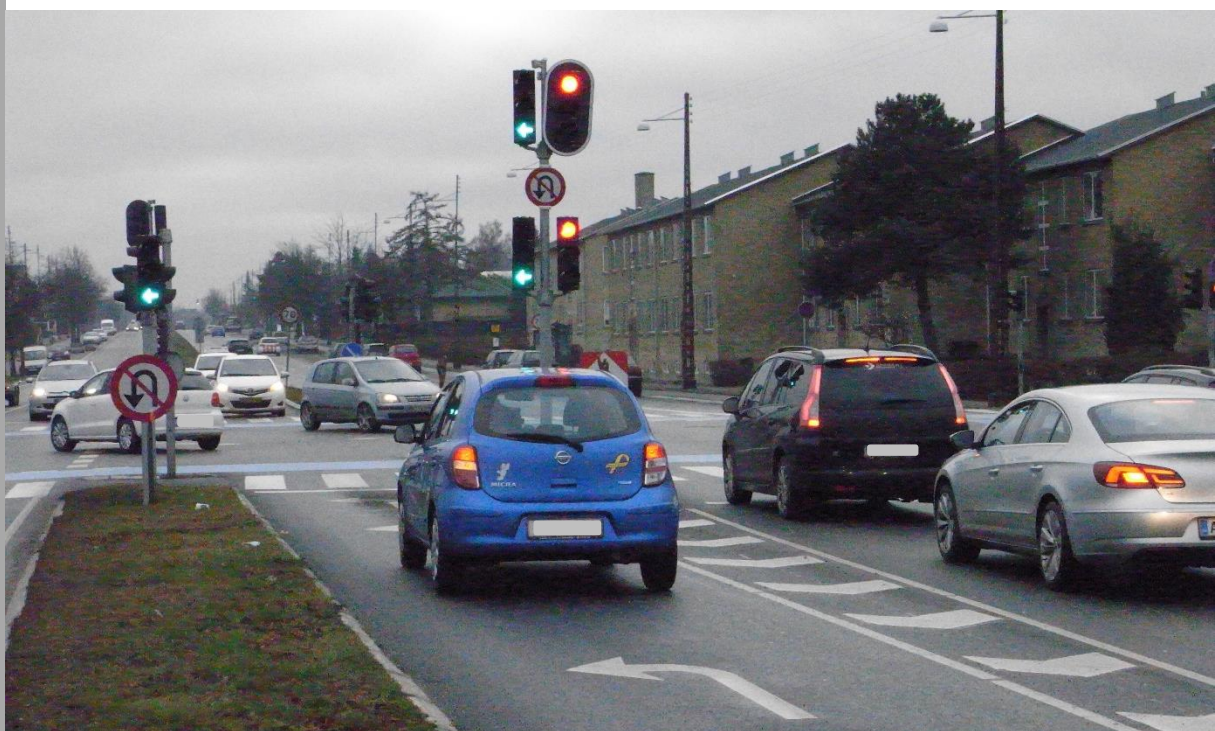


# Trafiksikkerhedsmæssige effekter af signalanlæg

Litteraturstudie og før-efter uheldsevaluering af svingfaser



Søren Underlien Jensen  
Thomas Skallebæk Buch

Januar 2017



# Indhold

<b>Sammenfatning .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Indledning.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Litteraturstudie.....</b>	<b>13</b>
2.1 Nomenklatur .....	13
2.2 Litteratursøgning.....	15
2.3 Referering af undersøgelser og studier .....	16
2.3.1 Signalregulering af kryds.....	16
2.3.2 Driftsform .....	17
2.3.3 Mellemtid.....	18
2.3.4 Svingfaser .....	22
2.4 Opsummering og manglende viden .....	25
<b>3. Før-efter uheldsevaluering af svingfaser .....</b>	<b>27</b>
3.1 Datagrundlag.....	27
3.1.1 Undersøgelsens kryds .....	27
3.1.2 Udtrækning af uheld .....	28
3.1.3 Bearbejdning af kryds- og uheldsdata .....	29
3.2 Metode .....	31
3.2.1 Korrektion for generelle udviklinger i trafikikkerheden .....	32
3.2.2 Korrektion for regressionseffekt.....	34
3.2.3 Samlet effekt og statistisk behandling .....	37
3.3 Resultater .....	40
3.3.1 Overordnede effekter af nye svingfaser.....	40
3.3.2 Effekt af bundet venstresving .....	43
3.3.3 Effekt af 1-lys venstresvingsspil .....	46
3.3.4 Effekt af bundet højresving .....	47
3.3.5 Effekt af 1-lys højresvingsspil .....	47
3.3.6 Signaltekniske forholds betydning for effekt af bundet venstresving ..	48
3.3.7 Krydsdesigns betydning for effekt af bundet venstresving .....	56
3.3.8 Andre forholds betydning for effekt af bundet venstresving.....	60
3.4 Opsummering af før-efter uheldsevalueringen.....	64
<b>Referencer .....</b>	<b>67</b>
<b>Bilag 1. Kryds i før-efter evalueringen .....</b>	<b>71</b>



# Sammenfatning

Vejdirektoratet og Vejregelgruppen for Trafiksikkerhed har givet Trafitec i opdrag at beskrive trafiksikkerhedsmæssige effekter af signalregulering af kryds og af signalreguleringens udformning. I opgaven indgår et litteraturstudie og en før-efter uheldsevaluering af signalregulerede kryds.

## Litteraturstudie

Litteraturstudiet beskriver resultater af tidligere undersøgelser, der omhandler:

- Sikkerhedsmæssige effekter af signalregulering
- Sikkerhedsmæssige effekter af følgende elementer ved signalreguleringens udformning:
  - Driftsform
  - Mellemtid
  - Svingfase

### *Fremgangsmåde*

Litteratursøgningen er udført ved at foretage systematiske søgninger i tidsskrifter og på diverse søgemaskiner samt rekvirere kilder fra referencelister i studier om trafiksikkerhed og signalregulerede kryds. Der er søgt efter artikler i videnskabelige tidsskrifter og rapporter udgivet af offentlige institutioner såsom universiteter, vejbestyrelser, osv.

Studier baseret på andet end registrerede uheld og personskader er ofte frasorteret, dog med undtagelse af studier af beregninger af sikkerhedstider og mellemtider i signalanlæg med svingfaser. Det vil sige, at bl.a. studier baseret på simulering og adfærdsobservationer hovedsageligt ikke indgår i litteraturstudiet.

### *Resultater*

**Signalregulering af kryds** giver et fald i uheld på ca. 30 %. Effekten synes at være højere, jo flere ben krydset har, jo flere trafikanter der krydser primærvejen, og jo tættere krydset er placeret på andre signalanlæg. Signalregulering af kryds giver ofte store fald i tværkollisioner og venstresvingsuheld, men også store stigninger i bagendekollisioner. Ved signalregulering af kryds sker der også fald i uheld på vejene hen til kryds op til 200 meter fra krydset. Det er i dag uvist om sikkerhedseffekter af signalregulering af kryds afhænger af hastighedsbegrænsningen (fx er forskellig i by- og landzone), og om sikkerhedseffekter på veje hen til krydset også afhænger af hastighedsbegrænsningen.

**Driftsformen** af signalanlæg kan være tidsstyret eller trafikstyret, og signalanlæg kan være samordnede eller uafhængige. At gå fra tidsstyring til trafikstyring af

uafhængige signalanlæg giver i gennemsnit et fald i uheld på ca. 20 %. Denne effekt afhænger af, hvordan trafikstyringen er programmeret, og derfor svinger effekten formentlig mellem et fald i uheld på ca. 5–35 %. Samordning af signaler, så der opstår grønne bølger, giver et fald i uheld på ca. 15 %. At gå fra tidsstyring til trafikstyring af samordnede signalanlæg synes at give en stigning i uheld, men her er der kun udført en enkelt undersøgelse, og effekterne er derfor meget usikre. Det er uvist, hvordan programmeringen af trafikstyringen af samordnede signalanlæg påvirker trafiksikkerheden.

**Mellemtiden** består af tidsrum med gult, helrødt og rød/gult. Amerikanske studier tyder på, at sikkerheden forbedres, når gultiden gøres længere i store kryds og i kryds med høje hastigheder. Men det er uklart, om en varierende længde af både gul- og rødtid mellem krydsene er sikrere end en ensartet gultid og varierende rødtid. I de fleste kryds vil en gultid på ca. 4 sekunder være bedst. Indførelse af 1-2 sekunders helrødt har givet et fald i uheld på ca. 15-35 %, hvor særligt antallet af tværkollisioner falder. I nogle lande bruges rød/gult (i Danmark 2 sekunder) og i andre lande ikke. Undersøgelser tyder på, at rød/gult ikke påvirker trafiksikkerheden, men forbedrer krydsets kapacitet. For korte og for lange mellemtider giver en dårligere sikkerhed, og derfor er det vigtigt at variere længden af mellemtiden i relation til bl.a. biltrafikkens hastighed og krydsets størrelse. Et enkelt studie tyder på, at mellemtiden før og efter en svingfase (venstresving) er af samme betydning for sikkerheden som mellemtiden før og efter en hovedfase. Mellemtidens betydning for sikkerheden (herunder også bløde trafikanters sikkerhed) i relation til svingfaser er således belyst i ringe grad.

**Svingfaser** er undersøgt mange gange, men der er kun fundet undersøgelser, der giver et klart billede af venstresvingfasers betydning for sikkerheden. Derved er det ikke muligt at sige noget om sikkerhedseffekter af højresvingfaser. Bundet venstresving ser ud til at give et fald i venstresvinguheld på ca. 60-95 %, mens faldet i alle uheld er uklart. Nogle undersøgelser tyder på, at bundet venstresving giver et uændret antal uheld, mens andre udviser fald i alle uheld på ca. 20-40 %. En 1-lys venstresvingsspil synes at give et fald i venstresvinguheld på ca. 15 %, mens antallet af alle uheld er uændret. Undersøgelser tyder på, at effekter på uheld bliver mere gunstige, jo flere af krydsets vejben der får venstresvingfase. Undersøgelser indikerer, at førgrønt er lige så sikkert eller sikrere end eftergrønt i kryds med venstresvingfaser. Der er ikke fundet undersøgelser af den sikkerhedsmæssige betydning af deleheller i tilfarer med separatregulering af svingende trafikstrømme. Der er heller ikke fundet før-efter uheldsevalueringer af krydsgeometriens indvirkning på sikkerhedseffekter af svingfaser.

### **Før-efter uheldsevaluering af svingfaser**

I undersøgelsen indgår i alt 60 signalregulerede kryds beliggende i 23 kommuner. Krydsene er ombygget af kommuner, amter eller staten i løbet af årene 1999-2014. I undersøgelsen evalueres etablering af fire typer af svingfaser. Det varierer

mellem krydsene, hvilke typer svingfaser der er etableret, og i hvor mange krydsben svingfaser er etableret. I flere kryds er der etableret mere end én type svingfase. Samlet er der i undersøgelsens 60 signalregulerede kryds etableret:

- Bundet venstresving (3-lys pilsignal) i 54 kryds
- 1-lys venstresving i 9 kryds
- Bundet højresving (3-lys pilsignal) i 6 kryds
- 1-lys højresving i 13 kryds

Undersøgelsen har således en overvægt af kryds, hvor der er etableret bundet venstresving.

#### *Metode*

Evalueringen af svingfaser er baseret på politiregistrerede uheld, der er sket i de signalregulerede kryds. Der er anvendt en førperiode på 5 år og en efterperiode på 1-5 år afhængig af ombygningstidspunktet. Det betyder, at der i evalueringen indgår en datamængde på 1.353 uheld og 368 personskader observeret i de 60 signalregulerede kryds. Derudover indgår 538 uheld og 124 personskader, der er sket i krydsbenene op til 200 m fra krydsene.

Sikkerhedseffekter beskriver forskelle i antallet af uheld, der er observeret i en periode efter ombygning af krydsene, og et forventet antal uheld, der ville være sket i den samme periode, hvis ombygningen ikke var udført.

Det forventede antal uheld i efterperioden er fundet ved at korrigere det observerede antal uheld i førperioden for generelle udviklinger i trafiksikkerheden samt tilfældige ophobninger af uheld og personskader (regressionseffekt). Korrektionsfaktorer for generelle udviklinger i trafiksikkerheden er estimeret ved at opstille 14 kontrolgrupper, der beskriver udviklingerne i trafiksikkerhed i de 23 kommuner, hvor undersøgelsens kryds er beliggende. Korrektionsfaktorer for regressionseffekter er estimeret ved at sammenholde udviklinger i trafiksikkerhed i krydsene, før de bygges om, med de generelle udviklinger beskrevet ved kontrolgrupperne.

Sikkerhedseffekter angives i procent, fx svarer -50 % til, at ombygningerne har medført, at antallet af uheld er halveret. Effekterne beskrives desuden med resultatet af en signifikanstest. Når testen viser, at effekten er statistisk signifikant, så anses forskellen på de observerede og forventede uheldstal for sikker. Det vil sige, at sandsynligheden for, at forskellen skyldes tilfældige variationer, er under 5 %.

#### *Overordnede effekter af etablering af svingfaser*

Etableringen af svingfaser har medført en reduktion på 32 % i antallet af krydsuheld og 28 % i antallet af personskader. Reduktioner ses primært på uheld med venstresvingende trafikanter, hvor faldet er 65 %, mens de øvrige uheld er stort set upåvirket med et fald på 1 %. Etableringen af svingfaser har umiddelbart ikke en signifikant effekt på uheld i krydsbenene op til 200 m fra kryds.

*Effekt af bundet venstresving*

Samlet er antallet af uheld reduceret med 35 % i de 54 kryds, hvor der er etableret bundet venstresving. Uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra de ombyggede krydsben (i følgende kaldet "venstresvingsuheld") er reduceret med 78 %, og personskader er reduceret tilsvarende. Resultaterne er i god overensstemmelse med litteraturstudiet.

For det samlede antal uheld ses en bedre effekt, hvis der i førperioden har været 1-lys venstresvingspil frem for ingen venstresvingsfase i de ombyggede ben (fald på hhv. 44 % og 25 %). Forskellen på effekten på venstresvingsuheld synes lille, mens uheld med trafikanter fra samme krydsben, typisk bagendekollisioner, stiger mere, hvis der ikke var 1-lys venstresvingspil før ombygningen.

Bundet venstresving fungerer umiddelbart bedre som eftergrønt end som førgrønt. Med eftergrønt menes, at bundet venstresving tændes efter grønfasen på hovedsignalet i det modstående krydsben, mens førgrønt tændes før. Ved eftergrønt ses et fald på 46 % for alle uheld og 86 % for venstresvingsuheld, mens faldet ved førgrønt er hhv. 31 % og 75 %.

Det synes at være en sikkerhedsmæssig fordel, hvis signalprogrammerne er indrettet, således at det bundne venstresving kun tændes ved anmeldelse (enten hele døgnet eller dele af døgnet). Ligeledes synes det at være en fordel, hvis grøntiden er minimum 5 sekunder for det bundne venstresving. Det synes også at være en fordel, at mellemtiden til konfliktende trafikantgrupper er minimum 6 sekunder forud for svingfasen. For venstresvingsuheld kan en mellemtid på 7-8 sekunder efter svingfasen muligvis være en fordel.

Etablering af bundet venstresving i T-kryds har en større effekt på det samlede antal uheld end i F-kryds (fald på hhv. 66 % og 32 %). Forskellen skyldes i høj grad, at venstresvingsuheld udgør en langt større andel af det samlede antal uheld i T-kryds.

Der synes ikke at være en dårligere effekt af at etablere bundet venstresving uden en delehelle med kantstensbegrænsning mellem baner for ligeudkørende og venstresvingende, men datamængden er meget begrænset. Hvor der etableres delehelle opnås en lidt dårligere effekt af etablering af bundet venstresving særligt for venstresvingsuheld, hvis der i førperioden har været et slips i stedet for blot en fuldoptrukket linje (fald på hhv. 69 % og 81 %). Slips formodes på den baggrund at have en god sikkerhedseffekt i kryds uden bundet venstresving.

Effekten af etablering af bundet venstresving er væsentlig bedre for det samlede antal uheld i kryds i by end på land, hvor der ses fald på hhv. 38 % og 14 %. Forskellen skyldes forskellig udvikling for tværkollisioner og uheld med trafikanter fra samme krydsben, mens effekten på venstresvingsuheld er nøjagtig den samme. Det formodes, at motorkøretøjers hastighed har betydning for dette resultat.



Antallet af baner til indkørende trafik fra krydsben modsat det bundne venstresving og trafikmængderne har mindre betydning for effekterne af etablering af bundet venstresving, og der tegner sig ikke et klart mønster.

Det kan have en betydning for de fundne effekter, at der i nogle kryds også er etableret andre typer svingfaser ved ombygningen, men det har formentlig størst betydning for det samlede antal uheld i krydsene og kun i mindre grad for venstresvingsuheldene.

#### *Effekter af etablering af andre svingfaser*

De øvrige tre typer svingfaser er etableret i få kryds, og datamængden er begrænset. Der er derfor ikke foretaget detaljerede opgørelser.

Bundet højresving har reduceret antallet af uheld med højresvingende motorkøretøjer med omkring 60 %, og faldet har tendens til signifikans.

1-lys venstresvingsspil synes at øge antallet af uheld med venstresvingende motorkøretøjer, men resultatet er ikke signifikant.

1-lys højresvingsspil synes at reducere antallet af uheld med højresvingende motorkøretøjer, men resultatet er ikke signifikant.

Bundne svingfaser synes klart at medføre bedre sikkerhedseffekter end svingfaser med 1-lys venstre- eller højresvingsspil.

#### *Uafklarede forhold*

På baggrund af litteraturstudiet og før-efter uheldsevalueringen er der særligt tre forhold, det ville være oplagt at undersøge nærmere.

1) **Deleheller.** Før-efter uheldsevalueringen tyder på, at det ikke forringer trafiksikkerheden at udelade deleheller med kantstensbegrænsning mellem baner for venstresvingende og ligeudkørende ved etablering af bundet venstresving. Datagrundlaget er dog spinkelt, og et studie, der inddrager flere ombygninger uden deleheller, kunne be- eller afkræfte resultatet, ligesom betydningen af andre forhold fx hastighedsbegrænsning i relation til delehelle kunne afdækkes.

2) **By/land.** Før-efter uheldsevalueringen viser, at effekten af etablering af bundet venstresving er mindre gunstig på landet end i byen. Undersøgelsen tyder på, at det særligt er stigninger i antallet af tvær- og bagendekollisioner, der medfører en dårligere effekt på landet. Det kunne derfor være relevant at undersøge ombygninger på landet nærmere, fx betydning af forskellige forhold ved krydsdesignet.

3) **Højresvingsfaser.** Før-efter uheldsevalueringen tyder på en gunstig sikkerhedseffekt af bundet højresving i forhold til uheld med højresvingende. Betydningen for det samlede uheldsbillede samt sikkerhedseffekten af 1-lys højresvingsspil er dog uafklaret, men særlig interessant i en dansk kontekst med udbredt cykeltrafik.



# 1. Indledning

Vejdirektoratet og Vejregelgruppen for Trafiksikkerhed har givet Trafitec i opdrag at beskrive trafiksikkerhedsmæssige effekter af signalregulering af kryds og af signalreguleringens udformning. I opgaven indgår et litteraturstudie og en før-efter uheldsevaluering af signalregulerede kryds.

Konkret skal *litteraturstudiet* beskrive resultater af tidligere undersøgelser, der omhandler:

- Sikkerhedsmæssige effekter af signalregulering
- Sikkerhedsmæssige effekter af følgende elementer ved signalreguleringens udformning:
  - Svingfase
  - Mellemtid
  - Driftsform

Der er langt over 200 undersøgelser om de emner, og derfor skal litteraturstudiet primært have fokus på resultater fra tidligere systematiske litteraturstudier samt danske undersøgelser. Derudover skal der i litteraturstudiet gennemgås de enkelte undersøgelser, der omhandler følgende særlige emner:

- Sikkerhedsmæssig betydning af delehelle mellem svingende med svingfase og ligeudkørende.
- Sikkerhedsmæssig betydning af faserækkefølgen, når der er bundne svingfaser – er ”førgrønt” sikrere eller farligere end ”eftergrønt”.
- Sikkerhedsmæssig betydning af højresvingfaser.
- Sikkerhedsmæssig betydning af mellemtider i kryds med svingfaser.
- Korrelationer mellem sikkerhedsmæssig effekt af svingfaser samt antal svingspor og spor for ligeudkørende i hhv. vejben med svingfase og modsatrettet vejben/tværgående vejben.
- Beregninger af sikkerhedstider og følgelig mellemtider i signalanlæg med svingfaser.

Konkret skulle der i *før-efter uheldsevalueringen* indgå ændringer af signalanlæg, hvor svingfaser blev etableret/fjernet og/eller mellemtider blev ændret og/eller driftsformen blev ændret i årene 2007-2014 blandt 10 vejbestyrelser. I løbet af dataindsamlingen blev det dog klart, at antallet af kryds, hvor driftsformen var ændret og/eller mellemtider i 2-fasede kryds var ændret, var meget få, og derfor ville det ikke være muligt at frembringe ny viden om driftsformens og mellemtidens (i kryds med kun to faser) betydning for trafiksikkerheden.

Det blev derfor besluttet, at før-efter uheldsvalueringen alene skulle fokusere på svingfaser. For at få flere kryds med i evalueringen blev yderligere 8 vejbestyrer kontakter, og kryds der var ændret før år 2007 kunne også indgå. Evalueringen skal ligesom litteraturstudie gerne resultere i ny viden om betydningen af den mere detaljerede udformning af signalanlæg med svingfaser. Derfor er der indsamlet signaldokumentation og data om fysisk udformning fra før- og efter-situationen for de evaluerede kryds, så denne information kan relateres til de sikkerhedsmæssige effekter af etablering/fjernelse af svingfaser.

