

# Rundkørsler, sikkerhed og cyklister

Litteraturstudie af sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler og uheldsmodeller for rundkørsler



Søren Underlien Jensen  
Per Bruun Madsen

Juli 2012

<p><b>Titel:</b> Rundkørsler, sikkerhed og cyklister</p> <p><b>Forfatter(e):</b> Søren Underlien Jensen og Per Bruun Madsen</p> <p><b>Publiceringsdato:</b> Juli 2012</p> <p><b>Sprog:</b> Dansk</p> <p><b>Antal sider:</b> 58</p> <p><b>Rekvirent/finansiel kilde:</b> Cykelpuljen</p> <p><b>Projekt:</b> Cyklisters sikkerhed i rundkørsler</p> <p><b>Kvalitetssikring:</b> Lene Herrstedt</p> <p><b>Emneord:</b> Sikkerhedseffekt, rundkørsler, uheld, personskade, cyklist, uheldsmodel</p> <p><b>Resumé:</b></p> <p>Rapporten beskriver et systematisk litteraturstudie om rundkørsler, hvor meta-analyser bruges til at estimere sikkerhedseffekter ved at bygge kryds om til rundkørsler og af forskelligt rundkørselsdesign på tværs af tidligere studier. Derudover gennemgås en række uheldsmodeller for rundkørsler.</p> <p>Litteraturstudiet viser, at ombygninger af kryds til rundkørsler medfører sikkerhedsmæssige gevinster, da omkring 60% af personskadeuheldene og 25% af materielskadeuheldene forebygges. Sikkerhedseffekter er bedre ved ombygning af vigepligtsregulerede kryds end ved ombygning af lyskryds. Sikkerhedseffekter er bedre ved ombygning af 4-benede kryds end 3-benede kryds. Sikkerhedseffekter er bedre på landet end i byer. Sikkerhedseffekter er dårligere for cyklister end for andre trafikantgrupper, idet antallet af cykeluheld stiger ca. 20% ved ombygninger af kryds til rundkørsler. Den sikreste facilitet for cyklister synes at være en separat cykelsti i nærheden af cirkulationsarealet, hvor vigepligt er pålagt cyklister, mens den mest usikre facilitet synes at være cykelbaner ved ydersiden af cirkulationsarealet.</p> <p>Gennemgangen af uheldsmodeller for rundkørsler viser, at foruden trafikmængder så har en række faktorer for adfærd og geometri betydning for den observerede uheldstæthed.</p>	<p><b>Title:</b> Roundabouts, road safety and cyclists</p> <p><b>Author(s):</b> Søren Underlien Jensen and Per Bruun Madsen</p> <p><b>Report date:</b> July 2012</p> <p><b>Language:</b> Danish</p> <p><b>No. of pages:</b> 58</p> <p><b>Client/financial source:</b> Cykelpuljen</p> <p><b>Project:</b> Cyclists safety at roundabouts</p> <p><b>Quality control:</b> Lene Herrstedt</p> <p><b>Key words:</b> Safety effect, roundabout, accident, injury, bicyclist, accident model</p> <p><b>Abstract:</b></p> <p>The report describes a systematic literature study of roundabouts. Meta-analyses of previous studies are used to estimate safety effects of converting junctions to roundabouts and of various designs of roundabouts. The study also includes roundabout accident models.</p> <p>The study shows that converting junctions to roundabouts results in safety improvements, i.e. a 60% reduction of injury accidents and a 25% reduction of property damage only accidents. Conversions of non-signalized junctions result in better safety effects compared to conversions of signalized junctions. Converting 4-armed junctions result in better safety effects than conversions of 3-armed junctions. Safety effects are better in rural areas compared to urban areas. Safety effects for cyclists are not so good compared to other road users, because the number of bicycle accidents increase about 20%. The safest design for cyclists is a cycle path near the roundabout without priority to cyclists crossing arms, whereas the least safe design for cyclists is cycle lanes next to the circulating lane.</p> <p>Roundabout accident models indicate that several variables for exposure (traffic volumes), behavior and roundabout design influence the number of observed accidents.</p>
<p>Rapporten kan hentes fra <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>.</p> <p>Copyright © Trafitec</p> <p>Ved gengivelse af materiale fra publikationen skal fuldstændig kildeangivelse udføres.</p>	<p>The report can be acquired from <a href="http://www.trafitec.dk">www.trafitec.dk</a>.</p> <p>Copyright © Trafitec</p> <p>Reprinting material from this publication must include a complete reference to original source.</p>

# Indhold

<b>Forord</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammenfatning</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Introduktion</b> .....	<b>9</b>
<b>2. Metode, definition, mv.</b> .....	<b>11</b>
2.1 Litteratursøgning .....	11
2.2 Referering af studier .....	12
2.3 Meta-analyse og kvalitetsvurdering .....	13
2.3.1 Meta-analyse .....	13
2.3.2 Kvalitetsvurdering .....	14
2.3.3 Kombination af meta-analyse og kvalitetsvurdering.....	17
2.4 Definition og nomenklatur for rundkørsler .....	18
<b>3. Sikkerhedseffekter af rundkørsler</b> .....	<b>21</b>
3.1 Effekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler .....	23
3.1.1 Effekter opdelt på by- og landzone samt hastighedsbegrænsning .....	24
3.1.2 Effekter opdelt efter antal vejgrene .....	26
3.1.3 Effekter opdelt efter krydssets reguleringsform .....	26
3.1.4 Effekter opdelt efter rundkørselens hovedtype .....	27
3.1.5 Effekter opdelt efter trafikmængde .....	28
3.1.6 Effekter opdelt på uheldssituationer .....	28
3.1.7 Effekter opdelt på lysforhold og belysning .....	29
3.1.8 Effekter opdelt på kort og lang sigt .....	29
3.2 Effekter af rundkørselsdesign.....	30
3.2.1 Midterø diameter, højde og udseende .....	30
3.2.2 Cirkulations- og overkørselsarealer samt shunts.....	32
3.2.3 Heller, forsætning og rundkørselshastigheder.....	32
3.2.4 Tilfartsspor og afstand til næste vejgren .....	33
3.2.5 Cykelfaciliteter .....	34
3.2.6 Fodgængerfaciliteter.....	36
3.2.7 Andet .....	36
<b>4. Uheldsmodeller for rundkørsler</b> .....	<b>37</b>
4.1 Generelt om uheldsmodeller for rundkørsler .....	37
4.2 Eksempler på uheldsmodeller for rundkørsler .....	39
4.2.1 Danske modeller .....	39
4.2.2 Udenlandske modeller .....	41
4.3 Opsummering om uheldsmodeller for rundkørsler .....	44
<b>Referencer</b> .....	<b>47</b>
<b>Bilag 1. Studierne</b> .....	<b>53</b>
<b>Bilag 2. Meta-analyse</b> .....	<b>59</b>

## Forord

Nærværende litteraturstudie er en del af projektet *Cyklisters sikkerhed i rundkørsler*, der er finansieret af *Cykelpuljen*. Projekt og litteraturstudie udføres af det forskningsbaserede rådgivningscenter *Trafitec*.

I studiet beskrives de sikkerhedsmæssige konsekvenser af ombygninger af kryds til rundkørsler på baggrund af tidligere danske og udenlandske studier. Desuden beskrives uheldsmodeller for rundkørsler, og den viden der kan udledes af disse modeller.

I projektet *Cyklisters sikkerhed i rundkørsler* udføres tre studier:

- Litteraturstudie om rundkørsler, sikkerhed og cyklister
- Før-efter uheldsevaluering af ombygninger af kryds til rundkørsler
- Uheldsmodeller for rundkørsler

Uheldsevalueringen og uheldsmodeller er baseret på en fuldstændig registrering af rundkørsler pr. 1. januar 2010 i 72 kommuner i Danmark.

## Sammenfatning

Nærværende rapport er en del af projektet *Cyklisters sikkerhed i rundkørsler*, der er finansieret af *Cykelpuljen*. Projekt og rapport udføres af det forskningsbaserede rådgivningscenter *Trafitec*.

Rapporten indeholder et litteraturstudie, der beskriver sikkerhedsmæssige konsekvenser af ombygninger af kryds til rundkørsler på baggrund af tidligere danske og udenlandske studier. Desuden beskrives uheldsmodeller for rundkørsler og den viden, der kan udledes af disse modeller.

## Metode

Der er søgt efter litteratur om rundkørsler og trafiksikkerhed. Litteratursøgningen er udført ved at foretage systematisk søgning i en lang række tidsskrifter samt rekvirering af kilder fra referencelister i tidligere studier om rundkørsler.

Litteraturstudiet leder frem til nye estimater for de sikkerhedsmæssige effekter af at bygge kryds om til rundkørsler og sikkerhedseffekter af rundkørselsdesignet ved at se på tværs af tidligere studier. Det gøres ved at anvende en meta-analyse metode, der kaldes for "logodds method of combining results". Meta-analysen er videreudviklet, så der indgår en kvalitetsvægt for hvert studie. Kvalitetsvægten påvirker den statistiske vægt i meta-analysen, således at studier baseret på gode metoder vejer tungere i estimering af sikkerhedseffekter end studier, der er baseret på mindre gode metoder.

## Resultater

Ud fra i alt 17 før-efter uheldsevalueringer er det muligt at opgøre overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler, se tabellen herunder.

Antal studier	Type af uheld/personskade	Effekt	95% konfidensinterval	Homogen?
17	Alle uheld	-44%	-50% ; -37%	Nej
2	Dødsuheld	-65%	-91% ; +33%	Ja
16	Personskadeuheld	-60%	-67% ; -50%	Nej
9	Materielskadeuheld	-25%	-36% ; -12%	Nej
4	Alle personskader	-72%	-81% ; -60%	Ja
4	Dræbte	-87%	-98% ; +5%	Ja
4	Alvorlige skader	-75%	-87% ; -53%	Ja
3	Lette skader	-66%	-78% ; -45%	Ja

*Overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler.*

En del effekter er ikke homogene, hvilket kan skyldes, at de anlagte rundkørsler i studierne er af forskellig type og lokalisering. Eksempelvis ser en evaluering kun

på ombygninger af vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler i landzone, mens der i en anden evaluering kun indgår ombygninger af signalregulerede kryds til rundkørsler. I evalueringerne varierer sikkerhedseffekten på alle uheld mellem fald på 10% til 80%, mens effekten på alle personskader varierer mellem fald på 35% til 86%. Der er derved fundet gode sikkerhedsmæssige gevinster i alle evalueringer.

De overordnede sikkerhedseffekter i tabellen viser tydeligt, at ombygninger af kryds til rundkørsler reducerer antallet og alvorligheden af uheld. Der er benyttet kvalitetsvægte ved opgørelse af disse sikkerhedseffekter på tværs af studierne. Effekterne i tabellen er bedre (større fald i uheld og personskader) end effekter fundet i tidligere systematiske opsamlinger.

Tabellen med overordnede sikkerhedseffekter er baseret på seks naive før-efter uheldsevalueringer, fire studier med korrektioner for generelle uheldsudviklinger samt syv studier med korrektioner for både generelle uheldsudviklinger og regressionseffekter. I tre studier korrigeres tillige for trafikmængder. De naive studier har givet meget ensartede resultater med fald i alle uheld på 38-54% og en homogen middeleffekt på 48%. Studierne med korrektioner for generelle uheldsudviklinger har givet fald i alle uheld på 10-49% og en inhomogen middeleffekt på 39%. Endelig af studier med korrektioner for regressionseffekt givet fald i alle uheld på 21-80% og en inhomogen middeleffekt på 47%. Når middeleffekten opgøres på basis af alle 17 studier men uden kvalitetsvægte, fås også et fald på 44% i alle uheld og 60% i personskadeuheld. Overraskende nok har brugen af kvalitetsvægte således ikke påvirket sikkerhedseffekterne i dette tilfælde.

Kun fem studier angiver sikkerhedseffekter for cyklister og antallet af uheld eller personskader, som effekttopgørelsen er baseret på. Et stort belgisk studie viser, at antallet af personskadeuheld med cyklister steg med 27%, mens to danske studier viser stigninger på 0-29% i cykeluheld og personskader blandt cyklister. Endelig viser to hollandske studier fald på 8-74% i cykeluheld og cyklisters personskader. Meta-analyserne viser en stigning i cykeluheld på 21% og et fald i personskader blandt cyklister på 21% ved ombygninger kryds til rundkørsler.

Belgiske og danske rundkørsler ligner hinanden ganske meget. Derfor er effekter på uheld og personskader, herunder blandt cyklister, måske netop også meget lig hinanden. De hollandske rundkørsler er anderledes særligt hvad angår faciliteter for cyklister. Umiddelbart anslås rundkørsler i dansk design at resultere i omkring 20-30% flere cykeluheld og personskader blandt cyklister.

Ni studier opgør effekter for hhv. by- og landzone. I byer ses fald på 23% og 62% i hhv. uheld og personskader ved ombygning af kryds til rundkørsler, mens der på landet ses fald på hhv. 57% og 87%. Sikkerhedseffekter er altså 25-35 procentpoint bedre på landet end i byer. Et svensk studie viser, at sikkerhedseffekten er direkte afhængig af faldet i gennemsnitshastighed ved ankomst til krydset før hhv. rundkørslen efter. Et belgisk studie viser, at sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler bliver stadig bedre jo højere hastighedsbegrænsningen er.

Både et hollandsk og et belgisk studie tyder på, at sikkerhedseffekter for cyklister er bedre på landet end i byer.

Fire studier viser, at antallet af uheld falder 27% ved ombygninger af 3-benede kryds til rundkørsler, mens ombygninger af 4-benede kryds resulterer i fald på 42%. Otte studier viser, at antallet af uheld falder 27% ved ombygninger af signalregulerede kryds til rundkørsler, mens ombygninger af vigepligtsregulerede kryds resulterer i fald på 43%. Hollandske og belgiske studier tyder på, at sikkerhedseffekter for cyklister også er bedre ved ombygning af 4-benede kryds og ved ombygning af vigepligtsregulerede kryds set ift. 3-benede og signalregulerede.

Fire studier viser, at antallet af uheld falder med 48% ved ombygninger af kryds til 1-sporede rundkørsler, mens ombygninger til flersporede rundkørsler kun medfører fald på 19% i antallet af uheld. En række studier viser, at uheldsfrekvensen i flersporede rundkørsler er højere end i 1-sporede. Svenske studier viser, at uheldsfrekvensen for cyklister og fodgænger er 2,6-4,3 gange højere i flersporede rundkørsler end i de oftest mindre trafikerede 1-sporede rundkørsler. Et hollandsk studie viser, at såkaldte flersporede turborundkørsler med vulster mellem cirkulationsspor i åbent land medfører samme gunstige sikkerhedseffekter som 1-sporede rundkørsler i åbent land.

En del studier viser, at det især er venstresvingsuheld og tværkollisioner, der falder i antal ved ombygninger af kryds til rundkørsler. Derimod synes antallet af enuehald og sprituehald at stige. Studierne viser klart, at sikkerhedseffekterne på uheld i mørke er betydeligt dårligere end effekter på uheld i dagslys ved ombygninger af kryds til rundkørsler.

Et par studier viser, at sikkerhedseffekterne af ombygninger af kryds til rundkørsler bliver bedre, som tiden går. Det vil sige, at effekterne på lang sigt er bedre end på kort sigt. Et belgisk studie viser, at effekten på personskadeuheld er 24% i det første og andet år efter ombygning, mens effekten er 36% i det tredje til sjette år efter ombygning.

Studier	Type af sammenlignet rundkørselsdesign	Effekt	95% konfidensinterval	Homogen?
4	Cykelbane ift. ingen cykelfacilitet	+25%	-25% ; +107%	Ja
1	Cykelsti ved cirkulation ift. ingen facilitet	-20%	-71% ; +119%	Ja
3	Separat cykelsti med vigepligt pålagt cyklister ift. ingen cykelfacilitet	-84%	-95% ; -52%	Ja

*Sikkerhedseffekter på cyklisters personskader af cykelfaciliteter i rundkørsler.*

Tabellen ovenfor viser, at typen af cykelfacilitet synes at påvirke cyklisters sikkerhed i rundkørsler. Den sikreste facilitet synes at være en separat cykelsti i nærheden af cirkulationsarealet, hvor vigepligt er pålagt cyklister ved cykling over vejgrene. Den mest usikre facilitet synes at være cykelbaner langs ydersiden af cirkulationsarealet. Der er dog ikke statistisk signifikante forskelle i sikkerheden mellem hhv. ingen cykelfacilitet, cykelbane og cykelsti langs ydersiden af cirkula-

tionsarealet. Et belgisk studie finder, at niveaudelte rundkørsler, hvor cyklister kører i tunneler under vejgrene, giver et fald på 44% i cykeluheld.

En række studier tyder på, at sikkerhedseffekten af ombygninger fra kryds til rundkørsler med små midterøer (under 10 meter i diameter) eller store midterøer (over 35 meter) er ringere end ombygninger til rundkørsler med midterøer i almindelig størrelse på ca. 10-35 meter i diameter. Studier tyder på, at brede cirkulationsspor resulterer i dårligere sikkerhed end smalle cirkulationsspor. Studier viser, at brede tilfartsspor medfører dårligere sikkerhed end smalle tilfartsspor. En række studier finder, at gode oversigtsforhold i rundkørsler for indkørende mod venstre i retning mod cirkulerende og første vejgren mod venstre er forbundet med dårligere sikkerhed end rundkørsler med relativt dårlige oversigtsforhold, da gode oversigtsforhold fører til højere indkørselshastigheder. Et belgisk studie tyder på, at afmærkning af fodgængerfelter i rundkørsler resulterer i flere uheld.

Gennemgangen af uheldsmodeller for rundkørsler viser, at udover eksponering (trafikmængder) synes både adfærdsmæssige og geometriske faktorer at kunne indgå i modeller på en statistisk pålidelig facon.



