes placering i det fysiske miljø (ift. bygninger, bevoksning, afstand fra vejen der registreres på etc.) og registreringsandelen. Idet det fysiske miljø naturligvis varierer fra sted til sted lige så vel som muligheden for at placere sensorerne i samme afstand til vejen, udgør dette formentligt et væsentligt bias.

Størrelsen af detekteringsområdet har dels betydning for, hvor meget, dels hvad, der registreres. Jo større detekteringsområdet er, jo længere tid befinder Bluetooth-enheder sig inden for detekteringsområdet, og jo større er chancen for detektering. Til gengæld øges også risikoen for, at der registreres uønsket trafik. Dette opstår f.eks. hvis en sensor er placeret for tæt på krydset, og derved kan "se" trafik fra andre retninger end den vejgren, hvorpå den er placeret. Problemet er illustreret på Figur 3.



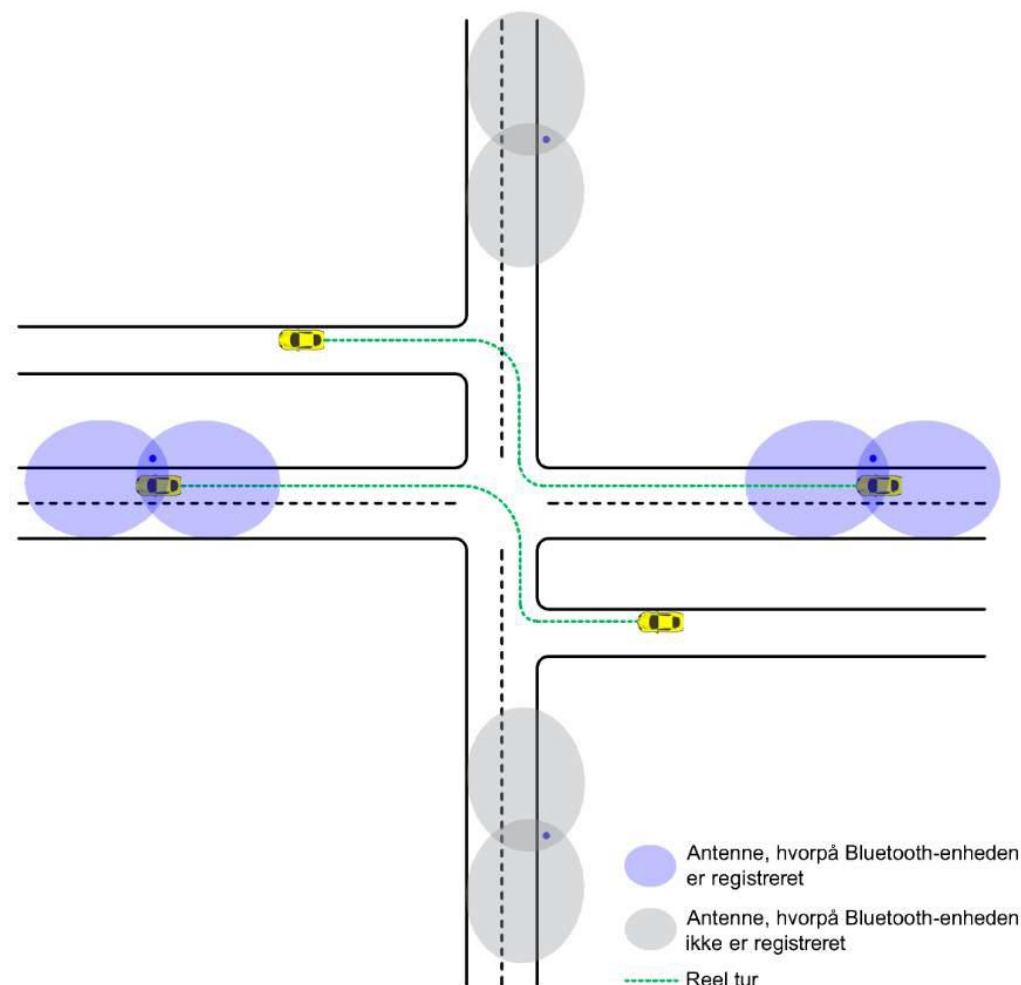
Figur 3: Illustration af problematikken med sensorernes dækningsområder. På ovenstående skitse registreres tre ture, hvoraf kun den ene er reel.

Denne undersøgelse tager udgangspunkt i de sensorer som anvendes af COWI. Disse indeholder to retningsbestemte antenner, som hver især registrerer MAC-adressen for den passerende enhed. Ovenstående problematik kan derfor, stort set, løses ved at kræve, at en enhed skal være "set" af begge antenner på hver sensor, før end en tur accepteres. Dette krav er derfor også en del af den automatiske algoritme, som filterer registreringerne.