## 2. Litteraturstudie

Litteraturstudiet består af en række dele. En afgrænsning af kilder til studiet ved systematisk litteratursøgning og frasortering af irrelevant litteratur. Referering af undersøgelser, der er baseret på originale data med fx uheld før og efter en signalregulering/ændring af signalreguleringens udformning eller uheld i signalregulerede kryds til brug for med-uden studier fx case-control studier, tværsnitstudier eller uheldsmodeller. Referering af studier, der sammenstiller tidligere originale undersøgelser for at skabe synteses eller nye estimater fx tidligere litteraturstudier, og meta-analyser. Det er fravalgt at foretage nye systematiske (matematiske) sammenstillinger af tidligere undersøgelser ved brug af fx meta-analyse, idet de seneste meta-analyser blev foretaget i 2015. Derfor indeholder syntesen i afsnit 2.3 primært relevante, detaljerede oplysninger fra originale undersøgelser sammenholdt med resultater fra bl.a. de seneste meta-analyser fra tidligere systematiske litteraturstudier. Første afsnit i kapitlet er relevant nomenklatur i relation til signalregulerede kryds.

### 2.1 Nomenklatur

I bilag til håndbogen om vejsignaler i de danske vejregler findes en nomenklatur på side 96-105. Herfra er nedenfor angivet, hvad nogle af termerne om vejsignaler betyder. Der er her givet en definition for udvalgte termer i alfabetisk rækkefølge.

Term	Definition
Adaptiv styring	Styring af samordnede signalanlæg, hvor parametre som omløbstid, forskydning, og grøntider løbende kan ændres på baggrund af trafikvariationer registreret af detektorer.
Aktiv prioritering	Prioritering af en specifik køretøjsart i signalanlæg, hvor prioriteringen kun træder i kraft ved ankomst af et køretøj af den type, som ønskes prioriteret.
Alt rødt	Hvilestilling, hvor signalbilledet er rødt i samtlige tilfarter og fodgængerfeltet.
Cyklistsignal	Signal beregnet for cyklister og førere af lille knallert.
Deltilfart	Del af en tilfart, som reguleres særskilt fra tilfarten i øvrigt.
Delvis trafikstyring	Driftsform, hvor en eller flere tilfarter eller deltilfarter, men ikke alle, er trafikstyrede.
Dilemmazone	Område i en tilfart til et signalreguleret kryds, hvor et køretøj ved skift til gult hverken kan nå at standse eller passere stoplinjen for gult.
Driftsform	Den overordnede metode til frembringelse af signalkift. Driftsformen kan være tidsstyring eller trafikstyring og kan udføres samordnet eller ikke samordnet.
Eftergrønt	Reguleringsform, hvor signalet for én af to modstående tilfarter opretholder grønt efter fællesgrønt.
Fjendtlig signalgruppe	Signalgruppe, som af sikkerhedsmæssige grunde ikke må have grønt samtidig med en given signalgruppe.

Term	Definition
Fodgængersignal	Signal med fodgængersymboler beregnet for fodgængere.
Forlængelse	Trafikstyret forøgelse af varigheden af grønt eller rødt.
Fællesgrønt	Samtidig grønt i hovedsignaler i to modstående tilfarter.
Førgrønt	Reguleringsform, hvor én af to modstående tilfarter får grønt, før der vises fællesgrønt.
Grøn bølge	Situation i samordnede signalanlæg, hvor køretøjer med en given hastighed kan passere to eller flere anlæg uden at stoppe.
Grøntid	Varigheden af grønt for en signalgruppe.
Gultid	Varigheden af gult for en signalgruppe.
Helrødt	Periode, hvor samtlige signalgrupper viser rødt.
Hovedfase	Periode med fællesgrønt i hovedretningen.
Hovedsignal	3-lys signal beregnet for alle kørende i en tilfart med mindre disse reguleres af egne signaler. Hvor signaler ikke findes for cyklister eller gående, omfattes også disse heraf.
Konfliktfri signalregulering	Styrestrategi, hvor alle primær- og sekundærkonflikter er løst ved signalregulering.
Konfliktzone	Område i krydset, hvor der ikke samtidig må befinde sig trafikanter fra fjendtlige trafikstrømme.
LHOVRA	Svensk udviklet styrestrategi til forbedring af trafiksikkerhed samt fremkommelighed for tunge køretøjer. Bogstaverne står for Lastbilmrioritering (L), Hovedretningsprioritering (H), Ulykkesreduktion (O), Variabel gultid (V), Mellemtidsforlængelse (R) og Helrødvending (A).
Maksimumgrønt	Den længste tid, som en signalgruppe kan vise grønt i et trafikstyret signalprogram.
Mellemtid	Tiden mellem grønt lys for to fjendtlige signalgrupper i given rækkefølge.
Mellemtidsmatrix	Skema, der viser mellemtiderne mellem fjendtlige signalgrupper.
Minimumgrønt	Den korteste tid, som en signalgruppe kan vise grønt i et trafikstyret signalprogram uden evt. forlængelse.
Minusgrøntsignal	Minusgrøntsignal (b) er et hjælpesignal uden regulerende funktion, men udformet som et hovedsignal uden grøn lysåbning. Minusgrønt skal ved skift til gult og rødt skifte i takt med eller senere end signalererne for den modkørende trafik. Minusgrøntsignal kaldes også for repetitionssignal.
Omløb	Gennemløb af en sekvens, hvor alle signalgrupper har haft mulighed for at vise grønt.
Omløbstid	Varighed af et omløb.
Pilsignal	Signal med pilsymboler beregnet for trafikken i den pågældende retning.
Primærkonflikt	Konflikt mellem trafikstrømme på krydsende veje.
Rødtid	Varighed af rødt inklusiv tiden for rød/gul
Rømningstid	Tid det tager en trafikant at tilbagelægge afstanden mellem stoplinjen (for fodgængere kantstenen) og den fjerneste afgrænsning af konfliktzonen.
Samordning	Indretning, hvorved grønt i et kryds knyttes til grønt i nabokryds.
Sekundærkonflikt	Konflikt mellem trafikstrømme fra samme eller modsatte kørselsretninger.

Term	Definition
Separatregulering	Reguleringsform, hvor én eller flere trafikstrømme fra samme tilfart reguleres med 3-lys pilsignal, som adskiller sig fra reguleringen af øvrige trafikstrømme i tilfarten.
Signalgruppe	Lyssignal (a), som styres fra samme udgang i styreapparatet og altid viser samme signalbillede.
Signalgruppeplan	Diagram, der viser det tidstro vekslingsforløb for alle signalgrupper gennem et omløb.
Sikkerhedstid	Den mindste tid, der a rent sikkerhedsmæssige grunde skal være mellem grønt for fjendtlige trafikstrømme i et signalreguleret område. Den faktiske tid, som indprogrammeres i styreapparatet, benævnes mellemtid.
Supervenstre	Periode i et omløb, hvor der vises samtidigt grønt for to modsatrettede venstresvingsstrømme.
Tidsstyring	Driftsform, hvor vekslingen sker med fast signalfølge og faste signaltider.
Trafikstyring	Driftsform, hvor veksling af signalbilleder sker efter impulser fra detektorer.
Uafhængigt signalanlæg	Signalanlæg, som styres uafhængigt af andre signalanlæg.
Vej-tid-diagram	Diagram, der viser det enkelte signalanlægs tidsmæssige indplacering på en strækning, hvor der er samordning.
Vrimlefase	Periode i et omløb, hvor alle fodgængersignaler i et vejkryds viser grønt.

## 2.2 Litteratursøgning

Litteratursøgningen er udført ved at foretage systematiske søgninger i tidsskrifter og på diverse søgemaskiner samt rekvirere kilder fra referencelister i studier om trafikikkerhed og signalregulerede kryds. Følgende søgemaskiner er anvendt:

- ScienceDirect/Scopus
- DTU Findit
- Google Scholar
- TRID database

Via disse søgemaskiner bliver de fleste artikler i videnskabelige tidsskrifter og rapporter udgivet af offentlige institutioner såsom universiteter, vejbestyrelser, osv. fundet, hvis der benyttes søgeord på forskellige sprog. Der er foretaget søgninger på dansk, engelsk og tysk på kombinationer og variationer af følgende ord: 'trafikikkerhed' og 'signalregulering', 'svingfase', 'mellemtid' og 'driftsform'. For fx ordet 'svingfase' er benyttet en række variationer eksempelvis 'førgrønt', 'eftergrønt', 'bundet venstresving', 'bundet højresving', 'venstresvingsfase', 'højresvingsfase', 'separatregulering', m.fl. Herudover er der søgt i tidsskriftet Trafik & Veje / Dansk Vejtidskrift. Der er desuden foretaget en særskilt søgning i relation til beregninger af sikkerhedstider og mellemtider i signalanlæg med svingfaser i søgemaskiner.

Det har ikke været muligt at rekvirere alle originale studier, da flere studier ikke har været umiddelbart tilgængelige i digital form eller via lån på dansk bibliotek.

Søgninger efter litteratur er foretaget i september og oktober 2016. Identificerede artikler og rapporter er efterfølgende gennemgået, herunder deres referencelister. Blandt disse er fundet få studier, der sammenstiller et omfattende antal tidligere originale undersøgelser for at skabe synteser eller nye estimater for sikkerhedsmæssige effekter, altså systematiske litteraturstudier:

- Høye (2015): *Trafiksikkerhetseffekter av signalregulering av kryds*. Transportøkonomisk institutt, TØI rapport 1396/2015, Oslo, Norge.
- Kennedy og Sexton (2009): *Literature review of road safety at traffic signals and signalised crossings*. TRL, report PPR436, Crowthorne, UK.
- McGee et al. (2016): *Guidelines for Timing Yellow and All-Red Intervals at Signalized Intersections*. Transportation Research Board, NCHRP report 731, Washington, D.C., USA.

Studier baseret på andet end registrerede uheld og personskader er ofte frasorteret, dog med undtagelse af studier af beregninger af sikkerhedstider og mellemtider i signalanlæg med svingfaser. Det vil sige, at bl.a. studier baseret på simulering og adfærdsobservationer hovedsageligt ikke indgår i litteraturstudiet.

## 2.3 Referering af undersøgelser og studier

I afsnittet refereres og sammenstilles tidligere originale undersøgelser og systematiske litteraturstudier. Syntesen med primært relevante, detaljerede oplysninger fra originale undersøgelser sammenholdt med resultater fra tidligere systematiske litteraturstudier er opdelt i fire underafsnit; signalregulering af kryds, driftsform, mellemtid og svingfase.

### 2.3.1 Signalregulering af kryds

På baggrund af 37 originale undersøgelser, heraf to danske, finder Høye (2015) et fald i uheld på 29 % ved signalregulering af kryds på tværs af undersøgelserne ved brug af meta-analyse. Analyserne viser også et fald i tværkollisioner på 74 %, et fald i uheld med venstresvingende på 60 %, og stigning i bagendekollisioner på 45 %. Høye (2015) finder ikke, at de sikkerhedsmæssige effekter afhænger af antallet af ben, kanalisering og vigepligtsforhold i krydset før signalregulering. Et par af undersøgelserne viser dog, at de opgjorte sikkerhedseffekter er bedre i kryds med høje trafikmængder og er bedre blandt ældre bilførere.

En tidligere meta-analyse (Elvik et al, 2009) viste, at effekten af signalregulering af T-kryds var et fald i uheld på 15 %, mens faldet var på 30-35 % i F-kryds. Kennedy og Sexton (2009) anfører, at signalregulering især medfører store sikkerhedsgevinster i kryds, hvor mange trafikanter på sekundærvejen skal krydse lige over.



Der er i Danmark udført to større undersøgelser af de trafikikkerhedsmæssige effekter af signalregulering af kryds.

Hoff & Overgaard udførte i 1976 for Vejdirektoratet en før-efter uheldsevaluering af signalregulering af 49 "landevejskryds" (Ludvigsen, 1977). I evalueringen blev der ikke taget højde for regressionseffekt og generelle udviklinger i personskader og uheld. Evalueringen var baseret på 614 personskadeuheld. Den viste et fald i uheldstæthed (uheld pr. kryds pr. år) fra før til efter på 27 % og et fald i uheldsfrekvensen (uheld pr. mio. køretøjer pr. år) på 43 %. Derudover blev uheldene mindre alvorlige med færre personskader pr. uheld og større fald i dræbte/kryds/år (-81 %) og alvorlige skader/kryds/år (-39 %) end i lette skader/kryds/år (-21 %). Uheldsfrekvensen faldt med 57 % i landområder, men kun med 22-25 % i bebyggede områder. Evalueringen viste et fald på 86 % i primære konflikter, en stigning på 64 % i sekundære konflikter og en 6 % stigning i eneuheld.

Jensen (2010) beskriver en før-efter uheldsevaluering af signalregulering af 54 kryds i Københavns Kommune, heraf 18 T-kryds, 35 F-kryds og ét 5-benet kryds. Evalueringen er baseret på 5.395 uheld og tager højde for regressionseffekter, generelle ændringer i uheld og personskader samt afvigende lokale ændringer i trafikmængder. Han finder et fald i uheld på 36 % og et fald i personskader på 26 % i krydsene. Faldene synes at blive større, 1) jo flere ben krydset har, 2) jo tættere krydset er placeret på andre signalanlæg, og 3) jo mindre trafikmængden i krydset er. Der findes et fald i tværkollisioner i krydsene på 84 %, men stigninger i eneuheld, bagendekollisioner, frontalkollisioner og svinguheld på 34-37 %. Der ses et fald i uheld kun med motorkøretøjer involveret på 50 %, mens uheld med fodgængere, cyklister og knallertkørere kun falder med 26-30 %. Jensen (2010) dokumenterer også, at der sker fald i uheld og personskader på vejstrækningerne op til krydsene, der bliver signalreguleret. Her falder antallet af uheld med 20 % på strækninger 10-100 m fra krydsene og med 13 % på strækninger 110-200 m fra krydsene. Længere væk fra krydsene er antallet af uheld og personskader uændret. Evalueringen viser, at ca. 60 % af sikkerhedsgevinsterne opnås på strækningerne før krydsene, mens kun ca. 40 % opnås i krydsene, der signalreguleres.

### 2.3.2 Driftsform

På baggrund af seks originale undersøgelser finder Høye (2015) et fald i uheld på 20 % ved at gå fra tidsstyring til trafikstyring af uafhængige signalanlæg, der ikke er samordnet med andre signalanlæg. Flere af undersøgelserne er dog metodisk svage, og det er muligt, at sikkerhedseffekten er mindre end de 20 %, men trafikstyring er dog fortsat sikrere end tidsstyring.

En fransk undersøgelse (Midenet et al, 2011) tyder på, at de sikkerhedsmæssige effekter afhænger af, hvordan trafikstyringen er programmeret.

En dansk undersøgelse tyder på det samme. Nielsen og Jensen (1999) studerede effekter af rød hvile og O-funktionen (fra LHOVRA) i trafikstyrede signalanlæg med en hastighedsbegrænsning på 70-80 km/t. Rød hvile funktionen virker ved, at signalet går på rødt i alle retninger, når der ikke er trafik. O-funktionen har til formål at mindske antallet af køretøjer, der havner i dilemmazonen, ved at bilister så vidt muligt ikke får gult lys, når de befinder sig i en afstand på 80-150 m fra stoplinjen. Nielsen og Jensen fandt, at disse funktioner reducerede antallet af uheld med 22 % (12 % fald i personskadeuheld og 29 % fald i materielskadeuheld), hvilket svarer til resultater fra svenske undersøgelser.

En britisk undersøgelse viste også, at det at gå fra den simpleste form for trafikstyring (System D) til en mere kompleks styring (MOVA) på uafhængige signalanlæg (ej samordnede) med høje bilhastigheder gav et statistisk signifikant fald på 26 % i krydsuheld (Crabtree og Kennedy, 2005).

Syv før-efter uheldsevalueringer af samordning af signaler, så der opstår grønne bølger, viser samlet set et fald i uheld på 15 %, og dette fald er nogenlunde det samme i hver af evalueringerne (Høye, 2015). Dette harmonerer med effekter i amerikanske undersøgelser refereret af Chandler et al. (2013). Studier viser, at trafikantadfærden bliver bedre ved indførsel af grønne bølger, fx er fald i rødkørsel på op til 80 % dokumenteret (Høye, 2015).

Dutta et al. (2010) viste, at ændringer af tidsstyrede samordnede signalanlæg til trafikstyrede samordnede signalanlæg, hvor den trafikafhængige programmering optimerer trafikafviklingen, medførte en stigning i personskadeuheld på 30 % og materielskadeuheld på 8 % på vejstrækninger inklusive kryds med de samordnede signalanlæg. Stigningen i person- og materielskadeuheld i selve krydsene var på hhv. 19 % og 4 %, så stigningen i uheld på strækninger var større end i kryds. Trafikstyringen blev håndteret af SCATS, som er et adaptivt trafikstyringsystem.

Turner et al. (2012) finder via uheldsmodellering, at samordning af signaler giver anledning til flere tværkollisioner.

### 2.3.3 Mellemtid

Mellemtiden består i Danmark af 4 sekunders gult, en tid med helrødt af varierende varighed og rød/gult på 2 sekunder. I Danmark beregnes sikkerhedstider, der skal være så lange, at den sidste dimensionsgivende trafikant efter grønt netop går fri af den første dimensionsgivende trafikant, der starter for grønt fra den krydsende retning. Hvis sikkerhedstiderne er meget små, kan tiden med helrødt sættes til 0 sekunder, og gult og rød-gult kan overlape hinanden, så mellemtiden kan blive helt ned til 4 sekunder.

### Gult

I USA har man siden 1941 benyttet anbefalede formler til at beregne gultid og rødtid – eller samlet mellemtiden. I USA benyttes ikke rød/gult. Udviklingen i formlerne er beskrevet af Eccles og McGee (2001). Siden 1985 har man benyttet et sæt formler, som dog er let revideret af McGee et al. (2016):

$$Y = t + \frac{1,47 \cdot V}{2 \cdot a + 64,4 \cdot g} \qquad R = \frac{W+L}{1,47 \cdot V} - 1,$$

hvor Y er gultid i sekunder, R er rødtid i sekunder, t er perception-reaktion tid i sekunder, a er deceleration i fod/sekund<sup>2</sup>, V er 85%-fraktil af ankomsthastighed i mph, g er stigningsforholdet på tilfarten (procent stigning divideret med 100, fald er negativt), W er bredden af krydset i fod og L er længden af køretøj i fod.

Det har været forskelligt, hvordan værdier i formlerne er sat gennem de seneste 30 år, hvilket er beskrevet af McGee et al. (2016). De udfører et større litteraturstudie, en spørgeundersøgelse blandt vejbestyrelser samt et adfærdsstudie af kørsel i mange kryds, og finder, at t med fordel kan sættes til 1 sekund, a til 10 fod/sekund<sup>2</sup> og L til 20 fod. Ved beregning af Y kan V sættes til den målte 85%-fraktil hastighed for ligeudkørende eller til hastighedsbegrænsningen + 7 mph, mens der ved separatregulering (3-lys pilsignal) af venstresving opereres med hastighedsbegrænsningen minus 5 mph. Ved beregning af R benyttes samme værdi for V for ligeudkørende som ved beregning af Y, men for venstresvingende anbefales at benytte værdien 20 mph (svarende til 32 km/t, mens der i Danmark bruges 36 km/t for rømmende venstresvingende). W for ligeudkørende er afstanden målt fra kant af stoplinje til fjerneste kant af fjerneste tværgående kørespor, dog fjerneste kant af fodgængerfelt, hvis det forefindes mere end 12 m fra fjerneste kant af fjerneste tværgående kørespor. W for venstresvingende måles fra fjerneste kant af stoplinje (i venstresvingsbanen) ad kørekurven til fjerneste kant af krydsende spor for konfliktende ligeudkørende alternativt kant af fodgængerfelt.

Forestiller man sig samme kryds i USA, men ved forskellige hastighedsniveauer, så vil gultiden stige, jo højere hastigheden (hastighedsbegrænsningen) er, mens rødtiden vil falde. Samlet vil mellemtiden stige i USA, jo højere hastigheden er.

Med baggrund i seks undersøgelser anfører McGee et al. (2016), at ændring af gultider, så de følger formlerne, har reduceret rødkørsel med ca. 36-50 %, og i få tilfælde helt op til 90 %. De beskriver også en række studier, der viser, at for lange gultider set i forhold til formlerne kan resultere i flere uheld, særligt bagedekollisioner og venstresvingsuheld. Mens for korte gultider kan resultere i flere tværkollisioner, hvis rødtiden også er kort.

Et eksempel på sådan en undersøgelse er udført af Retting et al. (2008), der finder på baggrund af en før-efter evaluering, at en forlængelse af gultiden med 1 sekund gav et fald i rødkørsel på 36 %. Til sammenligning fandt de i de samme kryds, at

senere etablering af automatisk rødkørselskontrol med kamera og bødeforlæg gav et fald i rødkørsel på yderligere 96 %.

I den modsatte ende af skalaen finder Bonneson et al. (2002) også på baggrund af en før-efter evaluering, at forlængelse af gultiden med 1 sekund, hvor den nye gultid højst er 5,5 sekunder, gav et fald i rødkørsel på 53 %. Ud fra en række sikkerhedsstudier finder de, at et fald i rødkørsel på 50 % giver et fald i uheld med rødkørsel på ca. 25 %. De påviser, at den laveste rate af rødkørsel sker i kryds med 4,2-4,5 sekunders gultid.

Zador et al. (1985) finder, at signalregulerede kryds i USA med gultider kortere end de anbefalede var forbundet med højere risiko for uheld. Bonneson og Zimmerman (2004) skriver, at bilister tilpasser sig en forlænget gultid, men at bilister fortsat har en reduceret rødkørsel. De skriver også, at for 85 % af alle bilister er 4,2 sekunders gultid tilstrækkeligt i USA.

I Storbritannien er der 3 sekunders gultid. En del britiske studier peger i retning af, at de 3 sekunder er en god varighed af gult i de fleste signalregulerede kryds, men at det vil være en fordel med 4 sekunders gult i kryds, hvor motorkøretøjers hastighed er over 56 km/t (Kennedy og Sexton, 2009). Det er foreslået at operere med en variabel gultid i Storbritannien, men dette er afvist grundet bekymring for trafiksikkerheden.

### *Helrødt*

Souleyrette et al. (2004) undersøgte kryds med 30 mph hastighedsbegrænsning i Minneapolis, USA, og fandt via uheldsmodeller, at kryds med helrødt (varierende varighed) havde en dårligere sikkerhed end kryds uden helrødt. I en før-efter uheldsevaluering fandt de et fald i uheld i det første år efter introduktion af helrødt på 21 %, men en stigning i de efterfølgende år på 3 %. I undersøgelsen tages der ikke højde for varigheden af gult i krydsene, ej heller hvorfor helrødt er etableret.

