

Mededeling: 22

DI = 180749



**Criteria voor het plaatsen van verkeerslichten
buiten de bebouwde kom**

Z3526

Studiecentrum Verkeerstechniek

Het studiecentrum heeft tot doel:

- a. het bevorderen van studie en onderzoek op het gebied van de wegverkeerstechniek en de bevordering van de coördinatie van studies en onderzoeken;
- b. het verzorgen van de overdracht van kennis en ervaring op het gebied van de wegverkeerstechniek.

Bureau:

Studiecentrum Verkeerstechniek

Hoofdstraat 91, Driebergen

Postadres: Postbus 163

3970 AD Driebergen-Rijsenburg

Telefoon : 03438-18504

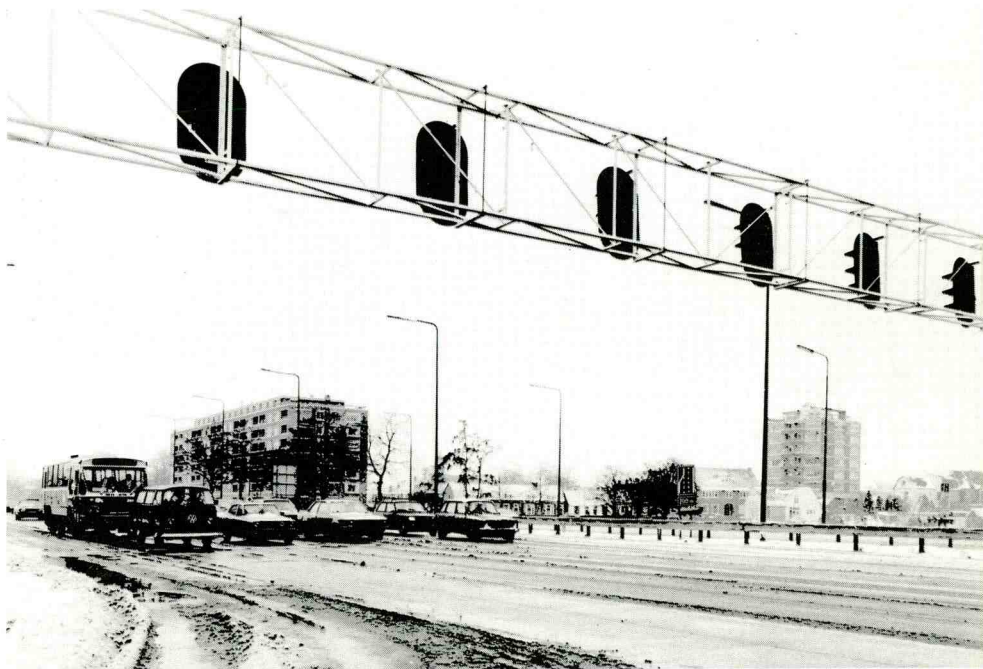
Postgiro : 1736016

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT
NR. Z3526 BDM

BIBLIOTHEEK
Bouwdienst Rijkswaterstaat
Postbus 20.000
3502 LA Utrecht



CRITERIA VOOR HET PLAATSEN VAN VERKEERSLICHTEN
BUITEN DE BEBOUWDE KOM



Het Studiecentrum Verkeerstechniek en degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verzamelen - volgens de huidige stand van wetenschap en techniek - van de in deze publikatie vervatte gegevens. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat zich onjuistheden in deze publikatie bevinden. Degene die van deze publikatie gebruik maakt, aanvaardt daarvoor het risico. Het Studiecentrum Verkeerstechniek sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

CIP-GEGEVENS

Criteria

Criteria voor het plaatsen van verkeerslichten buiten de bebouwde kom / (Studiecentrum Verkeerstechniek). - Driebergen:
Studiecentrum Verkeerstechniek. - III. - (Mededeling /
Studiecentrum Verkeerstechniek; 22)

Met samenvatting in het engels. - Met lit. opg.

ISBN 90-6628-017-4

SISO 377.5 UDC 656.057

Trefw.: verkeerstechniek.

Deze tekst valt onder bescherming van de auteurswet.

De auteursrechten berusten bij het Studiecentrum Verkeerstechniek (SVT),
Postbus 163, 3970 AD Driebergen-Rijsenburg.

INHOUD

	Blz.
Voorwoord van het Bestuur	5
Samenvatting; Summary	6
1 Inleiding	7
2 Verkeersafwikkeling	11
3 Objectieve onveiligheid	23
4 Subjectieve onveiligheid	31
5 Milieu-aspecten	33
6 Energieverbruik	37
7 Kosten	39
8 Overige aspecten	41
9 Nieuwe ontwikkelingen	43
10 Afweging	45
Literatuurlijst	49
Bijlage: De rekenmethode-Harders	53

VOORWOORD VAN HET BESTUUR

Bij haar oprichting op 16 november 1978 kreeg de SVT-werkgroep "Criteria voor het plaatsen van verkeerslichten buiten de bebouwde kom" de volgende taakomschrijving mee:

"Het opstellen van criteria welke kunnen worden gehanteerd bij het beslissen of een buiten de bebouwde kom gelegen kruispunt of oversteekplaats al dan niet van verkeerslichten moet worden voorzien."

Voor u ligt het resultaat van de werkgroepactiviteiten. Dit produkt wijkt wellicht enigermate af van wat op grond van de taakomschrijving mocht worden verwacht. In deze mededeling staan geen harde normen in de geest van: "bij een voertuigintensiteit van I_1 of hoger op weg 1 en I_2 of hoger op weg 2 dient een installatie te worden geplaatst". In plaats daarvan geeft de werkgroep een overzicht van de aspecten die voor de beslissing van belang zijn, en geeft zij aan op welke wijze deze aspecten in het beslissingsproces kunnen worden verwerkt.

Een gezamenlijke afweging van veiligheid, aantallen stops, wachttijd, milieu, energie, kosten en dergelijke met behulp van harde grenswaarden is niet mogelijk. Wel geeft de werkgroep, daar waar mogelijk, aanbevolen grenswaarden per aspect.

Tot slot zij nog opgemerkt dat veel van het hier gepresenteerde ook binnen de bebouwde kom toepasbaar is.

Naar de mening van het Bestuur levert deze mededeling een zinvolle bijdrage aan de besluitvormingsprocessen ten aanzien van het al dan niet plaatsen van verkeerslichten.

Het Bestuur spreekt zijn dank uit aan de leden van de werkgroep, te weten de heren:

ir. A. van Goor, voorzitter	Gemeentewerken Emmen
ir. H.L. Stembord, secretaris	Rijkswaterstaat - DVK
ing. C. Beumer	Provincie Gelderland - Dienst WVG
ir. H.R. Buijn	Bureau Goudappel Coffeng BV
ir. Th.H.J. Muller	TH Delft - afd. Civiele Techniek
ir. M. Slop	Gemeente Utrecht - Dienst voor Ruimtelijke Ordering (thans SVT)

ing. H.J. Vrieling
dr. H.J. van Zuylen
alsmede aan de heren dr.ir. W.A.L. Cobben en ir. A. Hoogvorst, die in een eerder stadium lid zijn geweest van de werkgroep, en de heren ing. A.J. Jansen en ir. H.J. Moning, die in het kader van hun studie een bijdrage hebben geleverd aan het werk van deze werkgroep.
De begeleiding vanuit het SVT had plaats door ir. T. de Wit.

Het Bestuur van het Studiecentrum Verkeerstechniek,
Driebergen-Rijsenburg,
november 1983.

SAMENVATTING

Deze mededeling geeft criteria voor het plaatsen van verkeersregelinstallaties (VRI's) op kruispunten buiten de bebouwde kom. Veel van het gepresenteerde is overigens ook toepasbaar op kruispunten binnen de bebouwde kom.

De criteria hebben betrekking op de volgende aspecten:

- verkeersafwikkeling: hierbij wordt aangesloten bij het intensiteitscriterium van Slop en de rekenmethode van Harders; ook wordt gewezen op de methoden CAPCAL, SIGSET, SIGSIM en FLEXSYT (hoofdstuk 2);
- objectieve en subjectieve onveiligheid: hier worden onder andere resultaten gepresenteerd van een analyse van ongevallen op ruim 100 kruispunten in Gelderland (hoofdstukken 3 en 4);
- milieu-aspecten en energieverbruik: aan de orde komen geluidhinder, luchtverontreiniging en brandstofverbruik, voorzover beïnvloed door een VRI (hoofdstukken 5 en 6);
- aanleg- en onderhoudskosten: deze mogen niet worden onderschat (hoofdstuk 7);
- overige aspecten (hoofdstuk 8).

In hoofdstuk 9 wordt ingegaan op enkele nieuwe ontwikkelingen.

De huidige waardering van de verschillende aspecten wordt besproken in hoofdstuk 10. De werkgroep heeft geen voorkeur voor een bepaalde waarderingsmethode. Daar de afweging in elke situatie anders kan uitvallen, heeft zij zich beperkt tot het aangeven van enkele methoden.

SUMMARY

This SVT report deals with criteria for traffic signal installation on rural intersections. However, much of the information applies to urban areas as well. The criteria involve the following influences on signal installation:

- traffic flow;
- accident rates and perception of safety;
- noise and air-pollution;
- energy consumption;
- cost of installation and maintenance.

The concluding chapter describes ways of combining these different criteria.

Het plaatsen van verkeerslichten betekent een ingrijpende verandering in de situatie en de verkeersafwikkeling op een kruispunt. De lichten vullen door hun werking de geldende voorrangsregeling aan, de vormgeving van het kruispunt wordt vaak gewijzigd, de weggebruikers reageren anders, enzovoorts. Omdat al deze veranderingen tegelijk komen, is een uitvoerige overweging of verkeerslichten nodig zijn een vereiste.

Aan verkeerslichten worden vele gunstige effecten toegedacht. Een stagnerende verkeersafwikkeling kan worden verbeterd, het aantal en de ernst van de ongevallen kunnen afnemen, oversteekmogelijkheden kunnen worden gecreëerd en hoge snelheden over het kruisingsvlak kunnen worden beperkt. Deze positieve effecten zijn vaak voldoende geweest voor de beslissing om verkeerslichten te plaatsen. Het blijkt dat dit een onjuiste gang van zaken is. Er zijn namelijk ook vele negatieve effecten. Het ook in beschouwing nemen hiervan kan leiden tot een heel andere beslissing. Het door de werkgroep verrichte onderzoek naar de gevolgen voor het aantal en de ernst van de ongevallen levert op het punt van de verkeersveiligheid belangrijke gegevens; niet alles blijkt positief te werken.

