

VEILIGHEIDSOVERWEGINGEN BIJ HET PLAATSEN VAN VERKEERSLICHTEN

Artikel Verkeerskunde 32 (1981) 11: 537 t/m 544

R-81-35

Ir. A.G. Welleman

Leidschendam, 1981

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

VEILIGHEIDSOVERWEGINGEN BIJ HET PLAATSEN VAN VERKEERSLICHTEN

Samenvatting

Op grond van de internationale literatuur kunnen geen algemene uitspraken worden gedaan over het effect van verkeerslichten op de veiligheid van kruispunten. Wel kunnen een aantal factoren worden aangegeven die dat effect beïnvloeden. Belangrijke factoren zijn de etmaalintensiteit en het aantal ongevallen op een kruispunt op het moment dat er nog geen verkeerslichten zijn geïnstalleerd. Voor inzittenden van motorvoertuigen is het effect van plaatsing van verkeerslichten anders dan voor fietsers en bromfietsers. Bovendien verschilt het per type ongeval. Zo heeft plaatsing van verkeerslichten in het algemeen een gunstig effect op het aantal haakse botsingen, terwijl het aantal kop-staartbotsingen op zijn best gelijk blijft.

Op kruispunten met verkeerslichten zijn linksafslaande verkeersdeelnemers relatief vaak bij ongevallen betrokken. Een eigen fase voor deze verkeersdeelnemers kan hierin verbetering brengen. Andere factoren waaraan de literatuur aandacht schenkt, zijn: diverse wegkenmerken, de duur van de geelfase, uitgeschakelde verkeerslichten bij nacht, scheiding van verkeersstromen en coördinatie van verkeerslichten.

SAFETY CONSIDERATIONS BY INSTALLATION OF TRAFFIC LIGHTS

Summary

The international literature does not allow general statements regarding the effect of traffic signals on intersectional accidents. However, a number of factors are given influencing the effect. Such are the 24-hours traffic volume and the number of accidents before signalization. The effect of the installation of traffic signals varies with road user categories and accident types. For instance, right-angle accidents generally decrease after signal-

ization whereas rear-end accidents at the best do not increase. At signalized intersections left turns comparatively often lead to accidents. Exclusive left-turn signals are therefore recommended. Other factors the literature deals with are: intersection layout, duration of the amber phase, switching off the installation at night, separation of traffic flows, and co-ordination of traffic signal installations.

1. INLEIDING

Het regelen van de verkeersafwikkeling op een kruispunt met behulp van verkeerslichten heeft consequenties voor de doorstroming en voor de veiligheid van het verkeer. Verkeerslichten worden vaak geplaatst om de capaciteit van een kruispunt te vergroten, dan wel om tot een andere verdeling van de wachttijden van de onderscheiden verkeersstromen te komen. Tegelijkertijd kan beoogd worden om de veiligheid van het betreffende kruispunt te verbeteren. In sommige gevallen zal het verbeteren van de veiligheid zelfs de voornaamste reden zijn.

De meest eenvoudige verkeerslichtenregeling is een zogenaamde twee-fasenregeling. Daarbij krijgen de verkeersstromen op de twee elkaar kruisende wegen om de beurt groen licht. Meestal wordt zo'n regeling toegepast op kruispunten met een eenvoudige vormgeving, op kruispunten met lage verkeersintensiteiten of bij de aansluiting van een weg met weinig verkeer op een drukke verkeersader. Uitbreiding van het aantal fasen in de regeling kan op verschillende manieren gebeuren. Zo kan linksafslaand verkeer in de tijd gescheiden worden van het tegemoetkomende rechtdoorgaande verkeer. Soms krijgen bus of tram (op aanvraag en eventueel met prioriteit) een eigen fase. Ook aan het fietsverkeer kunnen eigen fasen worden toegekend.

Het geven van aparte fasen gebeurt eveneens zowel om de doorstroming als om de verkeersveiligheid te bevorderen. Indien aan het openbaar vervoer aparte fasen worden toegekend, is dat vooral om de doorstroming daarvan te verbeteren. Bij toekenning van aparte fasen aan fietsers en bromfietzers zal verbetering van de veiligheid voor die categorieën het belangrijkste doel zijn.

In Verkeerskunde 1981, nr. 12, doet de SVT-werkgroep "Criteria voor het plaatsen van verkeerslichten op kruispunten buiten de bebouwde kom" verslag doen van haar werkzaamheden. In dat artikel zal voornamelijk aandacht worden besteed aan het doorstromingsaspect. Dit artikel gaat in op het verkeersveiligheidsaspect. De informatie die gepresenteerd wordt, is grotendeels ontleend

aan een literatuuroverzicht ten behoeve van het demonstratieproject "Herindeling en herinrichting van stedelijke gebieden". Het literatuuroverzicht is onderdeel van het onderzoek "Conflictvrije fasen voor fietsers en bromfietsers in de verkeerslichtenregeling van kruispunten met fietsvoorzieningen binnen de bebouwde kom" waarover te zijner tijd eveneens in dit blad zal worden gerapporteerd. Bij de samenstelling van het literatuuroverzicht is gebruik gemaakt van bronnen die in de SWOV-bibliotheek aanwezig waren of via de International Road Research Documentation (IRRD) opgespoord konden worden. Dit artikel heeft niet de pretentie een volledig overzicht van de beschikbare literatuur te geven.

2. VERKEERSVEILIGHEIDSDOEL EN -MIDDELEN BIJ PLAATSING VAN VERKEERS- LICHTEN OP KRUISPUNTEN

Er is in vele landen onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen het aantal ongevallen op een kruispunt en de intensiteit van de kruisende verkeersstromen.

Een voorbeeld daarvan is een studie van Hakkert & Mahalel (1978) waarbij gegevens zijn gebruikt over letselongevallen en verkeersintensiteiten op 202 kruispunten in drie Israëliëse steden en op 40 kruispunten buiten de bebouwde kom. De relatie tussen het verwachte aantal ongevallen gedurende een periode van twee jaar ($E(y_i)$) en de som van de produkten van de verkeersstromen op elk van de 24 onderscheiden conflictpunten op kruispunt i (x_i) (zie afbeelding 1) kan worden weergegeven met behulp van de volgende lineaire regressievergelijkingen:

$$E(y_i) = 2,27 + 1,12 * 10^{-4} x_i \quad \text{voor kruispunten binnen de bebouwde kom}$$

$$E(y_i) = 5,17 + 5,51 * 10^{-5} x_i \quad \text{voor kruispunten buiten de bebouwde kom}$$

De correlatiecoëfficiënten voor kruispunten binnen en buiten de bebouwde kom waren respectievelijk 0,77 en 0,79. De regressiecoëfficiënten zijn berekend met de methode van de gewogen kleinste kwadraten.

De studie van Hakkert & Mahalel is als voorbeeld gekozen, omdat ze een duidelijke en recente representant is van de literatuur die de relatie tussen aantallen ongevallen en verkeersprestaties op kruispunten behandelt. De gehanteerde maat voor het aantal potentiële ongevalssituaties is gedetailleerd en kostbaar. Die maat verklaart een aanzienlijk deel, zo'n 60%, van het aantal letselongevallen op de onderzochte kruispunten. Maar ook meer globale maten, zoals het produkt of de som van de intensiteiten op de kruispunttakken blijken een flink deel van het aantal ongevallen op kruispunten te kunnen verklaren.

Als regel zullen er meer ongevallen op een kruispunt plaatsvinden naarmate het aantal potentiële ongevalssituaties toeneemt. Een potentiële ongevalssituatie wordt ook wel een ontmoeting genoemd.

Het aantal ontmoetingen op een kruispunt wordt bepaald door het aantal conflictpunten op het kruispunt en de omvang van de elkaar kruisende verkeersstromen op elk van die conflictpunten.

De relatie tussen het aantal ongevallen en het aantal ontmoetingen zal soms rechtlijnig zijn, maar zeker niet rechtevenredig. In het vervolg van dit artikel zal blijken dat er meestal sprake is van een niet-lineaire relatie.

De verkeersveiligheidsdoelstelling bij het plaatsen van verkeerslichten op een kruispunt is het verminderen van het aantal ongevallen en/of de ernst van de ongevallen. Een belangrijk middel daarbij is het reduceren van het aantal conflictpunten door de verkeersstromen in de tijd te scheiden, zodat het aantal ontmoetingen afneemt.

De mate waarin het aantal ontmoetingen teruggebracht kan worden met behulp van verkeerslichten, wordt niet alleen bepaald door het aspect verkeersveiligheid. De gewenste doorstroomcapaciteit, het afwikkelingsniveau, de acceptabel te achten wachttijden en de afstemming op de regeling van aangrenzende kruispunten zijn enkele van de factoren die mede een rol spelen.