Udover de rent tekniske bias kan der også optræde bias, som relaterer sig til trafikanterne, trafikken og vejnettets struktur, herunder:

- Forskelle i udbredelsen af detekterbart Bluetooth-udstyr blandt trafikanterne på forskellige vejtyper
- Influens på data fra cyklister og fodgængere
- Betydende vejtilslutninger mellem Bluetooth-sensorer og krydset der ønskes registreret

Sidste punkt er illustreret på Figur 4. Er der betydende sidevejstilslutninger mellem det kryds der ønskes trafikestimer for og Bluetooth-sensorerne, vil en del af den trafik, som reelt har passeret krydset, ikke blive registreret.



Figur 4: Betydningen af sidevejstilslutninger mellem det primære krydsområde og Bluetooth-sensorerne.

Datafiltrering

Som nævnt gennemgår de registrerede data i COWI's system en automatisk filtrering, som skal sikre, at det samlede billede ikke påvirkes betydeligt af ture som ikke er kørt direkte mellem to sensorer.

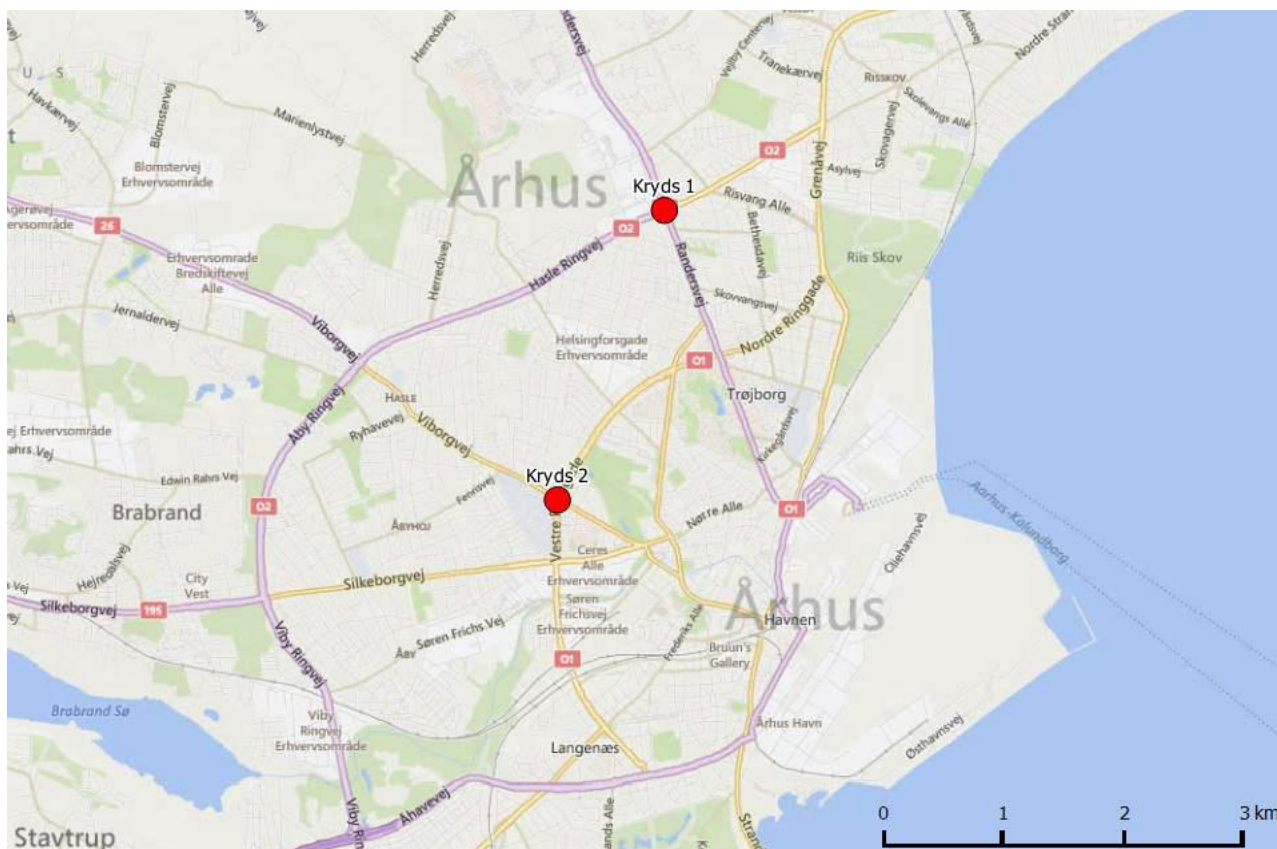
Filtreringsalgoritmen udgøres af 7 successive trin, og er optimeret til at sørge for, at rejsetiderne kan bestemmes så korrekt som muligt. Filtreringsalgoritmen beskrives ikke i detaljer i denne artikel.