# 1. Introduktion

I Danmark og flere andre lande er der udført før-efter uheldsevalueringer af ombygninger af kryds til rundkørsler. I modsætning til andre trafikanter synes cyklisteres sikkerhed at blive forværret, når kryds bygges om til rundkørsler. Der synes ikke umiddelbart at være dokumenteret et sikkert rundkørselsdesign for cyklister.

Cyklister er en stor trafikantgruppe i Danmark. Det er derfor vigtigt at kunne udpege de kryds, der vil medføre de bedste sikkerhedsmæssige gevinster for både cyklister og andre trafikanter ved ombygning til rundkørsel. Det er også vigtigt at kunne designe rundkørsler så sikkert som muligt.

Før-efter uheldsevalueringer er gennemgået systematisk i litteraturstudiet. Dette gøres for mere præcist at udlede den viden tidligere studier indeholder. Og derved skabe grundlag for bedre at forstå rundkørslers sikkerhedsmæssige betydning for cyklister og andre trafikanter. Nogle med-uden uheldsstudier er også gennemgået systematisk, da de kan bidrage til viden om rundkørselsdesignets betydning for sikkerheden. Et med-uden uheldsstudie kan fx opgøre sikkerheden i rundkørsler hhv. med og uden cykelbane i cirkulationsarealet. Med-uden uheldsstudier kan være baseret på uheldsmodeller.

I Danmark har rundkørsler ikke figureret som selvstændig krydstype i landsdækkende vejdatabanker. Det er måske den væsentligste årsag til, at der ikke er udviklet nævneværdige uheldsmodeller for rundkørsler i Danmark. I udlandet har der gennem tre årtier været gjort erfaringer med uheldsmodeller for rundkørsler. I litteraturstudiets anden del ses på disse erfaringer og modeludtryk.

I hovedtræk er formålet med litteraturstudiet at angive ...

- kvantitative sikkerhedseffekter for cyklister og andre trafikanter af at ombygge kryds til rundkørsler,
- angive resultater om betydningen af elementer ved rundkørselsdesign for trafikikkerheden for cyklister og andre trafikanter, samt
- angive beskrivelser af udviklede uheldsmodeller for rundkørsler.

Man kan have mange forskellige antagelser om, hvorfor ombygninger af kryds til rundkørsler påvirker trafikikkerheden, og hvilken betydning designet af rundkørsler har for sikkerheden. Eksempelvis kan man forestille sig:

- Sikkerhedseffekten af ombygninger af kryds til rundkørsler afhænger af, hvilken alvorlighed af uheld og personskader der betragtes, da uheld i rundkørsler sker ved en lavere kollisionshastighed end i kryds.

- Sikkerhedseffekter afhænger af hastighedsniveauet i kryds før ombygning, da ændringen i kollisionshastighed afhænger af hastighedsniveauet i kryds, som kan variere kraftigt fx mellem by og land. Ombygninger af kryds til rundkørsler kan også give bedre sikkerhedseffekter i landzone i forhold til byzone, da der ofte samtidigt etableres belysning i landzone, og fordi der sker relativt få cykeluheld i landzone.
- Sikkerhedseffekter afhænger af uheldssammensætningen i kryds, da ombygninger af kryds til rundkørsler formodes især at forebygge venstresvingsuheld og tværkollisioner. Effekter vil også afhænge af, om cyklister er involveret i uheld i kryds, da cykeluheld formodes at stige i antal.
- Flere cykeluheld kan evt. skyldes, at cyklister ofte er involveret i uheld med højresvingende køretøjer. Da antallet af højresvingskonflikter mangedobles ved ombygninger af kryds til rundkørsler, så mangedobles også cyklisters problemer med højresvingsuheld.
- Sikkerhedseffekter ved ombygninger af hhv. vigepligts- og signalregulerede kryds og af hhv. 3- og 4-benede kryds til rundkørsler kan være forskellige, da uheldssammensætning og hastighedsniveau er forskellige i disse krydstyper.
- Cyklisters sikkerhed i rundkørsler afhænger af udformningen af eventuelle cykelfaciliteter, men også af andre designforhold såsom midterøens størrelse, bilernes cirkulationshastighed, osv.
- Sikkerhedseffekten vil være dårligere umiddelbart efter kryds bygges om til rundkørsler i forhold til lang tid efter, fordi trafikanterne skal vænne sig til rundkørslen og finde en passende hastighed at gennemkøre den med.
- At uheldstætheden i rundkørsler hovedsageligt afhænger af trafikmængder fx antallet af biler og cyklister. Mens rundkørslers design kun har en sekundær indflydelse på uheldstætheden.

Litteraturstudiet tilrettelægges, så de mange antagelser om sikkerhedseffekter ved ombygninger af kryds til rundkørsler og rundkørselsdesignet betydning for trafik-sikkerheden så vidt muligt kan belyses.

## 2. Metode, definition, mv.

Nærværende litteraturstudie består metodisk af en række dele. En afgrænsning af kilder til studiet ved systematisk litteratursøgning og frasortering af irrelevant litteratur. Referering af studier, der er baseret på originale data med uheld før og efter etablering af rundkørsler samt uheld i rundkørsler til brug for med-uden uheldsstudier eller uheldsmodeller. Referering af studier, der sammenholder originale studier for at skabe synteser eller nye estimater. Desuden indgår en meta-analyse metode, der anvendes til at vægte resultater fra originale studier for derefter at frembringe nye estimater for sikkerhedseffekter. I kapitlet findes også en definition af rundkørsler samt en nomenklatur for en række faglige termer.

### 2.1 Litteratursøgning

Litteratursøgningen er udført ved at foretage systematisk søgning i videnskabelige tidsskrifter samt rekvirere kilder fra referencelister i studier om rundkørsler.

Af videnskabelige tidsskrifter er via ScienceDirect søgt i blandt andet følgende tidsskrifter:

- Accident Analysis and Prevention
- Journal of Safety Research
- Safety Science
- Transportation Research part A-F

Herudover er via diverse søgemaskiner søgt i følgende tidsskrifter:

- Dansk Vejtidsskrift / Trafik & Veje
- Journal of Transportation Engineering
- Traffic Engineering and Control / TEC
- Traffic Injury Prevention
- Transportation Research Record / papers fra TRB Annual Meeting
- Zeitschrift für Verkehrssicherheit

Disse tidsskrifter er sidst søgt i maj 2012. Der er søgt efter artikler på ordene 'rundkørsel' og 'sikkerhed' på relevante sprog.

Artikler fra disse tidsskrifter er efterfølgende gennemgået for potentielt relevant litteratur. Udover referencelister fra disse artikler indgik også referencelister fra fire andre publikationer:

- Elvik et al. (2009): *The Handbook of Road Safety Measures*. Emerald Group Publishing Limited, Storbritannien.

- Robinson et al. (2000): *Roundabouts: An Informational Guide*. Federal Highway Administration, report FHWA-RD-00-067, USA.
- Rodegerdts et al. (2007): *Roundabouts in the United States*. National Cooperative Highway Research Program, report 572, USA.
- Rodegerdts et al. (2010): *Roundabouts: An Informational Guide – Second edition*. National Cooperative Highway Research Program, report 672, USA.

Formålet med søgningerne var at finde originale studier, der kvantificerer eller forsøger at kvantificere de sikkerhedsmæssige effekter af at ombygge kryds til rundkørsler, kvantificere forskelle i sikkerhed af forskellige rundkørselsdesigns, samt finde originale studier med uheldsmodeller for rundkørsler. Diverse studier, der sammenholder sådanne originale studier for at skabe synteser eller nye estimater for den sikkerhedsmæssige effekt af etablering eller design af rundkørsler, indgår også i den udvalgte litteratur til nærværende litteraturstudie.

Det har ikke været muligt at rekvirere alle originale studier, da flere studier ikke har været tilgængelige via diverse biblioteker.

Studier baseret på andet end registrerede uheld og personskader er ofte frasorteret. Det vil sige, at bl.a. studier baseret på adfærdsobservationer hovedsageligt ikke indgår i litteraturstudiet. Der er dog medtaget få studier, men disse indgår ikke i estimeringer af nye sikkerhedseffekter.

## 2.2 Referering af studier

De originale studier, der er anvendt til estimering af sikkerhedseffekter på tværs af studier, er omtalt i bilag 1 med hensyn til flere centrale emner. Her er en kortfattet beskrivelse af hvert studie med hensyn til;

- studie design fx før-efter studie, med-uden studie, osv.,
- anvendte metoder, herunder korrektion for skævheder,
- størrelse af datagrundlag fx antal rundkørsler og uheld, samt
- oprindelse og kilder til data fx nationalitet, lokalitet, politi eller sygehus, trafiktællinger, kodning for design, osv.

Det har ikke været muligt at beskrive samtlige originale studier med hensyn til alle emner, da publikationer i visse tilfælde er mangelfulde på disse oplysninger.

I kapitel 3 er resultater fra originale studier omtalt efter emner på tværs af studierne. Hvis resultaterne er vidt forskellige på tværs af studier nævnes forhold, der kan være potentielle årsager til forskellene.

Studier, der sammenholder originale studier (meta-analyse, synteser o. lign.) samt studier, der er baseret på adfærdsobservationer, er også omtalt i kapitel 3, men ikke i bilag 1.

## 2.3 Meta-analyse og kvalitetsvurdering

Resultater som sikkerhedseffekter af at ombygge kryds til rundkørsler kan være forskellige fra studie til studie. Sikkerhedseffekter kan også beskrive forskelle i sikkerhedsniveau for rundkørsler med fx forskellige cykelfaciliteter, og sådanne sikkerhedseffekter kan også være forskellige fra studie til studie. Resultaterne fra forskellige studier vægtes, så der opnås et samlet og nyt estimat for en sikkerhedseffekt på tværs af de originale studier. Det er valgt at anvende meta-analyse til at vægte resultaterne til et nyt estimat, da meta-analyse har vist sig at være en god metode til at kombinere og opsummere resultater fra forskellige studier.

### 2.3.1 Meta-analyse

Den anvendte meta-analyse metode kaldes for ”logodds method of combining results”. Metoden er god til at håndtere relativt få studier, hvor hvert enkelt studie er baseret på relativt mange uheld (Shadish og Haddock, 1994). Metoden er beskrevet af Elvik (2001) og gengivet på engelsk i bilag 2. Det anbefales at studere bilaget, hvis man ikke har forudgående kendskab til meta-analyse.

I meta-analysen udføres statistisk vægtning ud fra antallet af uheld eller personskader i de enkelte studier. Vægtning udføres, så den statistiske usikkerhed på den vægtede middeleffekt (estimatet for sikkerhedseffekt på tværs af studierne) bliver mindst mulig. Vægten afhænger af uheldstallene for stedet og kontrolgruppen.

Eksempel: Hvis en før-efter uheldsevaluering har 26 uheld før og 11 efter med en kontrolgruppe på 477 uheld før og 354 efter, så kan den statistiske vægt beregnes til:  $1/(1/26+1/11+1/477+1/354) = 7,4$ . Hvor der ikke er anvendt en kontrolgruppe eller tal herfor ikke er beskrevet, udgår de af beregningen af den statistiske vægt. Sikkerhedseffekten kan i eksemplet beregnes til  $(11 \times 477)/(26 \times 354) - 1 = -43\%$ , dvs. ombygninger af kryds til rundkørsler medførte et fald på 43% i uheld.

Hvis det ikke er sikkerhedseffekten af at bygge kryds om til rundkørsler, men i stedet en sikkerhedseffekt af et element ved rundkørselens design der betragtes, så beregnes de statistiske vægte ud fra de tal, der anvendes til at opgøre forskelle i den relative sikkerhed.

Eksempel: En før-efter uheldsevaluering ser på 2 slags rundkørsler hhv. 1-sporede og flersporede rundkørsler. Den relative forskel i sikkerhed kan beregnes ud fra forventede og observerede uheld for efterperioden. Ved 1-sporede rundkørsler forventes 40 uheld og observeres 20 uheld, mens der ved flersporede rundkørsler forventes 30 og observeres 25. At bygge en flersporet rundkørsel har her resulteret i  $(40 \times 25)/(30 \times 20) - 1 = 67\%$  flere uheld set i forhold til en 1-sporet rundkørsel. Den statistiske vægt beregnes til:  $1/(1/40+1/20+1/30+1/25) = 6,7$ .

Eksempel: Et med-uden uheldsstudie ser på 1-sporede og flersporede rundkørsler. Der er sket 300 uheld ved 1-sporede rundkørsler og 50 ved flersporede. Antallet af

uheld pr. indkørende motorkøretøj opgøres til at være 40% højere ved flersporede i forhold til 1-sporede rundkørsler. Ved beregning af den statistiske vægt indgår ikke trafiktal, så den statistiske vægt er  $1/(1/300+1/50) = 42,6$ .

Meta-analyse metoden kan ikke umiddelbart anvendes, hvis antallet af uheld eller personskader er nul i fx før- eller efterperiode for et studie. Der er gode erfaringer med at lægge 0,5 uheld til i både før- og efterperiode, hvis der er én nulværdi. Det forventede antal uheld for efterperioden øges også med 0,5 uheld. Ved nulværdier i både før- og efterperioder udgår studiet. Nulværdier forekommer sjældent, når studiers overordnede resultater betragtes. Når man i stedet betragter detaljerede resultater fx dræbte i rundkørsler, så vil der ofte forekomme nulværdier. Da praksis med at lægge 0,5 uheld til trækker det nye estimat for sikkerhedseffekt i retning mod nul, altså ingen effekt af tiltaget, skal man være varsom med at benytte denne praksis – og i stedet undlade at benytte meta-analyse, hvis der er mange nulværdier.

Den anvendte form for meta-analyse giver flere oplysninger om det nye estimat for sikkerhedseffekten:

**Vægtet middeleffekt:** Den vægtede gennemsnitlige effekt på tværs af studier er baseret på en ”fixed effects model”, når variationen i uheldsændringer fra studie til studie er tilfældig, altså at effekterne i studierne er homogene. Når effekterne er inhomogene benyttes en ”random effects model”. En inhomogen vægtet middeleffekt kan ikke generaliseres. Den vægtede middeleffekt angives som en stigning eller et fald i procent. Et fald i antallet af uheld på 25 procent angives som -25%, mens en stigning på 25 procent angives som +25%. Når en random effects model er anvendt, sættes effekten i anførselstegn fx ”-25%”.

**95 procents konfidensinterval:** Der angives et 95 procents konfidensinterval for den vægtede middeleffekt. Konfidensintervallet beskriver, hvor effekten ligger indenfor med 95 procents sandsynlighed. Et konfidensinterval på et fald mellem 6 og 52 procent angives som -52% ; -6%. Dette angiver tillige, at den vægtede middeleffekt er signifikant, da hele konfidensintervallet er ”negativ”. En ej signifikant middeleffekt kan have et konfidensinterval på -11% ; +21%. Hvis konfidensintervallet bygger på en random effects model udgør intervallet et større spænd.

**Homogenitet:** Der testes for, om variationen i effekter fra studie til studie er tilfældig, altså om den vægtede middeleffekt er et tilfældigt udslag af én og samme effekt. Hvis testet er signifikant (resultaterne er inhomogene), så bør materialet deles op. Der må findes en forklaring på inhomogeniteten. Det er dog langt fra altid muligt at finde en forklaring. Inhomogene effekter kan ikke generaliseres.

### 2.3.2 Kvalitetsvurdering

Der kan være mange baggrunde for, at sikkerhedseffekter af at ombygge kryds til rundkørsler eller sikkerhedseffekter af rundkørselsdesign er forskellige fra studie

til studie. En kilde kan være, at studierne er forskellige. Det ses til tider, at jo bedre studiets design og metode er, desto mindre er effekten af tiltaget. Baggrunden herfor er, at jo flere fejlkilder og skævheder studiet tager højde for, desto lavere er effekten af tiltaget som regel. Det mønster betegnes Effektevalueringens Jernlov (Elvik, 1999), men står i kontrast til resultater fra Emerson et al. (1990) og Elvik (2008), der angiver, at studiers kvalitet kun har en beskedne relation til effektens størrelse.

Hvert originalt studie kvalitetsvurderes. Det gøres ved at opdele studierne i typer og give hver type en kvalitetsvægt. Kvalitetsvægte indgår efterfølgende i meta-analyser. For at erfare hvad kvaliteten betyder for den vægtede sikkerhedseffekt samt for at give en bredere indsigt i studierne resultater udføres meta-analyser både med og uden kvalitetsvægte.

Der findes mange måder at kvalitetsvurdere trafikikkerhedsstudier. Ønsker man at dykke dybere i emnet kan der henvises til Elvik (2008) samt AASHTO (2010) og den tilhørende hjemmeside [www.cmfclearinghouse.org](http://www.cmfclearinghouse.org).

Der anvendes en række studie designs og metoder i trafikikkerhedsforskningen. Ses alene på studier om rundkørsler, er variationen dog begrænset. Studier om rundkørsler begrænser sig til før-efter studier, med-uden studier og multivariate analyser. Der er ikke identificeret studier af rundkørsler baseret på eksperimentelt design eller analyser af tidsserier.

Et før-efter studie i denne sammenhæng er karakteriseret ved, at trafikulykker fra perioder hhv. før og efter etablering af rundkørsel eller ombygning af eksisterende rundkørsel indgår i studiet. Den væsentligste kvalitetsforskel på før-efter studier er, om der korrigeres for skævheder, hvor de mest betydende er trafikmængder, generel uheldsudvikling og tilfældig uheldsophobning (regressionseffekt). Et studie uden korrektioner kaldes for et naivt før-efter studie. En anerkendt metode, hvori der oftest tages højde for alle tre førnævnte skævheder, er Empirical Bayes. Der henvises til Hauer (1997) for introduktion til Empirical Bayes.

Ser man på erfaringerne fra effektevalueringer af større ændringer af kryds såsom etablering af rundkørsler, signalregulering og svingbaner, så synes der at være en tendens til, at korrektion for regressionseffekt har større betydning for sikkerhedseffektens størrelse end korrektion for generel uheldsudvikling, mens korrektion for trafikmængder har mindst betydning for sikkerhedseffektens størrelse.