De vraag of er uit veiligheidsoverwegingen verkeerslichten moeten worden geplaatst en zo ja, met welke fase-indeling, kan niet los worden gezien van de vormgeving van kruisingsvlak en kruispunttakken. Ook de verkeersintensiteiten per manoeuvre en de samenstelling van de verkeersstromen zijn belangrijke invloedsfactoren. Opgemerkt dient te worden dat niet ieder conflictpunt even onveilig is. Een kop-staart-botsing tussen twee personenauto's heeft minder ernstige gevolgen dan een frontale botsing tussen twee personenauto's. Ook is niet elke ontmoeting even onveilig. Een haakse botsing tussen een vrachtauto en een fiets heeft veel ernstiger gevolgen dan een haakse botsing tussen twee fietsers. De volgende paragrafen behandelen de effectiviteit van een aantal middelen om het aantal ongevallen op kruispunten te verminderen.

3. HET EFFECT VAN VERKEERSLICHTEN OP DE VERKEERSVEILIGHEID

Een uitspraak van Box (1970), gedaan in een al wat oudere literatuurstudie, kan hier als uitgangspunt dienen. Na een overzicht te hebben gegeven van Amerikaanse onderzoeken naar het effect van verkeerslichten op de verkeersveiligheid komt de auteur tot de conclusie: "Over het effect van verkeerslichten op de verkeersafwikkeling en de veiligheid is uitgebreid gerapporteerd. Echter, de resultaten van deze studies lopen aanzienlijk uiteen en onderzoek laat zowel situaties zien waarin het totale aantal ongevallen afneemt als situaties waarin het aantal toeneemt".

Algemene uitspraken over het effect van verkeerslichteninstallaties kunnen inderdaad moeilijk gedaan worden. Daarvoor dient meer informatie beschikbaar te zijn over de factoren die op dat effect van invloed zijn. Als factoren die in het algemeen bijdragen tot een gunstig effect van plaatsing van verkeerslichten op het aantal ongevallen, noemt Box: hoge verkeersintensiteiten, hoge ongevallenfrequenties en complexe kruispunten met vijf of zes takken. Bij lage verkeersintensiteiten, lage ongevallenfrequenties en/of eenvoudige vormgeving van het kruispunt heeft plaatsing van verkeerslichten in het algemeen een ongunstige invloed op het aantal ongevallen. De aanwezigheid van een verkeerslichteninstallatie heeft in het algemeen een reducerend effect op het aantal haakse botsingen. Maar daar staat in het algemeen een toename van kop-staart-botsingen en van ongevallen met afslaande verkeersdeelnemers tegenover. De ernst van ongevallen blijkt bij signalisatie van kruispunten niet toe te nemen.

De globale gevolgtrekkingen uit deze Amerikaanse studie worden in meer recente studies in grote lijnen bevestigd.

3.1. Het effect op het totaal aantal ongevallen en op de ernst van de ongevallen

Een Zweedse voor- en nastudie (Gunnarsson & Olsson, 1974b) naar het effect van de plaatsing van verkeerslichten op 26 kruispunten en 14 T-aansluitingen in Stockholm en Gotenburg komt tot de con-

clusie dat het totale aantal ongevallen op die locaties na de plaatsing significant is gedaald. Globaal kan gesproken worden van een halvering. Het aandeel van de letselongevallen is niet gewijzigd (tabel 1). Ook na correctie voor de expositie is het absolute aantal letselongevallen significant gedaald, zowel op de kruispunten als op de T-aansluitingen. Ten behoeve van dit onderzoek is gebruik gemaakt van alle ongevallen die op de desbetreffende locaties hebben plaatsgevonden. Bij de bespreking van de onderzoeksresultaten is geen onderscheid gemaakt tussen verschillende categorieën verkeersdeelnemers.

Dat is wel gebeurd bij een recent onderzoek in Eindhoven (Gemeente Eindhoven, 1980). Van 19 kruispunten binnen de bebouwde kom van Eindhoven zijn alle geregistreerde ongevallen verzameld die gedurende een periode van een jaar vóór respectievelijk een jaar na de plaatsing van verkeerslichten hebben plaatsgevonden. De resultaten geven zowel voor het totale aantal ongevallen als voor het aantal letselongevallen een reductie te zien van ruim de helft (tabel 2), welke resultaten vergelijkbaar zijn met die van de Zweedse studie.

Wordt echter een onderscheid gemaakt naar betrokken verkeersdeelnemers, dan blijken er aanzienlijke verschillen te bestaan. Het aantal ongevallen en de ernst daarvan is aanzienlijk meer gereduceerd voor (inzittenden van) motorvoertuigen dan voor fietsers en vooral bromfietsers.

Met de nodige voorzichtigheid (vanwege de geringe hoeveelheid gegevens) kan uit het Eindhovense onderzoek ook worden afgeleid dat het plaatsen van verkeerslichten op sommige kruispunten geen of zelfs een ongunstig effect heeft, namelijk als er in de voor situatie slechts een gering aantal ongevallen per jaar gebeurt. Een andere recente Nederlandse studie naar het effect van plaatsing van verkeerslichten (Beumer & Zwart, 1980) heeft zich vooralsnog beperkt tot ongevallen waarbij alleen auto's zijn betrokken. In deze studie is onder andere het aantal auto-ongevallen in de voorperiode vergeleken met het aantal in de naperiode (elk van beide perioden besloeg ongeveer 40 maanden). Dit gebeurde voor 25 Gelderse kruispunten buiten of op de grens van de be-

bouwde kom. Het gemiddelde aantal geregistreerde ongevallen per kruispunt per jaar bleek nauwelijks te zijn veranderd (7,9 in de voorperiode en 8,3 in de naperiode).

Vóór de plaatsing was 4% van de ongevallen met dodelijke afloop en 32% met uitsluitend gewonden. Na de plaatsing was dat respectievelijk 1,5% en 17,5%. De ernst van de ongevallen werd dus in gunstige zin beïnvloed. Dit in tegenstelling tot wat de eerder behandelde bronnen daarover melden. Waarschijnlijk zou de uitkomst anders zijn geweest, als de ongevallen met fietsers en bromfietsers ook in het onderzoek waren betrokken. Zie nogmaals tabel 2. Men moet er wel rekening mee houden dat de gegevens in tabel 2 betrekking hebben op kruispunten binnen de bebouwde kom. Tabel 3 laat zien dat fietsers en bromfietsers binnen de bebouwde kom meer bij ongevallen op kruispunten betrokken zijn dan buiten de bebouwde kom. Voor de dodelijke ongevallen zijn de verschillen nog tamelijk gering, voor de ongevallen met uitsluitend gewonden wat groter. Voor ongevallen met uitsluitend materiële schade mogen nog grotere verschillen worden verwacht. Anderzijds is buiten de bebouwde kom de ernst van de ongevallen veel groter dan binnen de bebouwde kom.

Hoe is nu de samenhang tussen het aantal ongevallen en de verkeersintensiteiten op kruispunten met verkeerslichten?

Uit de resultaten van een Oostenrijks onderzoek (Zibuschka & Svec, 1979) blijkt dat deze samenhang zowel voor kruispunten als voor T-aansluitingen het beste wordt beschreven m.b.v. een tweedegraads polynoom, voor zover het letselongevallen betreft. Ongeveer tweederde deel van het aantal letselongevallen per kruispunt per jaar blijkt verklaard te kunnen worden uit de etmaalintensiteit van het autoverkeer op het kruispunt (intensiteitsbereik 5500-38 000 pae/24 uur). Indien alle geregistreerde ongevallen bij de berekening worden meegenomen, heeft de samenhang met de intensiteiten een andere vorm, maar is hij niet minder sterk.

Op T-aansluitingen is het aantal ongevallen per jaar over het hele intensiteitsbereik aanzienlijk kleiner. Dit mocht ook worden verwacht op grond van het kleinere aantal conflictpunten en het geringere aantal problemen met afslaande verkeersstromen.

De ongevallenratio (het aantal ongevallen per voertuig dat het kruispunt passeert) blijkt bij lage etmaalintensiteiten het hoogst te zijn. Bij een kruispuntbelasting tussen 20 000 en 30 000 pae/24 uur is die ratio het laagst om daarboven weer enigszins toe te nemen. Volgens de onderzoekers kan het verschijnsel van een hoge ongevallenratio bij lage etmaalintensiteiten verklaard worden uit de hogere snelheden die ontstaan doordat de verkeersdeelnemers elkaar minder hinderen. Dat resulteert vooral tijdens de fasenwisseling in een vergroot ongevalsrisico.