Verder verminderen verkeerslichten de vlotte doorstroming op een voorrangsweg, die dan minder aantrekkelijk wordt en een andere routekeuze kan veroorzaken. Het aantal stoppende en weer optrekkende voertuigen neemt toe en daarmee het lawaai en de stank. Ook ontstaan er kosten voor aanschaf en voor onderhoud. Het beslissen over het plaatsen van verkeerslichten kan alleen weloverwogen gebeuren als alle positieve en negatieve gevolgen bekend zijn.

In het volgende zullen alle aspecten worden besproken die bij de plaatsing van verkeerslichten een rol kunnen spelen. De tot nu toe bekende gegevens zijn steeds opgenomen. Zo mogelijk is aangegeven hoe elk aspect als criterium voor de plaatsing kan worden gebruikt. Een criterium is een maatstaf bij een beoordeling. Het is een middel dat wordt gebruikt om een bepaald aspect te kunnen beoordelen. Het woord "criterium" wordt ook gebruikt voor de toegestane grenswaarde van hetgeen wordt beoordeeld. Voor deze grenswaarde van een criterium wordt hier terwille van de duidelijkheid de term "norm" toegepast. Zo kan bij een beoordeling van het aspect verkeersafwikkeling de wachttijd als criterium worden gekozen. Als deze wachttijd een aangenomen norm overschrijdt, wordt een bij die norm behorende maatregel nodig. Bij een ongevallencriterium wordt de situatie beoordeeld naar het aantal ongevallen en/of de ernst ervan. Het vaststellen van een norm helpt daarbij om te kunnen aangeven of het aantal te groot is.

Deze mededeling geeft de informatie die momenteel over de diverse criteria beschikbaar is. Zo mogelijk wordt daarbij een norm gegeven voor de beslissing of verkeerslichten al dan niet moeten worden geplaatst. Deze normen hangen samen met de te verwachten effecten van verkeerslichten. Het blijkt evenwel dat deze effecten moeilijk zijn te bepalen en dat er nog te weinig onderzoeksresultaten van bekend zijn. Naar een aantal effecten heeft de werkgroep nader onderzoek verricht. Zou van alle belangrijke aspecten bekend zijn welk effect de verkeerslichten daarop hebben, dan zou naast het gebruik van normen ook de methode van het vergelijken van de mogelijke alternatieven kunnen worden gebruikt. Dan kan het beste alternatief worden gekozen.

De criteria die kunnen worden gebruikt, moeten per geval worden gezien, afhankelijk van de beschikbare gegevens. Het ongevallencriterium bijvoorbeeld kan in bestaande situaties vaak wel worden gebruikt, maar voor nieuw aan te leggen kruispunten is dit niet mogelijk. Wel kan in sommige gevallen een schatting worden gemaakt.

De werkgroep heeft zich uitsluitend beziggehouden met kruispunten buiten de bebouwde kom. De aanpak van de onderscheiden aspecten kan echter ook voor kruispunten binnen de bebouwde kom worden gebruikt, hoewel de normen daar anders zijn. Belangrijke verschillen liggen in de samenstelling van het verkeer, in de gereden snelheden en in de afstanden tussen de kruispunten. Daarnaast wordt buiten de bebouwde kom de beslissing beïnvloed door de indeling van de wegen in categorieën en de daarmee samenhangende gewenste kwaliteit van de verkeersafwikkeling. Deze kwaliteit weegt zwaarder bij wegen van een hogere categorie en met een belangrijkere netwerkfunctie.

Kruispunten die formeel binnen de bebouwde kom liggen maar overwegend kenmerken van het gebied buiten de bebouwde kom hebben, vallen naar het oordeel van de werkgroep onder deze studie.

De opbouw van deze mededeling is als volgt.

Hoofdstuk 2 behandelt de verkeersafwikkeling. Er wordt ingegaan op de intensiteiten, capaciteiten en wachttijden, de berekeningsmethoden hiervoor en de intensiteitsnorm van Slop.

Hoofdstuk 3 gaat over de ongevallen, het effect van verkeerslichten op het aantal en de ernst ervan en over de resultaten van onderzoek door de werkgroep.

Hoofdstuk 4 geeft een inzicht in de problematiek van de subjectieve onveiligheid en de beleving van de verkeerssituatie door de weggebruikers.

Hoofdstuk 5 behandelt de milieu-aspecten. De werkgroep meent dat deze geen doorslaggevende rol zullen spelen, maar wel aan de orde zijn bij twijfelgevallen. Rekenregels voor extra geluid en uitlaatgassen worden gegeven.

Hoofdstuk 6 bevat hetzelfde voor het energieverbruik, dat met name van belang is bij de keuze tussen verkeerslichten en andere voorzieningen.

Hoofdstuk 7 behandelt het kostenaspect, dat ook een rol bij de beslissing speelt.

Hoofdstuk 8 geeft een korte opsomming van bijzondere gevallen, die aanleiding kunnen zijn om verkeerslichten te plaatsen, zonder dat de noodzaak daartoe uit het voorafgaande blijkt.

Hoofdstuk 9 geeft aan welke nieuwe ontwikkelingen in 1983 aan de werkgroep bekend waren.

Hoofdstuk 10 geeft enkele voorbeelden voor een afwegingsproces.

Er zijn meer werkgroepen die zich met verkeerslichten bezig houden.

Twee zijn in dit kader van belang:

- de RONA-werkgroep "Geregelde Kruispunten" en
- de Ministeriële Werkgroep Verkeerslichten.

De eerste heeft in november 1981 de voorlopige richtlijnen voor kruispunten met verkeerslichten buiten de bebouwde kom uitgebracht, waarin alle benodigde informatie wordt gegeven over de uitvoeringsvorm van een met verkeerslichten uitgerust kruispunt, inclusief de plaatsing van de lantaarns, masten, stopstrepen, enzovoorts.

De tweede heeft op 16 juni 1982 een rapport "Regelgeving Verkeerslichten" uitgebracht, waarin enerzijds de bestaande wettelijke regelingen en juridische achtergronden worden gegeven en anderzijds voorstellen worden gedaan voor wijzigingen en uitbreidingen daarvan.

Als wordt besloten verkeerslichten te plaatsen, beveelt de werkgroep aan voor de uitvoering de voorlopige richtlijnen van de RONA te volgen en de regeling te maken binnen de juridische mogelijkheden die nu worden geboden.



2.1 Algemeen

De verkeersafwikkeling op een kruispunt wordt bepaald door de hoeveelheid verkeer, de samenstelling ervan, de vormgeving van het kruispunt en de bestaande regelingen. De beschrijving ervan wordt gegeven door de intensiteiten, de capaciteiten, de wachttijden en hun verdelingen.

De kwaliteit van de verkeersafwikkeling kan worden beschreven aan de hand van het oversteekproces, of bij afslaand verkeer het invoegproces. Oversteken kan als er een voldoende groot hiaat valt in een te kruisen verkeersstroom waaraan voorrang moet worden verleend. Dit hiaat moet tenminste gelijk zijn aan de tijd die het kost om de verkeersstroom te kruisen. De grootte van de hiaten is afhankelijk van de intensiteit: bij 1 voertuigen per uur is de gemiddelde volgtijd $t = 3.600:1$ seconden. Het gemiddelde hiaat is iets korter omdat de tijdsduur waarin een voertuig op het kruispunt aanwezig is, van de volgtijd moet worden afgetrokken.

Maar de hiaten zijn niet alle even groot. Grotere en kleinere hiaten komen ook voor. Hoe groter het hiaat, des te kleiner de kans dat het voorkomt. Bij vorming van clusters komen kleine hiaten vaker voor dan grote. Het aantal keren dat in een uur een hiaat van bepaalde grootte voorkomt, wordt gegeven door een kansverdeling. Bij een lage intensiteit is het gemiddelde hiaat groot en is de kans op een hiaat van voldoende tijdsduur ook groot. Neemt de intensiteit toe, dan neemt deze kans af. Is het gemiddelde hiaat veel kleiner dan het benodigde hiaat, dan is de kans om te kunnen oversteken gering en zal er lang moeten worden gewacht. Daardoor is ook de wachttijd afhankelijk van de intensiteit van de te kruisen verkeersstroom. Wanneer nu deze intensiteit een tijd lang erg hoog wordt, kan het wachten zó lang duren, dat er meer voertuigen uit de zijweg aankomen dan er kunnen oversteken. Met als gevolg dat een capaciteitsprobleem ontstaat.

Naast de intensiteit op de te kruisen voorrangsweg is dus ook de intensiteit van het naderende verkeer op de zijweg van invloed. Bij toenemende intensiteiten wordt de verkeersafwikkeling slechter, totdat een situatie ontstaat waarin zo vaak problemen optreden, dat de grens van het aanvaardbare is bereikt. Doorgaans is dit laatste al het geval voordat van echte capaciteitsproblemen sprake is.

De berekeningen van wachttijden en capaciteiten op ongeregelde kruispunten zijn vrij moeilijk en er zijn veel gegevens voor nodig. Terwille van de eenvoud kan gebruik worden gemaakt van de intensiteiten alleen, om de

kwaliteit van de verkeersafwikkeling te beschrijven. Wel moeten dan de belangrijkste andere factoren die van invloed zijn op het oversteekproces in aanmerking worden genomen. Dit zijn het aantal te kruisen rijstroken, het aantal opstelstroken in de zijweg en van het verkeer op de hoofdweg de gereden snelheid. Hiermee kan de verkeersafwikkeling op een kruispunt globaal worden beoordeeld aan de hand van de intensiteiten en ontstaat het intensiteitscriterium.

Door dit criterium nader uit te werken en daaraan normen toe te voegen kan het worden gebruikt om de noodzaak of het ongewenst zijn van verkeerslichten te bepalen aan de hand van deze gegevens. Deze algemene benadering voldoet voor kruispunten met een normaal intensiteitspatroon (zie paragraaf 2.2). Bijzondere situaties, bijvoorbeeld met relatief veel linksafslaand verkeer, verlangen een andere aanpak, waarbij de grootheden die de kwaliteit van de verkeersafwikkeling bepalen, moeten worden berekend. Een aantal rekenmethoden is hiervoor beschikbaar. Het inzicht in het probleem wordt daarmee sterk vergroot, maar een norm zal uit ervaring moeten worden toegevoegd (zie paragraaf 2.3).