Med-uden studier kan opdeles i to typer af studier hhv. tværsnitsstudier og case-control studier. I tværsnitsstudier sammenholdes oftest uheldsfrekvenser for forskellige trafikmiljøer uden brug af multivariate uheldsmodeller, der søger at tage højde for, at flere forhold varierer samtidigt mellem disse trafikmiljøer. Et tværsnitsstudie kan eksempelvis sammenligne uheld pr. indkørende motorkøretøj i rundkørsler hhv. med ét og flere cirkulationsspor. Tværsnitsstudier anvendes sjældent i dag, da konklusioner herfra kan være meget upålidelige. Case-control

studier gør brug af teknikken med matchende par, hvor forholdene for to ulykker eller to personer i en ulykke er nogenlunde ens på nær et enkelt forhold. Case-control designet har ikke været anvendt til studie af sikkerhedseffekter af rundkørsler, da det nærmest er umuligt eller meget tidskrævende at finde kryds og / eller rundkørsler, hvor den eneste forskel i hovedtræk er reguleringsformen eller et enkelt designelement.

Der findes få multivariate analyser, hvor ulykker i rundkørsler indgår. I sådanne analyser anvendes en eller anden form for multivariat uheldsmodel, hvor f.eks. kryds' reguleringsform eller forhold om rundkørselens design kan indgå som uafhængig variabel. Multivariate uheldsmodeller kan siges at være en avanceret form for med-uden studie, men altså hvor flere forhold (variable) håndteres samtidigt.

Multivariate analyser lider som regel af det samme som tværsnitsstudier, nemlig at den afhængige variabel i uheldsmodellen – uheldstæthed eller uheldsfrekvens – er en vigtig faktor for, at kryds eller strækninger udformes på bestemte måder. Et godt eksempel er vigepligtsregulerede kryds med og uden venstresvingsbaner på primærvejen. Her vil tværsnitsstudier ofte vise, at antal uheld pr. indkørende bil (til krydset) nogenlunde er det samme med og uden venstresvingsbaner. I en multivariat uheldsmodel kunne man udover venstresvingsbaner eksempelvis lade indkørende biltrafik i krydset, forekomst af vejbelysning og hastighedsbegrænsning indgå som uafhængige variable. En sådan model vil formentligt også vise, at venstresvingsbaner ikke har stor betydning for antallet af uheld. Men det vides fra pålidelige før-efter studier, at venstresvingsbaner har stor betydning for trafikikkerheden. Man kan sige, at så længe den multivariate uheldsmodel ikke indeholder de uafhængige variable, der i stor udstrækning kan forklare de mange uheld, der sker i kryds i de sidste år op til, at der anlægges venstresvingsbaner, fx omfanget af venstresvingende trafik – så længe vil uheldsmodellen være ringe til at forklare venstresvingsbaners betydning for trafikikkerheden.

Der er mange detaljer og metodevalg ved de enkelte studiedesigns, der har betydning for studiets kvalitet. Det er valgt at anvende en simpel kvalitetsvurdering baseret på typer af studier, da variationen i kvaliteten af studierne indenfor hver type synes at være beskedent. Kvalitetsvægten går fra 0 til 1, hvor en kvalitetsvægt på 0 repræsenterer et meget dårligt studie, der ikke tillægges betydning i samstillingen af originale studier, mens 1 er et meget godt studie, der tillægges den fulde betydning i samstillingen. Jo tættere kvalitetsvægten er på 1, desto større betydning tillægges studiet i samstillingen.

Kvalitetsvægte er forskellige, om studiets resultater bruges til at beskrive sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler eller rundkørselsdesign. Kun før-efter studier indgår i beskrivelsen af sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler, se nærmere begrundelse i kapitel 3.



Studie design	Vægt
Naivt før-efter studie uden korrektioner	0,1
Før-efter studie med korrektion for trafikmængder	0,2
Før-efter studie med korrektion for uheldsudvikling	0,4
Før-efter studie med korrektion for trafikmængder og uheldsudvikling	0,5
Før-efter studie med korrektion for uheldsudvikling og regressionseffekt	0,8
Før-efter studie med korrektion for trafikmængder, uheldsudvikling og regressionseffekt	1,0

**Tabel 1.** Kvalitetsvægte tildelt typer af studier ved estimering af sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler.

Studie design	Vægt
Tværsnitsstudie	0,5
Naivt før-efter studie uden korrektioner eller med korrektion for trafikmængder	0,6
Multivariat analyse	0,7
Før-efter studie med korrektion for uheldsudvikling og evt. trafikmængder	0,8
Før-efter studie med korrektion for uheldsudvikling, regressionseffekt og evt. trafik	1,0

**Tabel 2.** Kvalitetsvægte tildelt typer af studier ved estimering af sikkerhedseffekter af rundkørselsdesign.

I kvalitetsvurderingen i tabel 1 og 2 indgår ikke størrelsen af datagrundlaget og den statistiske usikkerhed for det enkelte studie. Det skyldes, at den meta-analyse, hvori kvalitetsvægtene indgår, netop tager højde for disse forhold.

Det er vigtigt at påpege, at der kan være andre kilder til forskellige sikkerhedseffekter på tværs af studier ud over studiets design og metode. Eksempelvis kan forskelle i kryds og rundkørslers design, trafiksammensætning og trafikantadfærd være kilde til forskellige sikkerhedseffekter. Det kan også have betydning, om der ses på effekter på kort eller lang sigt.

At udlede sikkerhedseffekter af etablering af rundkørsler og af designelementer i rundkørsler (f.eks. midterøens diameter) på tværs af originale studier kan være en vanskelig opgave i praksis, fordi det kan være relevant at tage højde for studiets kvalitet og størrelse samt de mangeartede forskelle i trafikultur, trafiktæthed og design mellem lande og områder. Det er baggrunden for, at der både refereres resultater fra de enkelte studier og gives estimater på tværs af studier.

### 2.3.3 Kombination af meta-analyse og kvalitetsvurdering

De vægtede middeleffekter beregnes med baggrund i følgende meta-analyser:

- En meta-analyse af alle studier med brug af kvalitetsvægte,
- en meta-analyse af alle studier uden brug af kvalitetsvægte, og
- meta-analyser af studier af de forskellige typer uden brug af kvalitetsvægte.

Meta-analyse uden brug af kvalitetsvægte udføres ved at benytte metoden beskrevet i afsnit 2.3.1. Når kvalitetsvægte anvendes, ændres metoden. Ændringen er simpel, idet beregningsproceduren forud for beregningen af den statistiske vægt ændres fra:

$$v_i = \frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C} + \frac{1}{D},$$

til

$$v_i = \frac{\left( \frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C} + \frac{1}{D} \right)}{qs},$$

hvor  $A$ ,  $B$ ,  $C$  og  $D$  er antal uheld eller personskader, der indgår i beregningen af effekten i det enkelte studie, mens  $qs$  er studiets kvalitetsvægt. Hvis studiet ikke benytter en kontrolgruppe kan  $C$  og  $D$  udgå. Den statistiske vægt,  $w_i$ , beregnes efterfølgende fortsat på følgende måde:

$$w_i = \frac{1}{v_i}$$

Den resterende del af meta-analyse metoden er uændret.

## 2.4 Definition og nomenklatur for rundkørsler

Ifølge de gældende danske vejregler og høringsudgaver er en rundkørsel et sted, hvor et antal vejgrene er tilsluttet en ensrettet kørebane anlagt om en midterø. Endvidere gælder for ikke-signalregulerede rundkørsler, at køretøjer har ubetinget vigepligt ved indkørsel til cirkulationsarealet.

Figur 1 på næste side viser et rundkørselslignende færdselsareal, men den cirkulerede kørebane rundt om midterøen er ikke afmærket som ensrettet og der er ikke afmærket nogen form for vigepligt (der findes heller ikke en overkørsel, der medfører ubetinget vigepligt). Juridisk set er cirkulationsarealet dobbeltrettet for alle trafikanter, og der er højrevigepligt i krydset mellem cirkulationsareal og vejgren. Figur 1 viser derfor et sted, der *ikke* er en rundkørsel.

I international sammenhæng betegnes rundkørsler, der opfylder definitionen for rundkørsler, som moderne rundkørsler – ”modern roundabouts”. Før i tiden var rundkørsler benævnt ”traffic circles”, hvilket er udtryk for et areal som i figur 1, hvor cirkulerede trafikanter skal vige for indkørende. Så vidt muligt er studier om traffic circles frasorteret.



*Figur 1. Et rundkørselslignende færdselsareal, men det er ikke en rundkørsel.*

I Danmark er ensretningen i minirundkørsler, hvor midterøen er overkørbar, afmærket med påbudstavle D12 ved vigelinjen. Ensretningen afmærkes med påbudstavle D11.3 på den ikke overkørbare midterø i andre rundkørsler.

Rundkørsler er i litteraturstudiet inddelt efter fire hovedtyper:

- Minirundkørsel: En minirundkørsel har en overkørbar befæstet midterø. Der er ubetinget vigepligt ved indkørsel til cirkulationsarealet.
- 1-sporet almindelig rundkørsel: Rundkørselen har ét cirkulationsspor. Midterøen er ikke overkørbar. Der findes ubetinget vigepligt ved indkørsel til cirkulationsarealet.
- Flersporet rundkørsel: Rundkørslen har mere end ét cirkulationsspor enten hele vejen rundt eller noget af vejen rundt. Midterøen er ikke overkørbar. Der findes ubetinget vigepligt ved indkørsel til cirkulationsarealet.
- Signalreguleret rundkørsel: Ved indkørsel til cirkulationsarealet er der stopstreg og indkørslen er signalreguleret. Midterøen er ikke overkørbar.

Veje hen til rundkørsler kaldes for vejgrene. Både ensrettede og dobbeltrettede veje til og fra rundkørslen tæller som vejgrene, når antallet herfor opgøres.



### 3. Sikkerhedseffekter af rundkørsler

I dette kapitel er foretaget meta-analyser af 19 før-efter uheldsevalueringer for at beskrive sikkerhedseffekter af at ombygge kryds til rundkørsler. Fire studier indgår i meta-analyse af sikkerhedsmæssige forskelle ved at designe rundkørsler med forskellige cykelfaciliteter. Endelig er en lang række andre studier refereret for at videregive yderligere indsigt i sikkerhedsmæssige aspekter ved rundkørsler.

I første omgang ses på fire tidligere systematiske opsamlinger om de sikkerhedsmæssige konsekvenser af ombygninger af kryds til rundkørsler.

Elvik et al. (1997) udfører meta-analyser ud fra 29 studier om sikkerhedseffekter af rundkørsler. Der indgår både før-efter uheldsevalueringer og med-uden studier. Elvik et al. finder følgende effekter:

Sikkerhedseffekter	3-benede kryds	4-benede kryds
Personskadeuheld	-27%	-35%
Materielskadeuheld	+52%	+43%

*Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler ud fra meta-analyse af både før-efter uheldsevalueringer og med-uden studier (Elvik et al., 1997).*

Elvik (2003) udfører meta-analyser og meta-regressionsanalyse ud fra 28 studier om sikkerhedseffekter af rundkørsler. Der indgår både før-efter uheldsevalueringer og med-uden studier. Elvik anfører, at sikkerhedseffekter fundet i med-uden studier er mindre end effekter i før-efter uheldsevalueringer. Effekter af før-efter uheldsevalueringer er inhomogene, dvs. at der er stor spredning i effekter mellem studierne. Elvik finder følgende effekter ud fra før-efter uheldsevalueringer ved ombygning af kryds til rundkørsler, der korrigerer for generelle uheldsudviklinger og regressionseffekter, baseret på meta-regressionsanalyse:

Sikkerhedseffekter	Vigepligtsregulerede kryds		Signalregulerede kryds	
	3 ben	4 ben	3 ben	4 ben
Dræbte	-49%	-64%	-42%	-59%
Alvorlige skader	-33%	-53%	-24%	-46%
Lette skader	-31%	-51%	-22%	-45%
Materielskadeuheld	+37%	-3%	+55%	+10%

*Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler med baggrund i meta-regressionsanalyse af før-efter uheldsevalueringer (Elvik, 2003).*

Elvik et al. (2009) udfører meta-analyse ud fra 46 studier om sikkerhedseffekter af rundkørsler. Der indgår før-efter uheldsevalueringer og med-uden studier. De skriver, at sikkerhedseffekter ved ombygninger af kryds til rundkørsler er bedre ved høje hastighedsbegrænsninger end ved lave. Studier af midterø diameterens betydning for sikkerheden giver divergerende resultater. Effekter for fodgængere

er som for andre trafikantgrupper samlet set, mens effekter for cyklister er dårligere. Ud over de effekter, som Elvik et al. opgør og er vist nedenfor, så anfører de, at effekterne i høj grad er inhomogene, hvilket indikerer, at yderligere forhold end de viste påvirker effekterne.

	Type af uheld	Effekt	95% konfidensinterval
Alle rundkørsler	Alle uheld	-36%	-43% ; -29%
Alle rundkørsler	Dødsuheld	-66%	-85% ; -24%
Alle rundkørsler	Personskadeuheld	-46%	-51% ; -40%
Alle rundkørsler	Materielskadeuheld	+10%	-10% ; +35%
Tidligere vigepligtsregulerede kryds	Alle uheld	-40%	-47% ; -31%
Tidligere signalregulerede kryds	Alle uheld	-14%	-27% ; +1%
Tidligere 4-benede kryds	Alle uheld	-34%	-42% ; -25%
Tidligere 3-benede kryds	Alle uheld	-8%	-28% ; +18%
Rundkørsler i landzone	Alle uheld	-69%	-79% ; -54%
Rundkørsler i byzone	Alle uheld	-25%	-34% ; -15%

*Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler ud fra meta-analyse af både før-efter uheldsevalueringer og med-uden studier (Elvik et al., 2009).*

Jensen et al. (2010) angiver på baggrund af tidligere studier sikkerhedseffekter af potentielle ombygninger af kryds til rundkørsler, dvs. steder, hvor det ud fra en samfundsøkonomisk betragtning kan betale sig at bygge kryds om til rundkørsler.

Sikkerhedseffekter i byzone	Vigepligtsregulerede kryds		Signalregulerede kryds		Alle kryds
	3 ben	4 ben	3 ben	4 ben	
Alle uheld	+1%	-21%	+12%	-8%	-6%
Personskadeuheld	-20%	-33%	-11%	-21%	-22%
Materielskadeuheld	+11%	-14%	+23%	-2%	+3%
Alle personskader	-22%	-36%	-13%	-24%	-25%
Dræbte	-49%	-61%	-15%	-48%	-48%
Alvorlige skader	-20%	-32%	-14%	-21%	-22%
Lette skader	-22%	-38%	-12%	-25%	-25%

*Sikkerhedseffekter af potentielle ombygninger fra kryds til rundkørsler i byzone (Jensen et al., 2010).*

Sikkerhedseffekter i landzone	Vigepligtsregulerede kryds		Signalregulerede kryds		Alle kryds
	3 ben	4 ben	3 ben	4 ben	
Alle uheld	-11%	-38%	+12%	-14%	-18%
Personskadeuheld	-38%	-57%	-22%	-35%	-44%
Materielskadeuheld	+10%	-19%	+24%	-4%	+1%
Alle personskader	-41%	-59%	-24%	-37%	-47%
Dræbte	-55%	-85%	-	-51%	-68%
Alvorlige skader	-40%	-56%	-23%	-35%	-45%
Lette skader	-41%	-59%	-26%	-37%	-47%

*Sikkerhedseffekter af potentielle ombygninger fra kryds til rundkørsler i landzone (Jensen et al., 2010).*

Sikkerhedseffekter af ombygninger af kryds til rundkørsler fundet i før-efter uheldsvalueringer kan være forskellige fra effekter fundet i med-uden studier, da det kun er et lille udsnit af kryds, der reelt ombygges til rundkørsler. Effekter fra med-uden studierne er baseret på, at alle kryds af en given type bygges om til rundkørsler. Men reelt bygges oftest kun kryds om til rundkørsler, hvor effekten forventes at være god. Det kan fx være, hvor der er sket mange tværkollisioner og venstresvingsuheld, hvilket typisk er i kryds med megen trafik på sideveje set ift. trafikken på den overordnede vej.

Af denne årsag indgår kun resultater fra før-efter uheldsvalueringer i estimering af sikkerhedseffekter på tværs af studier af at ombygge kryds til rundkørsler i afsnit 3.1. Derimod kan med-uden studier, der alene betragter sikkerheden i rundkørsler, bidrage til at belyse betydningen af rundkørsels design. Derfor indgår med-uden studier i afsnit 3.2, hvor effekter af rundkørselsdesign beskrives. Dog nævnes enkelte med-uden studier i flere dele af afsnit 3.1, men de indgår ikke i estimering af sikkerhedseffekter på tværs af studier.

### 3.1 Effekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler

Ud fra i alt 17 før-efter uheldsvalueringer er det muligt at opgøre overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler, se tabel 3. Studierne er nummeret fra 1 til 19 i bilag 1, hvor de kort er refereret. En del af effekterne er ikke homogene, hvilket kan skyldes, at de anlagte rundkørsler i studierne er af forskellig type og lokalisering. Eksempelvis ser en evaluering kun på ombygninger af vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler i landzone, mens der i en anden evaluering kun indgår ombygninger af signalregulerede kryds til rundkørsler. I evalueringerne varierer sikkerhedseffekten på alle uheld mellem fald på 10% til 80%, mens effekten på alle personskader varierer mellem fald på 35% til 86%. Der er derved fundet gode sikkerhedsmæssige gevinster i alle evalueringer.