In Zibuschka & Svec zijn de eigen onderzoekresultaten met andere bronnen vergeleken. Daaruit blijkt dat de U-vormige samenhang tussen ongevallenratio en etmaalintensiteit vaker wordt gevonden en niet specifiek is voor met verkeerslichten geregelde kruispunten. Beumer & Zwart (1980) vonden een rechtlijnig verband tussen auto-ongevallen en auto-intensiteiten. Op kruispunten met verkeerslichten wordt volgens hen ongeveer de helft (correlatiecoëfficiënt .698) van het aantal geregistreerde auto-ongevallen verklaard uit de etmaal- c.q. spitsuurintensiteiten van het autoverkeer. Bij vergelijking met kruispunten zonder verkeerslichten constateren zij dat het plaatsen van verkeerslichten een ongunstig effect op de veiligheid kan hebben als een drukke verkeersader wordt gekruist door een weg met weinig autoverkeer.

Om een betere verklaring voor de samenhang tussen ongevallen en intensiteiten te kunnen vinden zullen in paragraaf 3.2. enkele literatuurbronnen worden behandeld die het effect van verkeerslichten op een aantal typen ongevallen beschrijven.

Samenvattend: wie overweegt op een kruispunt verkeerslichten te plaatsen, moet allereerst nagaan hoe groot het totale aantal geregistreerde ongevallen per jaar op dat kruispunt is. Daarbij moet men onderscheid maken naar de ernst van de ongevallen en naar de betrokken categorieën verkeersdeelnemers.

Plaatsing van verkeerslichten leidt in het algemeen tot een vermindering van het aantal letselongevallen en vaak ook van het totale aantal geregistreerde ongevallen. Bij lage etmaalintensiteiten is het effect op de veiligheid kleiner dan bij hoge en soms

zelfs negatief. Ook bij weinig ongevallen op het kruispunt bestaat de kans dat er geen of een ongunstig effect optreedt.

3.2. Het effect op de verschillende typen ongevallen en de invloed van de intensiteit

In deze paragraaf worden drie typen ongevallen onderscheiden, namelijk:

- ongevallen waarbij de betrokken verkeersdeelnemers afkomstig zijn van haaks op elkaar staande kruispunttakken (haakse botsingen);
- ongevallen waarbij de betrokken verkeersdeelnemers op dezelfde kruispuntas rijden en waarbij minstens één van de betrokkenen afslaat (botsingen met afslaand verkeer);
- kop-staart-botsingen.

Bij de bespreking van deze typen ongevallen zal tevens worden nagegaan welke relatie ze hebben met de intensiteiten van de verkeersstromen op een kruispunt.

3.2.1. Haakse botsingen

In de periode vóór de plaatsing van verkeerslichten op 19 kruispunten in Eindhoven (Gemeente Eindhoven, 1980) was bij ruim 70% van de geregistreeerde ongevallen sprake van een haakse botsing. Na de plaatsing werd het jaarlijkse aantal ongevallen van dit type gereduceerd met een factor vijf en vormde het nog slechts een derde deel van het totale aantal geregistreeerde ongevallen. Voor de ongevallen met gewonden en/of doden werd eenzelfde reductie geconstateerd, zodat geconcludeerd kan worden dat de ernst van dit type ongeval niet verandert als gevolg van plaatsing van verkeerslichten.

Ook Gunnarsson & Olsson (1974b) constateerden een significante afname van het aantal haakse botsingen na plaatsing van verkeerslichten.

Een deel van de resterende haakse botsingen zal plaatsvinden terwijl de installatie is uitgeschakeld, zoals bij knipperen geduren-

de de nachtelijke uren of bij storing. De overige haakse botsingen zijn het gevolg van rood-lichtovertredingen. Immers, dit type botsing is het gevolg van ontmoetingen die zelfs bij de meest eenvoudige regeling in theorie niet mogelijk zijn.

Uit de resultaten van een onderzoek op met verkeerslichten geregelde kruispunten en T-aansluitingen in Oostenrijk (Zibuschka, 1979) blijkt dat het aantal haakse botsingen nagenoeg onafhankelijk is van de totale kruispuntintensiteit. Dit betekent dat per voertuig de kans op een ongeval van dit type bij lage etmaalintensiteiten groot is. Volgens Zibuschka kan een en ander verklaard worden uit de hoge rijksnelheden bij lage intensiteit. Die zijn een gevolg van het feit dat de verkeersdeelnemers elkaar dan minder hinderen. Door de hogere snelheden zal het aantal "vliegende starts" bij de overgang van de rode op de groene fase groter zijn. (N.B. In Oostenrijk is er een geelfase tussen rood en groen. Het oprijden gebeurt daar meestal anders dan in Nederland.)

Bovendien wordt bij hogere snelheden de "dilemmazone" bij de overgang van de groene op de rode fase langer. Indien deze redeneringen juist zijn, is het vooral bij lage intensiteiten van belang om veel aandacht te besteden aan de duur van de geelfase en de "alles rood"-fase.

Beumer & Zwart (1980) constateren dat het aantal ongevallen ten gevolge van rood-lichtovertredingen onafhankelijk is van de etmaalintensiteit. Niet alle rood-lichtovertredingen zullen hier haaks kruisende verkeersdeelnemers betreffen, omdat het Gelderse onderzoek ook betrekking heeft op kruispunten met een meerfasige regeling. Desondanks lijkt de overeenkomst met de resultaten van het Oostenrijkse onderzoek aanzienlijk te zijn.

Samenvattend kan men constateren dat het plaatsen van verkeerslichten in het algemeen een gunstig effect heeft op het aantal haakse botsingen. Dit effect is bij lage etmaalintensiteiten kleiner dan bij hoge.

3.2.2. Botsingen met afslaand verkeer

Uit de resultaten van de voor- en nastudie van Gunnarsson & Olsson (1974b) blijkt dat op kruispunten het aantal ongevallen met afslaand verkeer toeneemt na plaatsing van verkeerslichten. De onderzoekers bespeuren echter een tendens dat deze toename alleen geldt bij een klein aandeel afslaand verkeer, terwijl daarentegen bij een groot aandeel afslaand verkeer sprake is van een afname. Ze bespeuren tevens, zowel op kruispunten als op T-aansluitingen, de grootste reductie van het totale aantal ongevallen bij een groot aandeel afslaand verkeer.

Bij het Eindhovense onderzoek (Gemeente Eindhoven, 1980) valt na plaatsing van verkeerslichten een lichte stijging waar te nemen van het - overigens geringe - aantal botsingen tussen verkeersdeelnemers die op dezelfde kruispunten rijden en van wie één van de twee afslaat.

Zibuschka (1979) constateert een U-vormig verband tussen het aantal ongevallen waarbij één van de betrokken verkeersdeelnemers afslaat, en de gemiddelde etmaalintensiteit van het autoverkeer. Dat betekent dat de kans op een ongeval van dat type per passerend voertuig het grootst is bij kruispunten met een lage etmaalintensiteit. Zibuschka denkt dat dat voor een belangrijk deel te verklaren is uit het verkeerd inschatten door linksafslaande verkeersdeelnemers van de snelheid van het tegemoetkomende rechtdoorgaande verkeer. Hij veronderstelt dat het rechtdoorgaande verkeer bij kruispunten met een lage etmaalintensiteit gemiddeld met een hogere snelheid rijdt.

Een belangrijk deel van de ongevallen met afslaand verkeer heeft betrekking op linksafslaande verkeersdeelnemers. Dat is ook begrijpelijk gezien het grotere aantal conflictpunten dan bij het rechtsafslaan en gezien de aard van de manoeuvrecombinaties. Omdat men mag aannemen dat er gemiddeld ongeveer evenveel verkeersdeelnemers linksafslaan als rechtsaf, kan het verschil in het aantal ongevallen niet worden verklaard uit een verschil in het aantal manoeuvres.

Vanwege het grote aandeel fiets- en bromfietsverplaatsingen in de Nederlandse situatie is het goed om deze groep verkeersdeelnemers eerst apart in beschouwing te nemen.

Uit een Mededeling van het Studiecentrum Verkeerstechniek (SVT, 1981) blijkt dat op kruispunten met verkeerslichten 25% van de geregistreeerde ongevallen waarbij een fietser of een bromfietser betrokken is, gebeurt terwijl de fietser of bromfietser afslaat (fietsers 37%, bromfietsers 20%). In 95% van de gevallen gaat het om linksafslaan.

Volgens een Frans onderzoek naar ongevallen met fietsers en bromfietsers op kruispunten met verkeerslichten (Jouve, 1974) betrof 20% van die ongevallen (18 van de 92) een afslaande fietser of bromfietser. In 17 van de 18 gevallen sloeg de fietser of bromfietser linksaf.

Bij het Eindhovense onderzoek (Gemeente Eindhoven, 1980) had na de plaatsing van verkeerslichten 70% van de 37 ongevallen met afslaande verkeersdeelnemers betrekking op een linksafslaande verkeersdeelnemer. Hierbij zijn alle categorieën verkeersdeelnemers in beschouwing genomen. De botsingen tussen een rechtsafslaand motorvoertuig en een rechtdoorgaande (brom)fietser verklaren grotendeels het relatief lage percentage ongevallen met linksafslaande verkeersdeelnemers.