Mishra og Zhu (2013) undersøgte signalregulerede kryds i Detroit, USA, og fandt ved at tage højde for skævheden i valget af kryds, der får helrødt, at helrødt gav et fald i uheld på 15 %. Skævheden blev håndteret ved brug af Heckman's metode for korrektion, hvor en model håndterer valget af kryds, der får helrødt, ud fra oplysninger om krydsenes geometri, trafik, mv., og to uheldsmodeller opstilles for hhv. kryds med og uden helrødt. Ved at sammenligne de to uheldsmodeller kan man beskrive betydningen af helrødt.

Kennedy og Sexton (2009) refererer et par ældre britiske studier, hvor en øgning på 1-2 sekunder af perioden med helrødt giver et fald i uheld på 24 %, heraf et fald i tværkollisioner på 82 %. En øgning af helrødt om natten med 2 sekunder gav et fald i uheld på 50 %. Der blev dog ikke taget højde for regressionseffekter i de to ældre britiske studier. I en lidt nyere britisk undersøgelse opstilles en uhelds-

model, hvor der bl.a. tages højde for trafikstrømme, geometri, signaltekniske forhold, mv. og her findes, at længden af mellemtiden ikke påvirkede sikkerheden. Før man tog højde for geometri, mv. viste det sig, at kryds med lange mellemtider havde en dårligere sikkerhed, men at det skyldes, at mellemtiden især øges i store kryds uden svingfaser, men mange svingende motorkøretøjer.

Bach og Jørgensen (1986) udførte en før-efter uheldsevaluering, hvor 5 kryds i Danmark fik etableret 2 sekunders helrødt. De fandt et fald i uheld på 48 % (fra forventet 60,1 til 31) i de fem kryds. Antallet af tværkollisioner faldt med 66 %, mens bagendekollisioner faldt med 88 %.

### *Rød/gult*

I en række lande er det tilladt ikke at operere med rød/gult i signalanlæg, men blot gå fra rødt til grønt. I USA er det mest almindeligt ikke at have rød/gult. Rød/gult er undersøgt i en lang række britiske studier. I en serie ældre studier udførte man forsøg i 18 kryds, og her fandt man bl.a., at det første motorkøretøj kørte ind i krydset 1,7 sekund senere i forhold til start af grønt signal, når rød/gult blev fjernet – og blev erstattet af rødt (Kennedy og Sexton, 2009). Rød/gult betragtes juridisk som rødt, og omfanget af rødkørsel faldt i britiske studier fra 2,2 % til 0,9 %, når rød/gult blev fjernet. En fjernelse af rød/gult medførte også, at kapaciteten af krydsene faldt med 6 %, mens fjernelsen af rød/gult ikke påvirkede trafikikkerheden. I en serie nyere studier fandt man, at tiden med rød/gult optimalt kunne være 1,5 sekund (Kennedy og Sexton, 2009). Perioden med rød/gult er nu sat ned fra 3 til 2 sekunder i Storbritannien.

### *Mellemtid – samlet set*

Retting et al. (2002) udførte et eksperimentelt forsøg, hvor 40 tilfældigt udtrukket signalregulerede kryds blandt 96 kryds, hvor de resterende 56 kryds var kontrolgruppe, fik ændret gul- og rødtider, så de fulgte anbefalingerne, der er beskrevet tidligere under afsnittet om gult. Tiderne blev både kortere og længere, men i gennemsnit steg gultiden fra 3,93 til 3,97 sekunder, mens rødtiden steg fra 2,13 til 2,89 sekunder. Der var ikke rød/gult i krydsene. Stigningen i mellemtiden var således i gennemsnit på 0,80 sekunder, men ændringen varierede fra et fald i mellemtiden på 1,1 sekunder til en stigning på 3,4 sekunder. Antallet af personskadeuheld faldt som følge af ændringen med 12 %, mens materielskadeuheld steg med 4 %, og alle uheld faldt med 8 %. Uheld med fodgængere og/eller cyklister faldt med 37 %, mens antallet af bagendekollisioner steg 12 %.

Kennedy og Sexton (2009) skriver, at en for kort mellemtid giver en dårlig trafikikkerhed, fordi der sker mange tværkollisioner. Men bliver mellemtiden for lang, så er trafikikkerheden også dårlig pga. en række forskellige uheld.

Turner et al. (2012) finder via uheldsmodellering, at længere helrødt og mellemtid giver færre tværkollisioner, og færre bagendekollisioner i små og store kryds, men flere bagendekollisioner i mellemstore kryds.

#### 2.3.4 Svingfaser

I Danmark findes to typer af svingfaser; separatregulering med 3-lys pilsignal og svingfase med 1-lys grøn pilsignal. Ved separatregulering må den aktuelt regulerede svingende trafikstrøm kun udføre svinget, når pilsignalet er grønt. Med 1-lys højre- og venstresving spil må de svingende også udføre svinget (og overholde ubetinget vigepligt), når hovedsignalet er grønt, og det 1-lys grønne pilsignal ikke er tændt. Separatreguleret venstresving kaldes også for bundet venstresving. Ikke-separatregulerede svingfaser med samme juridiske gyldighed som den danske 1-lys højre- og venstresving spil etableres på forskellige måder internationalt fx med 2-lys pilsignal i nogle lande. I det følgende benyttes 1-lys højre- og venstresving spil som en fælles betegnelse for disse ikke-separatregulerede svingfaser uanset det faktiske antal lys i pilsignalet og andre lokale særegenheder.

Høye (2015) finder ved meta-analyse af en række før-efter uheldsvalueringer af separatreguleret venstresving og 1-lys venstresving spil, at antallet af venstresving suheld reduceres med ca. 15 %, mens det samlede antal uheld er uændret. Konkret er effekter for separatreguleret venstresving opgjort til -15 % venstresving suheld og 0 % alle uheld, mens 1-lys venstresving spil er opgjort til -14 % venstresving suheld og +3 % alle uheld. Ud fra tværsnitsstudier finder Høye, at kryds med separatreguleret venstresving har 25 % færre uheld (alle uheldstyper og uheldssituationer), når der korrigeres for eksponering mv., mens antallet af bagendekollisioner er 21 % højere i kryds med separatreguleret venstresving.

Høye (2015) udførte også en meta-analyse af fire undersøgelser af gul blinkende pil i stedet for grøn pil i kryds med 1-lys venstresving spil. Hvor gule blinkende pile erstattede separatregulerede venstresving (3-lys pilsignal), blev der fundet en stigning i uheld på 97 %, mens der blev fundet et fald i uheld på 19 %, hvor gule blinkende pile erstattede 1-lys grøn venstresving spil og i kryds uden svingfase.

Bach og Jørgensen (1986) udførte en før-efter uheldsvaluering, hvor 4 kryds i Danmark fik etableret bundet venstresving. For de fire kryds fandt de, at venstresving suheld faldt med 86 % (fra forventet 14,6 til 2), mens andre uheld steg med 104 % (fra 14,2 til 29). Stigningen i uheld skete blandt tværkollisioner, eneuheld og bagendekollisioner. Samlet var antallet af uheld uændret (fra 28,8 til 29). Fire andre kryds blev ombygget til konfliktfrie kryds, altså med etablering af både bundne højre- og venstresving, og her faldt antallet af uheld med 53 % (fra 21,1 til 10), og faldet i venstresving suheld var på 82 %.

De Pauw et al. (2015) udførte en før-efter uheldsvaluering af etablering af bundet venstresving i 103 kryds i Belgien. I evalueringen tages der højde for generelle

udviklinger i uheld og personskader samt regressionseffekter. Der indgår 1.830 personskadeuheld i evalueringen. I 33 kryds blev kun signalreguleringen ændret, mens der i 70 kryds også blev foretaget andre ændringer såsom fornyelse af slidlag, etablering af heller, ændringer af cykelfaciliteter og opsætning af rødkørselskammerer og -kontrol. Der findes et fald i personskadeuheld i de 33 kryds på 46 %, mens det i de 70 kryds er på 37 %. Faldet i venstresvingsuheld er på 60 % i de 33 kryds og 45 % i de 70 kryds. Antallet af bagendekollisioner var uændret i krydsene. Antallet af uheld med dræbte og/eller alvorlige skader faldt med 66 % i de 33 kryds og med 55 % i de 70 kryds. Faldet i personskader var procentuelt stort set det samme blandt bilister, knallertkørere, cyklister og motorcyklister.

Chen et al. (2013) fandt i en før-efter uheldsevaluering, at etablering af venstresvingsfase i New York, USA, (både 1-lys og 3-lys pilsignal) gav et signifikant fald i alle uheld på 17 % og et fald i fodgængeruheld på 43 %. Chen et al. (2015) fandt i en senere undersøgelse, at bundet venstresving gav et fald i alle uheld på 20 % og et fald i venstresvingsuheld på 90 %, mens 1-lys venstresvingspil gav en stigning i alle uheld på 3 % og stigning i venstresvingsuheld på 30 %. Srinivasan et al. (2008) fandt i en før-efter uheldsevaluering, at etablering af separatregulering af venstresving i 12 kryds gav et fald i venstresvingsuheld på 99 %, men kun et fald på 1 % i alle uheld. De fandt også, at etablering af 1-lys venstresvingspil i tre kryds gav et fald i venstresvingsuheld på 2 % og en stigning i alle uheld på 5 %.

I en før-efter uheldsevaluering af 35 kryds, hvor to typer af 1-lys venstresvingspil var etableret, finder Lyon et al. (2005) et fald i venstresvingsuheld på 15 %, mens faldet i uheld med venstresving ind foran modkørende (410-uheld) var 18 %, og der var en stigning i andre typer af venstresvingsuheld på 19 %.

Srinivasan et al. (2012) fandt i en før-efter uheldsevaluering af 71 kryds, hvor 1-lys venstresvingspil var etableret, en stigning i alle uheld på 3 %, et fald i personskadeuheld på 4 %, et fald i uheld med venstresving ind for modkørende (410-uheld) på 14 % og en stigning i bagendekollisioner på 8 %. De finder, at effekten i høj grad afhænger af antallet af vejben i et kryds, hvor der er etableret 1-lys venstresvingspil. Hvor dette kun blev etableret i ét vejben, steg alle uheld med 8 %, mens det faldt med 4 %, hvor 1-lys venstresvingspil blev etableret i flere end ét vejben.

Agent et al. (1995) finder, at uheldsfrekvensen for venstresvingsuheld / (venstresvingere gange modkørende) afhænger markant af reguleringen af venstresvingene. Når den relative risiko sættes til 1,00 for tilfarer uden venstresvingspile, så er risikoen ved 1-lys venstresvingspil 0,59, mens den er 0,16 ved bundet venstresving. Agent et al. gennemgår også 50 amerikanske undersøgelser af regulering af venstresving. I nogle af de undersøgelser ses på trafiksikkerhed, og de viser, at der er færrest venstresvingsuheld med bundet venstresving og flest venstresvingsuheld i signalanlæg uden venstresvingspile. Til gengæld sker der flere bagende-

kollisioner i kryds med bundet venstresving. Både i studiet af Agent et al. og i refererede kilder er der indikationer af, at førgrønt (ved 1-lys venstresvingpil og ved bundet venstresving) er lige så sikkert eller sikrere end eftergrønt. Det er dog sjældent, at man anvender eftergrønt i USA, og derfor er effekter for eftergrønt baseret på et lille datagrundlag.

Azad og Parentela (2013) finder ved at sammenligne kryds i Californien, USA, at kryds med bundet venstresving har 35-40 % lavere uheldsfrekvens end kryds uden venstresvingpile, men kryds med 1-lys venstresvingpil har ca. 30 % lavere uheldsfrekvens end kryds uden venstresvingpile. Frekvensen af venstresving-uheld er ca. 85 % lavere i kryds med bundet venstresving og ca. 30 % lavere i kryds med 1-lys venstresvingpil end i kryds uden venstresvingpile.

På baggrund af uheldsmodeller baseret på 476 kryds finder Abdel-Aty og Wang (2006) og Wang og Abdel-Aty (2006), at antallet af alle uheld og bagendekollisioner er hhv. 22 % og 16 % lavere i kryds, der har separatreguleret venstresving på primærvejen (de to vejben med mest trafik), set i forhold til kryds uden separatreguleret venstresving. Omvendt har kryds med separatreguleret venstresving på sekundærvejen 24 % flere uheld og 28 % flere bagendekollisioner end kryds uden separatreguleret venstresving på sekundærvejen.

Wang og Abdel-Aty (2008) finder, at venstresvingssuheld er mindre alvorlige, når venstresving er separatreguleret. De finder også, at venstresvingssuheld er mindre alvorlige, jo længere varigheden er af helrødt efter fasen, hvor bilister svinger til venstre, uanset om dette er en separat fase eller ej. Pratt et al. (2012) fandt i et før-efter studie af alvorlige konflikter, at etablering af 1-lys venstresvingpil med førgrønt gav et fald i konflikter mellem venstresvingende motorkøretøjer og fodgængere på 34 %.

I Storbritannien fandt Hall (1986), at separatregulering af højresving (svarende til bundet venstresving i Danmark) medførte et fald i højresvingssuheld på 90 % i kryds med 4 vejben. I Singapore fandt Kumura og Weerakoon (2003), at T-kryds uden højresvingfase (svarende til bundet venstresving eller 1-lys venstresvingpil i Danmark) havde en statistisk signifikant højere uheldsrate end T-kryds med højresvingfase, men samtidig gav flere faser anledning til en højere uheldsrate, og derfor gav en højresvingfase kun et fald i uheld på 24 %.

Roozenburg og Turner (2005) beskriver flere uheldsmodeller for signalregulerede kryds i New Zealand og viser, at foruden motoriseret trafik fordelt på højresvingende og ligeudkørende, så er det kun antallet af spor for ligeudkørende, som påvirker antallet af højresvingssuheld (svarer til venstresvingssuheld i Danmark). De finder derved også, at forekomsten af en højresvingfase (bundet eller 1-lys højresvingpil) ikke synes at påvirke antallet af højresvingssuheld. De forklarer dog, at det kan skyldes et forholdsvist beskedent antal kryds med højresvingfase. Et senere studie af Turner et al. (2012) viser via uheldsmodellering, at bundet højresving giver færre højresvingssuheld og ikke synes at påvirke andre uheldstyper.



Carter et al. (2005) angiver, at der oftere sker uheld med u-svingede, når venstresvingfase kombineres med højresvingfase. De angiver samtidig, at der ikke er fundet undersøgelser af effekten af forbud mod u-vending.

En anden måde at introducere "svingfaser" er at operere med "split phasing", hvor trafik fra et vejben gives grønt, mens andre vejben har rødt, altså en slags konfliktfri styring. Simmonds (1987) fandt, at split phasing i London gav et fald i højresvinguheld (svarende til venstresvinguheld i Danmark) på 70 %. Greiwe (1986) fandt, at split phasing gav et fald i venstresvinguheld på 72 % i USA. Chen et al. (2013) fandt i en før-efter uheldsvaluering, at split phasing gav et fald på 17 % i alle uheld i kryds i New York, USA. Turner et al. (2012) finder via uheldsmodellering, at split phasing giver færre tværkollisioner, men flere eneuheld.

De mange refererede undersøgelser af bundet venstresving tyder på, at bundet venstresving reducerer antallet af venstresvinguheld med ca. 60-95 %, og ikke kun med ca. 15 %, som Høye (2015) har angivet. Ved nærmere eftersyn af tallene viser det sig, at Høye baserer de 15 % på en undersøgelse af Lyon et al. (2005), der faktisk evaluerer 1-lys venstresving og ikke bundet venstresving. Det er muligt, at effekten på alle uheld af bundet venstresving er et fald på 0-40 %.

Høye (2015) har også refereret to kilder, som hun mener, har evalueret hvad der svarer til separatreguleret højresving i Danmark. Ved eftersyn af kilderne kan det konstateres, at det ikke er tilfældet. Der er ikke fundet andre større undersøgelser af bundet højresving eller 1-lys højresving.

## 2.4 Opsummering og manglende viden

Refereringen af undersøgelser og studier i forrige afsnit beskriver i hovedtræk den viden, der findes om betydningen af signalregulering, driftsform, mellemtid og svingfaser for trafikikkerheden. Mellem linjerne kan så erfares, hvad man ikke ved om de samme emner. Følgende opsummering kan gives:

**Signalregulering af kryds** giver et fald i uheld på ca. 30 %. Effekten synes at være højere, jo flere ben krydset har, jo flere trafikanter der krydser primærvejen, og jo tættere krydset er placeret på andre signalanlæg. Signalregulering af kryds giver ofte store fald i tværkollisioner og venstresvinguheld, men også store stigninger i bagendekollisioner. Ved signalregulering af kryds sker der også fald i uheld på vejene hen til kryds op til 200 meter fra krydset. Det er i dag uvist om sikkerhedseffekter af signalregulering af kryds afhænger af hastighedsbegrænsningen (fx er forskellig i by- og landzone), og om sikkerhedseffekter på veje hen til krydset også afhænger af hastighedsbegrænsningen.

**Driftsformen** af signalanlæg kan være tidsstyret eller trafikstyret, og signalanlæg kan være samordnede eller uafhængige. At gå fra tidsstyring til trafikstyring af

uafhængige signalanlæg giver i gennemsnit et fald i uheld på ca. 20 %. Denne effekt afhænger af, hvordan trafikstyringen er programmeret, og derfor svinger effekten formentlig mellem et fald i uheld på ca. 5–35 %. Samordning af signaler, så der opstår grønne bølger, giver et fald i uheld på ca. 15 %. At gå fra tidsstyring til trafikstyring af samordnede signalanlæg synes at give en stigning i uheld, men her er der kun udført en enkelt undersøgelse, og effekterne er derfor meget usikre. Det er uvist, hvordan programmeringen af trafikstyringen af samordnede signalanlæg påvirker trafiksikkerheden.

**Mellemtiden** består af tidsrum med gult, helrødt og rød/gult. Amerikanske studier tyder på, at sikkerheden forbedres, når gultiden gøres længere i store kryds og i kryds med høje hastigheder. Men det er uklart, om en varierende længde af både gul- og rødtid mellem krydsene er sikrere end en ensartet gultid og varierende rødtid. I de fleste kryds vil en gultid på ca. 4 sekunder være bedst. Indførelse af 1-2 sekunders helrødt har givet et fald i uheld på ca. 15-35 %, hvor særligt antallet af tværkollisioner falder. I nogle lande bruges rød/gult (i Danmark 2 sekunder) og i andre lande ikke. Undersøgelser tyder på, at rød/gult ikke påvirker trafiksikkerheden, men forbedrer krydsets kapacitet. For korte og for lange mellemtider giver en dårligere sikkerhed, og derfor er det vigtigt at variere længden af mellemtiden i relation til bl.a. biltrafikkens hastighed og krydsets størrelse. Et enkelt studie tyder på, at mellemtiden før og efter en svingfase (venstresving) er af samme betydning for sikkerheden som mellemtiden før og efter en hovedfase. Mellemtidens betydning for sikkerheden (herunder også bløde trafikanters sikkerhed) i relation til svingfaser er således belyst i ringe grad.

**Svingfaser** er undersøgt mange gange, men der er kun fundet undersøgelser, der giver et klart billede af venstresvingfasers betydning for sikkerheden. Derved er det ikke muligt at sige noget om sikkerhedseffekter af højresvingfaser. Bundet venstresving ser ud til at give et fald i venstresvinguheld på ca. 60-95 %, mens faldet i alle uheld er uklart. Nogle undersøgelser tyder på, at bundet venstresving giver et uændret antal uheld, mens andre udviser fald i alle uheld på ca. 20-40 %. En 1-lys venstresvingsspil synes at give et fald i venstresvinguheld på ca. 15 %, mens antallet af alle uheld er uændret. Undersøgelser tyder på, at effekter på uheld bliver mere gunstige, jo flere af krydsets vejben der får venstresvingfase. Undersøgelser indikerer, at førgrønt er lige så sikkert eller sikrere end eftergrønt i kryds med venstresvingfaser. Der er ikke fundet undersøgelser af den sikkerhedsmæssige betydning af deleheller i tilfarer med separatregulering af svingende trafikstrømme. Der er heller ikke fundet før-efter uheldsevalueringer af krydsgeometriens indvirkning på sikkerhedseffekter af svingfaser.

## 3. Før-efter uheldsevaluering af svingfaser

I det følgende beskrives før-efter uheldsevalueringen af etableringen af nye svingfaser i 60 signalregulerede kryds i Danmark. Datagrundlaget præsenteres først, derefter præsenteres den anvendte metode i analysen, og til sidst præsenteres de fundne effekter af krydsombygningerne.

### 3.1 Datagrundlag

Denne før-efter uheldsevaluering er baseret på politiregistrerede uheld fra årene 1987-2015. I det følgende beskrives datagrundlaget i form af undersøgelsens kryds og de anvendte uheld. Efterfølgende beskrives de registreringer, der er foretaget i forhold til kryds og krydsuheldene.

#### 3.1.1 Undersøgelsens kryds

I forbindelse med undersøgelsen er Vejdirektoratet og 17 udvalgte kommuner kontaktet med henblik på at få oplysninger om signalregulerede kryds, hvor der er etableret svingfaser. Kommunerne er udvalgt på baggrund af oplysninger om signalregulerede kryds i Danmark. Vejbestyrelserne er desuden blevet bedt om at fremsende så mange informationer som muligt om de pågældende kryds fx ombygningstidspunkter, eventuelle andre ombygninger i de omkringliggende år, og signaldokumentation fra før og efter ombygningen.

I undersøgelsen indgår i alt 60 signalregulerede kryds beliggende i 23 kommuner. Krydsene er ombygget af kommuner, amter eller staten i løbet af årene 1999-2014. Det har ikke været muligt at få alle ønskede data for alle undersøgelsens kryds, hvilket betyder, at nogle af evalueringens delundersøgelser kun kan baseres på en del af krydsene.