Studie	Type af uheld/personskade	Effekt	95% konfidensinterval	Homogen?
1-3, 5-10, 12-19	Alle uheld	-44%	-50% ; -37%	Nej
7, 16	Dødsuheld	-65%	-91% ; +33%	Ja
1-3, 5, 7-10, 12-19	Personskadeuheld	-60%	-67% ; -50%	Nej
1-3, 7-8, 14-16, 19	Materielskadeuheld	-25%	-36% ; -12%	Nej
1, 3, 6-7	Alle personskader	-72%	-81% ; -60%	Ja
2-3, 6-7	Dræbte	-87%	-98% ; +5%	Ja
2, 6-7, 12	Alvorlige skader	-75%	-87% ; -53%	Ja
2, 6-7	Lette skader	-66%	-78% ; -45%	Ja

**Tabel 3.** Overordnede sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler.

Af tabel 3 ses tydeligt, at ombygninger af kryds til rundkørsler reducerer antallet og alvorligheden af uheld. I tabel 3 er kvalitetsvægte benyttet ved udregninger af sikkerhedseffekter på tværs af studierne. Effekterne i tabel 3 er bedre (større fald i uheld og personskader) end hvad tidligere systematiske opsamlinger har vist.

Tabel 3 er baseret på seks naive før-efter uheldsevalueringer, fire studier med korrektioner for generelle uheldsudviklinger samt syv studier med korrektioner for både generelle uheldsudvikling og regressionseffekt. I tre studier korrigeres tillige for trafikmængder. De naive studier har givet meget ensartede resultater med fald i alle uheld på 38-54% og en homogen middeffekt på 48% (der gøres ikke brug af kvalitetsvægte). Studierne med korrektioner for generelle uheldsudviklinger har givet fald i alle uheld på 10-49% og en inhomogen middeffekt på 39%. Endelig har studier med korrektioner for regressionseffekt givet fald i alle uheld på 21-80% og en inhomogen middeffekt på 47%. Når middeffekten opgøres på basis af alle 17 studier, men uden kvalitetsvægte, fås også et fald på 44% i alle uheld og 60% i personskadeuheld. Brugen af kvalitetsvægte påvirker således i dette tilfælde ikke sikkerhedseffekterne.

Studie	Type af uheld/personskade	Effekt	95% konfidensinterval	Homogen?
3, 7, 11	Cykeluheld	+21%	-2% ; +48%	Ja
1, 3, 6-7	Cyklisters personskader	-21%	-92% ; +50%	Ja

**Tabel 4.** Sikkerhedseffekter for cyklister af ombygninger fra kryds til rundkørsler.

Kun fem studier angiver sikkerhedseffekter for cyklister og antallet af uheld eller personskader, som effekttopgørelsen er baseret på. Et stort belgisk studie viser, at antallet af personskadeuheld med cyklister steg med 27% (Daniels et al., 2011), mens to danske studier viser stigninger på 0-29% i cykeluheld og personskader blandt cyklister (Jørgensen, 1991; Jørgensen og Jørgensen, 1994). Endelig viser to hollandske studier fald på 8-74% i cykeluheld og cyklisters personskader (Minnen, 1990; Schoon og Minnen, 1993). Der er anvendt kvalitetsvægte ved opgørelser af effekter i tabel 4.

Belgiske og danske rundkørsler ligner hinanden ganske meget. Derfor er effekter på uheld og personskader, herunder blandt cyklister, måske netop også meget lig hinanden. De hollandske rundkørsler er anderledes særligt hvad angår faciliteter for cyklister. Umiddelbart anslås rundkørsler i dansk design at resultere i omkring 20-30% flere cykeluheld og personskader blandt cyklister.

Daniels et al. (2011) angiver ud fra modeller af sikkerhedseffekter i Belgien, at der observeres flere enuehede og flerpartsheld med knallertkørere og motorcyklister end man kunne forvente, og flere flerpartsheld med cyklister end man kunne forvente. Til gengæld observeres færre uheld med lette og tunge biler.

Lalani (1975) viser ud fra en naiv før-efter uheldsevaluering af ombygninger af kryds til rundkørsler i London, at personskadeuheld med fodgængere faldt 46%, mens uheld med to-hjulere faldt 21% og uheld kun med biler faldt 45%.

### 3.1.1 Effekter opdelt på by- og landzone samt hastighedsbegrænsning

For ni før-efter uheldsevalueringer er det muligt at opdele på by- og landzone. Det er ikke klart, om by- og landzone er defineret på samme måde i evalueringerne.



Studie	Type af uheld/personskade	Effekt	95% konfidensinterval	Homogen?
2-3, 6-7,9,12, 14-15, 19	Alle uheld i byer	-23%	-39% ; -4%	Nej
2-3, 6-7	Alle personskader i byer	-62%	-74% ; -45%	Ja
2-3, 6-9, 14-15, 19	Alle uheld på landet	-57%	-68% ; -43%	Nej
2-3, 6-7	Alle personskader på landet	-87%	-94% ; -74%	Ja

**Tabel 5.** Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter by- og landzone.

Sikkerhedseffekter er 25-35 procentpoint bedre på landet end i byer, se tabel 5. I denne tabel er der anvendt kvalitetsvægte ved opgørelser af effekter. Der er både gode sikkerhedsmæssige gevinster i byer og på landet ved ombygninger af kryds til rundkørsler.

Williams et al. (2001) udfører en før-efter uheldsevaluering af 608 sortplet projekter, hvoraf et ukendt antal er ombygninger af kryds til rundkørsler. De tager højde for generelle uheldsudviklinger og regressionseffekt, og finder et fald i personskadeuheld på 70% i byer og 75% på landet. De angiver dog ikke antallet af uheld før, efter og forventet, hvorfor undersøgelsen ikke indgår i meta-analyser hverken i tabel 3 eller 5.

Schoon og Minnen (1993) finder med baggrund i en naiv før-efter uheldsevaluering, at antallet af personskader blandt cyklister og knallertkørere falder med 42% i byzone ved ombygning af kryds til rundkørsler, mens det i landzone falder med 64%. Det kunne indikere en bedre effekt i landzone.

Daniels et al. (2008) angiver ud fra en før-efter uheldsevaluering, hvor der er taget højde for generel uheldsudvikling og regressionseffekt, at antallet af personskadeuheld med cyklister involveret stiger med 48 og 1% i hhv. by- og landzone ved ombygning af kryds til rundkørsler. Stigningerne er på 77 og 21% i hhv. by- og landzone, når der alene ses på cykeluheld med dræbte og alvorlige skader. Stigningen i cykeluheld er signifikant større i byzone end i landzone, især når vigepligtsregulerede kryds bygges om til rundkørsler.

Spahn og Bäumlér (2007) skriver, at uheld med knallerter og motorcykler udgør omkring en fem gang så stor andel af alle uheld i rundkørsler i landzone set ift. andelen i signalregulerede kryds i landzone. Det kunne tyde på, at ombygning af lyskryds til rundkørsler i landzone vil resultere i dårligere effekter for knallertkørere og motorcyklister end andre trafikanter.

Med baggrund i studier af alvorlige konflikter og hastighedsmålinger viser Hydén og Várhelyi (2000), at sikkerhedseffekten på de estimerede personskadeuheld afhænger væsentligt af faldet i gennemsnitshastigheden ved ankomst til krydset før og rundkørslen efter. Faldet i personskadeuheld synes at være ca. 75%, når hastigheden mere end halveres, mens faldet kun er ca. en tredjedel ved et fald i hastigheden på ca. 25%.

Brabander et al. (2005) angiver ud fra en før-efter uheldsevaluering, hvor der er taget højde for generel uheldsudvikling og regressionseffekt, at antallet af personskadeuheld faldt med 39%, 24% og 46%, hvor højeste hastighedsbegrænsning er hhv. 50, 70 og 90 km/t. For personskadeuheld med alvorlige skader eller dræbte finder de fald på 28%, 41% og 55% ved hhv. 50, 70 og 90 km/t.

### 3.1.2 Effekter opdelt efter antal vejgrene

Kun ud fra fire før-efter uheldsevalueringer er det muligt at opdele rundkørslerne efter antal vejgrene. Evalueringerne indeholder primært rundkørsler med 3 og 4 vejgrene. Kun i én evaluering er der angivet tal for rundkørsler med 5 vejgrene, og her er antallet af uheld faldet med 76%. Det er ikke anført i evalueringerne, om en rundkørsel med 4 vejgrene førhen var ét kryds med fire vejben eller to forsatte kryds med hver tre vejben.

Studie	Type af uheld	Effekt	95% konfidensinterval	Homogen?
7, 13, 15	Alle uheld, 3 vejgrene	-27%	-61% ; +38%	Nej
3, 7, 13, 15	Alle uheld, 4 vejgrene	-42%	-56% ; -25%	Nej

**Tabel 6.** Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter antal vejgrene i rundkørslen.

Sikkerhedseffekter er 15 procentpoint bedre ved ombygning til rundkørsler med 4 vejgrene ift. 3 vejgrene, se tabel 6. I denne tabel er der anvendt kvalitetsvægte ved opgørelser af effekter. Der er gode sikkerhedsmæssige gevinster ved ombygninger til rundkørsler med hhv. 3 og 4 vejgrene.

Schoon og Minnen (1993) angiver ud fra en naiv før-efter uheldsevaluering, at personskader blandt cyklister og knallertkørere faldt med 1% i antal ved ombygninger af kryds til rundkørsler med 3 vejgrene, mens faldet var 47% i rundkørsler med 4 vejgrene.

På baggrund af en multivariat analyse finder Daniels et al. (2010a), at sikkerhedseffekter ved ombygninger af 3-benede kryds til rundkørsler er markant dårligere end effekter ved ombygninger af kryds med 4-6 ben. Daniels et al. (2011) viser, at dette særligt gør sig gældende i uheld med personbiler og knallerter.

### 3.1.3 Effekter opdelt efter krydssets reguleringsform

I en del før-efter uheldsevalueringer er det muligt at opdele rundkørslerne efter reguleringsformen i det tidligere kryds.

Studie	Type af uheld	Effekt	95% konfidensinterval	Homogen?
1, 7-8, 10, 13, 15	Alle uheld, signalreguleret	-27%	-32% ; -21%	Ja
1, 3, 7-8, 10, 13-14	Alle uheld, vigepligtsreguleret	-43%	-47% ; -39%	Ja

**Tabel 7.** Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter krydssets reguleringsform.

Af tabel 7 ses, at ombygninger af vigepligtsregulerede kryds til rundkørsler medfører omtrent 15 procentpoint bedre sikkerhedseffekt end ombygninger af signalregulerede kryds. I denne tabel er der anvendt kvalitetsvægte ved opgørelser af effekter.

Daniels et al. (2008) angiver ud fra en før-efter uheldsevaluering, hvor der er taget højde for generel uheldsudvikling og regressionseffekt, at antallet af personskadeuheld med cyklister involveret stiger med 23% og 48% i byzone, hvor hhv. signal- og vigepligtsregulerede kryds bygges om til rundkørsler. I landzone stiger antallet af personskadeuheld med cyklister med 37%, hvor lyskryds ombygges til rundkørsler, mens antallet falder med 11%, hvor vigepligtsregulerede kryds bygges om til rundkørsler.

På baggrund af en multivariat analyse finder Daniels et al. (2010a), at sikkerhedseffekter ved ombygninger af lyskryds til rundkørsler er markant dårligere end effekter ved ombygninger af vigepligtsregulerede kryds.

### 3.1.4 Effekter opdelt efter rundkørselens hovedtype

Kun få før-efter uheldsevalueringer angiver klart, hvordan de anlagte rundkørsler ser ud med hensyn til antal cirkulationsspor og om midterøen er overkørbar. Der synes ikke at være tilstrækkeligt med data til at kunne angive effekter for mini-rundkørsler og signalregulerede rundkørsler.

Studie	Type af uheld	Effekt	95% konfidensinterval	Homogen?
3, 8, 14-15	Alle uheld, 1-sporet rundkørsel	-48%	-65% ; -23%	Nej
8, 14-15	Alle uheld, flersporet rundkørsel	-19%	-27% ; -10%	Ja

**Tabel 8.** Sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler opdelt efter rundkørselens hovedtype.

Af tabel 8 ses, at ombygninger af kryds til 1-sporede rundkørsler medfører ca. 30 procentpoint bedre sikkerhedseffekt end ombygninger til flersporede rundkørsler. De flersporede rundkørsler har oftere været signalregulerede kryds før ombygning sammenlignet med de 1-sporede rundkørsler. Trafikmængderne er i gennemsnit betydeligt større i flersporede rundkørsler end i 1-sporede rundkørsler.

Brilon (2005) viser, at uheldsfrekvensen er faldet med 29% og uheldsomkostningerne er faldet med 59% ved ombygninger af vigepligtsregulerede kryds til mini-rundkørsler i tyske byer. Der er dog ikke taget højde for skævheder, som generel udvikling i trafiksikkerheden og regressionseffekt.

Med baggrund i uheldsmodeller finder Montonen (2008), at uheldsfrekvensen er to-tre gange højere i flersporede rundkørsler end i 1-sporede rundkørsler, dog er frekvensen af personskadeuheld kun 25% højere. Rodegerdts et al. (2010) finder, at uheldsfrekvensen i flersporede rundkørsler er ca. 60% højere end i 1-sporede.

Arndt (1998) finder, at flersporede rundkørsler har højere frekvens af uheld mellem indkørende og cirkulerende køretøjer.

Brüde og Larsson (1996) finder med baggrund i uheldsmodellering af svenske rundkørsler, at cyklisters frekvens af personskader pr. indkørende motorkøretøj og cyklist er betydeligt større (ca. 7 gange) i flersporede rundkørsler end i minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler. I en opfølgning (Brüde og Larsson, 1999a) finder forfatterne, at frekvensen af cykeluheld er ca. 2,6 gange større i flersporede rundkørsler i forhold til 1-sporede rundkørsler. De finder tillige, at frekvensen af fodgængeruheld er ca. 4,3 gange større i flersporede rundkørsler i forhold til 1-sporede rundkørsler, når der tages højde for antal motorkøretøjer og fodgængere.

Fortuijn (2005) undersøger i en før-efter uheldsevaluering bl.a. flersporede turborundkørsler. I disse turborundkørsler findes der vulster mellem cirkulationsspor, og cirkulationsspor fører direkte ud af rundkørselens frafarter. Fortuijn dokumenterer, at sikkerhedseffekten af turborundkørsler er lige så god som af 1-sporede rundkørsler. I Fortuijns undersøgelse indgår alene rundkørsler i landzone.

### 3.1.5 Effekter opdelt efter trafikmængde

Schoon og Minnen (1993) angiver ud fra en naiv før-efter uheldsevaluering, at effekten af at ombygge kryds til rundkørsler er et fald i uheld på 50%, 52% og 43% ved indkørende årdsøgntrafik på hhv. under 7.500, 7.500-12.500 og over 12.500, mens faldet i personskader er hhv. 79%, 76% og 57%. Effekt på personskader blandt cyklister og knallertkørere synes rimeligt upåvirket af mængder af både biltrafik og cykeltrafik. Der er dog en klar tendens til, at faldet i alle personskader er størst, hvor der er en beskedent cykeltrafik.

### 3.1.6 Effekter opdelt på uheldssituationer

Lalani (1975) viser ud fra en naiv før-efter uheldsevaluering af ombygninger af kryds til rundkørsler i London, at alle personskadeuheld falder med 39%, mens bagendekollisioner kun falder 12% og enueheld stiger med 9%.

Schoon og Minnen (1993) angiver ud fra en naiv før-efter uheldsevaluering, at antal frontalkollisioner faldt med 87% ved ombygning af kryds til rundkørsler, mens tværkollisioner faldt 64%, bagendekollisioner faldt 31% og enueheld steg med 121%. De skriver desuden, at uheld uden alkoholpåvirkede førere faldt med 59% i antal, mens antallet af sprituheld steg med 22%.

Spahn og Bäumlér (2007) skriver, at sprituheld udgør en 3-4 gange så stor andel af alle uheld i rundkørsler i landzone set ift. andelen i signalregulerede kryds i landzone. Det peger i retning af, at ombygninger af lyskryds til rundkørsler fører til en dårligere effekt for sprituheld end andre uheld.

### 3.1.7 Effekter opdelt på lysforhold og belysning

Lalani (1975) viser ud fra en naiv før-efter uheldsevaluering af ombygninger af kryds til rundkørsler i London, at uheld i dagslys falder med 45%, mens uheld i mørke kun falder 27%.

Schoon og Minnen (1993) angiver ud fra en naiv før-efter uheldsevaluering, at antallet af uheld i dagslys faldt med 59%, mens de i mørke kun faldt med 21% ved ombygninger af kryds til rundkørsler.

Jørgensen og Jørgensen (1994) angiver, at 26% af personskadeuheldene og 22% af materielskadeuheldene skete i mørke i kryds før ombygninger, mens andelen for uheldene i rundkørslerne efter ombygninger er hhv. 35% og 58%. Det viser, at sikkerhedseffekter af ombygninger fra kryds til rundkørsler er bedre i dagslys end i mørke. Ca. tre fjerdedele af uheldene i mørke i rundkørsler er enuehald, mens det kun er ca. halvdelen i dagslys.

Spahn og Bäumlér (2007) skriver, at uheld i mørke udgør godt 50% af uheldene i rundkørsler i landzone, mens denne andel kun er godt 30% i lyskryds i landzone. Det tyder på, ombygninger af lyskryds til rundkørsler fører til en dårligere effekt på uheld i mørke end effekten på uheld i dagslys. Spahn og Bäumlér viser tillige, at uheldsfrekvensen i rundkørsler med belysning i landzone er 43% lavere end frekvensen i rundkørsler uden belysning, hvilket indikerer, at etablering af belysning reducerer uheldstallet i rundkørsler.