Baier & Schlabbach (1976) constateren dat van de ongevallen met afslaande verkeersdeelnemers die gedurende de jaren 1972-1974 op 19 kruispunten in Darmstadt plaatsvonden, tweederde deel betrekking had op linksafslaande verkeersdeelnemers. Opgemerkt moet worden dat op één na alle onderzochte installaties werkten met een twee-fasenregeling. Bij de analyse van de ongevalgegevens is gebruik gemaakt van twee ongevallenratio's: $UR(LA)$ = het aantal ongevallen met linksafslaande voertuigen per 10^6 linksafslaande motorvoertuigen en $UR(LA + G)$ = het zelfde aantal ongevallen per 10^6 linksafslaande plus tegemoetkomende rechtdoorgaande verkeersdeelnemers.

De onderzoekers stellen vast dat de beide ongevallenratio's:
- hoger zijn bij meer rijstroken voor het tegemoetkomende rechtdoorgaande verkeer dan bij één rijstrook;

- het laagst zijn als de linksafslaande voertuigen afslaan volgens een kromme met een straal van + 20 m (vooral een grote straal heeft een ongunstige invloed op de ratio's);
 - hoger zijn naarmate de twee tegengestelde stromen linksafslaand verkeer elkaar meer het uitzicht belemmeren op de potentieel conflicterende stroom tegemoetkomende rechtdoorgaande voertuigen.
- Volgens de auteurs blijken deze drie invloedsfactoren na controle onafhankelijk van elkaar te zijn. Na een herhaling van dit onderzoek met gegevens uit de periode 1976-1978 komen Baier & Schlabbach (1981) tot dezelfde conclusies. Waarschijnlijk zijn de genoemde drie factoren in de Nederlandse situatie binnen de bebouwde kom niet alleen van invloed op de veiligheid van motorvoertuigen, maar ook op die van fietsers en bromfietsers die in één beweging linksafslaan.

Behalve aan maatregelen op het vlak van de kruispuntvormgeving (zoals die af te leiden zijn uit het onderzoek van Baier & Schlabbach) ligt het voor de hand om ook te denken aan veranderingen in de verkeerslichtenregeling teneinde de veiligheid van linksafslaande verkeersdeelnemers te verbeteren.

Baier & Schlabbach concluderen voorzichtig dat een voorstart van de linksafslaande stroom ten opzichte van de tegemoetkomende rechtdoorgaande stroom slechts voldoet op kruisingen van geringe afmeting.

Zibuschka (1980) heeft naar een wat verdergaande oplossing gezocht. Behalve door het hoge aandeel ongevallen met linksafslaande verkeersdeelnemers was dat zoeken ook ingegeven door de ernst van dit type ongeval. Uit de gegevens over ongevallen op 69 kruispunten met verkeerslichten in Oostenrijk blijkt dat het aandeel letselongevallen bij ongevallen met linksafslaande verkeersdeelnemers 62% is, indien er geen eigen fase is voor deze verkeersstroom. Dat is tweemaal zo hoog als het aandeel letselongevallen bij ongevallen waarbij geen linksafslaande verkeersdeelnemer is betrokken. Indien in de regeling wel een eigen fase is opgenomen voor de linksafslaande verkeersdeelnemers, is de ernst van de ongevallen met deze verkeersdeelnemers gelijk aan die van de overige

ongevallen. Bovendien is dan ook het aantal ongevallen met linksafslaande verkeersdeelnemers ca. 60% kleiner. Deze reductie is is per passerend voertuig (UR (LA + G)) het grootst bij lage etmaalintensiteiten. Waar ruimte is voor een opstelstrook voor linksafslaand verkeer en waar geen bezwaren bestaan tegen een capaciteitsvermindering van de installatie, dient een eigen fase voor het linksafslaande verkeer dus te worden overwogen. Een probleem daarbij, waaraan in de literatuur nog nauwelijks aandacht is besteed maar dat wel gesignaleerd moet worden, is het ongunstige effect van deze extra fasen op de cyclusduur en daarmee op de wachttijden van de verkeersdeelnemers. Een reactie daarop van de verkeersdeelnemers in de vorm van ander gedrag, bijvoorbeeld uitmondend in rood-lichtovertredingen, kan worden verwacht. Daardoor kan het gunstige effect van de eigen fase voor linksafslaande verkeersdeelnemers gedeeltelijk teniet worden gedaan door ongevallen met verkeersdeelnemers die een andere manoeuvre uitvoeren. Zeker in de Nederlandse situatie, waarin vooral binnen de bebouwde kom de aanwezigheid van een groot aantal fietsers en bromfietzers tot extra conflictpunten leidt.

De resultaten van een onderzoek van Gunnarsson & Olsson (1974a) ondersteunen deze gedachtengang. Op kruispunten constateerden zij een significant kleiner aandeel ongevallen met afslaande verkeersdeelnemers, indien het linksafslaande verkeer volledig gescheiden was van het tegemoetkomende rechtdoorgaande verkeer. Het totale aantal ongevallen per miljoen passerende voertuigen was echter niet significant kleiner.

In Eindhoven (Gemeente Eindhoven, 1980) bleek plaatsing van een installatie met een twee-fasenregeling minder effect te hebben (26% reductie van het aantal geregistreerde ongevallen) dan van een installatie met een drie- of vier-fasenregeling of met een exclusieve regeling (79% reductie). Voor een goede interpretatie van deze resultaten moet men in de gaten houden dat op de kruispunten met een twee-fasenregeling het aantal ongevallen in de voorperiode veel geringer was dan op de kruispunten met een meer gecompliceerde regeling: gemiddeld 7 respectievelijk 19 ongevallen per kruispunt per jaar. Het aantal ongevallen in de voorperiode

heeft dus blijkbaar, op directe dan wel op indirecte wijze, in sterke mate het type regeling bepaald. Men kan deze constatering koppelen aan de constatering van Zibuschka (1980) dat een eigen fase voor linksafslaande verkeersdeelnemers vooral bij lage etmaalintensiteiten een gunstige invloed heeft op het aantal ongevallen met deze verkeersdeelnemers. Het lijkt dan voor de hand te liggen om bij plaatsing van verkeerslichten op kruispunten met weinig ongevallen eveneens de toepassing van meer geavanceerde regelingen te overwegen.

Samenvattend kan worden geconstateerd dat het plaatsen van verkeerslichten niet zonder meer een gunstig effect heeft op het aantal botsingen met afslaand verkeer. Vooral linksafslaande verkeersstromen leveren veel problemen op. Deze problemen zijn het grootst op kruispunten met een lage kruispuntbelasting en/of een gering aandeel afslaand verkeer. Maatregelen, zowel betreffende de kruispuntvormgeving (het aantal te kruisen rijstroken, het uitzicht, de boogstraal) als betreffende het regelschema van de verkeerslichteninstallatie (een eigen fase), kunnen het aantal ongevallen met linksafslaande verkeersdeelnemers op een gunstige manier beïnvloeden.

3.2.3. Kop-staart-botsingen

Gunnarson & Olsson (1974b) vonden na plaatsing van verkeerslichten een verdrievoudiging van het aantal kop-staart-botsingen op T-aansluitingen, terwijl het aantal op kruispunten gelijk bleef. In Eindhoven (Gemeente Eindhoven, 1980) bleef na de plaatsing van verkeerslichten het aantal kop-staart-botsingen op de kruisingsvlakken gelijk. Op de toeleidende wegvakken verdubbelde het, maar hier waren ook kop-staart-botsingen bij die niet onder invloed van het kruispunt gebeurden.

Uit de beperkte gegevens die Pfundt (1979) presenteert over ongevallen op zes black spots in Rijnland-Palts kan men afleiden dat het aantal kop-staart-botsingen na plaatsing van verkeerslichten is toegenomen.

Op basis van deze summiere informatie kan worden geconcludeerd dat

het aantal kop-staart-botsingen na plaatsing van verkeerslichten in het gunstigste geval gelijk blijft. Doordat het aantal overige ongevallen doorgaans afneemt, zal het aandeel kop-staart-botsingen dus meestal toenemen. Deze laatste constatering wordt bevestigd door een andere studie van Gunnarsson & Olsson (1974a), waarbij kruispunten met verkeerslichten zijn vergeleken met kruispunten met een voorrangregeling of zonder regeling.

Zowel Zibuschka (1979) als Beumer & Zwart (1980) constateren dat op kruispunten met verkeerslichten het aantal kop-staart-botsingen nagenoeg evenredig met de etmaalintensiteit toeneemt. De ernst van dit type ongeval is doorgaans gering (Pfundt, 1979; Beumer & Zwart, 1980; Gemeente Eindhoven, 1980).

Een factor bij het ontstaan van kop-staart-botsingen is het verschil in beoordeling van de geelfase door twee opeenvolgende verkeersdeelnemers. Indien een verkeersdeelnemer als reactie op het begin van de geelfase probeert om nog juist voor de roodfase de stopstreep te passeren, kan een probleem ontstaan als de voorganger van plan is om voor die streep te stoppen.