Metode

Undersøgelsen er udført som et case-studie, og involverer to større signalregulerede kryds i Aarhus. Disse udgøres af:

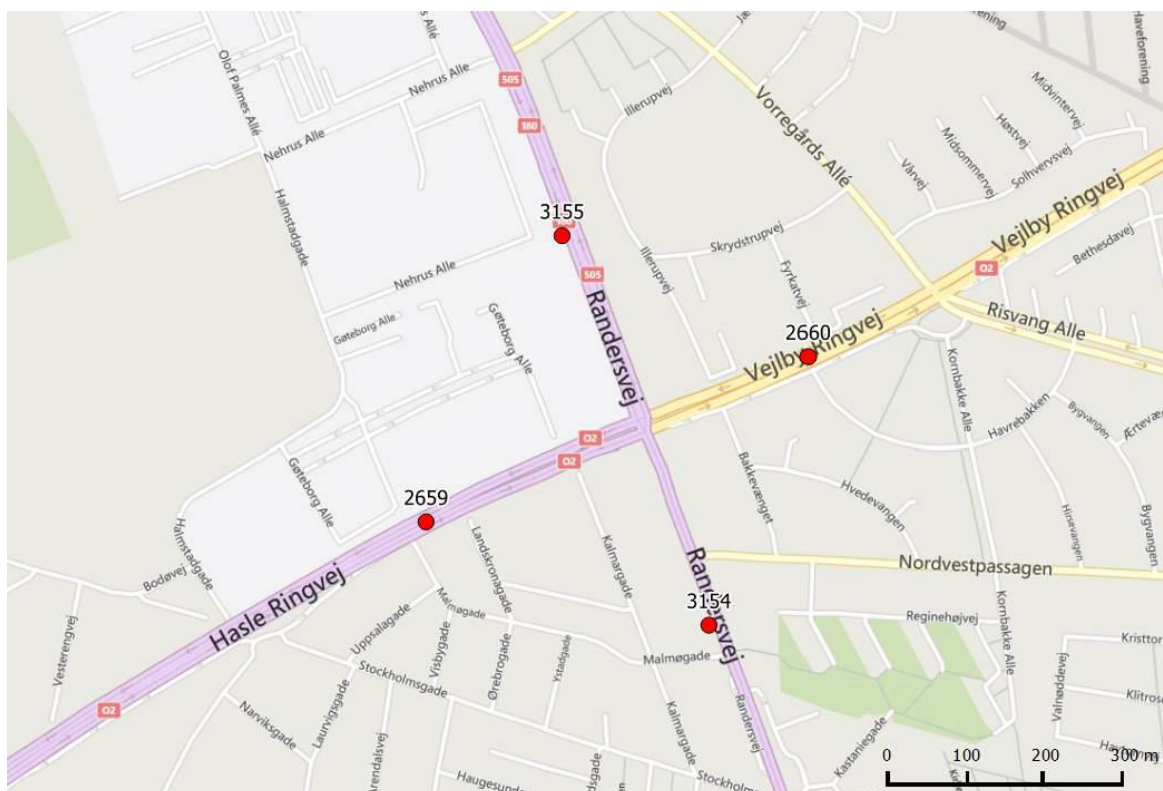
- Kryds 1: Randersvej/Ringvejen
- Kryds 2: Viborgvej/Ringgaden

Krydsenes placering er vist på Figur 5.