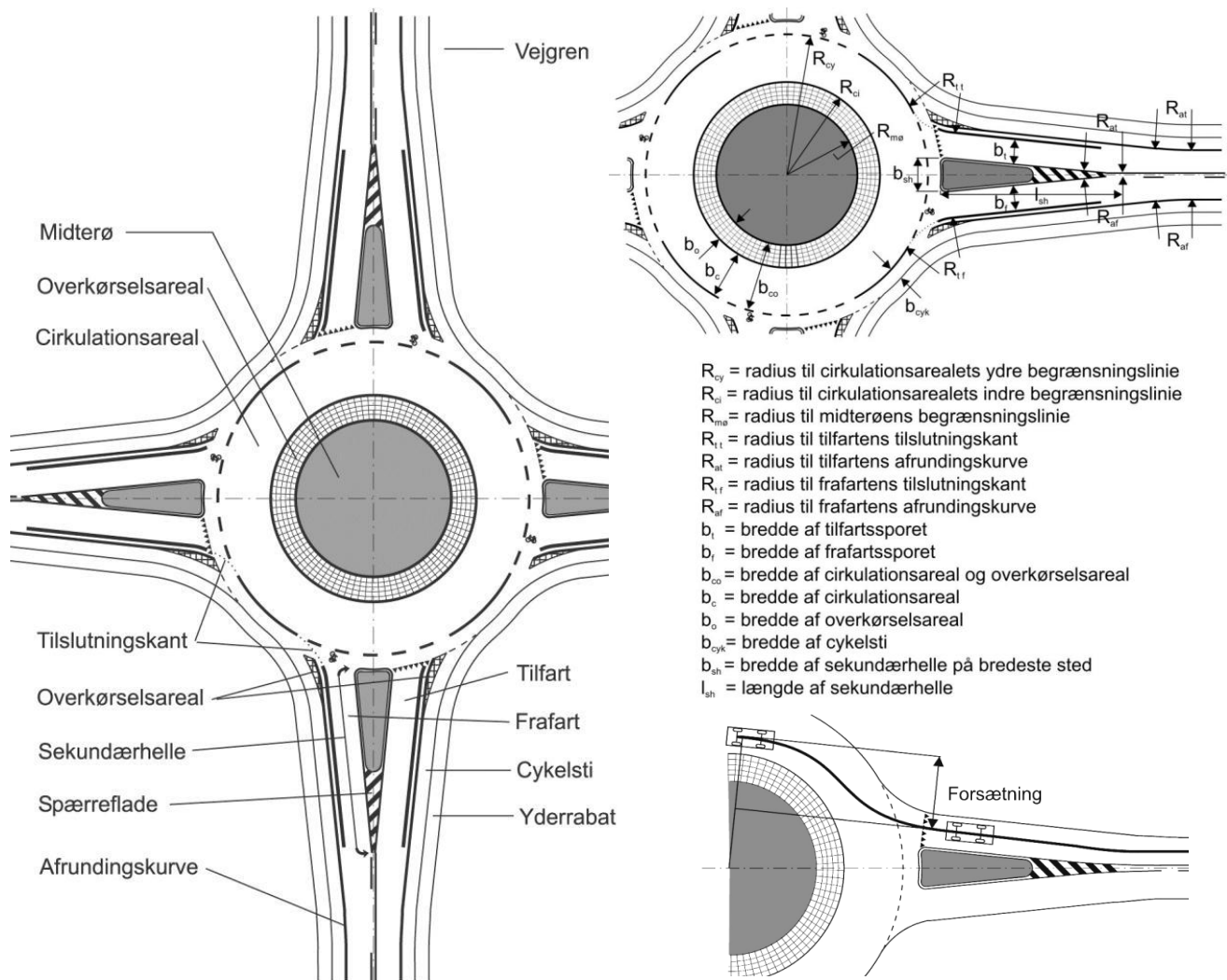
### 3.1.8 Effekter opdelt på kort og lang sigt

Minnen (1995) udfører en opfølgning på et tidligere hollandsk studie. Han finder, at sikkerhedseffekten på uheld er forbedret fra et fald på 51% i de første to år efter ombygninger af kryds til rundkørsel til et fald på 57% i de første fem år. Desuden forbedres effekten på personskader fra et fald på 72% til 76%. Et stort problem ved dette studie er, at der ikke tages behørigt højde for de generelle udviklinger i trafiksikkerheden.

Brabander et al. (2005) angiver ud fra en før-efter uheldsevaluering, hvor der er taget højde for generel uheldsudvikling og regressionseffekt, at antallet af personskadeuheld faldt med 18%, 30%, 35%, 39%, 37% og 34% i hhv. det første, andet ... sjette år efter ombygning af kryds til rundkørsler. For personskadeuheld med alvorlige skader og / eller dræbte finder de tilsvarende en stigning på 3% i det første år, og derefter et fald på 38%, 48%, 51%, 56% og 48% i det andet, tredje ... sjette år. Effekten er således bedre på lang sigt end på kort sigt.

### 3.2 Effekter af rundkørselsdesign

Der findes mange designelementer i en rundkørsel. I tegningen nedenfor er nogle af designelementerne angivet ved den danske betegnelse.



Figur 2. Betegnelser og dimensioner for elementer i rundkørsler (Vejdirektoratet, 2012).

Det er langt fra alle elementer, der er undersøgt i studier af trafikikkerheden i rundkørsler. I nærværende kapitel indgår både resultater fra med-uden studier og før-efter uheldsvalueringer.

#### 3.2.1 Midterø diameter, højde og udseende

Lalani (1975) viser ud fra en naiv før-efter uheldsvaluering af ombygninger af kryds til rundkørsler i London, at antallet af personskadeuheld er faldet med 30%, 43% og 52% for rundkørsler med en midterø diameter på hhv. 1-4 meter, 4,1-7,9

meter samt 8 meter og større. Det kunne tyde på, at almindelige midterøer er sikrere end små.

Jørgensen (1991) angiver, at frekvensen af personskadeuheld falder med stigende midterø diameter i rundkørsler med fire vejgrene i byzone. Frekvensen af materielskadeuheld er størst i rundkørsler med midterø diameter på 11-20 meter.

Jørgensen og Jørgensen (1994) angiver, at uheldsfrekvenserne er lavest i rundkørsler i byzone, når midterø diameteren er ca. 15 meter.

Jørgensen og Jørgensen (2002) konkluderer, at der ikke er mærkbar sammenhæng mellem midterø diameter og uheldsfrekvens, dog synes midterøer over 40 meter i diameter at have højere uheldsfrekvens.

Montonen (2007) finder, at uheldsfrekvensen er lavest for rundkørsler med en midterø diameter på 13-20 meter, mens store midterøer (over 30 meter) har den højeste uheldsfrekvens.

Brüde og Larsson (1999a) finder, at frekvensen af cykeluheld er ca. dobbelt så stor i rundkørsler med midterø diameter under 20 meter inkl. overkørselsarealer set i forhold til rundkørsler med større midterøer, når der tages højde for antal motorkøretøjer og cyklister. Brüde og Larsson (1999b) finder, at frekvensen af uheld med motorkøretøjer er lavest, når midterø diameteren er 20-50 meter, og frekvensen er størst, når den er over 50 meter.

Rodegerdts et al. (2007) finder, at frekvensen af uheld mellem indkørende og cirkulerende falder med stigende midterø diameter, mens frekvensen af uheld mellem udkørende og cirkulerende stiger med stigende midterø diameter.

Daniels et al. (2011) angiver ud fra modeller af sikkerhedseffekter i Belgien, at der observeres færre uheld i rundkørsler med midterøer med højde over 0,5 meter i forhold til lavere midterøer.

Spahn og Bäumlér (2007) skriver, at rundkørsler med høj (ca. 0,3 meter) affaset midterø kant i landzone har en 15% højere uheldsfrekvens end rundkørsler uden kant i landzone. De anfører også, at rundkørsler med indskreven cirkel diameter (diameter for ydre begrænsningslinje) under 40 meter har lavere uheldsfrekvens end større rundkørsler.

Worthington (1992) fandt, at brug af reflekterende betonkantsten med chevron afmærkning på midterøens kant medførte større synlighed af midterøen både dag og nat, reducerede indkørselshastigheder og gav færre ulykker.

Kennedy et al. (1998) viser, at midterøens udseende (afmærket, hvælvet eller med kant) i minirundkørsler er næsten uden betydning i 3- og 4-benede minirundkørs-

ler. Dog har 4-benede minirundkørsler med hvælvet midterø en lavere frekvens af ulykkeligheder end andre 4-benede minirundkørsler.

### 3.2.2 Cirkulations- og overkørselsarealer samt shunts

Jørgensen og Jørgensen (2002) undersøger ud fra 200 rundkørsler, om der er en sammenhæng mellem ulykkesfrekvens og bredde af cirkulations- og overkørselsarealer. De kan ikke påvise en sammenhæng.

Harper og Dunn (2005) finder ud fra ulykkesmodeller, at et bredere cirkulationsareal medfører flere ulykkeligheder i rundkørsler. De finder, at cirkulationsarealets bredde er den eneste geometriske variabel, der påvirker den samlede ulykkestal.

Rodegerdts et al. (2007) finder, at frekvensen af ulykkeligheder mellem udkørende og cirkulerende stiger med stigende bredde af cirkulationsarealet og stiger med stigende indskrevne cirkel diameter.

Jørgensen (1991) angiver, at forholdet mellem indskrevne cirkel diameter og midterø diameter spiller ind på sikkerheden. Jo større den indskrevne cirkel er i forhold til midterøen, desto flere ulykkeligheder sker der mellem indkørende og cirkulerende parter.

Daniels et al. (2011) angiver ud fra modeller af sikkerhedseffekter i Belgien, at der observeres flere ulykkeligheder i rundkørsler med shunts end man kunne forvente.

### 3.2.3 Heller, forsætning og rundkørselshastigheder

På baggrund af før-efter studier i 21 rundkørsler i en svensk by angiver Hydén og Várhelyi (2000), at når bilisten skal "forsætte" sin kørsel i rundkørslen mod højre, så reducerer bilisten indkørselshastigheden fra før (kryds) til efter (rundkørsel). Hastigheden reduceres stadigt indtil forsætningen er ca. to meter, hvorefter hastigheden forbliver på samme niveau omkring 30 km/t.

På baggrund af med-uden studier af 536 rundkørsler angiver Brüde og Larsson (1999a), at a) hastigheden i rundkørsler øges med hastighedsbegrænsningen, b) hastigheden er lavest i rundkørsler med 20-40 meter midterø diameter inklusiv overkørselsareal, mens mindre og større rundkørsler har højere hastigheder, c) overkørselsarealer påvirker ikke hastigheden, d) forsætning af tilfarer mod venstre ind mod og i forhold til midt af midterø medfører lavere hastighed, og e) hastigheden er højere i flersporede rundkørsler i forhold til 1-sporede.

Jørgensen (1991) viser, at frekvensen af ulykkeligheder mellem indkørende og cirkulerende er uafhængig af rundkørselens fartdæmpende egenskaber, mens frekvensen af ulykkeligheder forekommer at være mindst med fartdæmpende egenskaber på middel niveau.



Jørgensen og Jørgensen (2002) viser, at frekvensen af ulykker i rundkørsler med 80 km/t hastighedsbegrænsning på vejgrene aftager, desto højere en beregnet indkørselshastighed er. Den beregnede indkørselshastighed synes ikke at påvirke andre ulykkestyper. Frekvensen af ulykker er ikke afhængig af indkørselshastigheden i rundkørsler med 50 km/t hastighedsbegrænsning på vejgrene. Det viser sig dog, at målte hastigheder ved vigelinje ikke korrelerer med den beregnede indkørselshastighed.

Hels og Møller (2007) finder ud fra uheldsmodellering, at jo mere fartdæmpende en rundkørsel er, desto færre cykelulykker indtræffer.

Spacek (2004) påviser, at forsætning set i forhold til forsætningsstrækningen (den skabte forsætningsvinkel) øger indflydelse på antallet af ulykker i rundkørsler både med indkørende, cirkulerende og udkørende. Ud fra uheldsmodeller viser Spacek, at antallet af ulykker falder, når forsætningsvinklen øges indtil denne når ca. 40 grader. En forsætningsvinkel på 40 grader svarer til en cirkulationshastighed på 35 km/t (større vinkel giver lavere hastigheder). Modellerne er baseret på 416 ulykker i 32 rundkørsler med i alt 122 vejgrene.

Chen et al. (2011) opstiller uheldsmodeller for rundkørsler hhv. med og uden en variabel for gennemsnittet af indkørsels-, cirkulations- og udkørselshastighed. De viser, at modeller der indeholder hastighedsvariablen er langt bedre end modeller alene med trafikmængder. Hastighedsvariablen korrelerede især med rundkørselens indskrevne diameter og bredde af tilfarten.

Turner et al. (2009) finder, at ulykker på tilfarter til rundkørsler med en hastighedsbegrænsning over 70 km/t sker med en 35% højere frekvens end på tilfarter med en lavere hastighedsbegrænsning. De viser også, at cirkulationshastigheden er den mest betydende faktor for ulykkesfrekvensen i rundkørsler i byzone ud over trafikmængder – jo højere cirkulationshastighed desto flere ulykker – og jo højere cirkulationshastighed desto flere ulykker mellem cirkulerende cyklister og indkørende køretøjer.

Arndt (1998) finder, at frekvensen af ulykker afhænger af rundkørselshastigheder, da højere hastigheder fører til flere ulykker.

Spahn og Bäuml (2007) skriver, at radiale tilfarter i rundkørsler i landzone har en 44% højere ulykkesfrekvens end tangentielle tilfarter i rundkørsler i landzone, og radiale tilfarter har 70% højere ulykkesfrekvens end tangentielle tilfarter. Det betyder, at trekants- og trompetheller må være betydeligt mere sikre end parallelheller og rundkørsler uden heller i landzone.

### **3.2.4 Tilfartsspor og afstand til næste vejgren**

Jørgensen (1991) undersøger betydningen af tilfartsvejens bredde for frekvensen af ulykker, men finder ingen sammenhæng.

Aagaard (1995) finder ud fra en uheldsmodel for rundkørsler i byzone, at uheldstætheden øges med stigende bredde af tilfartssporet.

Maycock og Hall (1984) fandt ud fra studier af 84 rundkørsler med fire vejgrene, at rundkørsler med brede tilfartsspor havde flere enueheld end rundkørsler med smalle tilfartsspor. Derimod havde brede tilfartsspor færre bagendekollisioner, men flere uheld mellem indkørende og cirkulerende trafikanter.

Turner et al. (2009) finder, at flere tilfartsspor i samme vejgren er forbundet med en 66% højere uheldsfrekvens i forhold til rundkørsler med kun ét tilfartsspor pr. vejgren. Harper og Dunn (2005) finder derimod, at flere tilfartsspor i samme vejgren medfører en lavere frekvens af uheld mellem indkørende og cirkulerende, når modellen samtidig inkluderer cirkel afstanden (afstanden på den indskrevne cirkel mellem midtlinjer for vejgrene) til næste vejgren. Jo større cirkel afstanden er desto færre uheld. Arndt (1998) finder, at flere tilfartsspor øger frekvensen af bagendekollisioner.

Rodegerdts et al. (2007) angiver, at tilfartssporets bredde påvirker frekvensen af uheld mellem indkørende og cirkulerende. Jo smallere tilfartssporet er, desto færre uheld sker der. De angiver også, at vinklen til næste vejgren øver indflydelse på frekvensen af uheld mellem indkørende og cirkulerende, idet en større vinkel fører til færre uheld. Det svarer reelt til, at de finder samme resultat som Harper og Dunn, nemlig at en større afstand på den indskrevne cirkel mellem vejgrene fører til færre uheld.

### 3.2.5 Cykelfaciliteter

I nogle få studier er det muligt at opgøre cykelfaciliteters betydning for cyklisters sikkerhed, se tabel 9.

Studie	Type af sammenlignet rundkørselsdesign	Effekt	95% konfidensinterval	Homogen?
1, 4, 6-7	Cykelbane ift. ingen cykelfacilitet	+25%	-25% ; +107%	Ja
1	Cykelsti ved cirkulation ift. ingen facilitet	-20%	-71% ; +119%	Ja
4, 6-7	Separat cykelsti med vigepligt pålagt cyklister ift. ingen cykelfacilitet	-84%	-95% ; -52%	Ja

**Tabel 9.** Sikkerhedseffekter på cyklisters personskader af cykelfaciliteter i rundkørsler.

Af tabel 9 ses, at typen af cykelfacilitet synes at påvirke cyklisters sikkerhed i rundkørsler. Den sikreste facilitet synes at være en separat cykelsti i nærheden af cirkulationsarealet, hvor vigepligt er pålagt cyklister ved cykling over vejgrene. Den mest usikre facilitet synes at være cykelbaner langs ydersiden af cirkulationsarealet. Der er dog ikke statistisk signifikante forskelle i sikkerheden mellem hhv. ingen cykelfacilitet, cykelbane og cykelsti langs ydersiden af cirkulationsarealet.

Jørgensen (1991) finder, at personskadefrekvensen opgjort pr. indkørende motor-køretøj er mindst, hvor der er cykelsti langs ydersiden af cirkulationsarealet, mens den er størst med cykelbane og på middelniveau, når der ikke er cykelfacilitet.

Jørgensen og Jørgensen (1994) angiver, at de ikke finder mærkbare forskelle i uheldsfrekvenser opgjort pr. indkørende motor-køretøj eller pr. to-hjuler hhv. for rundkørsler uden cykelfacilitet, med cykelbane og med cykelsti langs ydersiden af cirkulationsarealet.

Jørgensen og Jørgensen (2002) viser, at rundkørsler i byzone uden cykelfaciliteter har lavere uheldsfrekvens pr. indkørende motor-køretøj end rundkørsler i byzone med cykelbane eller cykelsti langs ydersiden af cirkulationsarealet.

Hels og Møller (2007) finder med baggrund i uheldsmodellering, at der sker flere cykeluheld, hvor der er cykelfaciliteter i rundkørsler i forhold til rundkørsler uden cykelfaciliteter. Forskellen i uheldstal er dog ikke statistisk signifikant.