Harders (1981) verrichtte op twee kruispunten (één in Hamburg en één in Düsseldorf) onderzoek naar het gedrag van automobilisten die het verkeerslicht naderden terwijl het van groen op geel sprong. Hij concludeert dat per kruispunt het gedrag (stoppen of niet, afhankelijk van de afstand tot de stopstreep) niet werd beïnvloed door de ingeschakelde geeltijd van 3, 4 of 5 s. Dat betekent dat er wat meer door beginrood gereden werd bij de kortere geeltijd. Verder was het gedrag niet afhankelijk van de naderingssnelheid. Dit voor naderingssnelheden tussen 40 en 70 km/uur. De constatering dat ook de berekende remvertraging niet door de naderingssnelheid werd beïnvloed, onderstreept de conclusie dat een kortere geelfase tot wat meer (begin-)rood-lichtovertredingen leidt. Er was een significant verschil tussen het gedrag van bestuurders van personenauto's en van vrachtauto's, uitmondend in een geringere remvertraging voor vrachtauto's. Hierdoor reden vrachtauto's wat vaker door beginrood. Er bleken ook significante verschillen tussen de twee kruispunten te zijn. Op het Hamburgse kruispunt werden bij alle voertuigsoorten gemiddeld meer (begin-)rood-lichtovertre-

dingen geconstateerd dan op het Düssel-dorfse kruispunt. Harders denkt dat een verklaring daarvoor kan zijn dat de geeltijd in Hamburg op alle andere kruispunten 4 s is, terwijl in Düsseldorf doorgaans een geeltijd van 3 s wordt gehanteerd en slechts bij uitzondering een geeltijd van 4 s. De in Hamburg gemeten lagere gemiddelde remvertraging leidde voornamelijk bij inschakeling van een geeltijd van 3 s tot meer rood-lichtovertredingen. Volgens Harders blijkt uit één en ander dat het gedrag van automobilisten bepaald wordt door de gewenning aan de bestaande regelingen (in dit geval de gehanteerde geeltijden). Hij pleit er daarom voor om, binnen de bebouwde kom en bij rijsnelheden tot 70 km/uur, overal een even lange geelfase toe te passen en wel met een duur van 4 s. Door zo'n uniformering kan het aantal foute schattingen van de duur van de geelfase verminderen en mag op een kleiner aandeel rood-lichtovertredingen worden gerekend. Of hiervan ook een gunstige invloed op de kop-staart-botsingen mag worden verwacht, geeft Harders niet aan. Zo'n gevolg lijkt echter waarschijnlijk, omdat een dergelijke uniformering de verschillen in gedrag van opeenvolgende automobilisten, voor zover ze door de situatie worden bepaald, kleiner zal maken.

Ook op andere typen ongevallen heeft de duur van de geelfase invloed. Knoflacher (1971) onderzocht in Wenen een aantal kruisingen met een geelfase van meer dan 3 s. De kromme die de relatie beschrijft tussen het jaarlijkse aantal ongevallen en de duur van de geelfase, heeft een minimum bij een duur van 4 s om daarboven snel te stijgen (met de tweede of zelfs de derde macht van die duur). Uit het onderzoek van Knoflacher mag niet geconcludeerd worden dat een lange duur van de geelfase zelf de oorzaak is van een groter aantal ongevallen. Wel kan vastgesteld worden dat de duur van de geelfase bewust of onbewust wordt gebruikt voor de oplossing van afwikkelingsproblemen. Bijvoorbeeld om een deel van de linksafslaande verkeersstromen zonder eigen fase over het kruisingsvlak te voeren. Met enige voorzichtigheid kunnen de bevindingen van Knoflacher als een ondersteuning worden aangemerkt van het pleidooi van Harders om voor kruispunten binnen de bebouwde kom een (uniforme) duur van 4 s te hanteren voor de geelfase.

4. INVLOED VAN DE REGELINGSKENMERKEN OP DE VERKEERSVEILIGHEID

In de voorgaande paragrafen is al aan een paar kenmerken van de verkeerslichtenregeling aandacht geschonken voor zover het hun relatie met de verkeersveiligheid betreft: de eigen fase voor linksafslaand verkeer en de duur van de geelfase. Hier zullen nog enkele literatuurbronnen besproken worden die handelen over de invloed van regelingskenmerken op de verkeersveiligheid.

4.1. Het al dan niet functioneren van verkeerslichteninstallaties

Om redenen van uiteenlopende aard kan een installatie buiten werking zijn. Er kan storing optreden of de verkeerslichten staan op knipperstand op uren met weinig verkeer. Het onderzoek van het SVT (1981) is de enige beschikbare bron waarin aandacht geschonken wordt aan ongevallen tijdens storing van de installatie. Voor fietsers en bromfietsers vond men vijfmaal zoveel ongevallen per tijdseenheid als wanneer de installatie functioneerde. Daarbij is geschat dat er gemiddeld 5 storingsdagen per installatie per jaar zijn (1,4%). Ongevallen zonder (brom)fietsers zijn bij dit onderzoek niet in beschouwing genomen. Dezelfde bron geeft ook aan dat bij knipperen gedurende de nachtelijke uren een groter aantal ongevallen met (brom)fietsers plaatsvindt dan verwacht zou mogen worden bij functioneren van de installatie.

De Gemeente Eindhoven (1977) besteedt aandacht aan de veiligheid van alle categorieën verkeersdeelnemers bij niet, respectievelijk wel functioneren van verkeerslichteninstallaties tijdens de nachtelijke uren. Met ingang van 1 januari 1975 zijn in Eindhoven wijzigingen aangebracht in de knippertijden van een aantal verkeerslichteninstallaties. De essentie van de wijzigingen bestond uit het 's nachts laten functioneren van de verkeerslichten. Slechts in de weekeinden werd een korte knipperperiode gehandhaafd. Tijdens de nachtelijke uren werd bovendien een aangepast regelprogramma ingeschakeld. De aantallen geregistreerde ongevallen vóór de uitvoering van de maatregel zijn vergeleken met de aantallen na de uitvoering. Bovendien is een vergelijking gemaakt

met een controlegroep kruispunten ter uitschakeling van het trend-effect.

Als netto-effect van de maatregel is gedurende de nachtelijke uren een reductie van 77% van het aantal ongevallen per tijdseenheid gemeten (tabel 4). Het nuttig effect van de maatregel is daarmee duidelijk. Wel bestaat de indruk dat de kruispunten uit de proefgroep en de controlegroep van elkaar verschillen qua verkeersfunctie, aantal passerende verkeersdeelnemers, de verdeling daarvan over de te onderscheiden manoeuvre mogelijkheden en qua vormgeving van de kruispunten. Hiermee moet men rekening houden bij generalisering van dit onderzoekresultaat.

De bevindingen van het SVT en de Gemeente Eindhoven worden nog eens onderstreept door het in Gelderland uitgevoerde onderzoek van Beumer & Zwart (1980). Ook op met verkeerslichten geregelde kruispunten buiten de bebouwde kom gebeuren volgens hen verhoudingsgewijs veel ongevallen, indien de installaties op stille uren knipperen of anderszins buiten bedrijf zijn. Opgemerkt moet worden dat bij dit onderzoek alleen ongevallen in beschouwing zijn genomen waarbij uitsluitend auto's waren betrokken.

De resultaten van de drie genoemde Nederlandse onderzoeken (Gemeente Eindhoven, 1977; Beumer & Zwart, 1980; SVT, 1981) zijn moeilijk vergelijkbaar. Bovendien roept elk van de onderzoeken vragen op ten aanzien van de betrouwbaarheid van de uitspraken die eraan ontleend zijn. Toch lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat de verkeersveiligheid op kruispunten met verkeerslichten in ongunstige zin wordt beïnvloed, indien de lichten knipperen of anderszins niet functioneren.