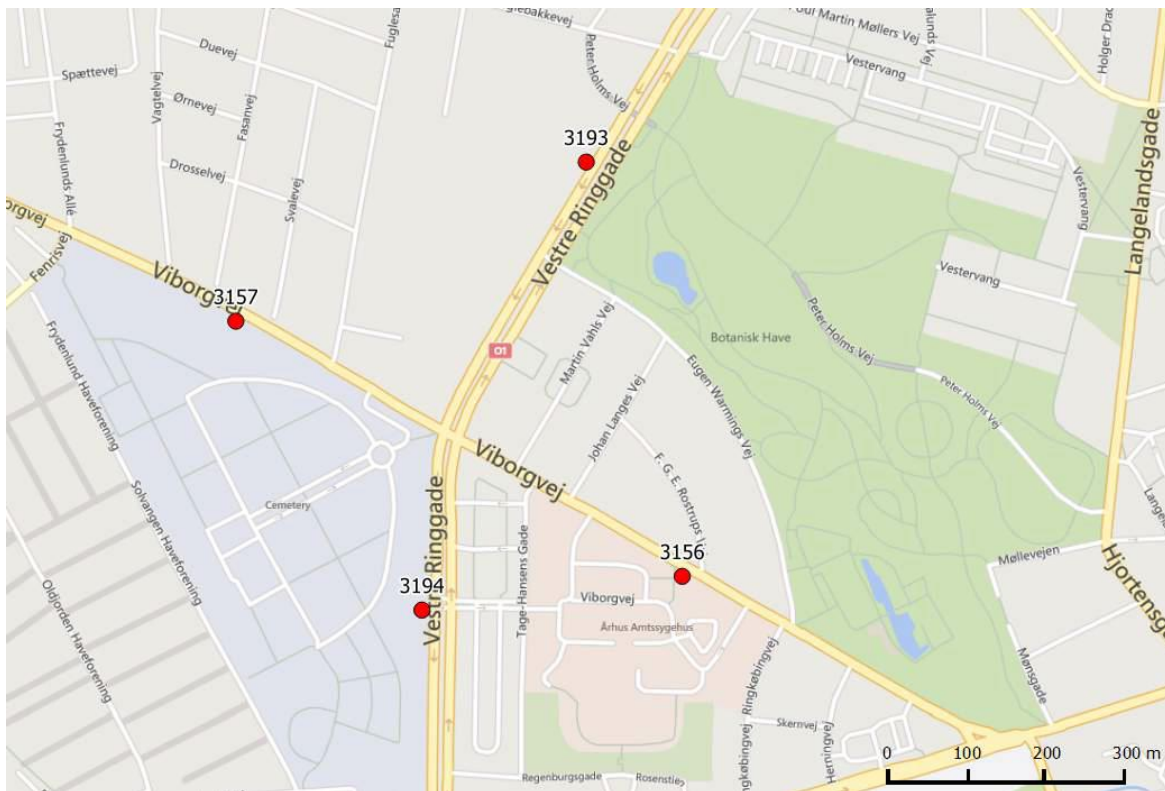


Figur 5: De to case-kryds, som studiet baserer sig på.

Begge kryds har sensorer i hvert ben. Sensorernes placeringer er vist på Figur 6 og 7.



Figur 6: Sensorplacering i Kryds 1.



Figur 7: Sensorplacering i Kryds 2.

For hvert kryds haves Bluetooth-data for en godt 7 måneder lang periode (fra primo februar til medio september 2014). Herudover haves for hvert kryds kameratællinger for 2 sammenhængende dage á 12 timer (fra 06-18). Begge kryds er talt en onsdag og torsdag i september 2014. Kameratællingerne antages at være udtryk for de sande trafikmængder og retningsfordelinger i krydset. Der er udført kontrol på tællingerne, som viser, at denne antagelse er helt ok.

Der er udført individuelle studier af Bluetooth-data og sammenligninger af Bluetooth-data med kameratællingerne. Begge dele tjener det formål, at kunne afgøre, hvorvidt Bluetooth-data giver et repræsentativt billede af trafikken i de to kryds, hvad angår retningsfordelinger, samt hvorvidt der kan udledes en skaleringsfaktor til at opregne antallet af registrerede Bluetooth-enheder i et kryds til antallet af reelle motorkøretøjssture.

Resultater

Projektet rummer en lang række resultater, og derfor vil kun en delmængde præsenteres her.

Hvad registreres?

De individuelle studier af Bluetooth-data viser først og fremmest, at kategorierne "Phone" og "Audio/video" udgør langt hovedparten af de registrerede enheder i de to kryds. Heraf udgør Audio/Video hovedparten med ca. 70 % af registreringerne. Fordelingen er vist på Figur 8, og er baseret på 100.000 registreringer fra hvert kryds. Det er bemærkelsesværdigt at kun 30 % af registreringerne er fra mobiltelefoner. Dette kan dels hænge sammen med, at iPhones slet ikke detekteres, og dels med, at mange trafikanter kun har slået Bluetooth til på deres telefoner, hvis de skal bruge det aktivt. Et resonnement kunne derfor være, at en stor del af de telefoner der registreres er koblet til brugen af de enheder der