Sakshaug et al. (2010) anfører med baggrund i studier af alvorlige konflikter, at en rundkørsel uden cykelfaciliteter har flere alvorlige konflikter end en rundkørsel med dobbeltrettet cykelsti, hvor cyklister skal vige for biltrafikken. De fleste konflikter i rundkørslen uden cykelfaciliteter er, når cyklister cirkulerer, og en bilist enten kører ind i eller ud af rundkørsel. De fleste konflikter i rundkørslen med dobbeltrettet cykelsti er, når en cyklist kører mod strømmen i cirkulationsarealet og en bilist enten kører ind i eller ud af rundkørsel.

Brüde og Larsson (1999a) finder, at frekvensen af cykeluheld er betydeligt lavere, når cyklister cykler på cykelsti med vigepligt for cyklister ved rundkørsler end når de cykler i rundkørslen på køre- eller cykelbane. Forfatterne tager højde for antallet af motor-køretøjer og cyklister.

Schoon og Minnen (1993) angiver med baggrund i frekvenser af personskader blandt cyklister og knallertkørere pr. indkørende motor-køretøj og cyklist, at en separat cykelsti i rundkørslen er mere sikker end både cykelbane og ingen cykelfacilitet, når der er mere end ca. 8.000 indkørende motor-køretøjer pr. døgn. Ved lavere trafikintensiteter er der ikke væsentlige forskelle i sikkerheden ved de forskellige cykelfaciliteter. Minnen (1995) advarer mod brug af cykelbane i rundkørsler, da det er mere sikkert at undlade en cykelfacilitet.

Baseret på modelberegninger angiver Dijkstra (2004), at antallet af hospitalsindlagte cyklister falder med 87%, når kryds bygges om til rundkørsler med cykelsti, hvor cyklister skal vige for motor-køretøjer, mens faldet kun forventes at være 11%, når cyklisterne på cykelstien ikke skal vige for motor-køretøjer. Modelberegningerne er opstillet med baggrund i tre hollandske studier.

Daniels et al. (2009) angiver, at ombygninger af kryds til rundkørsler uden cykelfaciliteter har resulteret i et fald i cykeluheld med personskade på 9%, mens om-

bygninger til rundkørsler med cykelbaner øger antallet af cykeluheld med 93%. Ombygninger til rundkørsler med cykelstier giver et fald på 21%, når bilister skal vige for cyklister, mens faldet er 14%, når cyklister skal vige. Ved ombygning til rundkørsler med niveaudelte cykelfaciliteter er der et fald på 44% i cykeluheld. De fleste cykelbaner og –stier er røde i det belgiske studie (73 af 81 rundkørsler).

På baggrund af en multivariat analyse af sikkerhedseffekter ved ombygninger af kryds til rundkørsler finder Daniels et al. (2010a), at rundkørsler med cykelbane på ydersiden af cirkulationsarealet resulterer i markant flere cykeluheld end rundkørsler med cykelstier. Det angiver Daniels et al. (2011) også i et udvidet studie. Daniels et al. (2010b) finder med baggrund i en udvidet analyse, at rundkørsler med niveaudelte cykelfaciliteter har mere alvorlige uheld end rundkørsler med andre udformninger.

### 3.2.6 Fodgængerfaciliteter

Daniels et al. (2011) angiver ud fra modeller af sikkerhedseffekter i Belgien, at der observeres flere uheld i rundkørsler med fodgængerfelter end man kunne forvente. Rundkørsler uden fodgængerfelter resulterer i færre uheld.

### 3.2.7 Andet

Hels og Møller (2007) finder med baggrund i uheldsmodellering, at der indtræffer flere uheld i ældre danske rundkørsler end i yngre.

Maycock og Hall (1984) fandt, at gode oversigtsforhold mod venstre (altså mod cirkulerende trafik og trafik på første vejgren mod venstre) var forbundet med flere enuehld end dårlige oversigtsforhold. Kennedy et al. (1998) fandt, at dette også gælder i minirundkørsler og for flere typer af uheld. Turner et al. (2009) finder, at gode oversigtsforhold medfører flere enuehld, da forbedring af oversigtsforhold medfører højere indkørselshastigheder.

## 4. Uheldsmodeller for rundkørsler

Uheldsmodeller kan udføres på mange måder. I rapporten ”Uheldsmodeller for veje i åbent land” (Jensen, 2011) findes en gennemgang af modelspecifikationer, funktionsudtryk, variable, residualer, fordelinger, Empirical Bayes, estimering, optimering, teststatistik, forudsætninger, anvendelsesområder, gyldighedsområder, faldgruber, osv. I nærværende kapitel ses alene nærmere på funktionsudtryk og variable, som har indgået i uheldsmodeller for rundkørsler. Kapitlet skal ses som et led i at udvikle nye danske uheldsmodeller for rundkørsler.

Generelt anvendes som regel basis- eller faktormodeller til beskrivelse af diverse sammenhænge mellem uheldstæthed (fx antal uheld pr. år pr. rundkørsel) og et antal uafhængige variable. Basis- og faktormodeller ser i almindelig typisk ud på følgende måde:

$$\begin{array}{ll} \text{Basismodeller:} & \text{Strækning: } UHT = a \times N^P \\ & \text{Kryds: } UHT = a \times N_{\text{pri}}^{P_1} \times N_{\text{sek}}^{P_2} \\ \\ \text{Faktormodeller:} & \text{Strækning: } UHT = a \times N^P \times e^{\sum_{i=1}^n b_i x_i} \\ & \text{Kryds: } UHT = a \times N_{\text{pri}}^{P_1} \times N_{\text{sek}}^{P_2} \times e^{\sum_{i=1}^n b_i x_i}, \end{array}$$

hvor UHT er uheldstæthed, N er årsdøgntrafik (ÅDT) på strækningen,  $N_{\text{pri}}$  er ÅDT ind i krydset fra primærvejen,  $N_{\text{sek}}$  er ÅDT ind i krydset på sekundærvejen, variablene  $x_i$  beskriver stedet i øvrigt samt  $a$ ,  $P$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  og  $b_i$  er konstanter.

Mængden af trafik kan ofte forklare en stor del af den systematiske variation i uheldstæthed. Derfor optræder trafikmængder næsten altid i uheldsmodeller. Variablene  $x_i$  kan beskrive mange forskellige forhold fx geometri, regulering, adfærd, osv. Uheldsmodeller indeholder som regel kun 0-3  $x_i$  variable, da yderligere variable sjældent øger modellens forklaringskraft væsentligt.

### 4.1 Generelt om uheldsmodeller for rundkørsler

For rundkørsler anvendes oftest tre slags uheldsmodeller, hvor uheld og trafik indgår på forskellig måde. Den ene måde er en ”makro”-uheldsmodel, hvor alle uheld i rundkørslen (én uheldstæthed) modelleres ift. den samlede mængde indkørende trafik (én trafikmængde). En anden måde er også en ”makro”-uheldsmodel, hvor alle uheld i rundkørslen modelleres men nu ift. til indkørende trafik på hhv. primær- og sekundærvejen. Den tredje måde er flere ”mikro”-uheldsmodeller, hvor uheld opdeles på vejgrene og overordnede uheldssituationer og trafik opgøres som hhv. cirkulerende samt ind- og udkørende på vejgrene. Det er oftest den

første og den tredje måde, der anvendes, da variable for trafikmængder på hhv. en primær- og sekundærvej sjældent er hensigtsmæssig i modeller for rundkørsler.

De tre slags uheldsmodeller – angivet som basismodeller – kan se således ud:

$$\text{Modeltype 1: } UHT = a \times N_{\text{total, indkørende}}^P$$

$$\text{Modeltype 2: } UHT = a \times N_{\text{primær, indkørende}}^{P_1} \times N_{\text{sekundær, indkørende}}^{P_2}$$

Modeltype 3: Kan fx bestå af tre separate modeludtryk:

- Mikro-model for uheld mellem indkørende og cirkulerende køretøjer:  

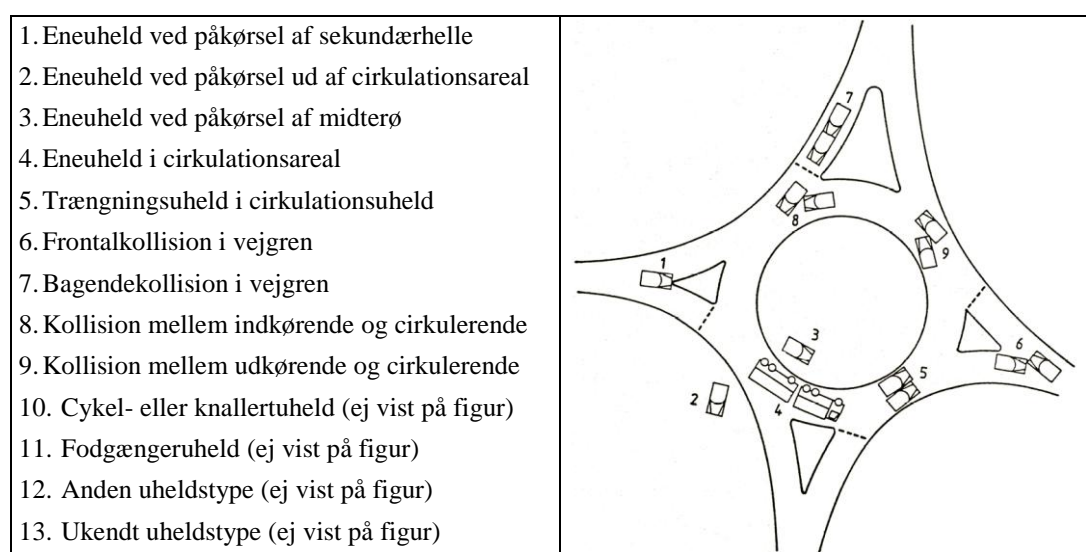
$$UHT = a \times N_{\text{indkørende, vejgren } i}^{P_3} \times N_{\text{cirkulerende, ved vejgren } i}^{P_4}$$
- Mikro-model for uheld mellem udkørende og cirkulerende køretøjer:  

$$UHT = a \times N_{\text{udkørende, vejgren } i}^{P_5} \times N_{\text{cirkulerende, ved vejgren } i}^{P_6}$$
- Mikro-model for andre uheld fx eneuheld:  

$$UHT = a \times N_{\text{indkørende, vejgren } i}^{P_7}$$

For modeltype 3 opsummerer man de forventede uheldstætheder for vejgrenene, så man til sidst har et forventet uheldstal for hele rundkørslen.

For rundkørsler, der danner grundlag for uheldsmodeller af type 3, må der nødvendigvis foretages en opdeling af uheldene, så det vides, hvilke vejgrene køretøjerne i de enkelte uheld er kommet fra og evt. skulle køre ud af. Der skal også foreligge en krydstælling for, at de cirkulerende antal køretøjer kan opgøres. Type 3 modeller kræver derfor flere data og er mere tidskrævende at opstille.



**Figur 3.** Cedersunds kodning af uheldstyper i rundkørsler.

Opdelingen af uheld kan fx tage udgangspunkt i en rapport af svenske Cedersund (1983), se figur 3.

Det er almindeligt, at fodgænger-, cykel- og knallertuheld fordeles på de første ni typer uheld i figur 3. Det er almindeligt kun at operere med tre eller fire typer af uheld i uheldsmodeller fx eneuheld (type 1-4), indkørselsuheld (type 8), udkørselsuheld (type 9) og andre uheld (type 5-7 og 12-13).

Uheldsmodeller for rundkørsler, der søger at beskrive tætheden af fx cykeluheld eller fodgængeruheld, er som regel af modeltype 1 eller 3. I sådanne modeller indgår mængden af cykeltrafik eller gangtrafik, og de ser som regel således ud:

$$\text{Modeltype 1: } UHT = a \times N_{\text{total, indkørende biler}}^{P_b} \times N_{\text{total, indkørende cykler}}^{P_c}$$

Modeltype 3: Mikro-model for uheld mellem indkørende biler og cirkulerende cykler:

$$UHT = a \times N_{\text{indkørende biler, vejgren i}}^{P_{bi}} \times N_{\text{cirkulerende cykler, ved vejgren i}}^{P_{cc}}$$

Det er dog forholdsvis sjældent, at der foreligger trafiktal for gang- og cykeltrafik og derfor er sådanne uheldsmodeller et særsyn.

Litteraturen indeholder mange faktormodeller, hvor uheldstætheden i rundkørsler modelleres ift. trafikmængder og et lille antal variable, der beskriver geometri, regulering, adfærd, osv. i rundkørslerne. Når modeltype 1 eller 2 anvendes som faktormodel, må de faktorer, der indgår, nødvendigvis gælde for hele rundkørslen, altså være et geometrisk element eller en adfærdsparameter, som findes eller er gældende (evt. et gennemsnit) i hele rundkørslen. Når modeltype 3 anvendes, kan faktorer, der varierer fx fra vejgren til vejgren i rundkørslen, indgå. Modeltype 3 kan således håndtere, at typen af sekundærhelle kan være forskellig i rundkørslens vejgrene. Dette er en god egenskab ved modeltype 3.

## 4.2 Eksempler på uheldsmodeller for rundkørsler

I det følgende gives eksempler på uheldsmodeller for rundkørsler.

### 4.2.1 Danske modeller

Vejdirektoratet beskrev i en arbejdsrapport makromodeller af modeltype 2 baseret på 20 rundkørsler og 76 uheld sket 1987-1991 (Aagard, 1995). Modellen, der er baseret på alle uheld, ser således ud:

$$UHT = 0,0266 \times N_{\text{pri}}^{0,33} \times N_{\text{sek}}^{0,10},$$

hvor UHT er uheldstæthed (uheld pr. år) for person- og materielskadeuheld,  $N_{\text{pri}}$  er indkørende trafik på primærvej og  $N_{\text{sek}}$  er indkørende trafik på sekundærvej. Vejdirektoratets model er ikke pålidelig, da den er baseret på relativt få uheld, og p-værdierne på 0,33 og 0,10 forekommer små. En tommelfingerregel er, at en model skal baseres på mindst 500 uheld.

Aagard (1995) opstiller en række modeller baseret på 74 uheld i 51 rundkørsler i Danmark. De bedste makromodeller er hhv. modeltype 1 og 2. De ser således ud:

$$\text{UHT} = 0,0000026 \times N^{1,40}$$

$$\text{UHT} = 0,000007 \times N_{\text{pri}}^{1,22} \times N_{\text{sek}}^{0,14},$$

hvor UHT er uheldstæthed (uheld pr. år) for person- og materielskadeuheld,  $N$  er den totale mængde af indkørende trafik (ÅDT),  $N_{\text{pri}}$  er indkørende trafik på primærvej og  $N_{\text{sek}}$  er indkørende trafik på sekundærvej.

Umiddelbart vurderes Aagards model, hvor den totale mængde indkørende trafik indgår (modeltype 1) at være den bedste selvom den anden model (modeltype 2) forklarer en større del af variationen i uheldsfrekvensen. Det skyldes, at modeltype 1 består af færre variable og estimerede konstanter. Af den første model ses, at uheldstæthed stiger hurtigere end trafikmængden (potensen er 1,40). Uheldsfrekvensen er således større i meget trafikerede rundkørsler end rundkørsler kun med lidt trafik ifølge denne model.

Aagard (1995) opstiller også en enkelt faktormodel af modeltype 1. I denne indgår bredden af tilfartssporet. Modellen er vist nedenfor. Jo bredere tilfartssporet er, desto flere uheld sker der.

$$\text{UHT} = 0,0000026 \times N^{1,25} \times e^{0,7 \times (\text{TB} - 3,5)},$$

hvor UHT er uheldstæthed (uheld pr. år) for person- og materielskadeuheld,  $N$  er den totale mængde af indkørende trafik (ÅDT) og TB er tilfartssporets bredde.

Jørgensen og Jørgensen (2002) finder, at der ikke er tegn på systematisk sammenhæng mellem uheldsfrekvenser og årsdøgntrafik i 132 rundkørsler – p-værdien må altså være tæt på 1. Derfor angiver de alene uheldsfrekvenser for rundkørsler opdelt efter hastighedsbegrænsning og antal vejgrene, se tabel 10.

Antal vejgrene i rundkørsel	Byområde, 50 km/t zone		Åbent land, 80 km/t zone	
	Alle uheld	Personskadeuheld	Alle uheld	Personskadeuheld
3	0,12	0,04	-	-
4	0,15	0,05	0,19	0,06
5	-	-	0,14	0,04

**Tabel 10.** Uheldsfrekvenser – uheld/personskadeuheld pr. mio. indkørende biler (Jørgensen og Jørgensen, 2002).



#### 4.2.2 Udenlandske modeller

Montonen (2008) finder med baggrund i data fra 192 rundkørsler, at der ikke ses tegn på systematisk sammenhæng mellem uheldsfrekvens og årsdøgntrafik.

Maycock og Hall (1984) beskriver en lang række uheldsmodeller baseret på kun 84 rundkørsler og 1.427 personskadeuheld, der skete i disse rundkørsler i årene 1974-1979. For makromodeller af modeltype 1 opererer de kun med en p-værdi, men med flere a-værdier afhængig af størrelsen af rundkørselens midterø og den skilte hastighedsbegrænsning på de tilstødende vejgrene. De finder en p-værdi på 0,68, mens a-værdierne varierer mellem 0,057-0,101. Forfatterne opstiller også mikromodeller af modeltype 3, hvor de opererer med fem typer af uheld:

Uheldstype	p-værdi	a-værdi	
		Midterø ≤ 10 meter	Midterø > 10 meter
Indkørende mod cirkulerende	0,52	0,090	0,017
Bagendekollision blandt indkørende	1,58	0,0025	0,0055
Eneuheld	1,20	0,0068	0,0164
Andre køretøjsuheld	0,75	0,0052	
Fodgængeruheld	0,53	0,028	

**Tabel 11.** Værdier for a og p i en serie britiske modeller (Maycock og Hall, 1984).

Af tabellen ses, at Maycock og Hall fandt, at rundkørsler med midterøer under 10 meter har flere uheld mellem indkørende og cirkulerede (ved samme mængde af trafik) end store rundkørsler, men færre bagendekollisioner og eneuheld. Det ses også, at tætheden af bagendekollisioner og eneuheld stiger hurtigere end trafikmængden (potenser på 1,58 og 1,20), mens tætheden for andre uheldstyper stiger langsommere end trafikmængden. Det er usædvanligt, at tætheden af eneuheld stiger relativt hurtigere end trafikmængden.