Die conclusie wordt, voor zover het de situatie 's nachts betreft, ondersteund door de resultaten van een ongevallenonderzoek waarbij gebruik gemaakt is van ruim 11 000 ongevallen die in 1977 geregistreerd werden op kruispunten met verkeerslichten in Hessen en in Rijnland-Palts (Pfundt, 1979). Het aandeel ongevallen 's nachts (22.00-06.000 uur) bedroeg in Hessen 11,4% en in Rijnland-Palts 11% op kruispunten waar de verkeerslichten 's nachts functioneerden. Op kruispunten waar de installatie 's nachts

buiten werking was, bedroeg het aandeel nachtelijke ongevallen respectievelijk 43,6 en 44,8%. Pfundt rapporteert ook over een experiment in Stuttgart uit 1974 waarbij 's nachts de verkeerslichteninstallaties op 45 kruispunten gedurende enige uren werden uitgeschakeld. Bij vergelijking van een even lange voor- en na-periode bleek het aantal geregistreeerde ongevallen na uitschakeling te zijn toegenomen van 17 tot 63. Een verhouding die vergelijkbaar is met de resultaten van het Eindhovense onderzoek. Analyse van de gegevens uit Hessen en Rijnland-Palts leert verder dat het aandeel haakse botsingen 's nachts niet hoger is dan overdag. Als de installatie functioneert, bestaat in beide gevallen + 20% van de geregistreeerde ongevallen uit ongevallen van dit type. Dat betekent - in tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht - dat het aandeel ongevallen ten gevolge van rood-lichtovertredingen 's nachts niet groter is dan overdag. Bij niet functioneren van de installatie is ongeveer tweederde deel van de ongevallen van het type haakse botsingen. Dit geldt zowel overdag als 's nachts. Deze laatste resultaten onderstrepen nog eens dat er steeds een duidelijk onderscheid moet worden gemaakt tussen lage etmaalintensiteiten en (lage) intensiteiten gedurende de nachtelijke uren. Anders laten deze resultaten zich immers moeilijk rijmen met de constatering in paragraaf 3.2.1. dat de kans op dit type ongeval per passerend voertuig groter is bij lage dan bij hoge etmaalintensiteiten.

Pfundt constateert een wat hoger aandeel ongevallen met zwaargewonden en/of doden gedurende de nachtelijke uren, vooral als de verkeerslichteninstallatie is uitgeschakeld. Om na te gaan of hogere snelheden hieraan ten grondslag liggen, zijn in november 1978 op een aantal plaatsen in Keulen overdag en 's nachts snelheden gemeten. De gemiddelde snelheid van ongehinderde personenauto's bleek 's nachts nauwelijks hoger te zijn dan overdag. Wel was de standaardafwijking 's nachts doorgaans groter. Hetgeen duidt op grotere snelheidsverschillen tussen verkeersdeelnemers en op incidenteel hogere snelheden.

Kockelke (1980) heeft ook snelheidsmetingen verricht op twee Keulse kruispunten. De gemiddelde rijsnelheid bleek bij een uit-

geschakelde installatie 2-5 km/uur hoger te zijn dan de snelheid van voertuigen die bij een ingeschakelde installatie bij groen licht ongehinderd door konden rijden. Dit is dus slechts een gering verschil. Bij uitgeschakelde installatie was de standaardafwijking van de snelheid groter dan bij ingeschakelde installatie. Deze grotere snelheidsverschillen kunnen een ongunstige invloed op de verkeersveiligheid uitoefenen, omdat kruisende verkeersdeelnemers daardoor moeilijker de snelheden kunnen schatten. Verder constateert Kockelke 's nachts een aanzienlijk verminderde bereidheid bij voetgangers om voor een rood licht te wachten. Desondanks gebeuren er niet meer ongevallen met voetgangers, wat er mogelijk op duidt dat het foutieve gedrag wordt gecompenseerd door een grotere oplettendheid.

Samenvattend kan worden gesteld dat het uit een oogpunt van verkeersveiligheid in de regel gewenst is om verkeerslichteninstallaties ook gedurende de nachtelijke uren te laten functioneren. Bij lage intensiteiten verdient het aanbeveling om gedurende die uren een aangepast, zo mogelijk verkeersafhankelijk regelprogramma te hanteren om de wachttijden voor alle verkeersdeelnemers zoveel mogelijk te beperken. Natuurlijk zijn er situaties te bedenken waarin een verkeerslichteninstallatie niet alleen 's nachts maar ook gedurende bepaalde perioden overdag kan worden uitgeschakeld. Te denken valt aan installaties op kruispunten in een industriewijk of aan installaties die alleen een functie hebben op tijden dat kinderen van en naar school gaan. Dergelijke uitzonderingen op wat blijkens het voorgaande regel zou moeten zijn, dienen steeds zorgvuldig te worden overwogen.

4.2. Scheiding en coördinatie

In paragraaf 3.2.2. is aandacht besteed aan de eigen fase voor linksafslaande verkeersstromen. Als een vermindering van de kruispuntcapaciteit acceptabel is en er ruimte is voor een eigen opstelstrook, is een eigen fase voor linksafslaande verkeersstromen aan te bevelen. Indien fietsers en bromfietsers ook van die fase

gebruik maken, is een eigen opstelruimte voor die verkeersdeelnemerscategorieën zeker gewenst. Een verdergaande mogelijkheid voor scheiding van verkeersstromen betreft de ontmoeting van rechtdoorgaande fietsers en bromfietsers met rechtsafslaande motorvoertuigen. De literatuur levert nog geen informatie over deze mogelijkheid, die in Nederland toch al op vele plaatsen wordt toegepast. Een groot aandeel fiets- en bromfietsverkeer is vooral binnen de bebouwde kom kenmerkend voor de Nederlandse verkeerssituatie. Maar ook in andere Europese landen is (brom)fietsen een niet weg te cijferen wijze van verkeersdeelname. Deze stromen (brom)fietsen verhogen het aantal conflictpunten op kruispunten in een belangrijke mate. De ontmoetingen van deze stromen met de stromen motorvoertuigen zijn uit een oogpunt van verkeersveiligheid van groot belang vanwege de ongelijkheid van de beide groepen. Een grotere aandacht voor de conflictpunten en de ontmoetingen waarbij fietsers en bromfietsers betrokken zijn, verdient daarom aanbeveling bij het denken over scheiden van verkeersstromen.

Dezelfde aanbeveling geldt ook als het gaat om afstemming (coördinatie) van een verkeerslichtenregeling op de regeling van aangrenzende kruisingen. Een dergelijke afstemming is vaak gebaseerd op de wens om het autoverkeer vlotter te laten doorstromen. Dat kan ten koste gaan van de doorstroming van het fiets- en bromfietsverkeer. Over de gevolgen daarvan op de veiligheid van die categorieën verkeersdeelnemers is in de literatuur geen informatie gevonden. Wel heerst de opvatting dat het gedrag van de (brom)fietsers in ongunstige zin wordt beïnvloed als de coördinatie van regelingen voor het autoverkeer leidt tot extra stops en langere wachttijden voor de (brom)fietsers. Vooral de roodlichtdiscipline zal daaronder lijden, hetgeen gevolgen heeft voor de verkeersveiligheid.

Ook over de invloed van coördinatie van verkeerslichtenregelingen op de verkeersveiligheid van het autoverkeer is nog maar weinig bekend. Moore & Lowrie (1976) onderzochten het effect van coördinatie van een achttal systemen, elk bestaande uit een aantal (minimaal vijf, maximaal achttien) kruispunten met een ver-

keersafhankelijke regeling, gelegen op hoofdverkeersaders in voorsteden van Sydney. Ze gebruikten de gegevens van \pm 15 000 ongevallen met letsel of met een schade ter waarde van 50 dollar of meer, die binnen die systemen plaatsvonden. Na vergelijking van een voorperiode en een even lange naperiode bleek het totale aantal ongevallen binnen de acht systemen met ongeveer 20% te zijn afgenomen. Een zelfde reductiepercentage gold voor de letselongevallen. Dit duidt erop dat de kans op ongevallen na coördinatie vermindert zonder dat de ernst van de ongevallen toeneemt. De doorgaans wat hogere snelheid binnen gecoördineerde systemen leidt blijkbaar niet tot een grotere ernst van ongevallen. Waarschijnlijk speelt hierbij een vermindering van snelheidsverschillen een gunstige rol. De belangrijkste verschillen (significant op 5%-niveau) betroffen ongevallen met voetgangers (\pm 50% reductie) en haakse botsingen (\pm 65% reductie). Bij de andere typen ongevallen bleek nauwelijks een verandering op te treden. De reductie van het totale aantal ongevallen bleek het grootst te zijn (\pm 35%) op kruispunten die vóór de coördinatie niet, maar erna wel met behulp van verkeerslichten werden geregeld. Op kruispunten binnen een systeem die ook na de coördinatie niet werden geregeld, nam het aantal ongevallen na coördinatie daarentegen toe (met 12%).

Kurzak (1974) geeft in een overzichtsstudie betreffende verkeersafhankelijke verkeerslichteninstallaties op stedelijke wegennetten een summier overzicht van het effect van coördinatie op de verkeersveiligheid. Voor gecoördineerde wegennetten noemt hij reducties van 12% van alle ongevallen (Toronto), van 8% van alle ongevallen (Glasgow) en van 18% van de letselongevallen en 19% van alle ongevallen (West-Londen). Voor gecoördineerde routes geeft Kurzak reducties van 16% (Toronto) en 11% (Hamburg) van alle ongevallen. Zowel in Glasgow als in Hamburg wordt enige toename van de ernst van ongevallen geconstateerd, hetgeen beide oorspronkelijke bronnen toeschrijven aan de hogere gemiddelde snelheden die in geval van coördinatie worden gereden.