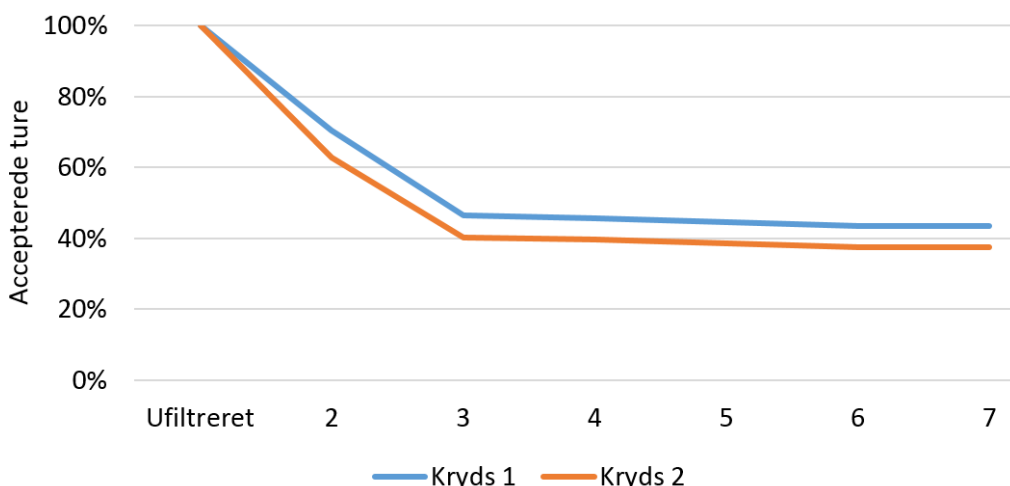
hører til "Audio/Video" og derfor kan knyttes til motorkøretøjer. Er dette korrekt er data dermed kun i ringe grad påvirket af cyklister og fodgængere.

Major Device Class	Kryds 1	Kryds 2
Miscellaneous [Ref #2]	0,3%	0,3%
Computer (desktop, notebook, PDA, organizer, ...)	1,1%	0,9%
Phone (cellular, cordless, pay phone, modem, ...)	26,4%	27,8%
LAN /Network Access point	0,2%	0,1%
Audio/Video (headset, speaker, stereo, video display, VCR, ...)	70,7%	69,4%
Peripheral (mouse, joystick, keyboard, ...)	0,0%	0,0%
Imaging (printer, scanner, camera, display, ...)	0,1%	0,2%
Wearable	0,0%	0,0%
Toy	0,0%	0,0%
Health	0,0%	0,0%
Uncategorized: device code not specified	1,2%	1,2%

Figur 8: Fordelingen af registrerede enheder på Major Device Class-niveau.

Hvor meget filtreres fra?

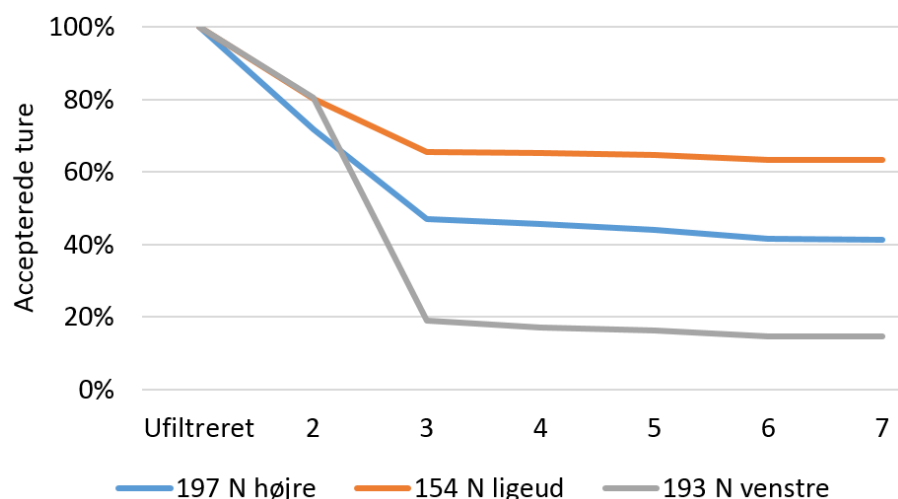
Den automatiske filtreringsalgoritme filtrerer en stor del af de registrerede data i de to kryds fra. Det er undersøgt i hvilke af de 7 trin de største mængder data frasorteres, og langt hovedparten viser sig at falde for kravet om, at en enhed skal ses på begge sensorens antenner i både rutens start- og slutpunkt (trin 2 og 3 på Figur 9). Kun i omegnen af 40 % af data godkendes gennem alle filtreringstrin. Resultaterne baserer sig på mere end 5 mio. registreringer for de to kryds tilsammen.



Figur 9: Andelen af accepterede ture efter hvert filtreringstrin.