Het vergelijken van een situatie zonder verkeerslichten met dezelfde situatie met verkeerslichten, kan ook een hulpmiddel zijn. In Engeland is dit zelfs de eerste actie, waarbij een reductie van minimaal 20 % van de totale wachttijd moet worden gehaald om verkeerslichten te rechtvaardigen. Om de situatie met verkeerslichten te kunnen beschrijven is ook een rekenmethode nodig (zie paragraaf 2.4).

2.2 Het intensiteitscriterium en de normen volgens Slop

Het intensiteitscriterium is in grote lijnen ontworpen in de Verenigde Staten. Een nadere uitwerking ervan en een toetsing van de bruikbaarheid in Nederland zijn verricht door Slop (1972, 1975). Hierbij worden twee snelheden onderscheiden: tot circa 50 km/h en hoger dan circa 50 km/h. Dit zijn de werkelijk gereden snelheden. Buiten de bebouwde kom wordt alleen het laatste geval beschouwd. De drukste weg wordt aangemerkt als hoofdweg en wordt verondersteld voorrangsweg te zijn. Verder worden vier typen kruispunten onderscheiden: van een klein kruispunt met één strook per naderingsrichting tot een kruispunt met twee of meer stroken in elke naderingsrichting.

Dit intensiteitscriterium gaat uit van het achtste drukste uur (zie echter ook Wilson, 1982) van een gemiddelde dag, hetgeen betekent dat de intensiteiten die worden gebruikt in de grafieken en formules, op een gemiddelde dag tijdens acht uren worden bereikt of overschreden. De spitsuren

zijn dus niet doorslaggevend, evenmin als eventuele andere korte piekbelastingen. Deze mogen geen maatstaf voor de beoordeling vormen bij verkeerslichten die tenminste van 7 tot 19 uur onafgebroken zullen werken. Bij spitsintensiteiten die ver boven het gemiddelde liggen, zoals dat voorkomt bij fabrieksuitgangen, is geen sprake van de gebruikelijke intensiteitsverdeling en een normale situatie. Een andere aanpak is dan nodig (zie paragraaf 2.3) en een regelinstallatie die maar gedurende enkele korte perioden werkt, kan dan worden overwogen.

Het uitgangspunt dat het oversteekprobleem afhangt van de intensiteiten, is in de methode gebracht door de intensiteit op de hoofdweg in beide richtingen samen in te voeren en de intensiteit op de zijweg alleen in de drukste naderingsrichting.

De figuren 1 tot en met 4 geven een grafische voorstelling van het criterium voor de vier verschillende kruispuntvormen, die daarbij staan aangegeven.

De krommen voldoen aan de volgende wiskundige vergelijking:

$$(I_h - I_o) \times i_z = P$$

waarin:

I_h = de intensiteit van het rijverkeer op de drukst bereden weg, als som van beide richtingen, in pae/h tijdens het achtste drukste uur van een gemiddelde dag;

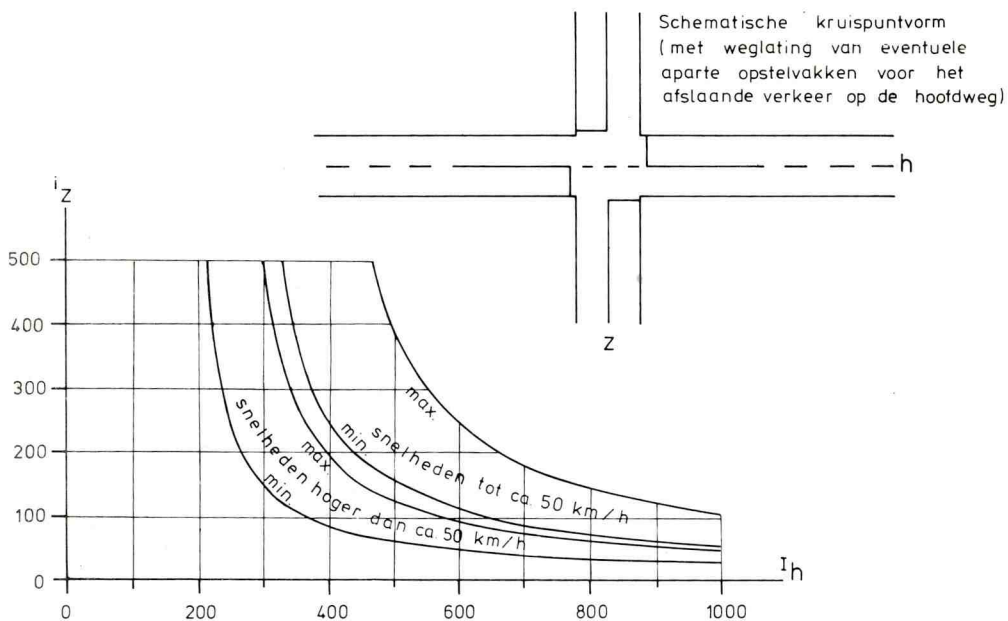
i_z = de intensiteit van het rijverkeer op de kruisende weg, in de drukste naderingsrichting, in pae/h tijdens het achtste drukste uur van een gemiddelde dag;

I_o = een correctieterm;

P = een grenswaarde (gelijk aan P' van Slop (1975)).

I_o en P zijn afhankelijk van de vormgeving van het kruispunt en van de gereden snelheden, en zijn voorts verschillend al naar gelang het om de minimum- of maximumnorm gaat.

In elke grafiek worden nu, voor snelheden tot 50 km/h en hoger dan circa 50 km/h telkens twee grenslijnen gegeven. De onderste lijn (minimumnorm) sluit aan bij de Amerikaanse waarden, zij het dat de door Slop gebruikte lijn een vloeiend verloop heeft. Is de combinatie van de intensiteiten zo-



I_h = AANTAL P.A.E. TIJDENS HET 8ste DRUKSTE UUR VAN EEN GEMIDDELDE DAG, OP DE HOOFDWEG (SOM VAN DE BEIDE RICHTINGEN)

I_z = AANTAL P.A.E. TIJDENS HET 8ste DRUKSTE UUR VAN EEN GEMIDDELDE DAG, OP DE ZIJWEG, IN DE DRUKSTE NADERINGSRICHTING (ÉÉN RICHTING)

Figuur 1: Het intensiteitscriterium van Slop.

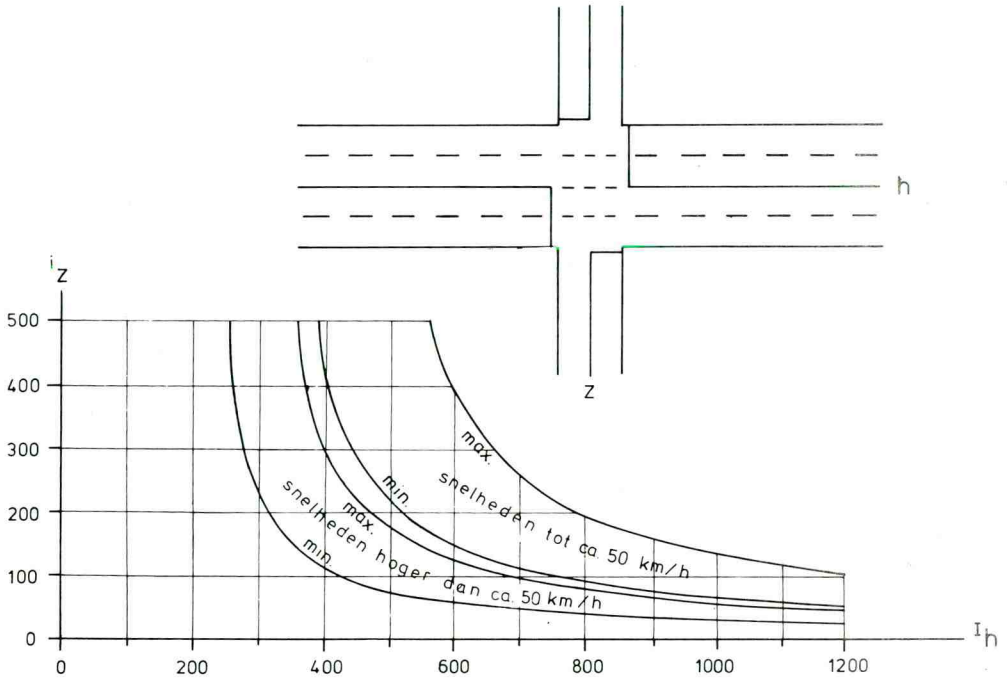
danig dat deze leiden tot een punt onder de onderste lijn, dan is het plaatsen van verkeerslichten ongewenst.

De bovenste lijn (maximumnorm) geeft de ondergrens van het gebied met hoge intensiteiten, waarin verkeerslichten noodzakelijk zijn. Leiden de intensiteiten tot een punt onder deze lijn, dan kan geen harde noodzaak voor het plaatsen van verkeerslichten worden aangegeven.

Het gebied tussen de minimum- en maximumnorm bevat de combinaties van intensiteiten waarbij verkeerslichten niet ongewenst, maar ook niet nodig zijn. Hier zullen andere factoren de doorslag moeten geven.

De grafieken zijn getoetst aan situaties waarin naar aanleiding van problemen bij de verkeersafwikkeling verkeerslichten zijn geplaatst. Zij geven daarom een goede vergelijkingsbasis voor een kruispunt waar verkeerslichten worden overwogen of voor een nieuw aan te leggen kruispunt waarvan alleen de prognosecijfers van de intensiteiten bekend zijn.