Een slechts op de uitgebreide Engelstalige samenvatting beoordeelde bron (Gunnarsson & Olsson, 1974a) tenslotte komt bij coördi-

natie tot een (op 5%-niveau significante) afname van het aantal ongevallen op T-aansluitingen en een (op 5%-niveau niet-significante) toename van het aantal ongevallen op kruispunten. Voor deze laatstgenoemde toename is vooral het (significant) grotere aantal haakse botsingen verantwoordelijk.

Samenvattend mag worden gesteld dat van scheiding van verkeersstromen die afkomstig zijn van dezelfde kruispuntassen, doorgaans een gunstig effect op de verkeersveiligheid mag worden verwacht. Er is echter nog te weinig informatie bekend om aan te kunnen geven hoever men kan gaan met een dergelijke scheiding. Met een verdergaande scheiding zal naar verwachting de rood-lichtacceptatie van groepen verkeersdeelnemers afnemen. Voor automobilisten kan coördinatie van verkeerslichtenregelingen binnen een wegennet of op een route een gunstige uitwerking hebben op deze acceptatie. Met enige voorzichtigheid kan gesteld worden dat een dergelijke coördinatie een gunstige invloed heeft op de verkeersveiligheid van voetgangers en automobilisten. Over het effect op de veiligheid van (brom)fietsers geeft de literatuur geen informatie, maar optimistische verwachtingen daarover lijken niet gerechtvaardigd.

5. DISCUSSIE EN SAMENVATTING

In de inleiding is reeds aangegeven dat de pretentie van dit artikel niet is om een volledig overzicht te geven van alle beschikbare literatuur met betrekking tot de veiligheidsaspecten van verkeerslichteninstallaties. Men kan zich afvragen of een volledig overzicht veel meer informatie zal bieden aan hen die plaatsing, verwijdering of aanpassing van verkeerslichteninstallaties overwegen. In de voorgaande hoofdstukken kunnen een aantal globale trends worden onderkend. Op sommige punten spreken de verschillende bronnen elkaar echter tegen. Dit kan een gevolg zijn van het feit dat de behandelde situaties niet geheel vergelijkbaar zijn. Te denken valt daarbij aan verschillen in samenstelling, intensiteiten en gereden snelheden van verkeersstromen, aan verschillen in voertuigeigenschappen, aan verschillen in de vormgeving van de kruispunten, aan verschillen in de kwaliteit van de verkeerslichten, aan verschillen in wetgeving en politietoezicht en aan verschillen in klimatologische omstandigheden. Daarnaast bemoeilijken verschillen in de manier van ongevallenregistratie en in de gebruikswijze van de geïnterpreteerde gegevens een goede vergelijkbaarheid van de gehanteerde bronnen. Een specifiek kenmerk van het dichtbevolkte, vlakke Nederland is het veelvuldig gebruik van de fiets, door grote delen van de bevolking en voor uiteenlopende reismotieven. Indien informatie gewenst is voor toepassing in die Nederlandse situatie, is kennis nodig over situaties die met de Nederlandse vergelijkbaar zijn. Uiteraard kan de Nederlandse situatie zelf goede informatie bieden. Tot nu toe is er nog onvoldoende gebruik gemaakt van de mogelijkheid om in Nederland het effect van de plaatsing van verkeerslichteninstallaties op de verkeersveiligheid te onderzoeken. En dan niet alleen het effect op een geïsoleerd kruispunt, maar ook op de wegen en kruispunten in de omgeving van dat kruispunt. Overigens moet ook binnen Nederland rekening worden gehouden met verschillen tussen situaties. Verschillen in verkeerssamenstelling, in gereden snelheden en in beschikbare ruimte tussen binnen en buiten de bebouwde kom, tussen invalswegen en centra van steden en dorpen enz.

Naast enkele verschillen zijn er overeenkomsten te ontdekken in de aangeboden informatie. Bij een doordacht hanteren daarvan kan zeker nog een verbetering worden bereikt van de verkeersveiligheid op kruispunten. Daarbij moet men het volgende in acht nemen. Verkeerslichteninstallaties reduceren het aantal conflictpunten en daarmee het aantal potentiële conflictsituaties op kruisingen. Het effect van de aanwezigheid van verkeerslichten op het aantal letselongevallen is vooral gunstig bij hoge etmaalintensiteiten. Bij geringe etmaalintensiteiten is het effect doorgaans minder gunstig. Indien op een kruispunt weinig ongevallen gebeuren, kan het effect van plaatsing van verkeerslichten nihil of zelfs ongunstig zijn. Een uitspraak over het effect op het aantal ongevallen met uitsluitend materiële schade kan slechts speculatief zijn, onder andere vanwege de onvolledige registratie van deze ongevallen; een onvolledigheid die bovendien afhankelijk is van de bij het ongeval betrokken categorieën verkeersdeelnemers. De indruk bestaat dat het effect op de verkeersveiligheid gunstiger is voor inzittenden van motorvoertuigen dan voor fietsers en bromfietzers. Een verklaring daarvoor kan zijn dat bij het ontwerp van verkeerslichtenregelingen en de bijbehorende kruispuntgeometrie veelal de doorstroming van het autoverkeer een dominante rol speelt.

Het plaatsen van verkeerslichten heeft in het algemeen een gunstig effect op het aantal haakse botsingen. Dit effect is bij lage verkeersintensiteiten kleiner dan bij hoge. Linksafslaande verkeersdeelnemers zijn relatief vaak bij ongevallen betrokken op kruispunten met verkeerslichten. Vooral op kruispunten met een relatief lage kruispuntbelasting en/of een gering aandeel afslaand verkeer. Qua vormgeving is onder andere een goed uitzicht voor de linksafslaande verkeersdeelnemers op de tegemoetkomende rechtdoorgaande verkeersdeelnemers van belang. Verder speelt de straal van de kromme waarlangs moet worden afgeslagen een rol, evenals het aantal rijstroken voor het tegemoetkomende rechtdoorgaande verkeer dat moet worden gekruist. Indien een capaciteitsvermindering van de installatie acceptabel is en er ruimte is voor een eigen opstelstrook voor linksafslaand verkeer,

verdient een eigen fase voor linksafslaande verkeersstromen aanbeveling.

Het aantal kop-staart-botsingen zal na plaatsing van verkeerslichten in het gunstigste geval gelijk blijven. Doordat doorgaans het aantal overige ongevallen afneemt, zal het aandeel kop-staart-botsingen meestal toenemen. Kop-staart-botsingen op kruispunten met verkeerslichten hebben in de meeste gevallen geen ernstige afloop. Het aantal ongevallen van dit type neemt toe met de intensiteit van de verkeersstromen. Een gunstige invloed op zulke ongevallen en ook op het aantal (begin-)rood-lichtovertredingen mag worden verwacht van een uniformering van de duur van de geelfase. Binnen de bebouwde kom moet men daarbij denken aan een duur van 4 s.

De verkeersveiligheid is er in de regel bij gebaat dat verkeerslichteninstallaties ook gedurende de nachtelijke uren functioneren. Het verdient aanbeveling om de wachttijden voor alle verkeersdeelnemers zoveel mogelijk te beperken door gedurende die uren een aangepast, zo mogelijk verkeersafhankelijk, regelprogramma te hanteren. Scheiding van potentieel conflicterende verkeersstromen, afkomstig van dezelfde kruispuntas, door middel van verkeerslichten zal doorgaans een gunstig effect op de verkeersveiligheid hebben. Maar men moet bedenken dat de rood-lichtacceptatie van groepen verkeersdeelnemers bij verdergaande scheiding zal afnemen. Met enige voorzichtigheid kan worden gesteld dat coördinatie van verkeerslichten op een route of binnen een wegennet een gunstige invloed heeft op de veiligheid van voetgangers en automobilisten.

	voorperiode	naperiode	reductie
alle geregistreerde ongevallen	516 (100%)	238 (100%)	54%
ongevallen met gewonden en/of doden	166 (32%)	79 (33%)	52%

Tabel 1. Ongevallen op 26 kruispunten en 14 T-aansluitingen binnen de bebouwde kom van Stockholm en Gotenburg gedurende een periode vóór en een periode na plaatsing van verkeerslichten (bron: Gunnarsson & Olsson, 1974b).

	voorperiode	naperiode	reductie
alle geregistreerde ongevallen	218 (100%)	91 (100%)	58%
daarbij betrokken:			
- motorvoertuigen	367	135	63%
- bromfietsen	39	32	18%
- fietsen	25	10	60%

aantal letselongevallen	64 (29%)	30 (33%)	53%
aantal slachtoffers:			
- inzittenden van mvtg.	39	6	85%
- bromf.bestuurder/pass.	26	19	27%
- fietsers	15	8	47%

Tabel 2. Ongevallen op 19 kruispunten binnen de bebouwde kom van Eindhoven gedurende een periode vóór en een periode na plaatsing van verkeerslichten (bron: Gemeente Eindhoven, 1980).