Ses der nærmere på filtreringernes indflydelse for hver rute gennem de to kryds, ses det, at der er store forskelle på, hvor meget af data der sorteres fra på hver enkelt rute, hvormed der altså sker en stor

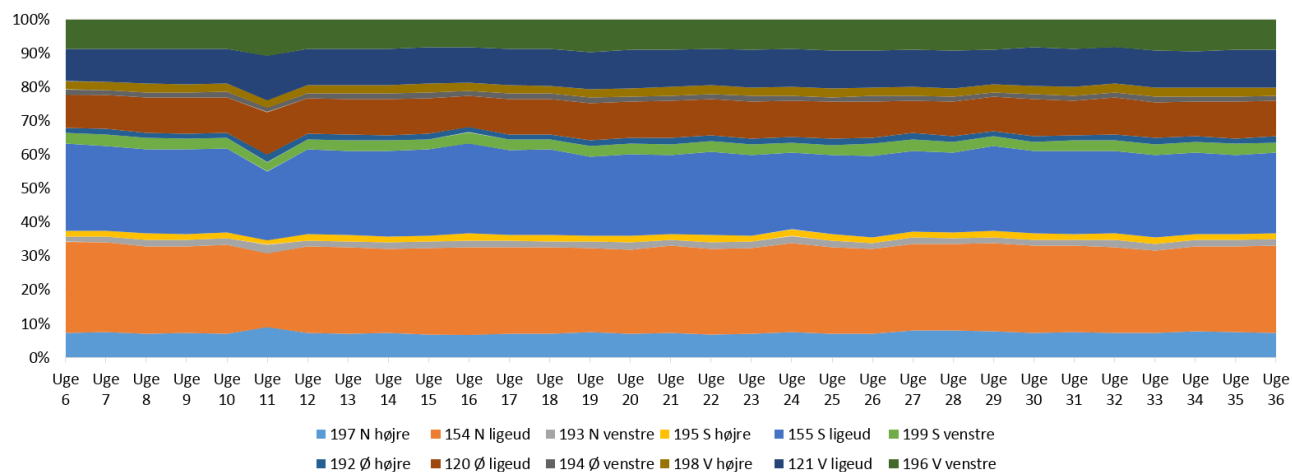
omrokering af retningsfordelingerne fra de rå til de filtrerede data. Et eksempel er vist på Figur 10 for de tre svingretninger i den nordlige vejgren i Kryds 1:



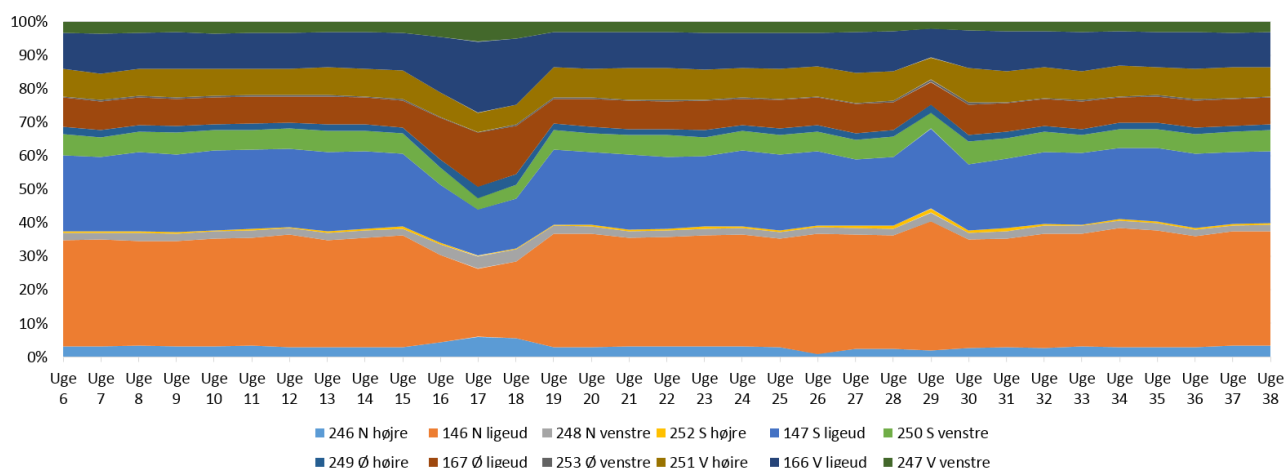
Figur 10: Accepterede ture efter hvert filtreringstrin for den nordlige vejgren i Kryds 1.

Er retningsfordelingerne stabile over tid?

En grafisk gennemgang af Bluetooth-data over en 7 måneder lang periode viser at de registrerede retningsfordelinger i de to kryds er rimeligt konstante over tid – dog med enkelte markante udsving, som typisk skyldes, at en sensor har været offline. Et eksempel på de registrerede retningsfordelinger i Kryds 1 på hverdage (aggregeret på ugeniveau) er vist på Figur 11 og for Kryds 2 på Figur 12.