I undersøgelsen evalueres etablering af fire typer af svingfaser. Det varierer mellem krydsene, hvilke typer svingfaser der er etableret, og i hvor mange krydsben svingfaser er etableret. I flere kryds er der etableret mere end én type svingfase. Samlet er der i undersøgelsens 60 signalregulerede kryds etableret:

- Bundet venstresving (3-lys pilsignal) i 54 kryds
- 1-lys venstresving i 9 kryds
- Bundet højresving (3-lys pilsignal) i 6 kryds
- 1-lys højresving i 13 kryds

Undersøgelsen har således en overvægt af kryds, hvor der er etableret bundet venstresving. Etablering af bundet venstresving hænger ofte sammen med et stort antal uheld med venstresvingende, og det samme kan gælde for etablering af 1-lys venstresvingsspil. Bundet højresving og 1-lys højresvingsspil er i undersøgelsens kryds ofte etableret samtidig med bundet venstresving, og ofte synes det at være pga. af hensyn til bedre kapacitetsudnyttelse frem for sikkerhedsproblemer med højresvingende motorkøretøjer. Derfor har det også vist sig, at det er etableringen af bundet venstresving, der har størst betydning for den fundne udvikling i trafik-sikkerhed, når en periode efter ombygningen sammenlignes med en periode før.

Det er muligt, at der er etableret 1-lys venstresvingsspil og 1-lys højresvingsspil i flere kryds end angivet ovenfor i forbindelse med etableringen af bundet venstresving. Der er imidlertid kun foretaget evaluering af de 1-lys højre- og venstresvingsspil, hvor vejbestyrelser har oplyst, at de er tilføjet i forbindelse med ombygningen eller, hvor fotos fra Google Street View har givet en klar indikation af, at faserne er tilføjet samtidig med ombygningen.

Nogle af ombygningerne er desuden ledsaget af en ændring af, hvor meget stoplinjen for motorkøretøjer er tilbagetrasket i forhold til en eventuel stoplinje for cykler. Ligeledes er farven på eventuelle cykelfelter ændret i nogle kryds i forbindelse med ombygningen. Disse ændringer i forbindelse med ombygninger (eller evt. i før- eller efterperioden) er der ikke taget hensyn til, da de formentlig har en begrænset indflydelse på de fundne effekter af etablering af svingfaser. I nogen udstrækning korrigeres der for denne udvikling ved hjælp af de anvendte kontrolgrupper (se evt. *afsnit 3.2.1*), da der kan forventes tilsvarende ændringer i andre kryds.

I forbindelse med etablering af bundne svingfaser er det observeret, at svingbaner er forlænget i krydsben i nogle af undersøgelsens kryds, men det varierer, hvor meget disse svingbaner er forlænget. Derfor er der heller ikke taget hensyn til en eventuel forlængelse af svingbaner i analysen.

Hovedparten af undersøgelsens kryds er beliggende inden for bygrænsen (44 kryds), mens de resterende 16 kryds er beliggende uden for bygrænsen, men typisk i byers udkant.

I *Bilag 1* ses en oversigt over undersøgelsens kryds. For hvert kryds ses det, hvilke typer svingfaser der er etableret og i hvor mange krydsben.

### 3.1.2 Udtrækning af uheld

I undersøgelsen er der udtrukket uheld for de 60 signalregulerede kryds samt i krydsbenene op til 200 m fra det punkt, hvor vejenes midterlinjer skærer hinanden.

Stedfæstelsen af uheld er udført på mange måder i årene 1987-2015. I hovedtræk adskiller måderne sig ved oplysninger om vejnumre, kilometrering og angivelse af vejnavne i politiets stedsangivelse eller uheldstekst. Man kan oplyse vejnummer for vej1 og vej2 samt kilometrering for vej1. Nogle vejbestyrelser har i en årrække ikke anvendt vejnumre.

Som følge af ændringer i vejnumre og flere måder at stedfæste uheld kan et uheld i et givet kryds være stedfæstet ud fra mange forskellige kombinationer af vejnumre. Dette er det forsøgt at kompensere for ved at gennemføre uheldsoplysninger for politiets stedsangivelser for at sikre så vidt muligt, at alle uheld i relevante kryds og krydsben er medtaget. Hvor et uheld er stedfæstet ved to vejnumre og en kilometrering på vej1 svarende til ét af de 60 signalregulerede kryds, er uheldet medtaget. Er dette kun delvist opfyldt, medtages uheldet på baggrund af en vurdering, hvor andre af de angivne uheldsoplysninger indgår. Uheld, der ikke er stedfæstet med et vejnummer for vej1 indgår ikke.

En tidligere undersøgelse (Jensen, 2010) har vist, at etablering af signalregulerede kryds påvirker uheldsbilledet i krydsbenene op til 200 m fra krydsene i byområde. Da undersøgelsens kryds primært ligger i byområde, undersøges det derfor, om etablering af svingfaser ændrer antallet af uheld op til 200 m fra krydsene. Hvis der inden for 200 m fra det signalregulerede kryds ligger en rundkørsel eller et andet signalreguleret kryds medtages kun uheld frem til, men ikke med et sådant kryds. Der indgår kun uheld, som er stedfæstet med et vejnummer for vej1. Uheldene i krydsbenene er stedfæstet med en ca. afstand til krydset (skæring af vejenes midtlinjer) på baggrund af angivet kilometrering, husnummer og/eller uheldstekst.

I alt indgår 6.866 uheld for de 60 kryds inkl. krydsben i undersøgelsen for perioden 1987-2015.

### 3.1.3 Bearbejdning af kryds- og uheldsdata

For hvert kryds er der foretaget forskellige registreringer med hensyn til krydsdesign og signaltekniske forhold. Luftfoto fra 1995, 1999, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014 og 2015 samt Google Street View er brugt til at verificere oplysninger samt gennemgå krydsene for andre ombygninger i før- og efterperioden. Desuden er disse redskaber anvendt til registrering af følgende forhold omkring krydsdesign:

- Antal krydsben
- Anvendelse af delehelle med kantstensbegrænsning mellem bane(r) for venstresvingende og bane(r) for ligeudkørende før og efter ombygning
- Antal baner til indkørende trafik i krydsbenene

For hvert krydsben er det registreret, hvilke svingfaser der findes i før- og efterperioden. Hvor de tilsendte data er utilstrækkelige er Google Street View anvendt som supplement for kryds ombygget i perioden 2009-2014.

Er der en nyetableret svingfase i et krydsben, er tilsendte signaldokumentation anvendt til en lang række registreringer for de kryds, hvor data har været tilgængelige. Det antages, at de tilsendte oplysninger er gældende i hele før- og efterperioden, med mindre andet oplyses. I praksis kan der være foretaget adskillige ændringer i signalplanerne, men forhåbentligt er de fleste småjusteringer.

Trafikstyrede signalanlæg kan have mange variationer i grøntider og mellemtider afhængig af, hvor mange grupper, der indkobles på baggrund af trafikstyring, og hvor frit de kan indkobles i rækkefølge. Det betyder imidlertid, at det er nødvendigt med nogle meget kraftige forenklinger for at kunne foretage sammenligninger på tværs af krydsene. Ved disse forenklinger anvendes minimumstider for grøn- og mellemtider baseret på programmer, der anvendes på almindelige hverdage, dvs. dags-, nat- og myldretidsprogrammer. Programmer til håndtering af særlige events, tekniske nedbrud o. lign. indgår ikke. For hver nyetableret svingfase registreres følgende:

- Indkobles svingfasen i alle omløb? (i alle programmer)
- Er der mulighed for forlængelse af svingfasen? (i mindst ét program)
- Hvis svingfasen anmeldes, er det så som før- eller eftergrønt ift. hovedsignalet i modstående krydsben? (i alle programmer)
- Minimumslængde af svingfase (i alle programmer)
- Minimumslængde af mellemtid fra en konfliktende trafikantgruppes grøn-fase slutter, til svingfasen får grønt (i alle programmer)
- Minimumslængde af mellemtid fra svingfasens grøntid slutter, til en konfliktende trafikantgruppe får grønt (i alle programmer)

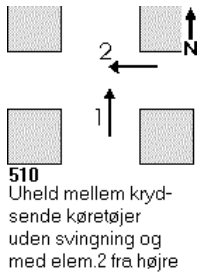
Signalgruppeplanerne anvendes til bestemmelse af mellemtider for at basere undersøgelsen på de faktisk anvendte mellemtider. For nogle få kryds er detaljeringsgraden i det tilgængelige materiale om signalgruppeplaner lav, og de aflæste mellemtider er lidt usikre.

I forbindelse med krydsuheld anvendes uheldsoplysninger til at fordele part 1 og evt. part 2 i forhold til:

- Hvilket krydsben parten kører ind i krydset fra
- Hvilken manøvre parten har til hensigt at foretage i krydset (venstresvingende (inkl. foretagende u-vending), ligeudkørende eller højresvingende)

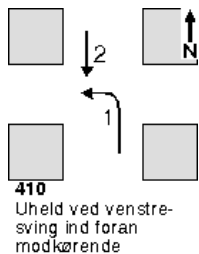
Formålet med denne registrering er at få knyttet uheldsparterne til krydsbenene, så det er muligt fx at se på effekten af etablering af bundet venstresving på uheld, hvor der rent faktisk indgår et venstresvingende motorkøretøj fra et krydsben,

hvor der er nyetableret bundet venstresving. Havde uheldsoplysningerne været registreret fuldstændig systematisk, kunne denne del af databehandlingen alene baseres på de angivne uheldssituationer og retninger. Dette er ikke tilfældet, og der er behov for en mere detaljeret gennemgang af uheldsoplysningerne, hvor primært de angivne manøvrer og uheldstekster også anvendes.



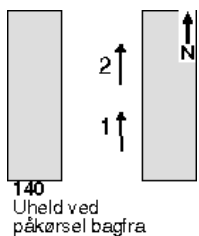
Krydsuheldene inddeles i fire grupper afhængig af konflikttypen:

- Primær
- Sekundær modsat
- Sekundær samme
- Solo



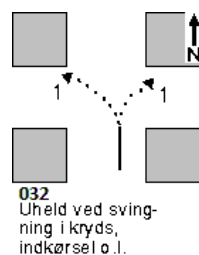
”Primær”-konflikter dækker uheld med tværkonflikter, dvs. minimum to trafikanter kommende fra to krydsende krydsben. Uheldssituation 510 er et hyppigt forekommende eksempel.

”Sekundær modsat”-konflikter dækker over uheld med minimum to trafikanter kommende fra to modstående krydsben (inkl. alle konflikter med trafikanter fra samme krydsben, hvoraf den ene trafikant krydser i fodgængerfeltet til venstre for den anden trafikant). Uheldssituation 410 er et hyppigt forekommende eksempel.



”Sekundær samme”-konflikter dækker over uheld med minimum to trafikanter kommende fra det samme krydsben (inkl. alle konflikter med trafikanter fra modstående krydsben, hvoraf den ene trafikant krydser i fodgængerfeltet til højre for den anden trafikant). Uheldssituation 140 er et hyppigt forekommende eksempel.

”Solo”-konflikter dækker over uheld med kun én part. Uheldssituation 32 er et hyppigt forekommende eksempel.



### 3.2 Metode

I en før-efter uheldsevaluering af vejtekniske ombygninger er det væsentligt at korrigere for skævheder, der påvirker opgørelsen af sikkerhedseffekter. Det er almindeligt at korrigere for skævheder ved at benytte kontrolgrupper, der består af veje og/eller kryds, der ikke er bygget om. De skævheder, der normalt korrigeres for, er:

- Langsigtede generelle udviklinger i trafiksikkerheden
- Ændringer i eksponering (trafikmængder)
- Regressionseffekt (tilfældige ophobninger i uheldstallene)

I nærværende undersøgelse har det ikke været muligt at tilvejebringe pålidelige tal for trafikmængder for både før- og efterperiode. Trafikudviklingen kan formentligt have været anderledes på nogle af de ombyggede steder ift. trafikudviklingen i

kontrolgrupper, men dette kan der ikke tages højde for. Etablering af svingfaser i signalregulerede kryds påvirker næppe den samlede trafikmængde i et større omfang. Derfor vil udeladelse af trafikmængder i evalueringen næppe føre til større systematiske skævheder i opgørelsen af sikkerhedseffekter. I enkelte tilfælde er svingfaserne muligvis etableret i forbindelse med større trafikomlægninger, hvorved trafikken kan have udviklet sig anderledes i disse kryds ift. den generelle trafikudvikling i kontrolgruppen. Derfor kan opgørelsen af sikkerhedseffekter for enkelte ombygninger være behæftet med større fejl. Hvor der har været nogenlunde pålidelige trafikdata til rådighed fra både før- og efterperioden, synes udviklingen ikke at adskille sig fra, hvad man med rimelighed kan forvente i kontrolgruppen.

I en såkaldt naiv uheldsevaluering sammenlignes uheld før og efter ombygning, men dette giver oftest anledning til for gode sikkerhedseffekter. I nærværende evaluering korrigeres for generelle udviklinger i trafiksikkerheden og regressions-effekter. Det udføres ved at gange antallet af uheld og personskader i førperioden med korrektionsfaktorer og derved få et forventet antal uheld for efterperioden:  $U_{\text{forventet}} = U_{\text{før}} \cdot C_{\text{udv}} \cdot C_{\text{regres}}$ , hvor  $C_{\text{udv}}$  er korrektionsfaktor for generel udvikling i trafiksikkerhed, og  $C_{\text{regres}}$  er korrektionsfaktor for regressionseffekt. I nærværende evaluering sammenlignes forventede og observerede uheld for efterperioden. I det følgende beskrives, hvordan korrektionsfaktorerne estimeres.

### 3.2.1 Korrektion for generelle udviklinger i trafiksikkerheden

Korrektionsfaktorer for generelle udviklinger i trafiksikkerheden estimeres ved at indsætte antallet af uheld og personskader fra kontrolgrupper i følgende formel:

$$C_{\text{udv}} = \frac{U_{\text{kontrolgruppe, efterperiode}}}{U_{\text{kontrolgruppe, førperiode}}}$$

I før-efter uheldsevalueringen indgår uheld og personskader i en femårig periode før ombygningen og en periode på 1-5 år efter ombygningen. Efterperioden har en varierende længde, da undersøgelsens kryds er ombygget i årene 1999-2014, og der er benyttet uheld i perioden 1987-2015. For et kryds, der har fået etableret svingfaser i 2009, er førperioden således årene 2004-2008, og efterperioden er årene 2010-2014. For et kryds, der har fået etableret svingfaser i 2014, er førperioden årene 2009-2013, og efterperioden er 2015.

Til opstilling af kontrolgrupper benyttes politiregistrerede uheld indtruffet i årene 1987-2015 i de 23 kommuner, hvor undersøgelsens kryds er beliggende. Uheld, der er sket i de ombyggede kryds (inkl. krydsben), indgår ikke i kontrolgrupperne. Da uheld, der ikke er stedfæstet med et vejnummer for vej1, ikke indgår i datamaterialet for undersøgelsens kryds, er de også udeladt fra kontrolgrupperne. Kontrolgrupperne er baseret på i alt 253.282 uheld og 88.200 personskader.



Det er ikke hensigtsmæssigt blot at benytte én kontrolgruppe, da en række underliggende udviklinger er ganske forskellige. Eksempelvis udvikler antallet af personskadeuheld sig anderledes end antallet af materielskadeuheld. Af hensyn til projektets omfang er det dog valgt at holde antallet af kontrolgrupper på et lavt antal. For at finde robuste kontrolgrupper, der på en rimelig facon kan opfange, at den generelle udvikling er forskellig fra sted til sted, er datamængden til kontrolgrupperne undersøgt ud fra følgende parametre, som er udvalgt på baggrund af erfaringerne fra Jensen (2012):

- Uheldsart (personskadeuheld, materielskadeuheld, ekstrauehld)
- Byzone (byzone, landzone)
- Kommune (23 kommuner)

Udviklingen er som antydnet forskellig for de tre uheldsarter, og derfor er de undersøgt særskilt. Dertil kommer antallet af personskader, hvor der dog ikke skelnes mellem alvorlighedsgraden.

Det har vist sig, at forskellen i udviklingen i undersøgelsens kommuner har været større end forskellen mellem by og land. Derfor inddeles i kontrolgrupper ved en gruppering af kommuner fremfor en gruppering i by og på land. Et andet argument for dette valg er, at de fleste af undersøgelsens kryds er beliggende i by, og de resterende kryds er beliggende tæt ved bygrænsen.

Københavns Kommune har haft en særlig udvikling, der ikke ligner de øvrige kommuner, og denne er derfor holdt for sig selv. Fx har Københavns Kommune ikke stedfæstet ekstrauehld før 1999, og stedfæstede ekstrauehld udgør fortsat en meget lille andel af det samlede antal politiregistrerede uheld.

De øvrige 22 kommuner er inddelt afhængig af den gennemsnitlige uheldsudvikling, hvor de for henholdsvis personskadeuheld (p-uheld), materielskadeuheld (m-uheld), ekstrauehld (e-uheld) og personskader (p-skader) inddeles i grupper afhængig af, hvor god uheldsudviklingen har været. Som udgangspunkt anvendes to grupper: en god og en dårlig. For materielskadeuheld skiller to af de større kommuner sig ud fra de øvrige 20 med en afvigende udvikling, og da de til sammen repræsenterer et rimelig stort antal materielskadeuheld er der tilføjet en tredje gruppe baseret på disse. For ekstrauehld har det vist sig, at en inddeling på tre grupper synes mest rimelig, da udviklingen har været meget forskellig i de 22 kommuner. Fx synes de fem kommuner med den dårligste udvikling at have haft en ændring i registreringspraksis omkring år 2000.

I alt er der etableret 14 forskellige kontrolgrupper til at beregne korrektionsfaktorer for at korrigere for den generelle uheldsudvikling,  $C_{udv}$ . I Tabel 1 ses den gennemsnitlige uheldsudvikling i de opstillede kontrolgrupper for årene 1987-2015.

Type uheld/ personskade	Københavns Kommune	Gruppering af 22 øvrige kommuner efter udvikling		
		God udvikling	Mellem udvikling	Dårlig udvikling
P-uheld	-4,1 %	-5,4 %	-	-4,1 %
M-uheld	-4,2 %	-0,8 %	0,3 %	1,4 %
E-uheld	3,6 %	-2,3 %	1,6 %	5,9 %
P-skader	-4,1 %	-5,7 %	-	-4,3 %

**Tabel 1:** Kommunerne er inddelt i kontrolgrupper til beregning af korrektionsfaktorer for generel udvikling i trafiksikkerhed,  $C_{udv}$ . Tal angiver det gennemsnitlige årlige fald eller stigning i kontrolgruppen for årene 1987-2015. "-" angiver ingen kontrolgruppe.

Det er tydeligt Københavns Kommune adskiller sig fra de øvrige kommuner, specielt med hensyn til udviklingen for materielskadeuheld. For de øvrige 22 kommuner er forskellen på udviklingen på 1-2 procentpoint pr. år, hver gang der springes til en ny gruppe, dog er forskellen ca. 4 procentpoint med hensyn til ekstrauheld.

### 3.2.2 Korrektion for regressionseffekt

De ombyggede steder repræsenterer en skæv stikprøve, hvad angår antallet af uheld og personskader. Det skyldes, at vejbestyrelserne ofte har udvalgt de ombyggede steder ud fra sortpletudpegning eller andre uheldsanalyser baseret på uheld, der er indtruffet i en periode frem mod etableringen af nye svingfaser. Derfor findes der højst sandsynligt en tilfældig ophobning af uheld i førperioden. Derimod vil uheld i efterperioden ikke udgøre en skæv stikprøve. Tilfældig uheldsofhobning kaldes for regressionseffekt.

En måde at tage højde for regressionseffekt er brug af Empirical Bayes metoden. Metoden er ikke velfungerende uden tal for trafikmængder, og den er derfor ikke hensigtsmæssig at benytte i denne evaluering.

I stedet anvendes en anden metode til at identificere tilfældig uheldsofhobning. Ved at analysere udviklinger i uheld og personskader på de ombyggede steder ift. de generelle udviklinger i trafiksikkerheden i en lang periode før ombygningen kan tilfældige uheldsofhobninger estimeres. For at estimere korrektionsfaktorer for regressionseffekt introduceres derfor en "før-før"-periode. Ved at sammenligne uheld og personskader i før-førperioden med uheld og personskader i førperioden estimeres korrektionsfaktorer.

Ved udpegning af sorte pletter, uheldsanalyser, mv. opereres oftest med en 5-årig udpegningsperiode eller analyseperiode. Udpegning og analyse påbegynder typisk et halvt til et helt år efter denne 5-årige periode. Analyserne omsættes til forslag til tiltag eller skitseprojekter, som forhåndseffektvurderes og prioriteres. Omkring 1½ år efter den 5-årige periode har man besluttet sig for at gennemføre projekter. Disse skal så finansieres, detailprojekteres, udbydes i licitation, osv. – og først

derefter kan ombygningen påbegyndes. I tilfældet med etablering af svingfaser er det formentligt almindeligt, at ombygning først starter ca. 7 år efter starten af udpegnings- og analyseperiode.

Ud fra en statistisk betragtning vil antallet af uheld mellem ombygningsperiode og udpegnings-/analyseperiode næppe have en større tilfældig uheldsophobning. Derfor vil den største tilfældige uheldsophobning optræde nogen tid før ombygning. Da ombygningsperioden i nærværende evaluering er hele kalenderår, kan der dog være tilfældig uheldsophobning i det sidste år før ombygningsperioden.

I nærværende uheldsevaluering fastsættes før-før-perioden til det 8.-12. år før det første ombygningsår. Der gøres brug af de samme 14 kontrolgrupper, der er beskrevet i *afsnit 3.2.1*, til at angive de generelle udviklinger i trafikssikkerheden. Antallet af uheld, som kan forventes at indtræffe i førperioden, kan beregnes på følgende måde:

$$\text{Uheld}_{\text{forventet, førperiode}} = \text{Uheld}_{\text{før-før-periode}} \cdot \frac{\text{Uheld}_{\text{kontrolgruppe, førperiode}}}{\text{Uheld}_{\text{kontrolgruppe, før-før-periode}}}$$

Korrektionsfaktoren for regressionseffekt kan så opgøres til:

$$C_{\text{regres}} = \frac{\text{Uheld}_{\text{forventet, førperiode}}}{\text{Uheld}_{\text{observeret, førperiode}}}$$

For at undgå skævvridning frasorteres kryds, der ikke var signalreguleret 12 år før ombygningens start, eller som har gennemgået en væsentlig ombygning i løbet af de 12 år før ombygningens start. Med væsentlige ombygninger menes elementer, som forventes at påvirke uheldsudviklingen i krydset fx tilføjelse af krydsben eller etablering af bundet venstresving i nogle af de øvrige krydsben. I alt syv kryds er frasorteret, hvilket betyder, at 53 kryds indgår i beregningerne af regressionseffekten.