	binnen bebouwde kom				buiten bebouwde kom			
	kruispunt		wegvak		kruispunt		wegvak	
	aant.	%	aant.	%	aant.	%	aant.	%
dodelijke ongevallen								
(A)								
- totaal	1166	100	1644	100	1005	100	2887	100
- met fietsers	434	37,2	330	20,1	298	29,7	354	12,3
- met bromfietsers	276	23,7	316	19,2	212	21,1	393	13,6

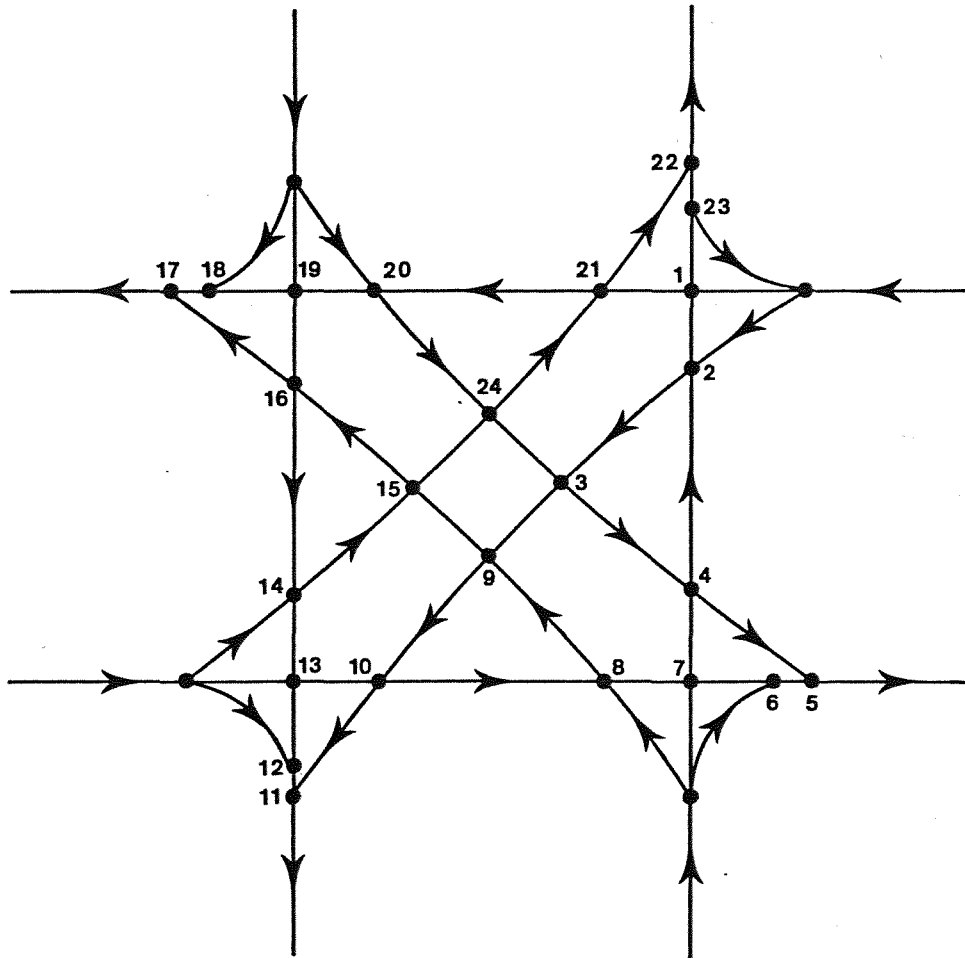
ongevallen met								
gewonden (B)								
- totaal	58659	100	57612	100	11702	100	28723	100
- met fietsers	14602	24,9	13227	23,0	1508	12,9	3688	12,8
- met bromfietsers	26331	44,9	24409	42,4	3922	33,5	7924	27,6

A / (A + B) x 100								
- totaal	1,9		2,8		7,9		9,1	
- met fietsers	2,9		2,4		16,5		8,8	
- met bromfietsers	1,0		1,3		5,1		4,7	

Tabel 3. Dodelijke ongevallen en ongevallen met uitsluitend gewonden op kruispunten en wegvakken binnen en buiten de bebouwde kom gedurende de jaren 1974 t/m 1976 (bron: CBS).

	voorperiode jan. '72 t/m okt. '74	naperiode jan. '75 t/m juni '76
proefgroep (18 kruispunten)	5,41	0,61
controlegroep (27 kruispunten)	3,24	1,61

Tabel 4. Gemiddeld aantal ongevallen per maand gedurende de periode 00.00-07.00 uur (bron: Gemeente Eindhoven, 1977).



Afbeelding 1. Grafische weergave van conflictpunten op een kruispunt (bron: Hakkert & Mahalel, 1978).

LITERATUUR

Baier, H. & Schlabbach, K. (1976). Linksabbiege-Unfälle an Lichtsignalanlagen in Darmstadt. Strassenverkehrstechnik 20 (1976) 6: 197 t/m 204.

Baier, H. & Schlabbach, K. (1981). Linksabbiege-Unfälle an Lichtsignalanlagen in Darmstadt. Vorher-/Nachher Untersuchung. Strassenverkehrstechnik 25 (1981) 3: 71 t/m 78.

Beumer, C. & Zwart, A. (1980). Verkeersveiligheidsaspecten op met verkeersregelinstantaties beveiligde aansluitpunten in Gelderland. Verkeerskunde 31 (1980) 9: 465 t/m 469.

Box, P.C. & Associates (1970). Traffic Control and Roadway Elements - Their Relationship to Highway Safety/Revised. Chapter 4, "Intersections". Highway Users Federation for Safety and Mobility, 1970.

Gemeente Eindhoven (1977). Beveiliging ... ook 's nachts. Hoofdafdeling Verkeer van de Dienst Ruimtelijke Ordening en Verkeer, Gemeente Eindhoven, Eindhoven, 1977.

Gemeente Eindhoven (1980). Nota Signalisatie en Verkeersveiligheid. Hoofdafdeling Verkeer van de Dienst Ruimtelijke Ordening en Verkeer, Gemeente Eindhoven, Eindhoven, 1980.

Gunnarsson, S.O. & Olsson, L. (1974a). Traffic accidents in urban areas, 1. Analysis of traffic accidents at intersections, Göteborg, 1971. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Stadsbyggnad, Göteborg, 1974.

Gunnarsson, S.O. & Olsson, L. (1974b). Traffic accidents in urban areas, 2. Analysis of traffic accidents before respectively after signal regulation of intersections. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Stadsbyggnad, Göteborg, 1974.

Hakkert, A.S. & Mahalel, D. (1978). Estimating the number of accidents at intersections from a knowledge of the traffic flow on the approaches. *Accident Analysis & Prevention* 10 (1978): 69-79.

Harders, J. (1981). Untersuchungen über die zweckmässigste Dauer der Gelbzeit an Lichtsignalanlagen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 27 (1981) 1: 26-31.

Jouve, J.P. (1977). Typologie des accidents des deux-roues légers en Ile de France. *TEC* (1977) 23: 8-12.

Knoflacher, H. (1971). Zusammenhang zwischen Gelbphasendauer und Unfallhäufigkeit an Signalgeregelten Kreuzungen. *Zeitschrift für Verkehrsrecht* 16 (1971) 9: 252-256.

Kockelke, W. (1980). Besonderheiten des Verkehrs an signalgeregelten Knotenpunkten bei Nacht. *Polizei Technisch Verkehrsschrift* 1/80: 1-5.

Kurzak, H. (1974). Steuerung und Bewertung verkehrsabhängiger Signalanlagen im Stadtstrassenetz. *Strassenbau und Strassenverkehrstechnik*, Heft 172, 1974.

Moore, S. & Lowrie, P.R. (1976). Further on the effects of co-ordinated traffic signal systems on traffic accidents. *Proceedings of the Australian Road Research Board*, Volume 8 (1976): 10-15.

Pfundt, K. (1979). Abschalten von Lichtsignalanlagen. *Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung* Nr. 15, 1979.

SVT (1981). Enkele aspecten ten aanzien van fiets- en bromfietsvoorzieningen op met verkeerslichten geregelde kruispunten. *Mededeling 10 van het Studiecentrum Verkeerstechniek, Driebergen-Rijsenburg*, 1981.

Zibuschka, F. (1979). Analyse charakteristischer Unfalltypen signalgeregelter Knotenpunkte. Strassenverkehrstechnik 23 (1979) 6: 188-190.

Zibuschka, F. (1980). Linksabbiege-Unfälle an Signalgeregelten Kreuzungen. Strassenverkehrstechnik 24 (1980) 3: 101-103.

Zibuschka, F. & Svec, H. (1979). Unfälle an signalgeregelten Kreuzungen. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 25 (1979) 4: 172-175.