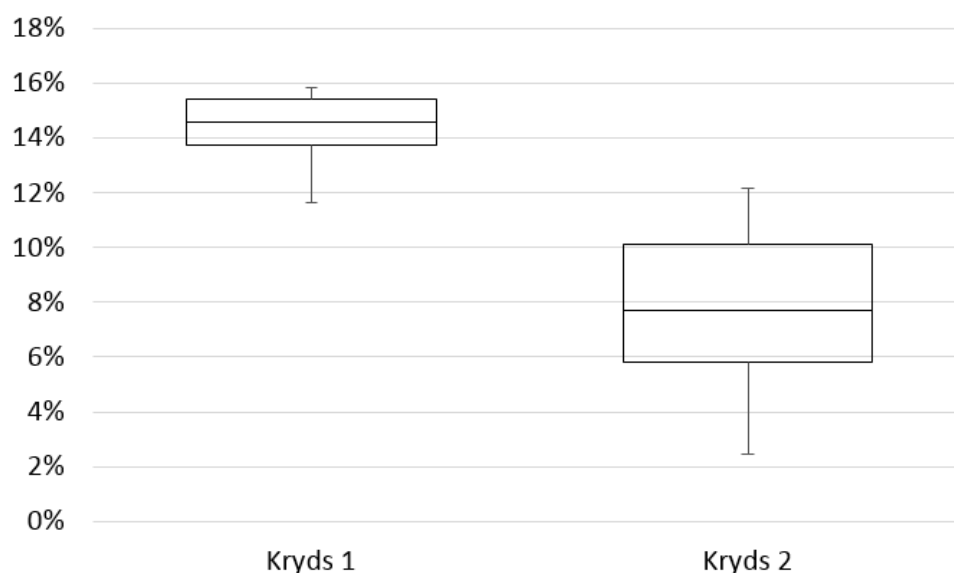
Figur 11. Andelen af registrerede enheder på hver af de tolv retninger gennem Kryds 1.



Figur 12. Andelen af registrerede enheder på hver af de tolv retninger gennem Kryds 2.

Hvor stor en andel af trafikken registreres?

Ved at sammenligne data for kameratællingerne med Bluetooth-data for de eksakt samme tidsrum er det analyseret, hvor stor en andel af trafikken, som de registrerede antal Bluetooth-enheder udgør i de to kryds. Dette er sket på flere forskellige niveauer. Dels er der gennemført analyser for registreringsandelen på hver rute gennem krydsene og dels for krydsene som helhed i forskellige tidsopløsninger. Helt overordnet viser boksplottet på Figur 13, at der er meget stor forskel på registreringsandelene i de to kryds som helhed. Boksplottet er opgjort på baggrund af data fra begge dage med kameratællinger, og viser spredningen på registreringsandelen mellem de enkelte ruter gennem de to kryds (hhv. mindste registreringsandel, 1. kvartil, median, 3. kvartil og højeste registreringsandel). Idet boksplottet er opgjort på baggrund af data fra sammenlagt 24 timer, er den rent statistiske usikkerhed på resultatet forsvindende.

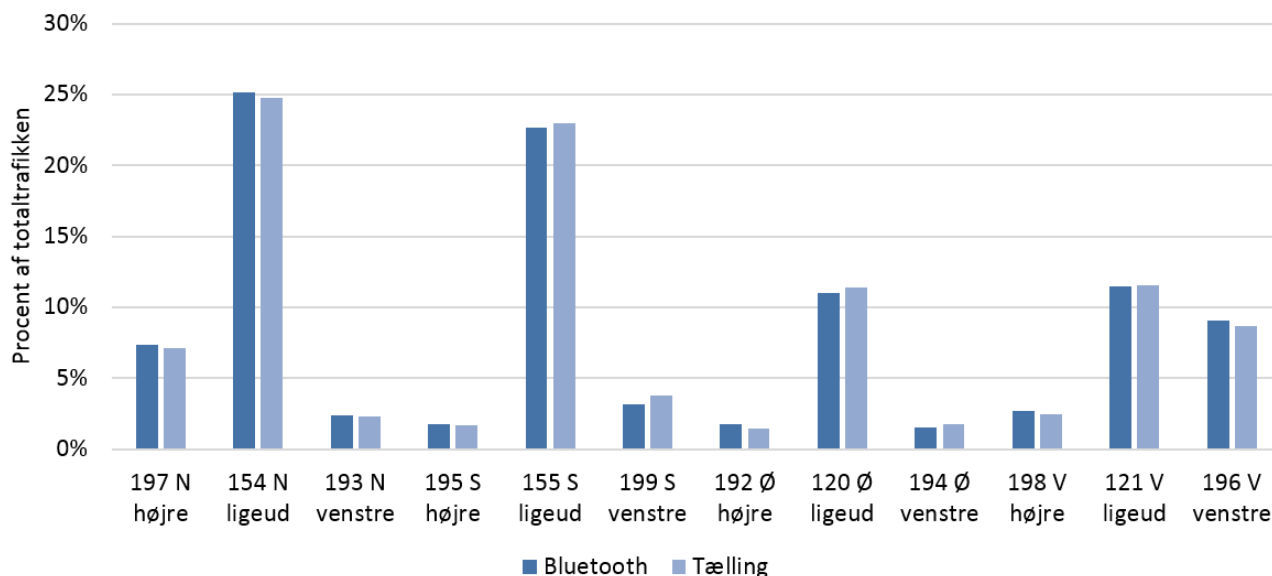


Figur 13: Boksplot over variationen i registreringsandelen på de forskellige ruter gennem de to kryds.