Kennedy et al. (1998) estimerer uheldsmodeller baseret på 1.198 uheld sket i 206 minirundkørsler med tre vejgrene og 902 uheld sket i 105 rundkørsler med fire vejgrene. De angiver en lang række af modeller for alle tre modeltyper, men her gengives kun de mest interessante af modeltype 1:

$$\begin{aligned} \text{Modeltype 1 (alle uheld): } & \text{UHT}_{3 \text{ vejgrene}} = 0,0211 \times N_{\text{total, indkørende}}^{1,251} \\ & \text{UHT}_{4 \text{ vejgrene}} = 0,0522 \times N_{\text{total, indkørende}}^{1,162} \\ \text{(fodgængeruheld): } & \text{UHT}_{3 \text{ vejgrene}} = 0,00914 \times N_{\text{total, indkørende}}^{1,003} \times N_{\text{total, indgående}}^{0,611} \\ & \text{UHT}_{4 \text{ vejgrene}} = 0,00347 \times N_{\text{total, indkørende}}^{1,309} \times N_{\text{total, indgående}}^{0,602} \end{aligned}$$

Af modellerne ses, at antallet af alle uheld og fodgængeruheld stiger hurtigere end mængden af indkørende motorkøretøjer, mens antallet af fodgængeruheld stiger langsommere end mængde af indgående fodgængere. Ses på modeller af type 3, viser det sig, at p-værdien er over 1 for uheld mellem indkørende og cirkulerende samt bagendekollisioner, mens p-værdien er under 1 for andre uheldstyper i rund-

kørsler med tre vejgrene. I rundkørsler med fire vejgrene er p-værdien over 1 for bagendekollisioner, trængningsuheld, frontalkollisioner, uheld mellem udkørende og cirkulerende samt uheld mellem indkørende og fodgængere.

Daniels et al. (2010a) opstiller flere uheldsmodeller baseret på 932 personskadeuheld i 90 rundkørsler i Belgien. Modellerne er baseret på hhv. poisson-, gamma- og negativ binomial fordelinger. Gamma-modellerne har størst forklaringskraft. Uheldsmodellerne (modeltype 1) angiver sammenhæng mellem uheldstæthed for alle uheld, cykeluheld, biluheld, fodgængeruheld, enuehald, osv. og trafikmængder samt en række faktorer. Gamma-modellerne for hhv. alle uheld og cykeluheld er vist nedenfor:

$$\text{Alle uheld: } UHT = 0,00000846 \times N_{\text{bil}}^{1,16} \times N_{\text{cykel}}^{0,11} \times e^{0,38 \times CB + 0,35 \times SIG + 0,32 \times 3ben}$$

$$\text{Cykeluheld: } UHT = 0,00000036 \times N_{\text{bil}}^{1,19} \times N_{\text{cykel}}^{0,24} \times N_{\text{knallert}}^{0,21} \times e^{0,58 \times CB},$$

hvor  $N_{\text{bil}}$  er indkørende motorkøretøjer kl. 6-18,  $N_{\text{cykel}}$  er indkørende cykler kl. 6-18,  $N_{\text{knallert}}$  er indkørende knallerter kl. 6-18, CB er 1 hvis der er cykelbane i rundkørslen ellers 0, SIG er 1 hvis rundkørslen førhen var signalreguleret kryds ellers 0, og 3ben er 1 hvis rundkørslen har tre vejgrene ellers 0.

Af de belgiske modeller ses, at uheldstætheden stiger relativt hurtigere end mængden af biltrafik, men langsommere end mængden af cykeltrafik. Det ses, at rundkørsler med cykelbaner, tidligere lyskryds og rundkørsler med tre vejgrene har en større uheldstæthed end andre rundkørsler. Eksempelvis har rundkørsler med cykelbaner 46% flere uheld og 79% flere cykeluheld end rundkørsler uden cykelbaner, idet  $e^{0,38} = 1,46$  og  $e^{0,58} = 1,79$ . Det ses også, at antallet af cykeluheld også synes at afhænge af antallet af knallerter, hvilket kan skyldes, at agtpågivenheden overfor lette trafikanter øges, jo flere der er i det hele taget.

Daniels et al. (2011) finder frem til nogle tilsvarende modeller ved at udvide deres datasæt til at omfatte 148 rundkørsler. De finder følgende gamma-modeller:

$$\text{Alle uheld: } UHT = 0,0000239 \times N_{\text{bil}}^{1,10} \times N_{\text{cykel}}^{0,08} \times e^{-0,33 \times CS + 0,59 \times 3ben}$$

$$\text{Cykeluheld: } UHT = 0,00000066 \times N_{\text{bil}}^{1,22} \times N_{\text{cykel}}^{0,32} \times e^{-0,59 \times CS},$$

hvor  $N_{\text{bil}}$  er indkørende motorkøretøjer kl. 6-18,  $N_{\text{cykel}}$  er indkørende cykler kl. 6-18, CS er 1 hvis der er separat cykelsti ved rundkørslen ellers 0, og 3ben er 1 hvis rundkørslen har tre vejgrene ellers 0. Her er variable for tidligere lyskryds og antal knallerter gledet ud. I stedet for cykelbaner beskrives, om der er separat cykelsti. Rundkørsler med en separat cykelsti rundt har 28% færre uheld og 45% færre cykeluheld.

Rodegerdts et al. (2007) beskriver amerikanske uheldsmodeller af modeltype 1 og 3. De laver en model af type 1 for hhv. alle uheld og personskadeuheld, hvor p-værdien er fælles for alle rundkørsler, mens a-værdien afhænger af antallet af vejgrene og cirkulationsspor. Modellernes a- og p-værdier er vist i tabel 12 og 13.

Antal cirkulationsspor	3 vejgrene	4 vejgrene	5 vejgrene
1	0,0011	0,0023	0,0049
2	0,0018	0,0038	0,0073
3-4	-	0,0126	-

**Tabel 12.** Uheldsmodel for alle uheld med fælles p-værdi på 0,7490 og a-værdier som angivet (Rodegerdts et al., 2007).

Antal cirkulationsspor	3 vejgrene	4 vejgrene	5 vejgrene
1-2	0,0008	0,0013	0,0029
3-4	-	0,0119	-

**Tabel 13.** Uheldsmodel for personskadeuheld med fælles p-værdi på 0,5923 og a-værdier som angivet (Rodegerdts et al., 2007).

En model for alle uheld i rundkørsler med tre vejgrene og ét cirkulationsspor ser altså således ud:  $UHT = 0,0011 \times N_{\text{total, indkørende, ÅDT}}^{0,7490}$

Af tabellerne ses, at uheldstætheden øges jo flere vejgrene og cirkulationsspor, der er i rundkørslen. Rundkørsler med fire vejgrene og tre cirkulationsspor har ca. 5,5 gange så mange uheld som rundkørsler med fire vejgrene og ét cirkulationsspor, når mængden af indkørende motorkøretøjer er den samme. Rodegerdts et al. opstiller også modeller af modeltype 3. To af deres anbefalede mikro-modeller er vist nedenfor.

Mikro-model for uheld mellem indkørende og cirkulerende:

$$UHT = 0,000735 \times N_{\text{indkørende, ÅDT}}^{0,7018} \times N_{\text{cirkulerende, ÅDT}}^{0,1321} \times e^{0,168 \times TS - 0,0276 \times VB}$$

Mikro-model for uheld mellem udkørende og cirkulerende:

$$UHT = 0,00000846 \times N_{\text{udkørende, ÅDT}}^{0,2801} \times N_{\text{cirkulerende, ÅDT}}^{0,2530} \times e^{0,0728 \times ID + 0,363 \times CB},$$

hvor TS er tilfartssporets bredde i meter, VB er vinklen til næste vejgren i grader, ID er indskreven diameter i meter og CB er cirkulationsarealets bredde i meter. Det ses, at brede tilfartsspor medfører højere uheldstæthed end smalle, stor vinkel til næste vejgren giver lavere uheldstæthed en lille vinkel, stor indskreven diameter giver flere uheld end lille og bredt cirkulationsareal giver flere uheld end et smalt.

Chen et al. (2011) viser, at en uheldsmodel med en hastighedsvariabel er bedre end en model uden hastighedsvariabel. Deres hastighedsvariabel er gennemsnit af indkørsels-, cirkulations- og udkørselshastighed, som er målt i de 14 rundkørsler,

som modellen er baseret på. Deres model (modeltype 1) med hastighedsvariabel ser således ud:

$$UHT = 0,000000301 \times N_{\text{total, indkørende, \AA DT}}^{1,0745} \times e^{0,2026 \times \text{HAST}},$$

hvor HAST er den gennemsnitlige indkørsels-, cirkulations- og udkørselshastighed for alle vejgrene. Jo højere hastigheden er, desto flere uheld. En rundkørsel med en gennemsnitlig hastighed på 40 km/t vil ifølge modellen have en 7,6 gange så høj uheldstæthed, som en rundkørsel med en hastighed på 30 km/t. Det virker dog usandsynligt, at hastigheden skulle have så stor en indvirkning på uheldstætheden. Rodegerdts et al. (2007) finder da også, at indkørselshastigheden betydning for uheldstætheden er godt 6 gange mindre. Her vil en indkørselshastighed på 40 km/t kun medføre en 1,38 gange så høj uheldstæthed som en rundkørsel med en indkørselshastighed på 30 km/t. Formlen, som Chen et al. angiver, er formentligt fejlbehæftet.

Turner et al. (2009) finder, at antallet af uheld er 35% højere i tilfarer til rundkørsler med en hastighedsbegrænsning over 70 km/t ift. tilfarer til rundkørsler med lavere hastighedsbegrænsninger. Dette finder de ud fra følgende model:

Mikro-model for uheld i rundkørsel ved en vejgren

$$UHT = 0,000324 \times N_{\text{\AA DT p\AA vejgren}}^{0,66} \times e^{0,30 \times \text{Hastbegr}},$$

hvor Hastbegr er 1 når hastighedsbegrænsningen er over 70 km/t på vejgrene ellers 0. Turner et al. (2009) skriver også, at udover trafikmængder er hastigheden den væsentligste faktor for uheldstætheden. Tætheden af uheld i rundkørsler i byer finder de bedst kan beskrives således:

Mikro-model for uheld mellem indkørende og cirkulerende motorkøretøjer:

$$UHT = 0,0000000612 \times N_{\text{indkørende, \AA DT}}^{0,47} \times N_{\text{cirkulerende, \AA DT}}^{0,26} \times H_{\text{cirkulationshastighed}}^{2,13},$$

hvor  $H_{\text{cirkulationshastighed}}$  er gennemsnitshastigheden i km/t for cirkulerende fritkørende køretøjer ved passage af den aktuelle vejgren, hvor uheldene er indtruffet. Turner et al. (2009) opstiller også en mikro-model for uheld mellem indkørende motorkøretøjer og cirkulerende cykler:

$$UHT = 0,0000388 \times N_{\text{indkørende, \AA DT}}^{0,43} \times N_{\text{cirkulerende, cykler}}^{0,38} \times H_{\text{indkørselshastighed}}^{0,49}$$

#### 4.3 Opsummering om uheldsmodeller for rundkørsler

Gennemgangen af danske og udenlandske uheldsmodeller for rundkørsler viser tydeligt, at det er muligt at opstille funktionsudtryk med uheldstætheden på ene side og uafhængige variable på den anden. Det skulle således være muligt at udvikle nye danske modeller, hvis det fornødne datagrundlag kan tilvejebringes.

Det er ikke muligt at afgøre, om modeltype 1 eller 3 er bedst at anvende. Det vil i stor udstrækning afhænge af, om det ønskes, at faktorer, der beskriver de enkelte vejgrene, skal indgå i modellen. Eksemplerne på uheldsmodeller viser tydeligt, at både adfærdsmæssige og geometriske faktorer synes at kunne indgå i modeller på en statistisk pålidelig facon. Vedrørende p-værdier ser det ud til, at disse ofte kan være over 1, når mængden af motorkøretøjer kun er repræsenteret af én variabel (typisk modeltype 1), mens p-værdier ellers er under 1.



## Referencer

- Aagaard, P. E. (1995): *Metoder til valg af reguleringsform for vejkryds*. Danmarks Tekniske Højskole, Institut for Veje, Trafik og Byplan, Danmark.
- AASHTO (2010): *Highway Safety Manual*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, USA.
- Antoine, D. (2005): The safety of roundabouts and traffic lights in Belgium. *Transportation Research Circular*, no. E-C083, National Roundabout Conference, Vail, Colorado, USA.
- Arndt, O. K. (1998): *Relationship between roundabout geometry and accident rates*. Queensland Department of Main Roads, report ETD02, Australien.
- Brabander, B. De, Nuyts, E. og L. Vereeck (2005): Road Safety Effects of roundabouts in Flanders. *Journal of Safety Research*, vol. 36, pp. 289-296.
- Brabander, B. De og L. Vereeck (2007): Safety effects of roundabouts in Flanders: Signal type, speed limits and vulnerable road users. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 39, pp. 591-599.
- Brilon, W. (2005): Roundabouts: A State of the Art in Germany. National Roundabout Conference, USA.
- Brüde, U. og J. Larsson (1996): *The safety of cyclists at roundabouts*. VTI, rapport 810A, Sverige.
- Brüde, U. og J. Larsson (1999a): *Trafiksäkerhet i cirkulationsplatser för cyklister och fotgängare*. VTI, rapport 864, Sverige.
- Brüde U. og J. Larsson (1999b): *Trafiksäkerhet i cirkulationsplatser avseende motorfordon*. VTI, rapport 865, Sverige.
- Cedersund, H. Å. (1983): *Cirkulationsplatser*. VTI, rapport 306, Sverige.
- Chen, Y., Persaud, B. og C. Lyon (2011): Effect of speed on roundabout safety performance – Implications for use of speed as a surrogate measure. *Proceedings of Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington DC, USA.
- Corben, B. F., Ambrose, C. og F. C. Wai (1990): *Evaluation of accident black spot treatments*. Monash University, Accident Research Centre, report 11, Australien.

- Daniels, S., Nuyts, E. og G. Wets (2008): The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: An observational study. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 40, pp. 518-526.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. og G. Wets (2009): Injury crashes with bicyclists at roundabouts: influence of some location characteristics and the design of cycle facilities. *Journal of Safety Research*, vol. 40, pp. 141-148.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. og G. Wets (2010a): Explaining variation in safety performance of roundabouts. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 42, pp. 393-402.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. og G. Wets (2010b): Externality of risk and crash severity at roundabouts. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 42, pp. 1966-1973.
- Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. og G. Wets (2011): Extended prediction models for crashes at roundabouts. *Safety Science*, vol. 49, pp. 198-207.
- Dijkstra, A. (2004): *Rotondes met vrijliggende fietspaden ook veilig voor fietsers?* SWOV, rapport R-2004-14, Holland.
- Elvik, R., Mysen, A. B. og T. Vaa (1997): *Trafikksikkerhetshåndbok*. Transportøkonomisk Institutt, Norge.
- Elvik, R. (1999): *Vurdering af kvaliteten af evalueringsforskning ved hjælp af meta-analyse*. Transportøkonomisk Institutt, TØI rapport 430/1999, Norge.
- 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. (2003): Effects on road safety of converting intersections to roundabouts – review of evidence from non-U.S. studies. *Transportation Research Record*, no. 1847, pp. 1-10.
- Elvik, R. (2008): *Making sense of road safety evaluation studies*. Transportøkonomisk Institutt, TØI rapport 984/2008, Norge.
- Elvik et al. (2009): *The Handbook of Road Safety Measures*. Emerald Group Publishing Limited, Storbritannien.
- Emerson, J. D., Burdick, E., Mosteller, F. (1990): An empirical study of the possible relation of treatment differences to quality scores in controlled randomized clinical trials. *Controlled Clinical Trials*, vol. 11, pp. 339-352.



Fleiss, J. L. (1981): *Statistical Methods for Rates and Proportions, 2nd edition*. Wiley, USA.

Fortuijn, L. G. H. (2005): *Veiligheidseffect turborotondes in vergelijking met enkelstrooks rotondes*. Verkeerskundige werkdagen, CROW, Holland.

Green, H. (1977): *Accidents at off-side priority roundabouts with mini or small islands*. Transport and Road Research Laboratory, report 774, Storbritannien.

Gross, F., Lyon, C., Persaud, B. og R. Srinivasan (2012): Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 44, article in press.

Harper, N. J. og R. C. M. Dunn (2005): Accident prediction models at roundabouts. Proceedings of ITE Annual Meeting, Melbourne, Australien.

Hauer, E. (1997): *Observational before-after studies in road safety*. Pergamon, Elsevier Science Ltd, United Kingdom.

Hels, T. og M. Møller (2007): *Cyklistsikkerhed i rundkørsler*. Danmarks Transportforskning, rapport 4, Danmark.

Hydén, C. og A. Várhelyi (2000): The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 32, pp. 11-23.

Jensen, S. U., Andersson, P. K. og L. Herrstedt (2010): *Håndbog trafiksikkerhed – Effekter af vejtekniske virkemidler*. Vejdirektoratet, Danmark.

Jensen, S. U. (2011): *Uheldsmodeller for veje i åbent land*. Trafitec, Danmark.

Jørgensen, N. O. (1991): *Rundkørslers kapacitet og sikkerhed*. Danmarks Tekniske Højskole, Institut for Veje, Trafik og Byplan, rapport 61, Danmark.

Jørgensen, E. og N. O. Jørgensen (1992): Er der mere nyt om rundkørsler? *Dansk Vejtidskrift*, no. 12, pp. 29-31.