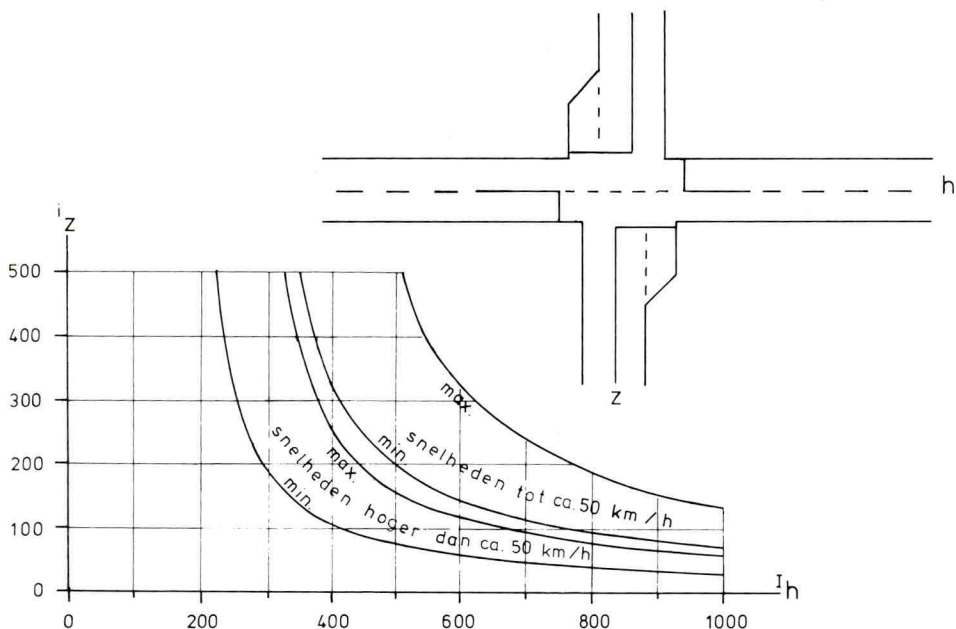
De waarden voor I_0 en P kunnen worden ontleend aan tabel 1.



Figuur 2: Het intensiteitscriterium van Slop.

Tabel 1: Waarden voor I_o en P.

aantal rijstroken op hoofd- weg over grotere afstand in elk van beide rij- richtingen	aantal opstelvakken/ op zijweg, in elk van beide nade- rings- richtingen	bij snelheden tot circa 50 km/h				bij snelheden hoger dan circa 50 km/h				afb.
		min.		max.		min.		max.		
		I_o	P	I_o	P	I_o	P	I_o	P	
1	1	250	37.500	335	66.500	175	18.500	235	32.500	1
2 of meer	1	300	45.000	400	80.000	210	22.000	280	39.000	2
1	2 of meer	250	50.000	335	89.000	175	24.500	235	43.500	3
2 of meer	2 of meer	300	60.000	400	106.500	210	29.500	280	52.500	4

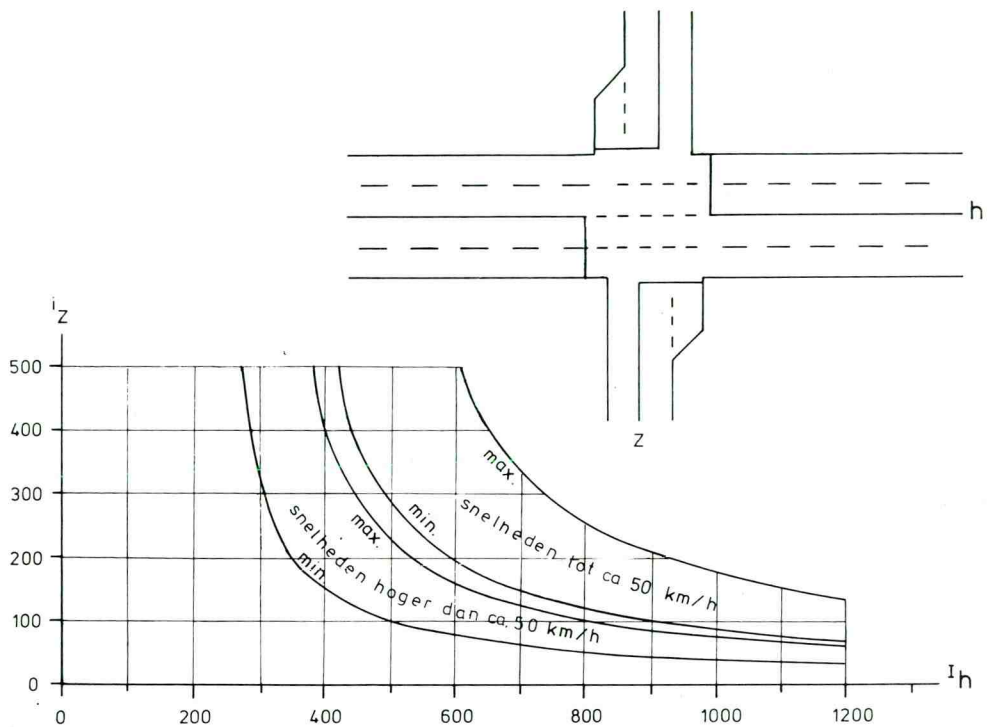


Figuur 3: Het intensiteitscriterium van Slop.

In de praktijk wordt niet alleen nagegaan of een kruispunt al of niet aan de maximum- of minimumnorm voldoet, maar wordt aangegeven in hoeverre dat het geval is. Dit vindt plaats door in een getal uit te drukken in welke mate de intensiteiten de minimumnorm overschrijden. Daarmee kan dan tevens een prioriteitsvolgorde worden aangegeven voor het eventuele aanbrengen van verkeerslichten.

Noemt men de mate van overschrijding van de minimumnorm α (gelijk aan de door Slop (1975) gebruikte waarde α'), dan kan uit het intensiteitscriterium de volgende formule voor α worden afgeleid:

$$\alpha = \frac{i_z}{i_1} \left\{ -1 + \sqrt{1 + \beta \frac{I_h}{z}} \right\}, \text{ waarin } i_1 \text{ en } \beta \text{ parameters zijn.}$$



Figuur 4: Het intensiteitscriterium van Slop.

Tabel 2: Waarden voor i_1 en β .

aantal rijstroken op hoofdweg, over grotere afstand in elk van beide rijrichtingen	aantal opstel- vakken op zij- weg, in elk van beide nade- ringsrichtingen	i_1 in pae/h bij snelheden:		β
		tot circa 50 km/h	hoger dan circa 50 km/h	
1	1	300	210	2,4
2 of meer	1	300	210	2,0
1	2 of meer	400	280	3,2
2 of meer	2 of meer	400	280	2,7

De minimumnorm komt steeds overeen met $\alpha = 1,00$, de maximumnorm met $\alpha = 1,33$.

Bij een aangenomen procentuele groei van de intensiteiten per jaar kan worden uitgerekend wanneer een norm wordt bereikt. Ook kan worden bepaald hoeveel extra verkeer kan worden toegelaten voordat verkeerslichten nodig zijn.

Door het gebruik van pae-waarden kunnen fietsen en bromfietsen mee in beschouwing worden genomen. Daarvoor kiese men bij deze berekening een pae-waarde van 0,3, of, indien de fietsers sterk afwijkend zijn verdeeld over hoofd- en zijweg, een wat hogere waarde voor de hoofdweg (0,4) en een wat lagere voor de zijweg (0,2). Dit verschil geeft een betere beschrijving van het oversteekproces. Bij één passerende fietser op de voorrangsweg (of twee fietsers naast elkaar) is kruisen al niet mogelijk. Fiet-sers uit de zijweg kunnen in één geschikt hiaat naast elkaar oversteken, zodat vier tot vijf fietsers gelijk zijn aan 1 pae.

Bij een brede middenberm worden beide rijbanen als afzonderlijke wegen met eenrichtingverkeer beschouwd. Bij T-aansluitingen kan met hogere waarden voor α worden gerekend (bijvoorbeeld minimumnorm $\alpha = 1,33$ en maximumnorm $\alpha = 1,67$). Kleine verkeerspleinen vatte men op als kruispunten met brede middenberm. Grote verkeerspleinen kan men in eerste instantie opvatten als series T-aansluitingen. De onderlinge beïnvloeding geeft echter een afwijking van het normale beeld.

2.3 Rekenmethoden ongeregelde kruispunten

2.3.1 Algemeen

Het berekenen van de verkeersafwikkeling op ongeregelde kruispunten vergt vrij veel werk. Het resultaat is afhankelijk van de bij de methode gebruikte formules en hun parameters. De werkgroep heeft twee methoden bestudeerd en is van mening dat in Nederland toepasbaar zijn: de uit Duitsland afkomstige methode van Harders (1968) en de uit Zweden afkomstige methode CAPCAL.

2.3.2 De methode-Harders

Door Harders (1968) is een berekeningswijze ontworpen waarmee kan worden nagegaan of een gegeven verkeersbelasting op een bepaald kruispunt kan worden verwerkt. Is dit niet het geval of is de gebleken reservecapaciteit gering, dan kan deze conclusie als criterium worden gebruikt voor het aanbrengen van verkeerslichten. Daarvoor is het nodig om in aansluiting op de berekeningen van Harders bepaalde grenswaarden te kiezen. Harders geeft deze zelf niet aan. Wel geeft hij een indruk van de wachttijden zonder verkeersregeling.

De berekening wordt uitgevoerd voor het spitsuur. Voor de berekening wordt elke deelstroom op het kruispunt ingedeeld in een klasse, afhankelijk van het aantal andere deelstromen waaraan voorrang moet worden verleend.

De berekening vindt daarna stapsgewijs plaats, te beginnen met de klasse deelstromen die maar aan één andere deelstroom voorrang hoeven te verlenen.

Op een voorrangskruispunt zijn dit de beide rechtsafbewegingen vanaf de ondergeschikte weg; de volgende stappen houden zich dan bezig met het linksafslaan vanaf de voorrangsweg en tenslotte met het linksafslaan vanaf de ondergeschikte weg.

De verkeersdeelnemers die voorrang moeten verlenen, zullen gebruik maken van hiaten in de deelstromen die voorrang hebben. De te hanteren waarde voor de kritieke hiaten hangt onder andere af van de uit te voeren verkeersbeweging en van de gereden snelheden. Hiermee wordt rekening gehouden. Zo ook met eventuele aanwezigheid van hellingen en gecombineerde opstelvakken en met oponthoud door blokkerende voertuigen op het kruisingsvlak bij verschillende kruispuntvormen. De berekeningen worden uitgevoerd in pae, zodat de samenstelling van het verkeer in rekening kan worden gebracht. Dit betekent dat desgewenst ook fietsers en bromfietzers - gewogen - kunnen worden meegeteld.

Voor de werkgroep hebben Buck c.s. (1981) een Nederlandse bewerking van de methode gemaakt, die als bijlage is opgenomen.