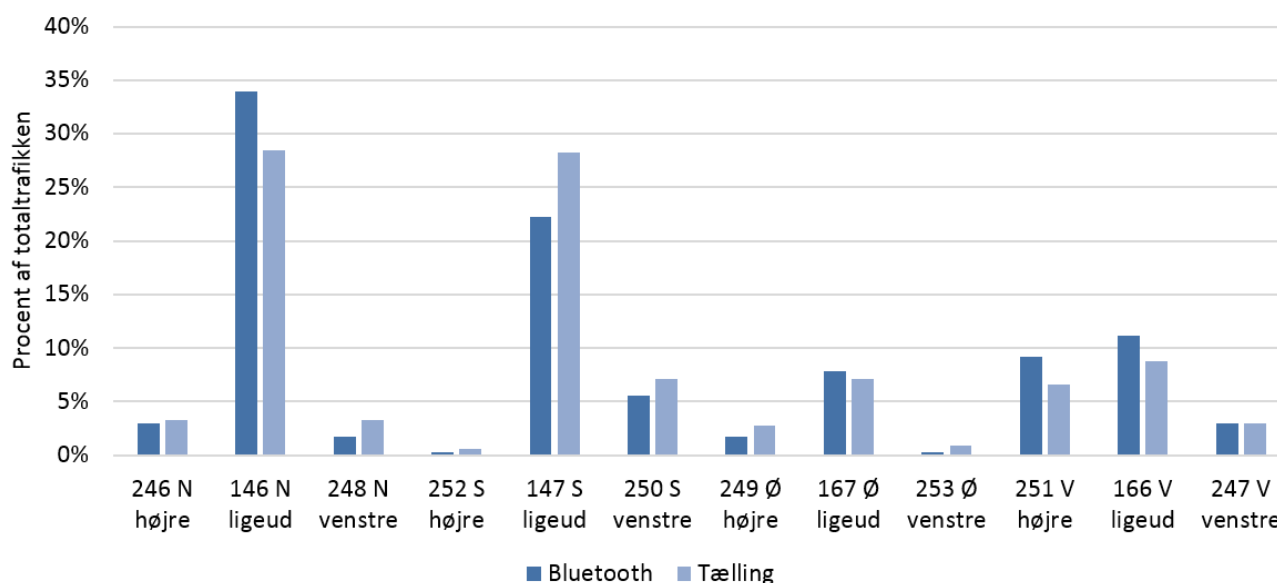
Der er dermed meget markant forskel på registreringsandelene i de to kryds, og det kan således konstateres, at der ikke kan eksistere en entydig skaleringsfaktor mellem antallet af registrerede Bluetooth-enheder og antallet af reelle trafikanter på en rute mellem to sensorer. Samtidig viser den store spredning

mellem ruten med den mindste hhv. ruten med den største registreringsandel i Kryds 2, at også retningsfordelingerne er problematiske at stole på – selv når der betragtes meget store tidsrum.

Der er udført en del analyser af Bluetooth-retningsfordelingernes afvigelser fra de reelle, og her viser det sig ligeledes, at der særligt i Kryds 2 er større uoverensstemmelser. På dagsniveau er sammenligninger af de virkelige, hhv. bluetooth-retningsfordelingerne vist på Figur 14 for Kryds 1 og Figur 15 for Kryds 2.



Figur 14: Sammenligning af retningsfordelinger i Kryds 1 på dagsniveau (12 timer).



Figur 15: Sammenligning af retningsfordelinger i Kryds 2 på dagsniveau (12 timer).

Konklusion

Bluetooth-data kan ikke alene bruges som en indikation af, hvor meget trafik der er på en given rute mellem to sensorer, og kan ej heller anvendes til at estimere retningsfordelinger i kryds med en rimelig sikkerhed. Fejlene mindskes generelt når større tidsrum betragtes, men ikke nødvendigvis til et acceptabelt niveau. Undersøgelsen viser, at der er meget store forskelle i datas pålidelighed imellem to kryds, som

ellers afvikler stort set samme mængde årsdøgntrafik, og som ikke er afgørende forskellige fra hinanden. Dermed er data underkastet væsentlige systematiske bias, som varierer kraftigt fra en lokalitet til en anden, og som ikke, på baggrund af denne undersøgelse, er umiddelbart forudsigelige.