For at kunne beskrive, hvordan regressionseffekten optræder år for år, benyttes en formel til at beregne det forventede antal uheld i hvert år før ombygningsperioden:

$$\text{Uheld}_{\text{forventet, år}_i \text{ før ombyg}} = \text{Uheld}_{\text{før-før-periode}} \cdot \frac{\text{Uheld}_{\text{kontrolgruppe, år}_i \text{ før ombyg}}}{\text{Uheld}_{\text{kontrolgruppe, før-før-periode}}}$$

Fornemmelsen er, at der er etableret svingfaser som følge af, at der i en udpegningsperiode er registreret mange uheld. Når der oftest er etableret bundet venstresving, er det sandsynligt, at der i den uheldsbelastede udpegningsperiode har været et stort antal uheld med venstresvingende. Derfor opdeles krydsuheldene i uheld med venstresvingende og øvrige uheld på baggrund af politiets angivelse af

uheldssituationen<sup>1</sup>. For disse to grupper af uheld er det undersøgt, om der er en regressionseffekt for de tre uheldsarter samt personskader.

Ombygningsprojekter hos de daværende amter og i nogen grad også hos staten har ofte været foranlediget af sortplet-udpegning, hvor der har været midler øremærket til denne form for uheldsbekæmpelse år efter år. Det er ikke helt den samme strategi, som er anvendt i kommunerne, hvor ombygninger i nogle tilfælde kan være sat i værk som led i andre projekter, og der kun i nogle budgetår har været afsat midler til uheldsbekæmpelse. Ved projekter ombygget på baggrund af sortplet-udpegning kan der i særdeleshed forventes en stor regressionseffekt. Derfor er undersøgelsens kryds inddelt efter, om de er ombygget af kommunerne eller af staten/amterne.

En korrektionsfaktor for regressionseffekt,  $C_{regres}$ , beregnet som et gennemsnit for krydsene for de tre uheldsarter og personskader fremgår af Tabel 2. Der er regnet særskilte korrektionsfaktorer for ombygninger foretaget af kommuner og stat/amter. Derudover er der beregnet en faktor, hvor alle vejbestyrelser er slået sammen, som anvendes, hvor der ikke er signifikant forskel på faktoren for kommuner og stat/amter.

Type uheld/ person- skade	Uheld med venstresvingende			Øvrige uheld		
	Kommune	Stat/amt	Fælles	Kommune	Stat/amt	Fælles
P-uheld	0,65	0,72	<b>0,68</b>	0,94	0,98	0,95
M-uheld	<b>0,81</b>	<b>0,52</b>	0,73	1,01	1,02	1,02
E-uheld	0,73*	1,24*	0,91	0,96	0,98	0,97
P-skader	0,69	0,81	<b>0,73</b>	1,06	1,10	1,07

**Tabel 2:** Opgørelse over korrektionsfaktorer for regressionseffekt,  $C_{regres}$ , beregnet for to grupper af uheld afhængig af vejbestyrer bag ombygning. Beregninger baseret på 53 kryds. Faktorer fremhævet med **fed** er anvendt i undersøgelsen. \*Baseret på meget lille datamængde.

Der synes kun at være regressionseffekt for uheld med venstresvingende. For materielskadeuheld er der en stor forskel afhængig af, om ombygningen er iværksat af kommune eller stat/amt, og der anvendes derfor to forskellige faktorer. Der synes også at være en forskel for ekstrauheld, men datamængden er meget begrænset, og den fælles faktor er tæt på 1. Det er usædvanligt, at ekstrauheld indgår ved udpegning og prioritering af trafiksikkerhedsprojekter, og disse uheld er derfor sjældent forbundet med tilfældig uheldsophobning. Af disse årsager anvendes ingen korrektionsfaktor for regressionseffekt for ekstrauheld i denne undersøgelse.

Datamaterialet bag de anvendte korrektionsfaktorer fremgår af Tabel 3.

<sup>1</sup> Krydsuheld med venstresvingende er udvalgt på baggrund af følgende uheldssituationer: 250, 321, 322, 323, 410, 420, 430, 641, 642, 643, 650, 660, 877, 878.

Type uheld/ personskade	Før-før	Forventet før	Før	Korrektionsfaktor, $C_{regres}$
P-uheld	107	77,8	115	0,68
M-uheld (kommune)	240	204,4	252	0,81
M-uheld (stat/amt)	62	54,0	104	0,52
P-skader	150	110,4	152	0,73

**Tabel 3:** Antal uheld/personskader i før-før- og førperiode, samt det forventede antal i førperioden for uheld med venstresvingende baseret på politiets angivne uheldssituationer. Anvendte korrektionsfaktorer for regressionseffekt,  $C_{regres}$ , er beregnet ud fra forholdet mellem forventet før og før.

Korrektionsfaktorerne benyttes ved beregning af det forventede antal uheld i efterperioden for alle krydsuheld med venstresvingende (baseret på angivne uheldssituationer) i undersøgelsens kryds. I de få kryds, hvor der ikke er etableret 1-lys venstresvingsspil eller bundet venstresving forventes uheld med venstresvingende at repræsentere en begrænset andel af det samlede antal uheld.

### 3.2.3 Samlet effekt og statistisk behandling

Den samlede sikkerhedseffekt på tværs af stederne kan opgøres som summen af de forventede uheld (eller personskader) i efterperioden for stederne divideret med summen af observerede uheld i efterperioden for stederne.

En sikkerhedseffekt kan – udover selve effektens størrelse – beskrives ved flere statistiske vurderinger. Man kan angive, om effekten er homogen eller ej, altså et udtryk for i hvilken udstrækning effekten varierer på tværs af stederne. Man kan angive det statistiske signifikansniveau for effekten. Og man kan angive en standardafvigelse eller et konfidensinterval for effekten, altså det spektrum hvor effekten med en vis sandsynlighed ligger indenfor.

I forbindelse med denne evaluering har tre forskellige metoder til at opgøre og beskrive sikkerhedseffekter på tværs af stederne været i overvejelse. Disse metoder er hver især beskrevet af Jørgensen (1981) med en videreudvikling af Jensen (2012), Hauer (1997) og Elvik (2001).

Antallet af uheld på de ombyggede steder er ofte nul i før- og/eller efterperiode, når uheldene opdeles på uheldsarter/personskader eller uheldene underopdeles efter forskellige forhold. Det er derfor ikke hensigtsmæssigt at anvende meta-analyse (log-odds metode), som beskrevet af Elvik (2001), til at opgøre sikkerhedseffekter på tværs af stederne samt foretage statistisk behandling. Meta-analyse er meget ringe til at håndtere nul-værdier og i øvrigt ringe til at håndtere lave værdier (fx under 5).

Det er generelt et problem at foretage statistisk behandling, når der optræder mange nul-værdier og lave værdier i øvrigt. Derudover er det vanskeligt på behø-

rig måde at inkludere den yderligere usikkerhed, som brugen af korrektionsfaktorer medfører. Derfor må tillempede metoder anvendes. Hauer (1997) og Jørgensen (1981) beskriver sådanne tillempede metoder, som kun er rimelige at anvende, når der er tale om homogene sikkerhedseffekter.

I nærværende før-efter uheldsevaluering udføres en test for sikkerhedseffektens homogenitet. Der testes for, om de fundne ændringer i uheldstal på stederne kan siges at være tilfældige udslag af én og samme effekt. Ændringerne i uheldstallene skal derfor være rimeligt ensartede for at være homogene. Testen er angivet af Jørgensen (1981), der anfører, at testen fungerer i undersøgelser, hvor lige lange før- og efterperioder benyttes. Man kan sige, at testen fungerer, når korrektionsfaktorerne ikke varierer for meget mellem stederne. Testen er en  $\chi^2$ -test og udføres på følgende vis:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(e_i - k \cdot f_i \cdot C_i)^2}{k \cdot C_i \cdot n_i},$$

hvor  $N$  er antal steder,  $f_i$  er antal uheld på  $i$ 'te sted i førperioden,  $e_i$  er antal uheld på  $i$ 'te sted i efterperioden,  $C_i$  er korrektionsfaktoren for det  $i$ 'te sted,  $k$  er ombygningernes fælles virkning og  $n_i = e_i + f_i$ .

Steder, hvor der ikke er sket uheld i hverken før- eller efterperioden indgår ikke i testen for homogenitet. Da der benyttes forskellige korrektionsfaktorer for forskellige typer af uheld og personskader, beregnes  $C_i$  ved sum af forventede uheld på det  $i$ 'te sted divideret med  $f_i$ . Hvis der ikke er sket uheld i førperioden på det  $i$ 'te sted anvendes en fælles korrektionsfaktor,  $C$  (i stedet for  $C_i$ ), som beregnes ved sum af forventede uheld for alle steder divideret med sum af uheld i førperioden for alle steder.  $k$  beregnes ved sum af observerede uheld i efterperiode for alle steder divideret med sum af forventede uheld i efterperiode for alle steder.

Den beregnede  $\chi^2$ -værdi har  $N-1$  frihedsgrader. Når  $\chi^2$ -værdien er over et 5% signifikansniveau, så er sikkerhedseffekten homogen på tværs af stederne. Ellers er den heterogen, dvs. signifikansniveauet er mindre end 0,05. Heterogene sikkerhedseffekter kan ikke generaliseres.

Hauer (1997) opstiller en anden metode til beregning af statistisk behandling. Denne metode tager højde for, at der ikke er lige lange før- og efterperioder. Metoden muliggør beregning af en samlet effekt og en standardafvigelse. Men som Jensen (2012) beskriver, fungerer Hauers metode nogenlunde, når antallet af uheld eller personskader i før- og efterperioder tilsammen er over 100. Når dette antal er under 50, må metoden siges at være lidt misvisende, mens metoden forekommer ubrugelig, når antallet er under 20.

Derfor er det valgt at anvende en anden metode til statistiske tests af sikkerhedseffekter i stedet for, nemlig en lettere omskrevet metode af Jørgensens (1981), som

er anvendt af Jensen (2012). Her er den samlede sikkerhedseffekt på tværs af stederne lig med summen af forventede uheld (eller personskader) i efterperioden for stederne divideret med summen af observerede uheld i efterperioden for stederne.

Jørgensens statistiske test er udviklet til evalueringer med lige lange før- og efterperioder – eller rettere til evalueringer, hvor korrektionsfaktorerne er nogenlunde ens. For at tage højde for ganske uens korrektionsfaktorer er denne statistiske test lettere omskrevet ved at beregne den fælles korrektionsfaktor,  $C$ , på en anden måde.

Jørgensens statistiske test af den samlede sikkerhedseffekt på tværs af stederne er også en  $\chi^2$ -test og udføres på følgende vis:

$$\chi^2 = \frac{(\sum e_i - C \cdot \sum f_i)^2}{(\sum e_i + \sum f_i) \cdot C}$$

hvor  $f_i$  er antal uheld på  $i$ 'te sted i førperioden,  $e_i$  er antal uheld på  $i$ 'te sted i efterperioden og  $C$  er den fælles korrektionsfaktor. Den fælles korrektionsfaktor beregnes på følgende måde:

$$C = \frac{\sum f_i \cdot C_i}{\sum f_i}$$

Den beregnede  $\chi^2$ -værdi har én frihedsgrad.  $\chi^2$ -værdien oversættes derefter til et signifikansniveau. Sammenhængen mellem signifikansniveau og  $\chi^2$ -værdi ser således ud:

- 10 %-signifikansniveau:  $\chi^2$ -værdi = 2,71
- 5 %-signifikansniveau:  $\chi^2$ -værdi = 3,84

I resultattabellers kolonne 'Signifikant?' i nærværende rapport er der anvendt et sprogbrug ved fortolkningen af de statistiske tests, der gør det nemt at forstå testen:

**Ja:** Testen viser, at sikkerhedseffekten er statistisk signifikant. Forskellen på observerede og forventede uheldstal anses for sikker. Sandsynligheden for, at forskellen skyldes tilfældige variationer, er under 5 %.

**Tendens:** Testen viser, at sikkerhedseffekten er ganske sandsynlig. Forskellen på observerede og forventede uheldstal er lidt usikker. Sandsynligheden for, at forskellen skyldes tilfældige variationer, er mellem 5 % og 10 %.

**Nej:** Testen viser, at en sikkerhedseffekt ikke kan påvises. Forskellen på observerede og forventede uheldstal kan være et udslag af tilfældige variationer. Resultatet kan skyldes, at ombygningen ingen virkning

har på uheldstallet, eller talgrundlaget er for lille til, at en beskeden eller større virkning kan påvises.

Sikkerhedseffekter angives i procent i rapportens tabeller. En effekt angivet som ”-30 %” svarer til, at ombygningerne har medført et fald på 30 % i uheld, mens ”+5 %” svarer til en stigning på 5 %. Sikkerhedseffekterne beskrives tillige med resultatet af signifikanstesten, som anført ovenfor, og hvorvidt de er homogene.

De overordnede effekter opgøres separat for personskadeuheld (P-uheld), materielskadeuheld (M-uheld), ekstrauehld (E-uheld) samt personskader (P-skader). Desuden opgøres effekter samlet for person- og materielskadeuheld (P+M-uheld) samt for alle politiregistrerede uheld inkl. ekstrauehld (Alle uheld). Effekterne ved de mere detaljerede opgørelser er udelukkende baseret på alle uheld.

### 3.3 Resultater

I det følgende beskrives effekterne af tilføjelse af nye svingfaser til undersøgelsens kryds. Først beskrives de overordnede effekter i kryds og krydsben. Herefter beskrives effekten af hver af de i alt fire typer af venstre- og højresvingfaser på uheld med henholdsvis venstre- og højresvingende motorkøretøjer fra de ombyggede krydsben. Afslutningsvis følger en mere detaljeret gennemgang af forskellige forhold ved krydsdesign og signalløsninger i relation til effekten af bundet venstresving.

#### 3.3.1 Overordnede effekter af nye svingfaser

De overordnede effekter af etableringen af nye svingfaser i undersøgelsens 60 kryds fremgår af Tabel 4.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	217	100	71	-29 %	Ja	Ja
M-uheld	597	363	238	-34 %	Ja	Nej
P+M-uheld	814	463	309	-33 %	Ja	Nej
E-uheld	144	115	86	-25 %	Ja	Ja
Alle uheld	958	578	395	-32 %	Ja	Nej
P-skader mktj	167	75	56	-26 %	Tendens	Nej
P-skader c/k	88	41	28	-31 %	Tendens	Ja
P-skader fodg	22	10	7	-29 %	Nej	Ja
P-skader alle	277	126	91	-28 %	Ja	Nej

**Tabel 4:** Overordnede sikkerhedseffekter af etablering af nye svingfaser. 60 kryds. Mktj = motorkøretøjer, c/k = cykel og lille knallert, fodg = fodgænger.



Etablering af nye svingfaser har medført et signifikant fald for alle uheld (inkl. ekstraeheld) på 32 %. Største fald ses for materielskadeuheld (34 % lavere end forventet) og mindste fald for ekstraeheld (25 % lavere end forventet). Effekterne er således meget ensartede, og effekten synes ikke at afhænge af uheldenes alvorlighed. Ligeledes er der et signifikant fald i antallet af personskader på 28 %, og faldet er stort set lige stort for personer i motorkøretøjer, for personer på cykler eller små knallerter og for fodgængere. For såvel materielskadeuheld, alle uheld, personskader i førere/passagerer i motorkøretøjer og alle personskader er den fundne sikkerhedseffekt heterogen, hvilket betyder, at effekten varierer signifikant fra kryds til kryds og derfor ikke kan generaliseres.

Langt de fleste kryds har fået etableret bundet venstresving i mindst ét af krydsbenene. Det betyder, at effekten for uheld med venstresvingende (Tabel 5) er langt større end for øvrige uheld (Tabel 6).

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	130	51	19	-62 %	Ja	Ja
M-uheld	381	205	71	-65 %	Ja	Nej
P+M-uheld	511	255	90	-65 %	Ja	Nej
E-uheld	33	23	8	-66 %	Ja	Ja
Alle uheld	544	279	98	-65 %	Ja	Nej
P-skader mktj	119	48	11	-77 %	Ja	Ja
P-skader c/k	47	20	6	-69 %	Ja	Ja
P-skader fodg	10	4	3	-16 %	Nej	Ja
P-skader alle	176	71	20	-72 %	Ja	Nej

**Tabel 5:** Effekter af etablering af nye svingfaser for uheld med venstresvingende. 60 kryds. Mktj = motorkøretøjer, c/k = cykel og lille knallert, fodg = fodgænger.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	87	50	52	5 %	Nej	Ja
M-uheld	216	158	167	6 %	Nej	Ja
P+M-uheld	303	208	219	5 %	Nej	Ja
E-uheld	111	92	78	-15 %	Nej	Ja
Alle uheld	414	299	297	-1 %	Nej	Ja
P-skader mktj	48	28	45	62 %	Ja	Nej
P-skader c/k	41	21	22	5 %	Nej	Ja
P-skader fodg	12	6	4	-37 %	Nej	Ja
P-skader alle	101	55	71	29 %	Nej	Ja

**Tabel 6:** Effekter af etablering af nye svingfaser for uheld der ikke involverer venstresvingende. 60 kryds. Mktj = motorkøretøjer, c/k = cykel og lille knallert, fodg = fodgænger.

Således ses der et signifikant fald for alle uheld med venstresvingende på 65 %, mens antallet af de andre uheld i krydsene er stort set uændret. Igen bemærkes det, at effekterne for uheld med venstresvingende er meget ensartede, og ikke afhængig af uheldenes alvorlighed.

Særligt for personskaderne er der dog stor forskel på de to grupper. Der ses et signifikant fald på 72 % færre personskader i uheld med venstresvingende trafikanter og en ikke signifikant stigning på 29 % i de øvrige uheld. Det sidste skyldes primært en signifikant stigning i antallet af personskader for personer i motorkøretøjer i uheld uden venstresvingende trafikanter. Denne lidt overraskende stigning hænger sammen med, at der i efterperioden er flere uheld med mange tilskadekomne således, at de 45 personskader er fordelt på bare 26 uheld i modsætning til 48 personskader fordelt på 37 uheld i førperioden. Det er primært tværkollisionerne, der er blevet mere alvorlige med flere tilskadekomne pr. uheld i efterperioden sammenlignet med før. I afsnit 3.3.2-3.3.5 sammenholdes type af svingfase og trafikanters manøvre i en mere detaljeret grad.

Betydningen af etableringen af svingfaser for uheld i krydsbenene op til 200 m væk fra krydsene fremgår af Tabel 7. Etableringen af svingfaser synes at medføre en lille stigning i antallet af uheld i krydsbenene op til 200 m fra krydsene, men der er dog et lille fald i antallet af personskader i forbindelse med disse uheld. Effekterne er ikke signifikante.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	75	42	41	-1 %	Nej	Ja
M-uheld	165	119	139	17 %	Nej	Ja
P+M-uheld	240	161	180	12 %	Nej	Ja
E-uheld	64	49	54	11 %	Nej	Nej
Alle uheld	304	210	234	12 %	Nej	Nej
P-skader	82	43	42	-3 %	Nej	Ja

**Tabel 7:** Effekter af etablering af nye svingfaser for uheld i krydsbenene op til 200 m fra krydsene. 60 kryds.

Alle uheld i krydsbenene er grupperet afhængig af afstanden til krydset i Tabel 8.

Afstand til kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
0-50 m	50	37	48	28 %	Nej	Ja
51-100 m	88	62	62	0 %	Nej	Ja
101-150 m	82	52	58	12 %	Nej	Ja
151-200 m	84	58	66	13 %	Nej	Ja
Alle uheld	304	210	234	12 %	Nej	Nej

**Tabel 8:** Effekter af etablering af nye svingfaser for alle uheld i krydsbenene op til 200 m fra krydsene afhængig af afstanden til krydset. 60 kryds.

Det er tydeligt, at stigningen i antal uheld både ses tæt på og længere væk fra krydsene, men stigningen er beskednen og ikke signifikant.

Sammenlægges effekterne af etablering af nye svingfaser for uheld i kryds og i krydsbenene, ses en ensartet effekt afhængig af uheldstypen (se Tabel 9). Effekterne er imidlertid i større omfang heterogene ved sammenlægningen af uheld i kryds og krydsben. Det er tydeligt, at det er udviklingen for krydsuheldene, der har en betydning for effekterne, og det er derfor udelukkende den, der undersøges i de følgende afsnit.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	292	142	112	-21 %	Ja	Ja
M-uheld	762	482	377	-22 %	Ja	Nej
P+M-uheld	1.054	624	489	-22 %	Ja	Nej
E-uheld	208	164	140	-15 %	Nej	Nej
Alle uheld	1.262	788	629	-20 %	Ja	Nej
P-skader	359	169	133	-21 %	Ja	Nej

**Tabel 9:** De samlede effekter af etablering af nye svingfaser for uheld i kryds samt i krydsbenene op til 200 m fra krydsene. 60 kryds.

### 3.3.2 Effekt af bundet venstresving

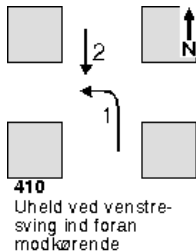
Bundet venstresving er etableret i 54 ud af 60 kryds, men det er sjældent etableret i alle krydsben. Derfor er det interessant, hvordan udviklingen har været for uheld, hvor mindst ét motorkøretøj kører ind i krydset fra et af de ombyggede krydsben.

I Tabel 10 ses en opgørelse over effekterne for de uheld, hvor et venstresvingende motorkøretøj kører ind i krydset fra et af de ombyggede krydsben.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	92	37	8	-78 %	Ja	Ja
M-uheld	311	176	32	-82 %	Ja	Ja
P+M-uheld	403	213	40	-81 %	Ja	Ja
E-uheld	20	14	11*	-22 %	Nej	Ja
Alle uheld	423	227	51	-78 %	Ja	Ja
P-skader	129	53	9	-83 %	Ja	Ja

**Tabel 10:** Effekter af etablering af bundet venstresving på krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds. \*Den højere værdi end i Tabel 5 skyldes, at uheldene er fordelt på parternes manøvrer ved hjælp af forskellige uheldsoplysninger og ikke kun den angivne uheldssituation.