Enkele aanvullingen zijn naderhand gepubliceerd (Pitzinger, 1982; Kraus, 1982; Brilon, 1982).

2.3.3 CAPCAL

De naam CAPCAL staat voor een Zweeds computerprogramma dat onder andere twee delen bevat: de berekeningen voor ongeregelde en voor geregelde kruispunten. De berekeningen kunnen ook met de hand worden uitgevoerd. Deze laatste berekeningswijze is voor het SVT vertaald door De Haes (1981). De methode geldt voor conflicten tussen twee kruisende of wevende verkeersstromen waarbij één van beide voorrang heeft.

De gebruikte gegevens zijn dezelfde als bij de methode-Harders. Berekend worden de capaciteiten, belastingsgraden, wachttijden en wachtrijlengten. Bij de wachttijden wordt rekening gehouden met het wachten op eerder aangekomen voertuigen die de andere stroom nog niet hebben gekruist. De methode is alleen toepasbaar bij belastingsgraden kleiner dan 0,8.

2.4 Rekenmethoden geregelde kruispunten

2.4.1 Algemeen

Hoewel bij het beantwoorden van de vraag of verkeerslichten nodig respectievelijk ongewenst zijn, de methode van regelen en het effect daarvan op de verkeersafwikkeling niet aan de orde zijn, wordt hieraan om twee redenen toch aandacht besteed. De eerste reden is dat het in dit hoofdstuk gaat om het verbeteren van een verkeersafwikkeling door het plaatsen van verkeerslichten. Door nu vooraf berekeningen uit te voeren aan de geregelde situatie kan worden bepaald of het gestelde doel ook werkelijk wordt bereikt en of de nadelen voor enkele verkeersstromen niet te groot zijn. Het vergelijken van de kwaliteit van de verkeersafwikkeling met en zonder verkeerslichten geeft een goed inzicht bij de beoordeling van de vraag welke van de twee het beste is.

De tweede reden is dat de werkgroep uit eigen onderzoek heeft geconstateerd dat de methode van regelen invloed heeft op de vermindering van het aantal ongevallen (zie hoofdstuk 3).

2.4.2 Starre regelingen

Voor starre regelingen kunnen de formules van Webster (1958) worden gebruikt of het computerprogramma SIGSET (Allsop 1971). Deze leveren de optimale cyclustijd, de gemiddelde wachttijden en de filelengten. In Nederland worden echter buiten de bebouwde kom geen nieuwe installaties meer geplaatst met een starre regeling.

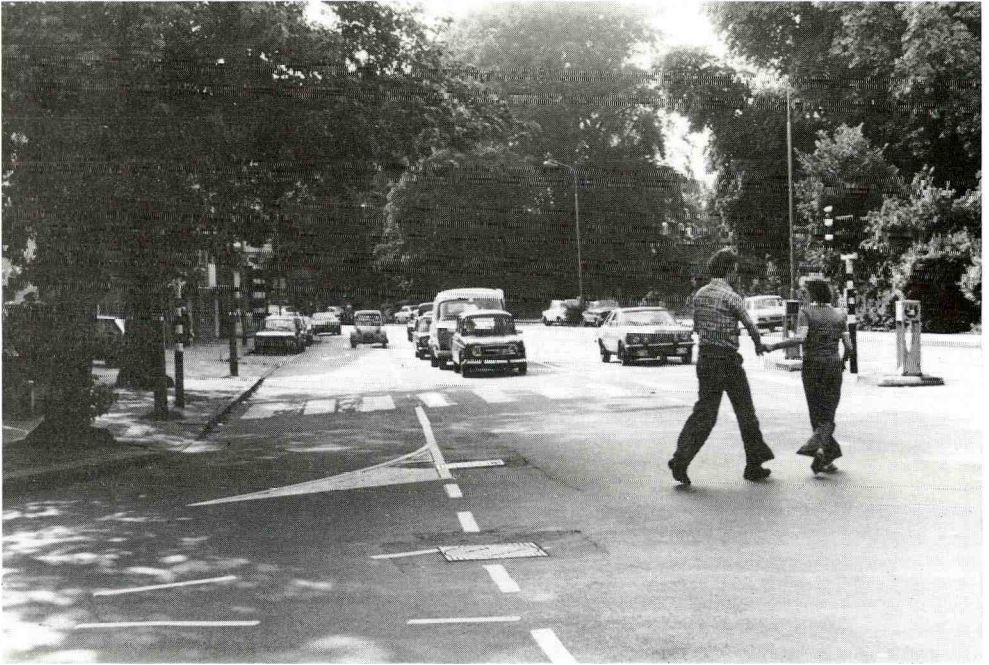
2.4.3 Voertuigafhankelijke regelingen

De berekeningen aan voertuigafhankelijke regelingen kunnen nauwelijks met de hand worden uitgevoerd. Er zijn computerprogramma's ontwikkeld die het verkeersaanbod simuleren en daarmee de werking van een opgegeven voertuigafhankelijke regeling weergeven. Uit de gegevens van de aankomende voertuigen en deze regeling worden de gezochte grootheden berekend. De uitvoer geeft voor elke verkeersstroom de gemiddelde waarde van de wachttijden, de aantallen stops, de filelengten en eventueel de berekende capaciteiten en belastingsgraden. Naast de gemiddelde waarden worden ook de spreidingen gegeven. Van de regeling die ontstaat worden soortgelijke resultaten gegeven voor de cyclustijden en de groentijden. Computerprogramma's die hiervoor kunnen worden gebruikt, zijn SIGSIM (Hansson 1980) en FLEXSYT (Middelham 1979).

De invoer is afhankelijk van het gebruikte programma en is vrij gedetailleerd.

De interpretatie van de geleverde gegevens is niet eenvoudig. De spreiding in de wachttijden, aantallen stops en filelengten is vaak groot, waardoor de gemiddelde waarden weinig zeggen.

Bij de beoordeling van de uitkomsten moet daarom niet alleen rekening worden gehouden met de gemiddelde waarden, maar ook met de spreiding daarin.



3.1 Eigen studies van de werkgroep

Objectieve onveiligheid wordt uitgedrukt in aantallen ongevallen en de ernst ervan. Deze ongevallen vormen vaak de aanleiding om aan het plaatsen van verkeerslichten te gaan denken. Daarnaast wordt het verminderen van het aantal en van de ernst van de ongevallen als uitdrukkelijke reden gebruikt om verkeerslichten te plaatsen.

Uit de literatuur komen weinig concrete gegevens over het effect van verkeerslichten op de ongevallen. Dit is ook het geval voor de diverse onderdelen van de vormgeving van het kruispunt en de toegepaste regelingen. De werkgroep heeft beide aspecten nader onderzocht omdat met juiste gegevens over het effect van maatregelen veel duidelijkheid in deze materie kan worden gebracht.

Om dit onderzoek mogelijk te maken zijn zoveel mogelijk gegevens van de ongevallen op ruim 100 kruispunten in Gelderland verzameld en is hiervan een computerbestand opgebouwd. De gegevens bevatten de kenmerken van de kruispunten, de regelingen en de ongevallen van 1969 tot en met 1981. Op deze kruispunten is in deze periode een verkeersregelininstallatie geplaatst. Het tijdstip van plaatsing op elk kruispunt is bekend en de gegevens zijn er zowel van vóór als na dit tijdstip.

De werkgroep heeft op twee manieren getracht zoveel mogelijk relevante informatie uit dit bestand te halen: enerzijds door via een analyse van het ongevalsproces nauwkeurig na te gaan welk effect elke maatregel afzonderlijk heeft gehad, gerelateerd aan de invloed van aanwezige andere aspecten; anderzijds door van groepen kruispunten de aantallen ongevallen vóór en na het plaatsen te vergelijken, waarbij maar één of twee aspecten als verklarende variabelen worden gebruikt. De tweede manier is toegepast toen bleek dat het aantal ongevallen voor de eerste manier niet voldoende was.

Over de analyse van het ongevalsproces is geschreven door Moning (1982). De resultaten moeten met voorzichtigheid worden gehanteerd, gezien het geringe aantal ongevallen dat overblijft wanneer kruispunten worden vergeleken die alle een aantal kenmerken moeten bezitten en daarbij nog in één of twee kenmerken moeten verschillen. Dit is nodig om bijvoorbeeld een uitspraak te kunnen doen over het effect van verkeerslichten op een kruispunt met linksafvakken op de hoofdweg en een voertuigafhankelijke regeling, bij een conflictvrije en een niet-conflictvrije regeling. Het aantal gewenste combinaties van kenmerken wordt erg groot en daarmee het aantal kruispunten dat daaraan voldoet, klein.

De werkgroep heeft daarnaast een analyse van de ongevallengegevens uit-

gevoerd waarbij telkens groepen kruispunten met elkaar werden vergeleken die in één kenmerk verschilden. De resultaten hiervan zijn interessant voor zover het aantal kruispunten niet te klein werd. In een aantal gevallen was het mogelijk een tweede of derde kenmerk toe te voegen zonder dat het aantal kruispunten te klein werd.

Bij deze analyse moet men steeds aandacht hebben voor twee belangrijke verschijnselen:

- over het algemeen blijkt dat het plaatsen van verkeerslichten gemiddeld over alle beschouwde kruispunten een positief effect heeft gehad; toch waren er een aantal kruispunten, waar juist een negatief effect is opgetreden: dit negatief effect kan toeval zijn geweest - wat ook uit de spreiding naar voren komt - maar kan ook samenhangen met de structurele problemen van het kruispunt; men kan dus nooit vooraf met zekerheid zeggen dat in een volgend geval het gemiddelde resultaat wordt behaald; ook is de spreiding in de uitkomsten zeer groot;
- als één kenmerk wordt onderzocht, kan het effect van het plaatsen van verkeerslichten niet altijd aan dat kenmerk worden toegeschreven; twee of meer kenmerken kunnen steeds tegelijk optreden en het effect kan juist aan een-ander kenmerk liggen; bij de analyse is getracht dit zoveel mogelijk te voorkomen, maar soms was toch onvoldoende bekend om hierover zekerheid te geven.