Jørgensen, E. og N. O. Jørgensen (1994): *Trafiksikkerhed i 82 danske rundkørsler*. Vejdirektoratet, rapport 4, Danmark.

Jørgensen, E. og N. O. Jørgensen (2002): *Trafiksikkerhed i rundkørsler i Danmark*. Vejdirektoratet, rapport 235, Danmark.

Kennedy, J. V., Hall, R. D. og S. R. Barnard (1998): *Accidents at urban mini-roundabouts*. Transport Research Laboratory, report 281, Storbritannien.

Lalani, N. (1975): The impact on accidents of the introduction of mini, small and large roundabouts at major/minor priority junctions. *Traffic Engineering & Control*, vol. 16, pp. 560-561.

Maycock, G. og R. D. Hall (1984): *Accidents at 4-arm roundabouts*. Transport Research Laboratory, report LR 1120, Storbritannien.

Meuleners, L., Hendrie, D., Legge, M. og L. R. Cercarelli (2005): *An Evaluation of the Effectiveness of the Black Spot Programs in Western Australia 2000-2002*. University of Western Australia, Injury research centre, report 155, Australien.

Minnen, J. van (1990): *Ongevallen op rotondes*. SWOV, rapport R-90-47, Holland.

Minnen, J. van (1995): *Rotondes en voorrangsregelingen*. SWOV, rapport R-95-58, Holland.

Montonen, S. (2008): *Kiertoliittymien turvallisuus*. Tiehallento, Finland.

Newstead, S. og B. Corben (2001): *Evaluation of the 1992-1996 Transport Accident Commission funded accident blackspot treatment program in Victoria*. Monash University, Accident Research Centre, report 182, Australien.

Robinson, B. W., Rodegerdts, L., Scarborough, W., Kittelson, W., Troutbeck, R., Brilon, W., Bondzio, L., Courage, K., Kyte, M., Mason, J., Flannery, A., Myers, E., Bunker, J. og G. Jacquemart (2000): *Roundabouts: An Informational Guide*. Federal Highway Administration, report FHWA-RD-00-067, USA.

Rodegerdts, L., Blogg, M., Wemple, E., Myers, E., Kyte, M., Dixon, M., List, G., Flannery, A., Troutbeck, R., Brilon, W., Wu, N., Persaud, B., Lyon, C., Harkey, D., og D. Carter (2007): *Roundabouts in the United States*. National Cooperative Highway Research Program, report 572, USA.

Rodegerdts, L., Bansen, J., Tiesler, C., Knudsen, J., Myers, E., Johnson, M., Moutle, M., Persaud, B., Lyon, C., Hallmark, S., Isebrands, H., Crown, R. B., Guichet, B. og A. O'Brien (2010): *Roundabouts: An Informational Guide – Second edition*. National Cooperative Highway Research Program, report 672, USA.

Sakshaug, L., Laureshyn, A., Svensson, Å. og C. Hydén (2010): Cyclists in roundabouts – Different design solutions. *Accident Analysis and Prevention*, vol. 42, pp. 1338-1351.

Schoon, C. C. og J. van Minnen (1993): *Ongevallen op rotondes II*. SWOV, rapport R-93-16, Holland.

Shadish, W. R., Haddock, C. K. (1994): Combining estimates of effect size. In *The Handbook of Research Synthesis*, edited by Cooper, H. og Hedges, L. V., Russell Sage Foundation, USA.

Spacek, P. (2004): Basis of the Swiss design standard for roundabouts. *Transportation Research Record*, no. 1881, pp. 27-35.

Spahn, V. og G. Bäumlner (2007): Sicherheit von Kreisverkehrsplätzen und Lichtzeichenanlagen in Bayern. *Straßenverkehrstechnik*, heft 7/2007, pp. 357-362.

Tudge, R. T. (1990): Accidents at roundabouts in New South Wales. *Proceedings of 15<sup>th</sup> ARBB conference*, Darwin, Australien.

Turner, S. A., Roozenburg, A. P. og A. W. Smith (2009): *Roundabout crash prediction models*. NZ Transport Agency, report 386, New Zealand.

Vejdirektoratet (2012): *Rundkørsler i åbent land*. Vejregler, høringsudgave januar 2012, Danmark.

Williams, C., Johnson, A. og M. Simpson (2001): *The black spot program 1996-2002: An evaluation of the first three years*. Bureau of transport economics, Australien.

Worthington, J. C. (1992): Roundabout design: A comparison of practice in the UK and France. *Proceedings of PTRC Annual Meeting*, London, Storbritannien.



## Bilag 1. Studierne

1 Titel: Rundkørslers kapacitet og sikkerhed

Forfatter(e): Jørgensen, N. O.

År: 1991

Land: Danmark

Analysen af 48 danske rundkørsler beskriver uheldsfrekvenser for rundkørsler med bl.a. forskellig midterø diameter, indskreven cirkel diameter, tilfartvejens bredde, cykelfaciliteter og antal vejgrene. Der indgår også en før-efter uheldsevaluering af 15 kryds (1 lyskryds og 14 vigepligtsregulerede kryds) til 1-sporede rundkørsler. Der tages højde for generel uheldsudvikling for personskadeuheld, mens metoden er naiv for materielskadeuheld. I evalueringen indgår 100 politirapporterede uheld og 43 personskader.

2 Titel: Er der mere nyt om rundkørsler?

Forfatter(e): Jørgensen, E. og N. O. Jørgensen

År: 1992

Land: Danmark

En før-efter uheldsevaluering af 63 kryds, der ombygges til rundkørsler, heraf 48 i byzone og 15 i landzone. Der tages højde for generel uheldsudvikling. Politiets registrerede indgår med i alt 170 personskader, 121 personskadeuheld, 121 materielskadeuheld og 56 ekstraueheld.

3 Titel: Trafiksikkerhed i 82 danske rundkørsler

Forfatter(e): Jørgensen, E. og N. O. Jørgensen

År: 1994

Land: Danmark

En før-efter uheldsevaluering af 41 vigepligtsregulerede kryds, der ombygges til 1-sporede rundkørsler med fire vejgrene, heraf 32 i byzone og 9 i landzone. Der tages højde for generel uheldsudvikling og delvist regressionseffekt ( $qs=0,6$ ). Politirapporterede uheld indgår med i alt 167 personskader, 109 personskadeuheld og 90 materielskadeuheld. Endvidere undersøges uheldsfrekvenser i 82 rundkørsler, herunder betydningen af midterø diameter og cykelfaciliteter.

4 Titel: The safety of cyclists at roundabouts

Forfatter(e): Brude, U. og J. Larsson

År: 1996

Land: Sverige

Forfatterne benytter en svensk uheldsmodel til at estimere forventede cykeluheld i konkrete rundkørsler i Danmark, Holland og Sverige, og disse holdes op imod det observerede antal uheld. Der vises anvendelige resultater om cykelfaciliteter for hollandske rundkørsler. Data indikerer, at cykelstier, hvor cyklister skal vige, yder god sikkerhed for cyklister i rundkørsler, mens cykelbaner i rundkørsler yder en

relativ dårlig sikkerhed. Data indikerer, at flersporede rundkørsler i Sverige yder cyklister en markant dårligere sikkerhed end minirundkørsler og 1-sporede rundkørsler.

5 Titel: Kiertoliittymien turvallisuus (Rundkørslers sikkerhed)

Forfatter(e): Montonen, S.

År: 2008

Land: Finland

Der opstilles uheldsmodeller for rundkørsler baseret på oplysninger om 282 rundkørsler, hvori der er sket 567 uheld heraf 86 med personskade. Der udføres også en før-efter uheldsevaluering af 19 kryds, der bygges om til rundkørsler. I denne evaluering indgår 91 uheld og 26 personskader, og der tages højde for generel uheldsudvikling.

6 Titel: Ongevallen op rotondes (Uheld I rundkørsler)

Forfatter(e): Minnen, J. van

År: 1990

Land: Holland

I alt indgår 46 rundkørsler i en før-efter uheldsevaluering. Der korrigeres ikke for skævheder. Der indgår 1.220 uheld, 7 dræbte, 89 alvorlige og 235 lette skader, heraf 141 personskader med cyklister og knallertkørere.

7 Titel: Ongevallen op rotondes II (Uheld i rundkørsler II)

Forfatter(e): Schoon, C. C. og J. van Minnen

År: 1993

Land: Holland

Kryds ombygges til 181 rundkørsler og de indgår i en før-efter uheldsevaluering. Af krydsene var 9 signalreguleret, mens resten er vigepligtsreguleret. Der korrigeres ikke for skævheder. Dog angiver forfatterne, hvad visse sikkerhedseffekter formentligt ville være, hvis der var korrigeret for generel uheldsudvikling. Der indgår 5.573 uheld, heraf 1.151 med personskade. Af personskader er der 48 dræbte, 383 alvorlige og 958 lette skader. Effekter opgøres for mange forskellige typer af uheld, trafikarter, osv. Desuden ses på uheldsfrekvenser pr. indkørende motorkøretøj og cyklist i 201 rundkørsler. Her sammenlignes sikkerheden i relation til forskellige designelementer.

8 Titel: Veiligheidseffect turborotondes in vergelijking met enkelstrooks rotondes

Forfatter(e): Fortuijn, L. G. H.

År: 2005

Land: Holland

46 vigepligts- og 12 signalregulerede kryds i åbent land bygges om til rundkørsler og disse indgår i en før-efter uheldsevaluering uden korrektion for skævheder. Syv af rundkørslerne er såkaldte turborundkørsler, som er en speciel art flersporede rundkørsler, mens de resterende rundkørsler er 1-sporede. Der indgår i alt 1.377 uheld, heraf 242 med personskade.

9 Titel: The safety of roundabouts and traffic lights in Belgium

Forfatter(e): Antoine, D.

År: 2003

Land: Belgien

Der indgår en før-efter uheldsevaluering af 122 kryds, der bygges om til rundkørsler. Der korrigeres ikke for skævheder. I alt indgår 1.147 personskadeuheld.

10 Titel: Safety effects of roundabouts in Flanders: Signal type, speed limits and vulnerable road users

Forfatter(e): Brabander, B. De og L. Vereeck

År: 2007

Land: Belgien

I en før-efter uheldsevaluering, hvor der tages højde for generel uheldsudvikling og regressionseffekt, indgår 95 rundkørsler og 2.125 personskadeuheld. Det er 33 lyskryds og 62 vigepligtsregulerede kryds, der er bygget om til rundkørsler.

11 Titel: The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: An observational study

Forfatter(e): Daniels, S., Nuyts, E. og G. Wets

År: 2008

Land: Belgien

Artiklen beskriver en før-efter uheldsevaluering af 91 kryds, der bygges om til rundkørsler, heraf 22 tidligere lyskryds. Der korrigeres for regressionseffekt og generel uheldsudvikling. I alt indgår 411 personskadeuheld, hvor cyklister er involveret. Sikkerhedseffekter opdelt på by- og landzone, krydsets reguleringsform og alvorlighed af personskade vises.

12 Titel: The impact on accidents of the introduction of mini, small and large roundabouts at major/minor priority junctions

Forfatter(e): Lalani, N.

År: 1975

Land: Storbritannien

Artiklen beskriver en naiv før-efter uheldsevaluering af 38 kryds, der bygges om til rundkørsler i London. Der korrigeres altså ikke for skævheder. I alt indgår 388 personskadeuheld, heraf 109 med to-hjulede trafikanter. Der er benyttet relativt korte før- og efterperioder på i gennemsnit 19 måneder.

13 Titel: Accidents at off-side priority roundabouts with mini or small islands

Forfatter(e): Green, H.

År: 1977

Land: Storbritannien

Rapporten en før-efter uheldsevaluering af 150 steder, der bygges om til rundkørsler i Storbritannien med hastighedsbegrænsning på 48-64 km/t. Der korrigeres for generelle udviklinger i trafiksikkerheden. Over 2.200 personskadeuheld indgår, men en del steder er ombygninger af rundkørsler, så færre uheld indgår i studier af ombygninger af kryds til rundkørsler. Der opereres med 3 år før og 3 år efter.

- 14 Titel: Roundabouts in the United States  
Forfatter(e): Rodegerdts, L., Blogg, M., Wemple, E., Myers, E., Kyte, M., Dixon, M., List, G., Flannery, A., Troutbeck, R., Brilon, W., Wu, N., Persaud, B., Lyon, C., Harkey, D., og D. Carter  
År: 2007  
Land: USA  
Rapporten beskriver bl.a. en før-efter uheldsevaluering af ombygning af 55 kryds til rundkørsler. Der var ni lyskryds og 46 prioriterede kryds med stoptavler. Der var 36 1-sporede og 19 flersporede rundkørsler. Der korrigeres for generelle udviklinger i trafiksikkerhed, trafikmængder og regressionseffekter ( $qs=1$ ). I alt indgår 1.885 uheld.
- 15 Titel: Safety effectiveness of converting signalized intersections to roundabouts  
Forfatter(e): Gross, F., Lyon, C., Persaud, B. og R. Srinivasan  
År: 2012  
Land: USA  
Artiklen beskriver en før-efter uheldsevaluering af ombygning af 28 lyskryds til rundkørsler, heraf 13 i by og 15 i "forstæder", der har karakter af landzone. Der korrigeres for generelle udviklinger i trafiksikkerhed, trafikmængder og regressionseffekter ( $qs=1$ ). I alt indgår 1.921 uheld heraf 290 med personskade.
- 16 Titel: Accidents at roundabouts in New South Wales  
Forfatter(e): Tudge, R. T.  
År: 1990  
Land: Australien  
Artiklen en før-efter uheldsevaluering af ombygning af 230 kryds til rundkørsler. Der korrigeres for udviklinger i trafiksikkerhed og trafikmængder. I alt indgår 3.436 uheld.
- 17 Titel: Evaluation of accident black spot treatments  
Forfatter(e): Corben, B. F., Ambrose, C. og F. C. Wai  
År: 1990  
Land: Australien  
Rapporten en før-efter uheldsevaluering af sort plet projekter, heraf ombygning af 9 kryds til rundkørsler. Der korrigeres for udviklinger i trafiksikkerhed og regressionseffekt. I alt indgår 89 personskadeuheld fra kryds og rundkørsler.
- 18 Titel: Evaluation of the 1992-1996 Transport Accident Commission funded accident blackspot treatment program in Victoria  
Forfatter(e): Newstead, S. og B. Corben  
År: 2001  
Land: Australien  
Rapporten en før-efter uheldsevaluering af sort plet projekter, heraf ombygning af 47 kryds til rundkørsler. Der korrigeres for udviklinger i trafiksikkerhed og regressionseffekt. I alt indgår 356 personskadeuheld fra kryds og rundkørsler.



19 Titel: An Evaluation of the Effectiveness of the Black Spot Programs in Western Australia 2000-2002

Forfatter(e): Meuleners, L., Hendrie, D., Legge, M. og L. R. Cercarelli

År: 2005

Land: Australien

Rapporten en før-efter uheldsevaluering af sort plet projekter, heraf ombygning af 45 kryds til rundkørsler, heraf 33 i by og 12 på landet. Der korrigeres for udviklinger i trafiksikkerhed og regressionseffekt. I alt indgår 830 uheld, heraf 220 med personskaade.



## Bilag 2. Meta-analyse

Nedenfor er på engelsk gengivet den anvendte meta-analyse metode ”logodds method of combining results”, som den blev præsenteret af Elvik (2001).

### ”2.3 Statistical analysis of estimates of effect in meta-analysis

The log odds method of meta-analysis was applied (Fleiss, 1981). Each estimate of effect was assigned a statistical weight inversely proportional to its variance. The variance of the logarithm of the odds ratio is:

$$v_i = \frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C} + \frac{1}{D},$$

$A$ ,  $B$ ,  $C$  and  $D$  are the four numbers that enter the calculation of the odds ratio. In studies not using a comparison group,  $C$  and  $D$  drop out. The statistical weight of each estimate of effect in the fixed effects model of meta-analysis is:

$$w_i = \frac{1}{v_i}$$

The weighted mean effect based on a set of estimates is:

$$\bar{y} = \exp \left( \frac{\sum_{i=1}^g w_i y_i}{\sum_{i=1}^g w_i} \right)$$

exp is the exponential function (that is 2.71828 raised to the power of the expression in parenthesis),  $y_i$  is the logarithm of each estimate of effect and  $w_i$  is the statistical weight of each estimate of effect. The fixed effects model of meta-analysis is based on the assumption that there is only random variation in findings between studies. To test the validity of this assumption, the following test statistic,  $Q$ , is estimated (Shadish and Haddock, 1994):

$$Q = \sum_{i=1}^g w_i y_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^g w_i y_i \right)^2}{\sum_{i=1}^g w_i}$$

This test statistic has a  $\chi^2$  distribution with  $g - 1$  degrees of freedom, where  $g$  is the number of estimates of effect that have been combined. If this test statistic is statistically significant, a random effects model of analysis will be adopted. In this model, the statistical weight assigned to each result is modified to include a component reflecting the systematic variation of estimated effects between studies. This component, often referred to as the variance component, is estimated as follows (Shadish and Haddock, 1994):

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{[Q - (g - 1)]}{c}$$

$Q$  is the test statistic described above,  $g$  is the number of estimates and  $c$  is the following estimator:

$$c = \sum_{i=1}^g w_i - \frac{\sum_{i=1}^g w_i^2}{\sum_{i=1}^g w_i}$$

The variance of each result now becomes:

$$v_i^* = \sigma_{\theta}^2 + v_i$$

The corresponding statistical weight becomes:

$$w_i^* = \frac{1}{v_i^*}$$

A 95 % confidence interval for the weighted mean estimate of effect was obtained according to the following expression:

$$95\% \text{ CI} = \exp \left[ \frac{\sum_{i=1}^g w_i y_i}{\sum_{i=1}^g w_i} \pm 1.96 \cdot \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^g w_i}} \right]$$

The weights in this expression are either the fixed effects weights or the random effects weights, depending on the model of analysis adopted.”