Uheld med venstresvingende fra de krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving, er reduceret med 78 %, og personskaderne i disse uheld er reduceret med 83 %. Det er værd at bemærke, at disse effekter er homogene og derfor kan anvendes til en generalisering.



Før etableringen af bundet venstresving er over 85 % af uheldene med venstresvingende (367 af 423) registreret med uheldssituation 410. Efter etableringen gælder dette stadig lige under halvdelen af uheldene (23 af 51). Årsagen til at disse uheld stadig sker, er typisk rødkørsel eller i nogle tilfælde svingning fra forkert bane.

Det bundne venstresvings indflydelse på de fire typer af konflikter (beskrevet i afsnit 3.1.3) er opgjort i Tabel 11, som inkluderer alle uheld (inkl. ekstra uheld) med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving.

Konflikttype	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Primær	12	7	2	-73 %	Tendens	Ja
Sekundær modsat	389	205	28	-86 %	Ja	Ja
Sekundær samme	16	11	14	27 %	Nej	Ja
Solo	6	4	7	79 %	Nej	Ja
Alle uheld	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 11:** Effekter af etablering af bundet venstresving på alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. Uheld er fordelt afhængig af typen af konflikt. 54 kryds.

Den største effekt ses på venstresvingsuheld med trafikanter fra modstående ben, som er reduceret signifikant med 86 %. Denne konflikttype er tilmed den klart hyppigste. Ligeledes ses et fald i uheld med tværkonflikter, hvor der er en tendens til et signifikant fald. Derimod synes det bundne venstresving at give anledning til flere eneuheld og bagendekollisioner med venstresvingende, men stigningerne er ikke signifikante.

I Tabel 12 ses effekten på øvrige uheld med mindst én part fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. Der er ikke noget, der tyder på, at andre typer uheld med trafikanter fra krydsbenene hverken stiger eller falder væsentligt som følge af etablering af bundet venstresving. Ændringerne er små og ikke signifikante. Der ses dog en ikke signifikant stigning i antallet af personskader til trods for et lille fald i antallet af personskadeuheld, hvilket igen skyldes den øgede alvorlighed af personskadeuheld ved tværkollisionerne.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	67	37	36	-3 %	Nej	Ja
M-uheld	161	115	117	2 %	Nej	Ja
P+M-uheld	228	152	153	1 %	Nej	Ja
E-uheld	74	66	52	-21 %	Nej	Ja
Alle uheld	302	217	205	-6 %	Nej	Ja
P-skader	78	42	53	26 %	Nej	Ja

**Tabel 12:** Effekter af etablering af bundet venstresving på krydsuheld med trafikanter (ej venstresvingende motorkøretøjer) fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.

Også disse uheld opdeles på konflikttyper (se Tabel 13).

Konflikttype	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Primær	140	91	82	-10 %	Nej	Ja
Sekundær modsat	12	7	8	21 %	Nej	Ja
Sekundær samme	121	95	103	9 %	Nej	Ja
Solo	29	25	12	-52 %	Ja	Ja
Alle uheld	302	217	205	-6 %	Nej	Ja

**Tabel 13:** Effekter af etablering af bundet venstresving på alle krydsuheld med trafikanter (ej venstresvingende motorkøretøjer) fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. Uheld er fordelt afhængig af typen af konflikt. 54 kryds.

De hyppigste konflikttyper for de øvrige trafikanter kommende fra krydsben, hvor bundet venstresving er etableret, er klart tværkonflikter og konflikter i samme krydsben. Blandt tværkonflikter ses et mindre og ikke signifikant fald til trods for, at de har medført flere personskader, mens der ses en mindre og ikke signifikant stigning i konflikter mellem trafikanter i/fra samme krydsben. For solouheld ses et signifikant fald på 52 %.

Som det fremgår af datamængderne i det ovenstående er en part kommende fra et krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving, involveret i størsteparten af uheldene i de 60 signalregulerede kryds.

Tabel 14 indeholder en opgørelse over de uheld, der ikke involverer en part fra et krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving i forbindelse med ombygningerne. Både antallet af personskadeuheld og alle uheld samlet er stort set uændret efter ombygningen, og det tyder på, at det er etablering af bundet venstresving, der har påvirket uheldsudviklingen mest.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	58	26	27	3 %	Nej	Ja
M-uheld	125	72	89	24 %	Nej	Nej
P+M-uheld	183	98	116	19 %	Nej	Ja
E-uheld	50	36	23	-35 %	Tendens	Ja
Alle uheld	233	133	139	4 %	Nej	Nej
P-skader	70	30	29	-4 %	Nej	Ja

**Tabel 14:** Effekter på de krydsuheld der ikke involverer trafikanter fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 60 kryds.

### 3.3.3 Effekt af 1-lys venstresvingsspil

I 9 ud af 60 kryds er der etableret 1-lys venstresvingsspil. I Tabel 15 ses en opgørelse over effekterne for de uheld, hvor et venstresvingende motorkøretøj kører ind i krydset fra et af de ombyggede krydsben.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	0	0	2	-	-	-
M-uheld	11	4	5	32 %	Nej	Nej
P+M-uheld	11	4	7	84 %	Nej	Nej
E-uheld	4	2	1	-41 %	Nej	Ja
Alle uheld	15	5	8	46 %	Nej	Nej
P-skader	0	0	2	-	-	-

**Tabel 15:** Effekter af etablering af 1-lys venstresvingsspil på krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret 1-lys venstresvingsspil. 9 kryds.

Datamængden er lille, og derfor er den fundne stigning på 46 % i antallet af uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben med 1-lys venstresvingsspil ikke signifikant. En opdeling af uheldene efter konflikttyper i Tabel 16 viser intet mønster.

Konflikttype	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Primær	2	1	0	-100 %	Nej	-
Sekundær modsat	10	3	6	78 %	Nej	Nej
Sekundær samme	1	0	2	403 %	Nej	Ja
Solo	2	1	0	-100 %	Nej	-
Alle uheld	15	5	8	46 %	Nej	Nej

**Tabel 16:** Effekter af etablering af 1-lys venstresvingsspil på alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret 1-lys venstresvingsspil. Uheld er fordelt afhængig af typen af konflikt. 9 kryds.

De fleste venstresvinguheld involverer en part fra det modstående krydsben, og der ses her en ikke signifikant stigning på 78 %. Denne effekt er ikke homogen, da ét kryds skiller sig ud ved 0 uheld i førperioden og 4 uheld i efterperioden.

### 3.3.4 Effekt af bundet højresving

I 6 ud af 60 kryds er der etableret bundet højresving. I Tabel 17 ses en opgørelse over effekterne for de uheld, hvor et højresvingende motorkøretøj kører ind i krydset fra et af de ombyggede krydsben.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	3	2	1	-46 %	Nej	Ja
M-uheld	9	7	2	-73 %	Tendens	Ja
P+M-uheld	12	9	3	-68 %	Tendens	Ja
E-uheld	1	1	1	-8 %	Nej	Ja
Alle uheld	13	10	4	-61 %	Tendens	Ja
P-skader	3	2	1	-43 %	Nej	Ja

*Tabel 17: Effekter af etablering af bundet højresving på krydsuheld med højresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet højresving. 6 kryds.*

Trods en begrænset datamængde er der en tendens til et signifikant fald i antallet af uheld med højresvingende motorkøretøjer, hvis der etableres bundet højresving i et krydsben. Det fundne fald er på 61 %. En opdeling af uheldene efter konflikttyper viser, at der er et signifikant fald i antallet af uheld med højresvingende motorkøretøjer og en anden trafikant fra samme krydsben på 78 % (se Tabel 18).

Konflikttype	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Primær	0	0	0	-	-	-
Sekundær modsat	1	1	0	-100 %	Nej	-
Sekundær samme	12	9	2	-78 %	Ja	Ja
Solo	0	0	2	-	-	-
Alle uheld	13	10	4	-61 %	Tendens	Ja

*Tabel 18: Effekter af etablering af bundet højresving på alle krydsuheld med højresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet højresving. Uheld er fordelt afhængig af typen af konflikt. 6 kryds.*

### 3.3.5 Effekt af 1-lys højresvingsspil

I 13 ud af 60 kryds er der etableret 1-lys højresvingsspil. I Tabel 19 ses en opgørelse over effekterne for de uheld, hvor et højresvingende motorkøretøj kører ind i krydset fra et af de ombyggede krydsben.

Type uheld/ personskade	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
P-uheld	3	1	2	106 %	Nej	Ja
M-uheld	12	10	7	-30 %	Nej	Ja
P+M-uheld	15	11	9	-18 %	Nej	Ja
E-uheld	3	2	2	-4 %	Nej	Ja
Alle uheld	18	13	11	-15 %	Nej	Ja
P-skader	3	1	2	126 %	Nej	Ja

**Tabel 19:** Effekter af etablering af 1-lys højresvingspil på krydsuheld med højresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret 1-lys højresvingspil. 13 kryds.

Der er ikke fundet signifikante effekter på uheld med højresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret 1-lys højresvingspil. En væsentlig forklaring er formentlig den lille datamængde. Samlet er der et fald på 15 % i antallet af uheld.

En opdeling af uheldene efter konflikttyper viser, at uheldene hyppigst indeholder en konflikt mellem et højresvingende motorkøretøjer og en anden trafikant fra samme krydsben (se Tabel 20). Der ses dog ingen ændring i antallet af denne type uheld efter etablering af 1-lys højresvingspil.

Konflikttype	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Primær	2	1	1	5 %	Nej	Ja
Sekundær modsat	0	0	1	-	-	-
Sekundær samme	13	9	9	-3 %	Nej	Ja
Solo	3	3	0	-100 %	Tendens	-
Alle uheld	18	13	11	-15 %	Nej	Ja

**Tabel 20:** Effekter af etablering af 1-lys højresvingspil på alle krydsuheld med højresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret 1-lys højresvingspil. Uheld er fordelt afhængig af typen af konflikt. 13 kryds.

### 3.3.6 Signaltekniske forholds betydning for effekt af bundet venstresving

I forhold til belysningen af de signaltekniske forholds betydning for effekten af det bundne venstresving giver undersøgelsen få klare svar. Det skyldes bl.a., at hvert kryds har sin helt unikke signalgruppeplan, der er underlagt mange hensyn til lokale forhold fx krydsdesign, trafikantsammensætning, trafikmængder og samordning med andre kryds. Det betyder, at variationerne skal forenkles ved sammenligning, hvilket i flere af opgørelserne medfører uklare resultater.

For hver af de undersøgte signaltekniske parametre præsenteres betydningen for samtlige krydsuheld og for uheld udelukkende med venstresvingende motorkøretøjer fra de krydsben, hvor der er etableret nye bundne venstresving. Hvor der synes at være interessante forskelle opdeles uheld desuden på konflikttyper.



Samtidig etablering af andre typer af svingfaser i undersøgelsens kryds kan have en betydning for de fundne resultater, men primært for uheldsopgørelser baseret på alle krydsuheld.

### Venstresvingsfase i førperioden

Det varierer mellem undersøgelsens kryds, om der har været 1-lys venstresvingspil eller ej i krydsbenene, før der er etableret bundet venstresving. I Tabel 21 ses en opgørelse for effekten på alle uheld (inkl. ekstraueheld), hvor der differentieres afhængig af type af venstresvingsfase i førperioden.

Venstresvingsfase før ombygning	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
1-lys pil	16	324	201	112	-44 %	Ja	Ja
1-lys pil/ingen*	8	218	140	76	-46 %	Ja	Ja
Ingen	20	238	119	89	-25 %	Ja	Nej
Ukendt	10	133	95	85	-11 %	Nej	Ja
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 21:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af type af venstresvingsfase i førperioden for alle krydsuheld. 54 kryds. \* Kryds hvor der i mindst ét ombygget krydsben har været og i mindst ét ombygget krydsben ikke har været 1-lys venstresvingspil.

Den største effekt opnås i de kryds, hvor der har været 1-lys venstresvingspil i mindst ét af de ombyggede krydsben. For krydsene med 1-lys venstresvingspil i samtlige ombyggede krydsben eller ingen venstresvingsfase i samtlige ombyggede krydsben er uheldene inddelt efter konflikttypen i Tabel 22.

Venstresvingsfase i førperiode og konflikttypen	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
1-lys pil: Primær	49	32	32	-1 %	Nej	Ja
1-lys pil: Sekundær modsat	175	99	12	-88 %	Ja	Ja
1-lys pil: Sekundær samme	84	57	60	5 %	Nej	Nej
1-lys pil: Solo	16	12	8	-35 %	Nej	Ja
1-lys pil: Alle uheld	324	201	112	-44 %	Ja	Ja
Ingen: Primær	63	33	19	-43 %	Ja	Ja
Ingen: Sekundær modsat	110	46	17	-63 %	Ja	Ja
Ingen: Sekundær samme	49	28	46	63 %	Ja	Ja
Ingen: Solo	16	11	7	-39 %	Nej	Ja
Ingen: Alle uheld	238	119	89	-25 %	Ja	Nej

**Tabel 22:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af type af venstresvingsfase i førperioden for alle krydsuheld. Uheld er fordelt afhængig af typen af konflikt. 16 kryds med og 20 kryds uden 1-lys venstresvingspil i førperiode.

Der ses forskelle på effekterne for uheld med konflikter af typerne primær, sekundær modsat og sekundær samme afhængig af, om der har været 1-lys venstresvingspil eller ingen venstresvingsfase i førperioden.

For uheld med primærkonflikter ses den gunstigste udvikling, hvor der i førperioden ikke har været venstresvingfase. En mulig forklaring kan være, at mellemtiden mellem ligeudkørende har grønt i de krydsende ben samlet set er øget mere ved ombygningen i disse kryds. Hvor der er 1-lys venstresvingpil, bliver det grønne lys for ligeudkørende i hvert fald fra mindst ét krydsben enten tændt senere eller slukket tidligere i forhold til grønfasen for ligeudkørende i tværgående ben, end hvis der ikke havde været svingfase.

Flere venstresvingende kan være en forklaring på en lidt mere gunstig udvikling for uheld med trafikanter fra modstående krydsben, hvor der før var 1-lys venstresvingpil. 1-lys venstresvingpil tilføjes sandsynligvis oftest i krydsben, hvor venstresvingende har svært ved at blive afviklet pga. antallet af venstresvingende og/eller mange modkørende. Ved bundet venstresving afvikles alle venstresvingende i én uafbrudt strøm i stedet for flere små strømme pr. signalomløb. I kryds med mange venstresvingende bliver antallet af strømme af venstresvingende reduceret mest pr. omløb, og dermed reduceres antallet af potentielle konflikter også mest.

Der ses en værre effekt på uheld mellem trafikanter fra samme krydsben, hvor der i førperioden ikke har været venstresvingfase sammenlignet med 1-lys venstresvingpil. I signalregulerede kryds uden svingfaser har alle motorkøretøjer grønt samtidig med de øvrige motorkøretøjer fra samme og modstående krydsben. Ved etablering af svingfaser sker der et brud med denne sammenhæng, og det kan tænkes at øge antallet af uheld mellem trafikanter fra samme krydsben (typisk bagendekollisioner), fordi nogle trafikanter reagerer ud fra en forventning baseret på andre trafikanters adfærd eller et grønt lys, der ikke gælder dem. Dette kan være en forklaring på den fundne effektforskel.

For uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra de ombyggede krydsben ses et signifikant fald uanset typen af svingfase i førperioden (se Tabel 23). Største fald på 86 % findes i kryds, hvor der før har været 1-lys venstresvingpil i alle ombyggede krydsben, mens det laveste fald på 66 % findes i kryds, hvor det er ukendt, om der har været en svingfase i førperioden.

Venstresvingfase før ombygning	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
1-lys pil	16	157	91	13	-86 %	Ja	Ja
1-lys pil/ingen*	8	106	55	16	-71 %	Ja	Ja
Ingen	20	90	40	8	-80 %	Ja	Ja
Ukendt	10	70	41	14	-66 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 23:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af type af venstresvingfase i førperioden for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds. \* Kryds hvor der i mindst ét ombygget krydsben har været og i mindst ét ombygget krydsben ikke har været 1-lys venstresvingpil.

### Før- eller eftergrønt

I Tabel 24 er krydsuheldene fordelt efter, om de bundne venstresving er etableret som før- eller eftergrønt i forhold til grønfasen på hovedsignalet i det modstående krydsben. Det bemærkes, at kryds hvor signalfasen indrettes helt eller delvist med forskellig blokrækkefølge er fordelt på før- og eftergrønt afhængig af, hvornår det bundne venstresving indgår i blokrækkefølgen ved anmeldelse af alle blokke. ”Begge” dækker derfor kun over de kryds, hvor der fast mellem forskellige signalprogrammer over dagen er forskel på, om der anvendes før- eller eftergrønt.

Før-/eftergrønt	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Førgrønt	15	293	172	119	-31 %	Ja	Ja
Eftergrønt	22	332	190	103	-46 %	Ja	Nej
Begge	4	34	22	12	-46 %	Tendens	Ja
Ukendt	13	254	170	128	-24 %	Ja	Nej
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 24:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om venstresvingsfasen etableres som før- eller eftergrønt for alle krydsuheld. 54 kryds.

Ved opgørelse af effekten på alle uheld i krydsene synes det at være en lidt større fordel at etablere eftergrønt frem for førgrønt, men for begge typer er der et signifikant fald i det totale antal uheld i krydsene. En opdeling på konflikttyper fremgår af Tabel 25.

Før- eller eftergrønt og konflikttyper	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Før: Primær	59	36	25	-31 %	Nej	Ja
Før: Sekundær modsat	162	81	24	-71 %	Ja	Ja
Før: Sekundær samme	52	39	61	58 %	Ja	Ja
Før: Solo	20	16	9	-44 %	Nej	Ja
Før: Alle uheld	293	172	119	-31 %	Ja	Ja
Efter: Primær	58	37	35	-5 %	Nej	Ja
Efter: Sekundær modsat	151	68	15	-78 %	Ja	Ja
Efter: Sekundær samme	98	65	44	-32 %	Ja	Nej
Efter: Solo	25	21	9	-56 %	Ja	Nej
Efter: Alle uheld	332	190	103	-46 %	Ja	Nej

**Tabel 25:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om venstresvingsfasen etableres som før- eller eftergrønt for alle krydsuheld. Uheld er fordelt afhængig af typen af konflikt. 15 kryds med før- og 22 kryds med eftergrønt.

Den væsentligste årsag til, at eftergrønt synes at have en bedre effekt end førgrønt ved bundet venstresving, er effekten på uheld mellem trafikanter i samme krydsben. I krydsene med førgrønt observeres en signifikant stigning på 58 %, mens der i krydsene med eftergrønt observeres et signifikant fald på 32 %. Dette kan fore-

komme overraskende. Uheldstypen udgør imidlertid en langt større andel i førperi-oden i krydsene, hvor det bundne venstresving er etableret som eftergrønt (30 %) end som førgrønt (18 %). Førgrønt synes til gengæld at have en lidt bedre effekt for uheld med tværkollisioner, men forskellen er betydeligt mindre.

For uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor bundet venstresving er nyetableret (se Tabel 26) er der en lidt bedre effekt ved eftergrønt end ved førgrønt. Det er dog værd at bemærke at forskellene mellem signalløsningerne er små, og alle effekterne er signifikante.

Før-/eftergrønt	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Førgrønt	15	151	79	20	-75 %	Ja	Ja
Eftergrønt	22	120	57	8	-86 %	Ja	Ja
Begge	4	21	12	2	-83 %	Ja	Ja
Ukendt	13	131	79	21	-73 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 26:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig om venstresvingsfasen etableres som før- eller eftergrønt for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.

### Supervenstre

Når der etableres bundet venstresving i to modstående krydsben, konstrueres signalgruppeplanerne ofte sådan, at bundet venstresving fra modstående krydsben har grønt på samme tidspunkt i signalfasen. Denne del af signalfasen kaldes supervenstre.

I Tabel 27 er effekten på alle krydsuheld opgjort afhængig af, om der er etableret supervenstre. Det er dog ikke i alle kryds, at grønfasen er lige lang for de modstående bundne venstresving, ligesom begge ikke automatisk aktiveres i nogle kryds, hvis det kun er det ene bundne venstresving, der anmeldes. I denne opgørelse betragtes det dog stadig som, at der er etableret supervenstre. For de kryds, hvor signalgruppeplanerne kendes, er der supervenstre, hver gang der er etableret bundet venstresving i to modstående krydsben.

Supervenstre?	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Ja	25	500	298	194	-35 %	Ja	Ja
Nej	16	159	87	40	-54 %	Ja	Ja
Ukendt	13	254	170	128	-24 %	Ja	Nej
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 27:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om der etableres supervenstre for alle krydsuheld. 54 kryds.

Umiddelbart synes effekten at være større i de kryds, hvor der ikke er etableret supervenstre, men for begge løsninger er der et signifikant fald i antallet af uheld.

Dette skyldes ikke nødvendigvis, at supervenstre er mindre godt for sikkerheden. Venstresvingsuheld udgør en større andel af det samlede antal krydsuheld i krydsene, hvor der ikke er etableret supervenstre, dvs. kryds der typisk er trebenede, firbenede med ensretning i ét eller to krydsben eller firbenede med en stor trafikstrøm mellem to krydsben, der ikke er modstående. I Tabel 28 ses, at forskellen på effekten af at etablere supervenstre eller ej for venstresvingsuheld med motorkøretøjer fra de ombyggede krydsben er mindre end for samtlige uheld i krydsene.

Supervenstre?	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Ja	25	214	109	25	-77 %	Ja	Ja
Nej	16	78	39	5	-87 %	Ja	Ja
Ukendt	13	131	79	21	-73 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

*Tabel 28: Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om der etableres supervenstre for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.*

### Bundet venstresving i hvert omløb

I flere af krydsene aktiveres det bundne venstresving kun i signalomløb ved anmeldelse enten hele døgnet eller dele af døgnet. I Tabel 29 ses en opgørelse af effekten af bundet venstresving for alle krydsuheld afhængigt af, om det indgår i samtlige signalomløb eller ej.