Bij het onderzoek is telkens de periode van drie maanden vóór tot drie maanden na plaatsing weggelaten, om de invloed van werkzaamheden aan het kruispunt en gewinning te vermijden. Vervolgens is gesteld dat er gegevens beschikbaar moesten zijn van zowel 1,5 jaar vóór als 1,5 jaar na deze perioden. Aan deze eisen voldeden 54 kruispunten. Wordt van deze kruispunten alleen de vraag gesteld wat gemiddeld het effect van het plaatsen van verkeerslichten is geweest, dan blijkt, zonder dat de significantie is berekend, het volgende (tabel 3):

Tabel 3: Aantal ongevallen - naar ernst - op kruispunten voor en na plaatsing van verkeerslichten.

	voor plaatsing	na plaatsing
aantal dodelijke ongevallen	16	2 (- 49 %)
aantal letselongevallen	188	98
aantal ongevallen met u.m.s.	377	392 (+ 4 %)
totaal (54 kruispunten)	581	492 (- 15 %)
gemiddeld per jaar per kruispunt	7,2	6,1

Het aantal ongevallen met dodelijke afloop en/of letsel nam dus circa 50 % af, de ongevallen met uitsluitend materiële schade (u.m.s.) namen in aantal 4 % toe.

Per kruispunt is het aantal ongevallen met dodelijke afloop en/of letsel vóór plaatsing 2,5 per jaar, na plaatsing is dit 1,2; voor de u.m.s.-ongevallen zijn deze aantallen 4,7 en 4,9.

Wanneer bij deze kruispunten wordt gelet op de ligging, dan blijken er opmerkelijke verschillen in de aantallen ongevallen per jaar per kruispunt (tabel 4):

Tabel 4: Gemiddeld aantal ongevallen per jaar op kruispunten voor en na plaatsing van verkeerslichten, naar de ligging van het kruispunt.

ligging van het kruispunt	aantal kruispunten	ongevallen per jaar per kruispunt			
		letsel/dood		u.m.s.	
		voor	na	voor	na
buiten de bebouwde kom	27	3,1	1,4 (- 55 %)	5,6	5,0 (- 11 %)
in het randgebied van de bebouwde kom	14	2,0	1,4 (- 30 %)	4,8	5,2 (+ 8 %)
binnen de bebouwde kom	13	1,8	0,7 (- 61 %)	2,8	4,0 (+ 43 %)

In de praktijk werden verkeerslichten dus binnen de bebouwde kom bij minder ongevallen geplaatst dan buiten de bebouwde kom. De toename van de u.m.s.-ongevallen kwam vooral door de kruispunten binnen de bebouwde kom. In alle gebieden nam de ernst van de ongevallen, althans gemiddeld, af.

Dezelfde analyse is gedaan voor de mate van detectie (tabel 5):

Tabel 5: Gemiddeld aantal ongevallen per jaar op kruispunten voor en na plaatsing van verkeerslichten, naar wijze van detectie.

wijze van detectie	aantal kruispunten	ongevallen per jaar per kruispunt			
		letsel/dood		u.m.s.	
		voor	na	voor	na
zonder detectie	13	1,9	1,6 (- 16 %)	4,3	5,8 (+ 35 %)
met enige detectie	27	2,4	1,1 (- 54 %)	3,5	4,3 (+ 23 %)
met uitgebreide detectie	14	3,2	1,2 (- 63 %)	7,1	5,0 (- 30 %)

Het valt op dat kruispunten met gemiddeld veel ongevallen werden uitgerust met uitgebreide detectie en dat dit het gunstigste resultaat gaf. Wordt alleen buiten de bebouwde kom gekeken, dan valt dezelfde trend waar te nemen.

Als de kruispunten worden verdeeld in groepen naar de toegepaste wachtstandregeling, ontstaat het volgende beeld (tabel 6):

Tabel 6: Gemiddeld aantal ongevallen per jaar op kruispunten voor en na plaatsing van verkeerslichten, naar soort wachtstand.

soort wachtstand	aantal kruispunten	ongevallen per jaar per kruispunt			
		letsel/dood		u.m.s.	
		voor	na	voor	na
wachtstand groen	22	1,8	0,8 (- 56 %)	3,7	4,5 (+ 22 %)
wachtstand rood	11	3,5	1,3 (- 63 %)	7,5	4,2 (- 44 %)
geen wachtstand	21	2,6	1,7 (- 35 %)	4,2	5,6 (+ 33 %)

Hierbij moet men bedenken dat een wachtstand alleen bij detectie mogelijk is.

Het al dan niet conflictvrij zijn van een regeling had een duidelijk effect op het aantal ongevallen na het plaatsen van verkeerslichten (tabel 7):

Tabel 7: Gemiddeld aantal ongevallen per jaar op kruispunten voor en na plaatsing van verkeerslichten, naar conflictvrije of niet-conflictvrije regeling.

type regeling	aantal kruis- punten	ongevallen per jaar per kruispunt			
		letsel/dood		u.m.s.	
		voor	na	voor	na
conflictvrij	32	2,9	1,0 (- 66 %)	5,8	5,0 (- 14 %)
niet conflictvrij	22	2,0	1,6 (- 20 %)	3,0	4,6 (+ 53 %)

Uit deze cijfers blijkt dat een zorgvuldige afweging nodig is en dat nader onderzoek zal moeten aangeven in welke gevallen een conflict kan worden toegelaten en welk soort conflict dit kan zijn.

Tenslotte bleek dat de vormgeving duidelijk van invloed kan zijn. Het gunstige effect van linksafvakken op de hoofdweg zonder verkeerslichten is aangetoond door Beumer en Zwart (1980).

Verkeerslichten kunnen dit effect nog versterken (tabel 8):

Tabel 8: Gemiddeld aantal ongevallen per jaar op kruispunten voor en na plaatsing van verkeerslichten, naar situering van het linksafvak.

situering van het linksafvak	aantal kruis- punten	ongevallen per jaar per kruispunt			
		letsel/dood		u.m.s.	
		voor	na	voor	na
linksafvak in middenberm	29	3,3	1,3 (- 61 %)	5,2	5,1 (- 2 %)
linksafvak in verf	20	1,4	1,2 (- 14 %)	3,8	4,2 (+ 11 %)
geen linksafvak	4	1,5	0,8 (- 47 %)	2,8	4,8 (+ 71 %)

De hier gegeven cijfers kunnen hooguit een indicatie geven voor een kruispunt met een normale vormgeving en intensiteitsverdeling. De praktijkervaring van de provincie Gelderland wordt hiermee evenwel geheel bevestigd. Nader onderzoek zal moeten leren in welke gevallen welke maatregelen nodig zijn om het gunstigste totaaleffect te krijgen.

3.2 Aanpak

Als het aantal ongevallen op een kruispunt aanleiding geeft om te zoeken naar verbeteringen, moet eerst een analyse worden gemaakt van de feitelijke situatie, met name van de vormgeving en de aard van de ongevallen. Pas daarna kan worden beoordeeld of het plaatsen van verkeerslichten de juiste aanpak is. Vaak zal eerst een wijziging van de vormgeving worden voorgesteld en zal het plaatsen van verkeerslichten op de tweede plaats komen.

Begonnen wordt met het vaststellen van de functie van de beide kruisende wegen en de intensiteiten. Hieruit kan worden afgeleid welke hoofdvorm van het kruispunt de meest duidelijke is. De situatie moet immers vooral begrijpelijk zijn. Dat kan bijvoorbeeld niet worden gezegd bij een kruispunt van een drukke doorgaande weg en een stille weg, waarbij de laatste de voorrangsweg is. Dit komt nogal eens voor wanneer de voorrangsweg veel minder druk en belangrijk is geworden door het openstellen van een betere vervangende weg, terwijl het verkeer op de kruisende weg juist is toegenomen. De hoofdvorm van het kruispunt past dan niet meer bij het verwachtingspatroon.

Vervolgens moeten de details van de vormgeving worden bekeken en moet een analyse worden gemaakt van de ongevallen om te zien of vormgevingsaspecten een oorzaak van de problemen kunnen zijn. Het kruispunt moet niet alleen begrijpelijk zijn, maar ook op afstand waarneembaar, overzichtelijk en goed bereikbaar zijn (zie ook RONA, 1981).

Hiervan een aantal voorbeelden. Als blijkt dat het linksafslaan op de hoofdweg een rol speelt bij veel ongevallen, dan kunnen met succes linksafvakken worden aangebracht, al dan niet met een middengeleider (Beumer en Zwart 1980). De vermindering van het aantal ongevallen door deze linksafvakken blijkt groot te kunnen zijn en het later plaatsen van verkeerslichten blijft mogelijk.

Wanneer ernstige flankbotsingen voorkomen doordat automobilisten op de zijweg een kruispunt niet of te laat opmerken, kan de attentie worden verhoogd door een aantal maatregelen, waarvan het aanbrengen van de "RONA-druppel", een korte, brede middengeleider in de zijweg, een erg duidelijke is. Het doorgaande karakter van de weg wordt hierdoor ter

plaatse van het kruispunt onderbroken. In sommige gevallen kan het vervangen van een kruispunt door twee T-aansluitingen een oplossing zijn, vooral bij lange, rechte "polderwegen".

Buiten de bebouwde kom komen veel fietspaden voor die in beide richtingen worden bereden. Als de ongevallen voortkomen uit conflicten met de fietsers en vooral met de bromfietzers op zo'n fietspad, levert het uitbuijen van dit fietspad (met afrembochten) en het "omdraaien van de voorrang" doorgaans een uitstekend resultaat. Het gedwongen afremmen met de plicht om voorrang te moeten verlenen aan het verkeer op de zijweg, is weliswaar geen maatregel die past bij het bevorderen van het fietsen, maar wel een die aansluit bij de kwetsbaarheid van deze weggebruikers. Deze voorziening levert bovendien veel minder vertraging op dan verkeerslichten, die vaak sterk in het nadeel van de fietsers werken.



Bij het wijzigen van de vormgeving kan al rekening worden gehouden met het eventueel later aanbrengen van verkeerslichten. Veel voorzieningen kunnen zowel gunstig werken met als zonder verkeerslichten. Twee maal reconstrueren is dan niet nodig. Hierdoor is het mogelijk eerst de situatie te verbeteren zonder verkeerslichten te hoeven plaatsen, hetgeen veelal de voorkeur heeft. Uiteraard moet na elke wijziging worden bijgehouden hoe het ongevallenbeeld verandert. Bijvoorbeeld door per drie maanden de on-

gevallen te analyseren. Wanneer echter blijkt dat er nog te veel ongevallen gebeuren, dan wel wanneer voor het meest voorkomende type ongeval geen wijziging van de vormgeving kan worden overwogen, kunnen verkeerslichten worden geplaatst. Wel dient het type ongeval met verkeerslichten te kunnen worden bestreden.