Samtlige omløb?	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Ja	7	100	60	52	-13 %	Nej	Ja
Nej	33	546	316	175	-45 %	Ja	Ja
Ukendt	14	267	179	135	-25 %	Ja	Nej
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

*Tabel 29: Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om det bundne venstresving får grønt i alle signalomløb eller ej for alle krydsuheld. 54 kryds.*

For den overordnede sikkerhed i krydsene synes det at være en fordel, at de bundne venstresving kun aktiveres ved anmeldelse i hvert fald i en del af døgnet. Af Tabel 30 ses resultaterne for uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er nyetableret bundet venstresving.

Samtlige omløb?	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Ja	7	49	26	2	-92 %	Ja	Ja
Nej	33	241	121	28	-77 %	Ja	Ja
Ukendt	14	133	80	21	-74 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

*Tabel 30: Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om det bundne venstresving får grønt i alle signalomløb eller ej for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.*

Hvor der er nyetableret bundet venstresving, synes det derimod at være en sikkerhedsmæssig fordel, at det bundne venstresving tændes i samtlige omløb. Det betyder, at det er uheld uden venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben med bundet venstresving, som giver forskellen i Tabel 29. Disse uheld stiger i antal, hvor bundet venstresving får grønt i alle omløb, mens de falder, hvor bundet venstresving i hvert fald noget af dagen kun tændes ved anmeldelse. Der er dog kun 7 kryds, hvor det bundne venstresving får grønt i alle omløb, og disse er meget forskellige i forhold til størrelse, placering og trafikmængder.

### Minimum længde af grøn fase

I stort set alle krydsene er det muligt at forlænge grøntiden for det bundne venstresving, ligesom længden af grønfasen ofte varierer mellem programmerne. Derfor er det minimumgrønt for det bundne venstresving, hvis det bundne venstresving anmeldes, der indgår i Tabel 31.

Minimumgrønt	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
4 sekunder	15	185	111	84	-25 %	Ja	Ja
5 sekunder	4	31	12	5	-59 %	Tendens	Ja
6 sekunder	20	390	235	132	-44 %	Ja	Ja
10-11 sekunder	2	53	27	13	-51 %	Ja	Ja
Ukendt	13	254	170	128	-24 %	Ja	Nej
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 31:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af minimumgrønt for bundet venstresving (hvis det bundne venstresving anmeldes) for alle uheld. 54 kryds.

Umiddelbart kan det tyde på, at minimumgrønt på mere end 4 sekunder for det bundne venstresving er en fordel set i forhold til alle uheld i krydsene. I forhold til uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben med bundet venstresving synes fordelene med minimumgrønt på mere end 4 sekunder umiddelbart mindre (se Tabel 32).

Minimumgrønt	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
4 sekunder	15	75	36	10	-73 %	Ja	Ja
5 sekunder	4	16	6	1	-84 %	Ja	Ja
6 sekunder	20	173	91	19	-79 %	Ja	Ja
10-11 sekunder	2	28	15	0	-100 %	Ja	-
Ukendt	13	131	79	21	-73 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 32:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af minimumgrønt for bundet venstresving (hvis det bundne venstresving anmeldes) for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.

### Minimumslængde af mellemtid

I Tabel 33 er effekten fordelt afhængig af den mindste mellemtid, fra grønfasen slutter for en konfliktende trafikantgruppe, til den starter for venstresvingende fra et krydsben, hvor der er nyetableret bundet venstresving.

Min. mellemtid før svingfase	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
4-5 sekunder	16	162	106	77	-27 %	Ja	Ja
6 sekunder	20	357	167	88	-47 %	Ja	Nej
7-8 sekunder	5	140	112	69	-38 %	Ja	Ja
Ukendt	13	254	170	128	-24 %	Ja	Nej
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

*Tabel 33: Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af minimum mellemtid fra grønfasen slutter for en konfliktende trafikantgruppe, til der bliver grønt i det bundne venstresving for alle krydsuheld. 54 kryds.*

Det synes umiddelbart at være en fordel at have en mellemtid på minimum 6 sekunder forud for, at det bundne venstresving får grønt. Det skal tilføjes, at der i nogen grad er overlap mellem kryds med kort minimumgrønt for bundet venstresving og en kort mellemtid forud for grønt for det bundne venstresving.

Af Tabel 34 fremgår, at en mellemtid forud for grønt for bundet venstresving på minimum seks sekunder også synes at medføre en lidt større effekt på de uheld, der involverer venstresvingende fra krydsben med nyetableret bundet venstresving.

Min. mellemtid før svingfase	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
4-5 sekunder	16	73	38	11	-71 %	Ja	Ja
6 sekunder	20	153	64	11	-83 %	Ja	Ja
7-8 sekunder	5	66	46	8	-83 %	Ja	Ja
Ukendt	13	131	79	21	-73 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

*Tabel 34: Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af minimum mellemtid fra grønfasen slutter for en konfliktende trafikantgruppe, til der bliver grønt i det bundne venstresving for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.*

Effekten, afhængig af minimumstiden fra grønfasen for bundet venstresving slutter, til grønfasen tændes for en konfliktende trafikantgruppe, fremgår af Tabel 35. Der synes ikke at være forskel afhængig af denne mellemtid, når opgørelsen baseres på alle krydsuheld, men effekten synes større i kryds med data end i kryds uden data for denne minimumtid.

Min. mellemtid efter svingfase	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
4-5 sekunder	11	129	77	47	-39 %	Ja	Ja
6 sekunder	17	272	141	85	-40 %	Ja	Nej
7-8 sekunder	13	258	167	102	-39 %	Ja	Ja
Ukendt	13	254	170	128	-24 %	Ja	Nej
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 35:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af minimum mellemtid fra grønfasen slutter for det bundne venstresving, til grønfasen starter for en konfliktende trafikantgruppe for alle krydsuheld. 54 kryds.

For uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben med nyetableret bundet venstresving er der dog noget, der tyder på, at det kan være en sikkerhedsmæssig fordel, at mellemtiden er 7-8 sekunder, fra grønfasen slutter for det bundne venstresving, til grønfasen starter for en konfliktende trafikantgruppe (se Tabel 36).

Min. mellemtid efter svingfase	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
4-5 sekunder	11	52	24	7	-71 %	Ja	Ja
6 sekunder	17	108	50	14	-72 %	Ja	Ja
7-8 sekunder	13	132	74	9	-88 %	Ja	Ja
Ukendt	13	131	79	21	-73 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 36:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af minimum mellemtid fra grønfasen slutter for det bundne venstresving, til grønfasen starter for en konfliktende trafikantgruppe for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.

### 3.3.7 Krydsdesigns betydning for effekt af bundet venstresving

For hver af de undersøgte parametre ved krydsdesignet i relation til etableringen af bundet venstresving præsenteres betydningen for samtlige krydsuheld og for uheld udelukkende med venstresvingende motorkøretøjer fra de krydsben, hvor der er etableret nye bundne venstresving.

Samtidig etablering af andre typer af svingfaser i undersøgelsens kryds kan have en betydning for de fundne effekter, men primært for uheldsopgørelser baseret på alle krydsuheld.

#### Delehelle

I Tabel 37 er effekten på alle krydsuheld opgjort afhængig af, om der i krydsbenet er en delehelle med kantstensbegrænsning mellem venstresvingsbane(r) og



bane(r) til ligeudkørende, efter der er etableret bundet venstresving. Det er imidlertid kun én af undersøgelsens vejbestyrelser, der har etableret bundet venstresving uden disse deleheller (tre kryds).

Delehelle?	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Ja	51	888	537	357	-34 %	Ja	Nej
Nej	3	25	17	5	-70 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 37:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om der er delehelle mellem baner for venstresvingende og ligeudkørende for alle krydsuheld. 54 kryds.

Resultatet tyder på, at der ikke opnås en ringere effekt ved at udelade delehellen. Det skal dog tolkes med forsigtighed pga. datamængdens størrelse. I Tabel 38 medtages kun uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra de krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. Effekten for de tre kryds, hvor der ikke er delehelle mellem baner for venstresvingende og ligeudkørende, er den samme som for de øvrige kryds, men faldet er dog ikke signifikant.

Delehelle?	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Ja	51	415	222	50	-78 %	Ja	Ja
Nej	3	8	5	1	-79 %	Nej	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 38:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om der er delehelle mellem baner for venstresvingende og ligeudkørende for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.

Typen af afgrænsning i førperioden mellem baner for ligeudkørende og venstresvingende varierer mellem krydsben, hvor der i efterperioden er etableret bundet venstresving sammen med delehelle med kantstensbegrænsning. Der skelnes mellem delehelle med kantstensbegrænsning, afmærket slips i stedet for delehelle eller ingen adskillelse, hvor der blot er fuldoptrukken linje mellem banerne. Som det fremgår af Tabel 39 har det tilsyneladende kun en lille betydning for den overordnede uheldsudvikling i krydsene.

Delehelle i førperiode?	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Ja	1	28	5	4	-19 %	Nej	-
Slips	10	214	138	97	-29 %	Ja	Ja
Nej	37	546	339	220	-35 %	Ja	Nej
Blandet*	3	100	56	36	-36 %	Ja	Ja
Alle uheld	51	888	537	357	-34 %	Ja	Nej

**Tabel 39:** Effekter af etablering af bundet venstresving med delehelle afhængig af om der er delehelle mellem baner for venstresvingende og ligeudkørende i førperioden for alle krydsuheld. 51 kryds. \*Blandet dækker over slips i nogle krydsben og ingen i andre krydsben i samme kryds eller, at slipset er etableret eller fjernet i løbet af førperioden.

En lidt mindre effekt er imidlertid fundet i de kryds, hvor der i førperioden var et slips sammenlignet med fuldoptrukket linje.

Ligeledes ses en lidt mindre effekt for krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor bundet venstresving er etableret sammen med delehelle, når der i førperioden har været slips sammenlignet med fuldoptrukket linje (se Tabel 40).

Delehelle i førperiode?	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
Ja	1	19	3	1	-69 %	Nej	-
Slips	10	75	41	13	-69 %	Ja	Ja
Nej	37	271	151	29	-81 %	Ja	Ja
Blandet*	3	50	27	7	-74 %	Ja	Ja
Alle uheld	51	415	222	50	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 40:** Effekter af etablering af bundet venstresving med delehelle afhængig af om der er delehelle mellem baner for venstresvingende og ligeudkørende i førperioden for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 51 kryds. \*Blandet dækker over slips i nogle krydsben og ingen i andre krydsben i samme kryds eller, at slipset er etableret eller fjernet i løbet af førperioden.

Dette tyder samlet på, at slipset har en gunstig effekt i kryds uden bundet venstresving. Derfor ses en mindre effekt ved ombygning til bundet venstresving med delehelle i kryds med slips sammenlignet med intet slips eller delehelle.

### Antal krydsben

En opdeling af samtlige krydsuheld efter antallet af krydsben i de kryds, hvor der er nyetableret bundet venstresving, fremgår af Tabel 41. Der synes at være en markant større effekt af at etablere bundet venstresving i kryds med tre krydsben.

Antal krydsben	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
3	11	92	50	17	-66 %	Ja	Ja
4	43	821	504	345	-32 %	Ja	Nej
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 41:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af antallet af krydsben for alle krydsuheld. 54 kryds.

I Tabel 42 fremgår opgørelsen for uheld med venstresvingende fra krydsben, hvor bundet venstresving er etableret. Forskellen mellem T- og F-kryds er væsentligt mindre end ved opgørelsen for alle krydsuheld.

Antal krydsben	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
3	11	56	31	4	-87 %	Ja	Ja
4	43	367	197	47	-76 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 42:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af antallet af krydsben for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.

Sammenlignes Tabel 41 og Tabel 42 er det tydeligt, at uheld med venstresvingende udgør en langt større andel af det samlede antal krydsuheld i T-kryds sammenlignet med F-kryds, og derfor opnås den langt bedre effekt samlet set ved etablering af bundet venstresving i T-kryds.

### Antal baner til indkørende trafik i modstående krydsben

Det kan ligeledes tænkes at have en betydning for effekten af det bundne venstresving, hvor mange vognbaner venstresvingende skal krydse i forbindelse med venstresving. Jo flere vognbaner trafikanten skal vige for, jo mere kompleks kan venstresvinget forekomme. I 8 ud af 54 kryds er der ændret i antallet af baner til indkørende trafik i det modstående krydsben til mindst ét af de krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving.

Da det forventes at have størst betydning for sikkerheden, hvor mange baner venstresvingende skal krydse, når der ikke er bundet venstresving, er opgørelsen i Tabel 43 baseret på førperioden. Umiddelbart synes der ikke at være stor forskel afhængig af antallet af baner i modstående ben, og der tegner sig i hvert fald ikke et klart mønster.

Antal baner til indkørende modsat	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
1-2	12	128	73	37	-50 %	Ja	Nej
3	21	247	145	102	-29 %	Ja	Nej
4	12	297	189	114	-40 %	Ja	Ja
5+	3	144	92	73	-21 %	Nej	Ja
Øvrige*	6	97	55	36	-35 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 43:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af antallet af baner venstresvingende skal krydse i førperioden for alle krydsuheld. 54 kryds. \* Øvrige dækker over de kryds, hvor der er etableret bundet venstresving i mindst to krydsben, og hvor antallet af baner, der skal krydses fra disse ben, ikke falder i samme kategori.

Tilsvarende opgørelse kun for uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er nyetableret bundet venstresving, fremgår af Tabel 44.

Antal baner til indkørende modsat	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
1-2	12	73	37	3	-92 %	Ja	Ja
3	21	100	50	14	-72 %	Ja	Ja
4	12	140	84	18	-78 %	Ja	Ja
5+	3	63	39	10	-74 %	Ja	Ja
Øvrige	6	47	18	6	-67 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 44:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af antallet af baner venstresvingende skal krydse i førperioden for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.

Samlet set tyder resultaterne i Tabel 43 og Tabel 44 på, at effekten af bundet venstresving er nogenlunde ens uanset antallet af vognbaner til indkørende trafik i modstående krydsben. Der kan dog synes at være en lidt bedre effekt ved 1-2 modstående vognbaner, men dette kan være et udslag af et lidt anderledes uheldsbillede i disse kryds.

### 3.3.8 Andre forholds betydning for effekt af bundet venstresving

Det er til sidst undersøgt, hvilken betydning det har for effekten af bundet venstresving, om krydset er placeret i by eller på land, og hvor trafikeret krydset er.

I forhold til placeringen i by og på land, opgøres effekten for alle krydsuheld, hvor der også skelnes mellem konflikttyper. Desuden opgøres effekten for uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra de krydsben, hvor der er etableret nye bundne venstresving.

I forhold til trafikmængden opgøres effekten både for det samlede antal indkørende motorkøretøjer i krydsbenet og for indkørende fra det modstående krydsben i forhold til krydsben med nyetableret bundet venstresving. Der skelnes mellem samtlige krydsuheld og uheld kun med venstresvingende motorkøretøjer fra de ombyggede krydsben.

Samtidig etablering af andre typer af svingfaser i undersøgelsens kryds kan have en betydning for de fundne resultater, men primært for uheldsopgørelser baseret på alle krydsuheld.

#### Kryds i henholdsvis by- og landzone

I Tabel 45 opgøres effekten af bundet venstresving for alle krydsuheld afhængig af, om krydsene er beliggende inden for eller uden for bygrænsen. Det bemærkes imidlertid, at de fleste kryds i landzone er beliggende i umiddelbar nærhed af byzone.

By/land	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
By	39	792	480	298	-38 %	Ja	Ja
Land	15	121	75	64	-14 %	Nej	Nej
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 45:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om krydset er beliggende i by- eller landzone for alle krydsuheld. 54 kryds.

De fleste kryds er beliggende inden for bygrænsen, og det er også disse kryds der overordnet er klart mest uheldsbelastede. Samtidig synes effekten af at etablere bundet venstresving at være klart større for disse kryds sammenlignet med kryds uden for bygrænsen. En væsentlig forskel på krydsene i by og på land er hastighedsgrænsen i krydsbenene, men i nogen udstrækning også trafikantsammensætningen. For at belyse årsagen til denne forskel er samtlige uheld i krydsene opdelt efter konflikttyper (se Tabel 46).

By/land og konflikttyper	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
By: Primær	145	93	66	-29 %	Ja	Ja
By: Sekundær modsat	409	210	54	-74 %	Ja	Ja
By: Sekundær samme	191	140	157	12 %	Nej	Nej
By: Solo	47	37	21	-43 %	Ja	Ja
By: Alle uheld	792	480	298	-38 %	Ja	Ja
Land: Primær	21	14	24	69 %	Tendens	Ja
Land: Sekundær modsat	65	33	7	-79 %	Ja	Ja
Land: Sekundær samme	25	18	26	48 %	Nej	Ja
Land: Solo	10	9	7	-26 %	Nej	Ja
Land: Alle uheld	121	75	64	-14 %	Nej	Nej

**Tabel 46:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om krydset er beliggende i by- eller landzone for alle krydsuheld. Uheld er fordelt afhængig af typen af konflikt. 39 kryds i by og 15 kryds på land.

Forskellen mellem by og land opstår ikke i konflikterne mellem trafikanter på samme vej, men fra hvert sit ben. Det er interessant, da det er den type konflikter, der indgår i ca. halvdelen af uheldene i førperioden, og størstedelen udgøres af uheld med uheldssituation 410.

Forskellen ligger derimod primært i uheld mellem parter i tværkonflikter, som ofte skyldes rødkørsel hos den ene part, når der er tale om signalregulerede kryds. For denne type uheld er der et signifikant fald på 29 % i bykrydsene og en tendens til en signifikant stigning på 69 % i landkrydsene. I langt hovedparten af uheldene kommer mindst én part fra et krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving.

Da farten typisk er højere i forbindelse med tværkollisioner i kryds på land, kan disse uheld ofte ende alvorligt med adskillige personskader til følge. Dette er en

mulig forklaring på, hvorfor der samlet set er fundet en stigning i antallet af tilskadekomne i motorkøretøjer, og at denne stigning synes at stamme fra tværkollisioner, der samlet set ikke er steget i antal (se evt. afsnit 3.3.1 i forbindelse med opgørelsen i Tabel 6, side 41).

Der synes også at være en tendens til en større stigning i antallet af uheld mellem parter i samme krydsben i landkrydsene sammenholdt med bykrydsene. Muligvis er det nemmere at tage fejl af signalerne, hvis en trafikant kommer frem mod krydset i høj fart. Det bemærkes dog, at både i by og på land ses der en stigning for denne type uheld i krydsben, hvor bundet venstresving er nyetableret, men også i de øvrige krydsben.

Som ovenstående antyder, er effekten af etablering af bundet venstresving på uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra de ombyggede krydsben næsten lige stor i bykrydsene og i landkrydsene (se Tabel 47).

By/land	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
By	39	366	198	44	-78 %	Ja	Ja
Land	15	57	29	7	-76 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 47:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af om krydset er beliggende i by- eller landzone for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.

### Trafikmængder

I Tabel 48 er krydsene inddelt afhængig af størrelsen af den samlede mængde indkørende trafik for motorkøretøjer i krydsene omkring ombygningstidspunktet. Umiddelbart tegner der sig et billede af, at effekten af etablering af bundet venstresving på det samlede antal krydsuheld er mindre, jo større trafikmængden er.

ÅDT total	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
9.000-15.000	6	39	23	7	-69 %	Ja	Ja
15.000-25.000	17	206	115	64	-44 %	Ja	Ja
25.000-35.000	12	299	195	127	-35 %	Ja	Ja
35.000-66.000	5	217	140	98	-30 %	Ja	Nej
Øvrige	14	152	82	66	-20 %	Ja	Nej
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 48:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af den samlede indkørende trafik i krydsene for alle krydsuheld. 54 kryds.

For uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsbenene, hvor der er etableret bundet venstresving, er der ikke den samme forskel afhængig af trafikmængden i krydset (se Tabel 49). Det kan tyde på, at uheld med venstresvingende reduceres lige meget uanset trafikmængden.

ÅDT total	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
9.000-15.000	6	17	10	2	-81 %	Ja	Ja
15.000-25.000	17	96	49	10	-80 %	Ja	Ja
25.000-35.000	12	129	71	14	-80 %	Ja	Ja
35.000-66.000	5	109	65	19	-71 %	Ja	Ja
Øvrige	14	72	31	6	-81 %	Ja	Ja
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

**Tabel 49:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af den samlede indkørende trafik i krydsene for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.

Resultaterne tyder på, at forskellen i effekten på det samlede antal uheld afhængig af trafikmængden er styret af effekten på de uheld, der ikke implicerer venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben med bundet venstresving. Det er dog primært kryds med en lav trafikmængde, der skiller sig ud, og denne forskel hænger nok sammen med, at fire af de seks kryds er trebenede.

I Tabel 50 er det opgjort, hvor stor effekten af at etablere bundet venstresving er for samtlige krydsuheld afhængig af den indkørende trafikmængde i de modstående krydsben i forhold til de krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. Formålet er at undersøge betydningen af størrelsen af trafikmængden, som venstresvingende skal vige for ved grønt. Sammenlignet med opgørelserne baseret på den totale trafikmængde er der data for flere kryds.

ÅDT modstående krydsben	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
3.000-6.000	15	179	98	69	-30 %	Ja	Ja
6.000-9.000	21	293	174	104	-40 %	Ja	Nej
9.000-12.000	12	211	133	84	-37 %	Ja	Ja
12.000-28.000	5	217	140	98	-30 %	Ja	Nej
Øvrige	1	13	10	7	-27 %	Nej	-
Alle uheld	54	913	554	362	-35 %	Ja	Nej

**Tabel 50:** Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af den indkørende trafik i det modstående krydsben (gennemsnit ved bundet venstresving i flere krydsben for et kryds) for alle krydsuheld. 54 kryds.

Der tegner sig ikke et klart mønster, og effekterne er nogenlunde ens. Resultaterne kan tyde på en lidt større fordel for det samlede uheldsbillede i krydsene, hvis der etableres bundet venstresving i krydsben, hvor der er en ÅDT på 6.000-12.000 for indkørende fra modstående krydsben. For krydsuheld, der implicerer venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben med bundet venstresving, ses heller ikke den store forskel (se Tabel 51). Effekten synes lidt større ved en indkørende trafik med en ÅDT på 9.000-12.000 i modstående krydsben.

ÅDT modstående krydsben	Kryds	Før	Forventet	Efter	Effekt	Signifikant?	Homogen?
3.000-6.000	15	103	51	12	-76 %	Ja	Ja
6.000-9.000	21	120	61	16	-74 %	Ja	Ja
9.000-12.000	12	89	48	4	-92 %	Ja	Ja
12.000-28.000	5	109	65	19	-71 %	Ja	Ja
Øvrige	1	2	1	0	-100 %	Nej	-
Alle uheld	54	423	227	51	-78 %	Ja	Ja

*Tabel 51: Effekter af etablering af bundet venstresving afhængig af den indkørende trafik i det modstående krydsben (gennemsnit ved bundet venstresving i flere krydsben for et kryds) for alle krydsuheld med venstresvingende motorkøretøjer fra krydsben, hvor der er etableret bundet venstresving. 54 kryds.*

### 3.4 Opsummering af før-efter uheldsevalueringen

Før-efter uheldsevalueringen af svingfaser indeholder en evaluering af fire følgende typer:

- Bundet venstresving
- 1-lys venstresving
- Bundet højresving
- 1-lys højresving

Bundet venstresving er etableret i 54 af undersøgelsens 60 signalregulerede kryds, og derfor er hovedvægten lagt på en evaluering af denne type svingfase.

#### Overordnede effekter af etablering af svingfaser

Etableringen af svingfaser har medført en reduktion på 32 % i antallet af krydsuheld og 28 % i antallet af personskader. Reduktioner ses primært på uheld med venstresvingende trafikanter, hvor faldet er 65 %, mens de øvrige uheld er stort set upåvirket med et fald på 1 %. Etableringen af svingfaser har umiddelbart ikke en signifikant effekt på uheld i krydsbenene op til 200 m fra kryds.

#### Effekt af bundet venstresving

Samlet er antallet af uheld reduceret med 35 % i de 54 kryds, hvor der er etableret bundet venstresving. Uheld med venstresvingende motorkøretøjer fra de ombyggede krydsben (i følgende kaldet "venstresvinguheld") er reduceret med 78 %, og personskader er reduceret tilsvarende. Resultaterne er i god overensstemmelse med litteraturstudiet.

For det samlede antal uheld ses en bedre effekt, hvis der i førperioden har været 1-lys venstresving frem for ingen venstresving i de ombyggede ben (fald på hhv. 44 % og 25 %). Forskellen på effekten på venstresvinguheld synes lille, mens uheld med trafikanter fra samme krydsben, typisk bagendekollisioner, stiger mere, hvis der ikke var 1-lys venstresving før ombygningen.



Bundet venstresving fungerer umiddelbart bedre som eftergrønt end som førgrønt. Med eftergrønt menes, at bundet venstresving tændes efter grønfasen på hovedsignalet i det modstående krydsben, mens førgrønt tændes før. Ved eftergrønt ses et fald på 46 % for alle uheld og 86 % for venstresvingsuheld, mens faldet ved førgrønt er hhv. 31 % og 75 %.

Det synes at være en sikkerhedsmæssig fordel, hvis signalprogrammerne er indrettet, således at det bundne venstresving kun tændes ved anmeldelse (enten hele døgnnet eller dele af døgnnet). Ligeledes synes det at være en fordel, hvis grøntiden er minimum 5 sekunder for det bundne venstresving. Det synes også at være en fordel, at mellemtiden til konfliktende trafikantgrupper er minimum 6 sekunder forud for svingfasen. For venstresvingsuheld kan en mellemtid på 7-8 sekunder efter svingfasen muligvis være en fordel.

Etablering af bundet venstresving i T-kryds har en større effekt på det samlede antal uheld end i F-kryds (fald på hhv. 66 % og 32 %). Forskellen skyldes i høj grad, at venstresvingsuheld udgør en langt større andel af det samlede antal uheld i T-kryds.

Der synes ikke at være en dårligere effekt af at etablere bundet venstresving uden en delehelle med kantstensbegrænsning mellem baner for ligeudkørende og venstresvingende, men datamængden er meget begrænset. Hvor der etableres delehelle opnås en lidt dårligere effekt af etablering af bundet venstresving særligt for venstresvingsuheld, hvis der i førperioden har været et slips i stedet for blot en fuldoptrukket linje (fald på hhv. 69 % og 81 %). Slips formodes på den baggrund at have en god sikkerhedseffekt i kryds uden bundet venstresving.

Effekten af etablering af bundet venstresving er væsentlig bedre for det samlede antal uheld i kryds i by end på land, hvor der ses fald på hhv. 38 % og 14 %. Forskellen skyldes forskellig udvikling for tværkollisioner og uheld med trafikanter fra samme krydsben, mens effekten på venstresvingsuheld er nøjagtig den samme. Det formodes, at motorkøretøjers hastighed har betydning for dette resultat.

Antallet af baner til indkørende trafik fra krydsben modsat det bundne venstresving og trafikmængderne har mindre betydning for effekterne af etablering af bundet venstresving, og der tegner sig ikke et klart mønster.

Det kan have en betydning for de fundne effekter, at der i nogle kryds også er etableret andre typer svingfaser ved ombygningen, men det har formentlig størst betydning for det samlede antal uheld i krydsene og kun i mindre grad for venstresvingsuheldene.

#### **Effekter af etablering af andre svingfaser**

De øvrige tre typer svingfaser er etableret i få kryds, og datamængden er begrænset. Der er derfor ikke foretaget detaljerede opgørelser.

Bundet højresving har reduceret antallet af uheld med højresvingende motorkøretøjer med omkring 60 %, og faldet har tendens til signifikans.

1-lys venstresving spil synes at øge antallet af uheld med venstresvingende motorkøretøjer, men resultatet er ikke signifikant.

1-lys højresving spil synes at reducere antallet af uheld med højresvingende motorkøretøjer, men resultatet er ikke signifikant.

Bundne svingfaser synes klart at medføre bedre sikkerhedseffekter end svingfaser med 1-lys venstre- eller højresving spil.

### **Uafklarede forhold**

På baggrund af litteraturstudiet og før-efter uheldsevalueringen er der særligt tre forhold, det ville være oplagt at undersøge nærmere.

- 1) **Deleheller.** Før-efter uheldsevalueringen tyder på, at det ikke forringer trafik-sikkerheden at udelade deleheller med kantstensbegrænsning mellem baner for venstresvingende og ligeudkørende ved etablering af bundet venstresving. Data-grundlaget er dog spinkelt, og et studie, der inddrager flere ombygninger uden deleheller, kunne be- eller afkræfte resultatet, ligesom betydningen af andre forhold fx hastighedsbegrænsning i relation til delehelle kunne afdækkes.
- 2) **By/land.** Før-efter uheldsevalueringen viser, at effekten af etablering af bundet venstresving er mindre gunstig på landet end i byen. Undersøgelsen tyder på, at det særligt er stigninger i antallet af tvær- og bagendekollisioner, der medfører en dårligere effekt på landet. Det kunne derfor være relevant at undersøge ombygninger på landet nærmere, fx betydningen af forskellige forhold ved krydsdesignet.
- 3) **Højresvingfaser.** Før-efter uheldsevalueringen tyder på en gunstig sikkerheds-effekt af bundet højresving i forhold til uheld med højresvingende. Betydningen for det samlede uheldsbillede samt sikkerhedseffekten af 1-lys højresving spil er dog uafklaret, men særlig interessant i en dansk kontekst med udbredt cykeltrafik.

## Referencer

- Abdel-Aty, M. og X. Wang (2006): Crash Estimation at Signalized Intersections Along Corridors. *Transportation Research Record*, no. 1953, pp. 98-111.
- Azad, A. og E. Parentela (2013): Effects of left turn treatments on intersection safety. *Proceedings of ITE Annual Meeting*, Phoenix, USA.
- Bach, O. og E. Jørgensen (1986): *Signaler og ulykker – effekt af ombygninger*. Vejdirektoratet, Sekretariatet for Sikkerhedsfremmende Vejforanstaltninger, Næstved, Danmark.
- Bonneson, J., Zimmerman, K. og M. Brewer (2002): *Engineering countermeasures to reduce red-light-running*. Texas Transportation Institute, report FHWA/TX-03/4027-2, Austin, Texas, USA.
- Bonneson, J. A. og K. H. Zimmerman (2004): Effect of Yellow Interval Timing on Red-Light Violation Frequency at Urban Intersections. *Proceedings of Transportation Research Board 83rd Annual Meeting*, Washington, D.C., USA.
- Carter, D., Hummer, J., Foyle, R. og S. Philips (2005): Operational and Safety Effects of U-Turns at Signalized Intersections. *Transportation Research Record*, no. 1912, pp. 11-18.
- Chandler, B. E., Myers, M. C., Atkinson, J. E., Bryer, T. E., Retting, R., Smithline, J., Trim, J., Wojtkiewicz, P., Thomas, G. B., Venglar, S. P., Srinivasa, S., Malone, B. J. og P. Izadpanah (2013): *Signalized Intersections Informational Guide*, Second Edition. Federal Highway Administration, report FHWA-SA-13-027, Washington, D.C., USA.
- Chen, L., Chen, C., Ewing, R., McKnight, C. E., Srinivasan, R. og M. Roe (2013): Safety countermeasures and crash reduction in New York city – Experience and lessons learned. *Accident Analysis and Prevention*, 50, pp. 312-322.
- Chen, L., Chen, C. og R. Ewing (2015): Left-turn phase: Permissive, protected, or both? A quasi-experimental design in New York City. *Accident Analysis and Prevention*, 76, pp. 102-109.
- Crabtree, M. R. og J. V. Kennedy (2005): *The safety of MOVA at high speed junctions*. TRL, report 631, Crowthorne, Storbritannien.
- De Pauw, E., Daniels, S., Van Herck, S. og G. Wets (2015): Safety Effects of Protected Left-Turn Phasing at Signalized Intersections: An Empirical Analysis. *Safety*, vol. 1, pp. 94-102.

- Eccles, K. A. og H. W. McGee (2001): *A History of the Yellow and All-Red Intervals for Traffic Signals*. Institute of Transportation Engineers, Washington, D.C., USA
- Elvik, R. (2001): Area-wide urban traffic calming schemes: a meta-analysis of safety effects. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 33, pp. 327-336.
- Elvik, R., Høyve, A., Vaa, T. og M. Sørensen (2009): *The handbook of road safety measures*. Second edition. Emerald Group Publishing Limited, Bingley, Storbritannien.
- Greiwe, R. R. (1986): Intersection Management Techniques for the Left-Turning Vehicle: The Indianapolis Experience. *ITE Journal*, vol. 56, no. 6, pp. 23-28.
- Hall, R. D. (1986): *Accidents at four-arm single carriageway urban traffic signals*. TRRL, report CR 65, Crowthorne, Storbritannien.
- Hauer, E. (1997): *Observational before-after studies in road safety*. Pergamon, Elsevier Science Ltd, United Kingdom.
- Hoff & Overgaard (1976): *Den sikkerhedsmæssige effekt af signalregulering i landevejskryds*. Vejdirektoratet, Sekretariatet for Sikkerhedsfremmende Vejforanstaltninger, Næstved, Danmark.
- Høyve, A. (2015): *Trafiksikkerhetseffekter av signalregulering av kryss*. Transportøkonomisk institutt, TØI rapport 1396/2015, Oslo, Norge.
- Jensen, S. U. (2010): Safety effects of intersection signalization: A before-after study. *Proceedings of Transportation Research Board 89th Annual Meeting*, Washington, D.C., USA.
- Jensen, S. U. (2012): *Sikkerhedseffekter af rundkørsler. Før-efter uheldsevaluering af ombygninger af kryds til 332 rundkørsler med fokus på uheld med cyklister*. Trafitec, Kgs. Lyngby, Danmark.
- Jørgensen, E. (1981): *Sikkerhedsmæssig effekt*. Vejdirektoratet, Sekretariatet for Sikkerhedsfremmende Vejforanstaltninger, Næstved, Danmark.
- Kennedy, J. og B. Sexton (2009): *Literature review of road safety at traffic signals and signalised crossings*. TRL, report PPR436, Crowthorne, Storbritannien.
- Kumura, S. S. P., Chin, H. C. og W. M. S. B. Weerakoon (2003): Identification of Accident Causal Factors and Prediction of Hazardousness of Intersection Approaches. *Transportation Research Record*, no. 1840, pp. 116-122.

- Lyon, C., Haq, A., Persaud, B. og S. T. Kodama (2005): Safety Performance Functions for Signalized Intersections in Large Urban Areas. *Transportation Research Record*, no. 1908, pp. 165-171.
- Ludvigsen, H. S. (1977): Den sikkerhedsmæssige effekt af signalregulering i landevejskryds. *Dansk Vejtidskrift*, nr. 2, side 25-26.
- McGee, H., Moriarty, K., Eccles, K., Liu, M., Gates, T. og R. Retting (2016): *Guidelines for Timing Yellow and All-Red Intervals at Signalized Intersections*. Transportation Research Board, NCHRP report 731, Washington, D.C., USA.
- Midenet, S., Saunier, N. og F. Boillot (2011): Exposure to lateral collision in signalized intersections with protected left turn under different traffic control strategies. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 43, pp. 1968-1978.
- Mishra, S. og X. Zhu (2013): Analyzing the Effect of All-Red Intervals in Crash Reduction: A Case Study of Heckman Correction at Urban Signalized Intersection Crashes. *Proceedings of Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*, paper 13-0548, Washington, D.C., USA.
- Nielsen, M. A. og S. U. Jensen (1999): *Avanceret signalstyring i signalreguleret kryds – Trafiksikkerhedsmæssig effekt*. Vejdirektoratet, notat 51, København, Danmark.
- Pratt, M. P., Songchitruksa, P. og J. A. Bonneson (2012): Pedestrians and Left-Turning Vehicles: An Evaluation of Safety Treatments. *Proceedings of Transportation Research Board 91st Annual Meeting*, paper 12-3403, Washington, D.C., USA.
- Retting, R. A., Chapline, J. F. og A. F. Williams (2002): Changes in crash risk following retiming of traffic signal change intervals. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 34, pp. 215-220.
- Retting, R. A., Ferguson, S. A. og C. M. Farmer (2008): Reducing red light running through longer yellow signal timing and red light camera enforcement. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 40, pp. 327-333.
- Roozenburg, A. og S. Turner (2005): Accident prediction models for signalized intersections. *Proceedings of IPENZ Transportation Conference*, Auckland, New Zealand.
- Simmonds, A. G. (1987): *The effect of measures designed to reduce right-turning accidents at signal-controlled junctions*. London Accident Analysis Unit, report ATWP 84, London, Storbritannien.

- Souleyrette, R. R., O'Brien, M. M., McDonald, T., Preston, H. og R. Storm (2004): *Effectiveness of All-Red Clearance Interval on Intersection Crashes*. Minnesota Department of Transportation, report MN/RC 2004-26, St. Paul, USA.
- Srinivasan, R., Council, F., Lyon, C., Gross, F., Lefler, N. og B. Persaud (2008): *Safety Effectiveness of Selected Treatments at Urban Signalized Intersections*. Transportation Research Record, no. 2056, pp. 70-76.
- Srinivasan, R., Lyon, C., Persaud, B., Baek, J., Gross, F., Smith, S. og C. Sundstrom (2012): *Crash Modification Factors for Changes to Left-Turn Phasing*. Transportation Research Record, no. 2279, pp. 108-117.
- Turner, S. A., Singh, R. og G. D. Nates (2012): *Crash prediction models for signalised intersections: signal phasing and geometry*. NZ Transport Agency, report 483, Wellington, New Zealand.
- Zador, P., Stein, H., Shapiro, S. og P. Tarnoff (1985): Effect of clearance interval timing on traffic flow and crashes at signalized intersections. *ITE Journal*, vol. 55, no. 11, pp. 36-39.
- Wang, X. og M. Abdel-Aty (2006): Temporal and spatial analyses of rear-end crashes at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 38, pp. 1137-1150.
- Wang, X. og M. Abdel-Aty (2008): Analysis of left-turn crash injury severity by conflicting pattern using partial proportional odds models. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 40, pp. 1674-1682.

## Bilag 1. Kryds i før-efter evalueringen

Kommune	Vejnavne	Ombygningstidspunkt	Antal krydsben med etablering af			
			Bundet v-sving	1-lys pil v-sving	Bundet h-sving	1-lys pil h-sving
Albertslund	Roskildevej/Vallensbæk Torvevej/Roholmsvej	2009	2			
Albertslund	Roskildevej/Albertslundvej/Damgårdsvej	2010	2			
Albertslund	Roskildevej/Herstedvestervej/Vridsløsevej	2013	2			
Ballerup	Ballerup Byvej/Skovvej/Hold-An Vej	2004	2			
Egedal	Frederikssundsvej/Hovevej	2014	1			1
Egedal	Frederikssundsvej/Frode Fredegodsvej/Dronning Dagmars Vej	2012	2			
Esbjerg	Strandby Kirkevej/Kvaglundvej	2013		1		
Greve	Hundige Strandvej/Hundige Centervej	2005	2			
Guldborgsund	Gedser Landevej/Kringelborg Alle/Vesterskovvej/Østerbrogade	2009	2			
Guldborgsund	Vesterskovvej/Skovalleen/Brovejen/Engboulevard	2009	3		1	
Herning	Holstebrovej/Glentevej	2014	1			1
Herning	Holstebrovej/Vestergade/Gl Ringkøbingvej	2014	1			1
Herning	Holstebrovej/H P Hansens Vej	2014	1			
Herning	Møllegade/Rolighedsvej/Danasvej	2012	1			
Herning	Messevejen/Vardevej	2011	1			
Holbæk	Ringstedvej/Valdemar Sejrsvej/Omfartsvejen	1999	2			
Holstebro	Nørrebrogade/Frøjkvej	2011	1			
Holstebro	Nørrebrogade/Bisgårdgade/Voldgade	2011	2			
Holstebro	Nørrebrogade/Fredericiagade	2011	1			
Horsens	Nørretorv (Allégade/Nørrebrogade/Østergade/Nørretorv)	2012				1
Horsens	Bjerrevej/Bollervej/Strandkærvej	2013		1		1
Hvidovre	Gammel Køge Landevej/Avedøre Havnevej	2009	4			3
Hvidovre	Gammel Køge Landevej/Hvidovrevej	2010-2011	2			2
Hvidovre	Avedøre Havnevej/Brostykkevej	2012	2	2		
Hvidovre	Avedøre Havnevej/Kettevej/Kettegård Allé	2014	2	2		
Kolding	Vejlevej/M50 Sønderjyske Motorvej	2012	1			1
Kolding	Vejlevej/M50 Sønderjyske Motorvej	2012	1			
København	H C Andersens Boulevard/Stormgade/Tietgensgade	2002	2			
København	H C Andersens Boulevard/Ny Kongensgade/Niels Brocks Gade	2002	1			
København	Vermlandsgade/Uplandsgade	2003-2004	1			
København	Nørre Allé/Øster Allé	2004	1			
København	Nørre Allé/Tagensvej (Frederik Bajers Plads)	2004			1	
København	Hans Knudsens Plads (Borgervænget)/Lyngbyvej/Rovsinggade/Helsingørmotorvejen	2012	1		1	
Lyngby-Taarbæk	Klampenborgvej/M14 Helsingørmotorvejen	2009	1			

**Tabel 52:** Oversigt over undersøgelsens 60 signalregulerede kryds. For hvert kryds angives kommunen, hvor krydset er beliggende i, vejnavne for krydsbenene, ombygningstidspunkt, samt antal krydsben, hvor der er etableret de fire typer svingfaser: Bundet venstresving, 1-lys venstresving-spil, bundet højresving og 1-lys højresvingsspil. Del 1.

Kommune	Vejnavne	Ombygningstidspunkt	Antal krydsben med etablering af			
			Bundet v-sving	1-lys pil v-sving	Bundet h-sving	1-lys pil h-sving
Odense	Rismarksvej/Rugårdsvej	2014	2			
Odense	Kertemindevej/Vollsmose Allé/ Biskorup Havekoloni	2010	1			
Odense	Stenløsevej/Sejerskovvej	2005	1			1
Odense	Munkerisvej/Munkebjergvej	2011	2	1	1	1
Odense	Ørbækvej/Bilka	2009	2			
Odense	Ørbækvej/Niels Bohrs Allé	2006	4		2	
Odense	Niels Bohrs Allé/Campusvej	2010	2			
Randers	Vestervold/Vestergade	2008	2			
Randers	Tørvebyggen/Hospitalsgade/Randers Regnskov	2013		1		
Randers	Århusvej/Hammelvej	2002	2			
Randers	Hammelvej/Clausholmvej	2002	2			
Randers	Århusvej/Paderup Boulevard/Stålvej	2009		1	2	
Roskilde	Køgevej/Østre Ringvej/Søndre Ringvej	2013	2			
Roskilde	Østre Ringvej/Vindingevej	2014	2	1		
Roskilde	Østre Ringvej/Bymarken/Bonderosevej	2005-2007	1			
Roskilde	Østre Ringvej/Københavnsvej	2010	2			
Roskilde	Østre Ringvej/Østbyvej/Trekroner Allé	2010	2			1
Rødovre	Tårnvej/Rødovre Centrum	2012	1			
Rødovre	Tårnvej/Slotsherrensvej	2014	2			
Slagelse	Søndre Ringgade/Grønningen/ M20 Vestmotorvejen	2002	2			
Slagelse	Vestre Ringgade/Mariendals Allé/ Søndre Ringgade/Korsørvej	2009	4			
Solrød	Cordozavej/Tåstrupvej	2009	1			
Svendborg	Sundbrovej/Bjernemarksvej/Eskærvej	2011	2	1		
Vejle	Fredericiavej/Boeskærvej/Andkærvej	2004	2			1
Vejle	Fredericiavej/M60 Østjyske Motorvej	2013	1			
Århus	Viborgvej/M60 Østjyske Motorvej/Borumvej	2003	2			1

**Tabel 53:** Oversigt over undersøgelsens 60 signalregulerede kryds. For hvert kryds angives kommunen, hvor krydset er beliggende i, vejnavne for krydsbenene, ombygningstidspunkt, samt antal krydsben, hvor der er etableret de fire typer svingfaser: Bundet venstresving, 1-lys venstresving-spil, bundet højresving og 1-lys højresvingsspil. Del 2.