Voor nieuw aan te leggen kruispunten ligt de procedure anders. Er zijn dan geen ongevallengegevens bekend. Wel kan meestal een schatting worden gemaakt van de intensiteiten. Met behulp van de door Beumer en Zwart (1980) ontwikkelde grafieken kan dan een schatting worden gemaakt van het te verwachten aantal ongevallen. Indien de gedachte vormgeving in combinatie met de geschatte intensiteiten tot een te groot aantal verwachte ongevallen leidt in de ogen van de beoordelaar, kan een andere vormgeving of het plaatsen van verkeerslichten worden overwogen.

Op het gebied van de verkeersonveiligheid wordt onderscheid gemaakt tussen wat onveilig is en wat als onveilig wordt beleefd. Het eerste wordt wel aangeduid met objectieve verkeersonveiligheid (aantal/ernst ongevallen), het tweede met subjectieve verkeersonveiligheid.

De subjectieve onveiligheid kan eigenlijk alleen maar worden afgemeten aan uitspraken van individuen of groepen mensen. Deze uitspraken kunnen worden gedaan in een enquête of dringen tot beleidsinstanties door via buurtcomités of actiegroepen. De buurtcomités of actiegroepen komen niet alleen in actie omdat de overheid nalaat bepaalde maatregelen te nemen in een situatie die werkelijk onveilig is, maar ook wanneer de overheid geen maatregelen neemt omdat er objectief beoordeeld niets aan de hand is.

Er kan dus een discrepantie bestaan tussen objectieve en subjectieve verkeersonveiligheid. Een eenvoudig overzicht van de vier combinaties, waarin objectieve en subjectieve verkeersonveiligheid kunnen voorkomen, volgt hieronder.

		objectieve verkeersonveiligheid	
		veilig	onveilig
subjectieve verkeersonveiligheid	veilig	1	2
	onveilig	3	4

In de gevallen 1 en 4 bestaat er geen discrepantie tussen objectieve en subjectieve verkeersonveiligheid. Deze discrepantie bestaat wel bij de gevallen 2 en 3.

In geval 2 wordt een verkeerssituatie (subjectief) als veilig beleefd, hoewel objectief kan worden aangetoond dat de situatie onveilig is. Zo vinden er in het verkeer jaarlijks een groot aantal ongevallen plaats doordat autobestuurders met hoge snelheid een kruispunt naderen dat er veilig uitziet en geen aanleiding geeft om langzamer te gaan rijden.

In geval 3 wordt een verkeerssituatie als onveilig beleefd, hoewel er objectief gezien niet van een onveilige situatie kan worden gesproken.

Als een verkeerssituatie als onveilig wordt beleefd kan een compenserend gedrag ontstaan, waardoor de kans op een ongeval wordt verminderd. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren op kruispunten waar het uitzicht slecht is. Automobilisten compenseren dan het risico door dit kruispunt extra voorzichtig over te steken. Een ander voorbeeld betreft een kruispunt waar het verkeer met hoge snelheid overheen rijdt. Dit kan als zeer onveilig

worden beoordeeld door de buurtbewoners, die daarop reageren door hun kinderen zoveel mogelijk van het kruispunt vandaan te houden en door hen te begeleiden bij het oversteken. Op deze manier wordt de kans op een ongeval verminderd, waardoor er objectief gezien een veilige situatie bestaat. De bewoners echter zullen waarschijnlijk ontevreden zijn met de toestand en hieraan uiting geven in acties.

Kennis over de subjectieve beleving van een verkeerssituatie kan veel verklaren in praktijkgevallen waarin verschillen van mening bestaan. Als er vanwege een gevoel van onveiligheid om verkeerslichten wordt gevraagd, is een nader onderzoek naar de oorzaak ervan gewenst. Een goede maatregel kan pas worden genomen als bekend is wat precies het probleem is. Het algemene begrip "gevaarlijk" kan leiden tot het regelen met verkeerslichten van een geheel kruispunt. Maar als het gevoel van onveiligheid alleen ontstaat bij het oversteken van de hoofdweg op één plaats, kan het misschien ook worden weggenomen door een middengeleider van voldoende breedte aan te leggen.

In gevallen als deze, waarin verschil tussen objectieve en subjectieve verkeersonveiligheid bestaat, is het juist om eerst te proberen dit verschil op te heffen. Dit kan door het uiterlijk van een kruispunt niet veiliger te maken dan het werkelijk is. Het gebruik van extra markeringen, rijstrookversmallingen en middengeleiders geeft een discontinuïteit in het wegbeeld die extra aandacht vraagt en duidt op de mogelijkheid van conflicten.

Zijn er geen andere maatregelen te nemen die tot de gewenste verbetering leiden, dan kunnen verkeerslichten worden geplaatst. In dit geval is het dus mogelijk dat het aantal echte ongevallen klein is en geen reden tot enige wijziging geeft. Daar er toch een probleem bij de verkeersafwikkeling bestaat, is een maatregel wel op zijn plaats.

Op dezelfde wijze als bij de ongevallen zou de mogelijkheid tot het vergelijken met andere kruispunten gewenst zijn. Er is echter naar dit aspect nauwelijks onderzoek verricht en er bestaat geen referentiekader voor. Bovendien zijn er meestal geen vlot verkrijgbare gegevens over de mate van de negatieve beleving, om een vergelijking te kunnen maken. Aangezien toch op veel kruispunten door de weggebruikers zelf verkeerslichten worden gewenst omdat men het er gevaarlijk vindt, is de werkgroep van mening dat dit aspect meer aandacht behoeft. Nader onderzoek is daartoe van belang.

5.1 Geluidhinder

Het plaatsen van verkeerslichten leidt tot een ander gedrag van de weggebruikers op en in de buurt van een kruispunt. De geluidproductie verandert daardoor ook. Als er op een hoofdweg veel verkeer is dat zonder verkeerslichten vrijwel ongehinderd met vrij hoge snelheid doorrijdt, zal een verkeersregelininstallatie zeker leiden tot een groter aantal stops op de hoofdweg met daarna weer optrekken tot dezelfde snelheid. Het geluidniveau neemt toe en ook de beleving van het wisselende patroon is zoals bekend negatief. Het stoppen en optrekken van verkeer op de zijwegen verandert veel minder sterk. De toename van de geluidhinder is groter bij een hoger percentage vrachtverkeer. Engels onderzoek heeft aangetoond dat de beleving zelfs bijna geheel afhangt van het percentage vrachtverkeer (Langdon 1976).

Voor berekeningen volgens de Wet geluidhinder worden kruispunten van de eerste en de tweede orde onderscheiden. De eerste orde bevat kruispunten met een totaal van tenminste 2.500 motorvoertuigen per etmaal op drie of meer aansluitende weggedeelten; kruispunten van de tweede orde hebben twee armen met meer dan 2.500 motorvoertuigen per etmaal. Verder wordt gerekend met "gelijkwaardige" en "ongelijkwaardige" kruispunten. Een "gelijkwaardig" kruispunt heeft een intensiteitsverhouding tussen de hoofd- en zijrichtingen van maximaal drie.

De verhoging van de geluidmissie op het kruisingsvlak is:

	gelijkwaardig	ongelijkwaardig
eerste orde kruispunt	+ 2,4 dB(A)	+ 1,6 dB(A) (of + 1,2)
tweede orde kruispunt	+ 2,4 dB(A) (of + 1,6)	+ 1,2 dB(A)

De waarden tussen haakjes gelden bij een groene-golfregeling. Geregelde voetgangersoversteekplaatsen vallen onder "ongelijkwaardige" kruispunten van de tweede orde. De waarden gelden dicht bij het kruispunt; op 150 meter afstand is er geen verhoging meer van de geluidmissie.

In de Wet geluidhinder worden de verhogingen van de geluidmissie echter buiten beschouwing gelaten voorzover het de geluidbelasting buiten de woning betreft.

Een onderzoek van TNO (1980) leidde tot andere waarden dan deze rekenregels aangeven. De verhoging C van de geluidmissie in dB(A) is volgens dit onderzoek te beschrijven door:

$$\begin{array}{ll}
 s \leq -50 \text{ meter} & : C = 0 \\
 -50 \text{ meter} < s \leq 0 \text{ meter} & : C = 10 \log (1 + 4 \cdot q) \\
 0 \text{ meter} < s < 50 \text{ meter} & : C = 10 \log \left[1 - q \cdot \left\{ 1 - 10^{0,35 (1 + \cos 3,6s)} \right\} \right] \\
 50 \text{ meter} \leq s & : C = 0
 \end{array}$$

Hierin is:

s de afstand na de stopstreep en

q het deel van de motorvoertuigen dat moet stoppen.

Deze resultaten zijn vooral anders doordat het al dan niet stoppen van voertuigen in rekening wordt gebracht.

De formules blijken soms hogere waarden te geven dan de wet en tevens grotere verschillen tussen situaties met en zonder groene golf.

De conclusie luidt dat rekening moet worden gehouden met de extra geluidhinder door verkeerslichten, als er woningen op een afstand minder dan 150 meter van het kruispunt staan.

Opgemerkt wordt dat dit tevens een belevingsaspect is en dan strijdig kan zijn met de wensen van de omwonenden die het kruispunt van verkeerslichten zouden willen voorzien.

5.2 Luchtverontreiniging

Buiten de bebouwde kom zal de luchtverontreiniging meestal geen grote rol spelen. De luchtverontreiniging kan worden beschreven met de emissie van de chemische verbindingen NO_x , CO en HC.

Onderzoek in het buitenland heeft geen significant verschil aangetoond in de produktie van NO tussen wel en niet geregelde kruispunten. De produktie van CO en HC kan bij benadering worden gerelateerd aan de wachttijden en de aantallen stops bij een kruispunt volgens de volgende formules:

CO: $l \cdot (0,007 d + 0,002 q + 0,10)$ gram per seconde

HC: $l \cdot (0,009 d + 0,003 q + 0,25)$ gram per seconde

Hierin is:

I de intensiteit in motorvoertuigen per seconde;

d de gemiddelde wachttijd in seconden en

q het percentage motorvoertuigen dat moet stoppen.

Eén stop heeft ongeveer dezelfde uitwerking als 30 seconden wachten. Deze formules zijn afgeleid uit de gegevens die door Sherwood en Bowers (1970) zijn gevonden.

De produktie kan worden verminderd door de wachttijden en de aantallen stops te verminderen (groene golf). Als door het plaatsen van verkeerslichten de totale wachttijd en het totale aantal stops kleiner worden, is het effect op de luchtverontreiniging gunstig, andersom ongunstig.



6.1 Energieverbruik motorvoertuigen

Het plaatsen van verkeerslichten heeft meestal tot gevolg dat het totale brandstofverbruik toeneemt. Vooral het aantal stops, zeker bij hogere snelheden, is daarbij van invloed. Ter vergelijking: bij één stop bij 70 km/h wordt evenveel energie extra verbruikt als bij een wachttijd van 60 seconden. Juist dit aantal stops neemt buiten de bebouwde kom sterk toe als verkeerslichten worden geplaatst: het verkeer op de hoofdweg kon immers - door de meestal genomen voorrangmaatregel - vrijwel ongehinderd doorrijden en wordt nu geconfronteerd met een zeker percentage stops. De volgende formule kan worden gebruikt voor het berekenen van het extra brandstofverbruik per gestopte auto (Van Zuylen 1982):

$$E = 0,7 \cdot 10^{-4} \cdot v + 0,4 \cdot 10^{-5} \cdot v^2$$

Hierin is v de kruissnelheid in km/h, die moet liggen tussen 30 en 70 km/h. Het extra brandstofverbruik loopt bij hogere snelheden snel op. Dit pleit ervoor om het verkeer op de weg waarop met de hoogste snelheden wordt gereden, in het algemeen dus de hoofdweg, zo min mogelijk te laten stoppen.

Het gemiddelde brandstofverbruik van een wachtende auto is 1,1 l/h. De invloed hiervan lijkt gering, maar blijkt op jaarbasis bij een groot aantal auto's toch aanmerkelijk te zijn. Als voorbeeld kan gelden dat, als een gewijzigde situatie ervoor zorgt dat gedurende 12 uren per dag gemiddeld één auto minder staat te wachten, dit al $1,1 \times 12 \times 365 =$ circa 4.800 liter brandstof per jaar bespaart.

Het plaatsen van verkeerslichten leidt er echter vaak toe dat het totale aantal wachtende auto's, door de grote toename daarvan op de hoofdweg, hoger wordt. Hierdoor neemt het brandstofverbruik toe.

Het totale extra brandstofverbruik kan worden berekend met:

$$E_{\text{tot}} = (0,7 \cdot 10^{-4} \cdot v + 0,4 \cdot 10^{-5} v^2) \cdot l_h \cdot q + 1,1 l_h d_h + 1,1 l_z (d_z - d_z^0) \quad (\text{l/h})$$

Hierin is:

E_{tot} : totale extra brandstofverbruik

v : kruissnelheid (km/h)

q : percentage auto's op de hoofdweg dat moet stoppen

d_h : gemiddelde stilstandtijd per voertuig op de hoofdweg (sec)

d_z : idem op de zijweg

d_z^0 : idem op de zijweg in de ongeregelde situatie

l_h : totale intensiteit op de hoofdweg (mvt/h)

l_z : totale intensiteit op de zijweg (mvt/h)

De waarden van de variabelen kunnen worden berekend met de in hoofdstuk 2 genoemde rekenmethoden.

6.2 Energieverbruik verkeersregelininstallatie

Ook de verkeerslichten zelf verbruiken energie. De hoeveelheid is sterk afhankelijk van de omvang van de installatie, het aantal en de soort lampen, enz. De gemiddelde jaarwaarde ligt tussen 17 en 26 MWh, overeenkomend met 10.000 tot 16.000 liter brandstof per jaar. Hierbij kan nog worden opgeteld de energie die nodig is om de installatie te fabriceren en te plaatsen. Hierover zijn geen cijfers bekend.

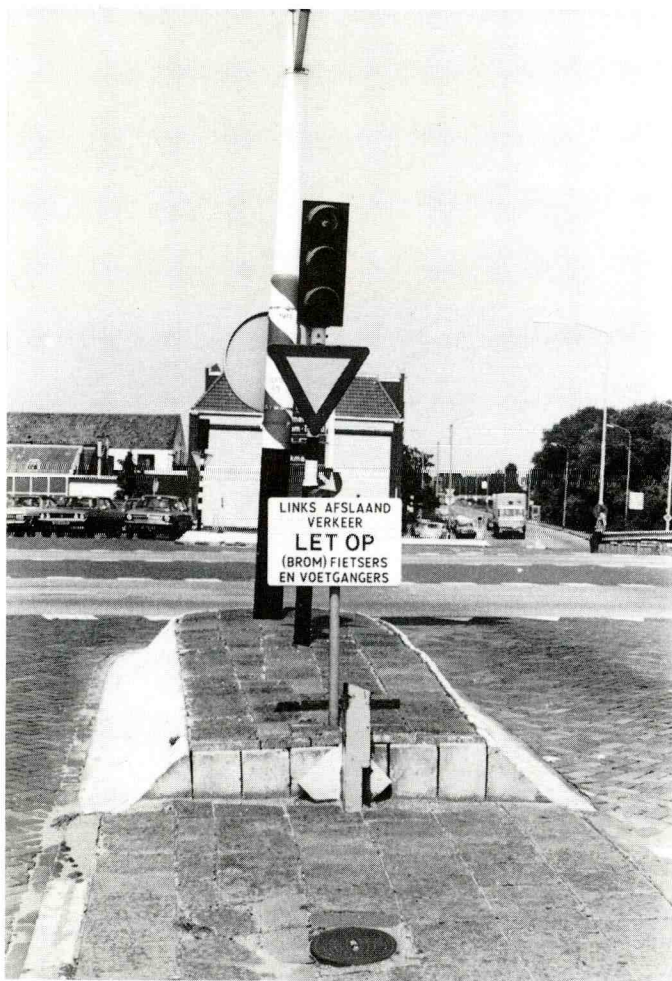
De kosten van een verkeersregelinstallatie worden soms niet tijdig in de besluitvorming betrokken, hoewel deze uiteindelijk wel een rol spelen. Zeker in twijfelgevallen is het raadzaam vooraf aan te geven over welk bedrag wordt gesproken.

Installaties met meer detectie geven over het algemeen betere resultaten; in een aantal gevallen komt het gewenste resultaat zelfs alleen tot stand mits uitgebreide detectie wordt toegepast. Om deze reden is het bepaald onjuist om eerst te besluiten verkeerslichten te plaatsen en later uit kostenoverwegingen de uitgaven voor de detectie niet te doen. Er wordt dan een uitgave gedaan die geen of niet voldoende resultaat heeft en daarom achteraf gezien beter achterwege had kunnen blijven.

De kosten van een installatie met uitgebreide detectie liggen veel hoger dan die van een eenvoudige, starre installatie. Bij de aanschaffing moeten nog de kosten voor het onderhoud in aanmerking worden genomen: stroom, lampen, jaarlijkse controle, storingsdienst en reparaties. Het totale bedrag dat met onderhoud en exploitatie is gemoeid, ligt over 10 tot 15 jaar in dezelfde orde van grootte als de aanschaffingsprijs. Het besluit tot plaatsing valt dus globaal over het dubbele van de in eerste instantie te maken kosten. Deze laatste moeten door de noodzakelijke detectie ook niet te laag worden gesteld.

De gedachte van sommigen dat verkeerslichten in veel gevallen de goedkoopste oplossing zijn voor de problemen, is niet juist. Zelfs bij vrij ingrijpende kruispuntreconstructies vallen de kosten voor de verkeerslichten, ook relatief, niet laag uit. Vaak zijn detailwijzigingen in de vormgeving van een kruispunt, die de kern van het plaatselijke probleem raken (of oplossen), veel goedkoper dan een complete, goede verkeerslichteninstallatie. Alleen bij nieuw aan te leggen kruispunten zijn de kosten van de verkeerslichten relatief gering. Dit mag echter geen reden zijn om eerder dan nodig tot het plaatsen van verkeerslichten te besluiten.

De totale kosten kunnen worden verwerkt in een rendementsberekening, zoals die bijvoorbeeld wordt gehanteerd door Beumer en Zwart (1980).



In speciale gevallen kan het plaatsen van verkeerslichten worden overwogen in afwijking van de normale procedure. Enkele hiervan zijn:

- spoorwegovergang of brug: door het dichtgaan van de bomen kan ter plaatse een probleem in de verkeersafwikkeling ontstaan als er in de directe omgeving aansluitende wegen zijn; na het weer opengaan van de bomen kan er een tijd lang een verstoorde verkeersafwikkeling ontstaan, die tot onaanvaardbare situaties aanleiding geeft;
- prioriteiten: met verkeerslichten kan prioriteit worden gegeven aan bepaalde categorieën weggebruikers; als dat echt nodig is, bijvoorbeeld voor een bus bij het oversteken van een drukke weg, is er meestal ook sprake van lange wachttijden voor het overige verkeer en zal op grond daarvan een maatregel worden voorgesteld; anders ligt het wanneer er is besloten om verkeerslichten aan te brengen en er een harde noodzaak is om de vertragingen voor de bus te minimaliseren; dit leidt dan tot een aangepast ontwerp van de installatie, samen met een eventuele aanpassing van de vormgeving;
- evenementen: verkeerslichten kunnen slechts gedurende een aantal uren per week nodig zijn, door een tijdelijk zeer hoog aanbod, bijvoorbeeld vanaf een parkeerterrein van een natuurbad of een pretpark;
- in bijzondere gevallen wordt een verkeerslichteninstallatie niet gebruikt om het plaatselijke probleem op een kruispunt op te lossen, maar voor het doseren van de verkeersstromen in een groter gebied;
- schoolkinderen: deze vormen vaak bij de aandacht die aan de veiligheid wordt gegeven, een aparte groep; dit aspect moet bij de objectieve en subjectieve onveiligheid in aanmerking worden genomen.



In vele landen wordt verder gewerkt om de kennis van de beschreven materie te vergroten. In verschillende hoofdstukken is al ter sprake gekomen dat voldoende kennis ontbreekt. De werkgroep meent dat nader onderzoek gewenst is, daar blijkt dat het effect van het plaatsen van verkeerslichten sterk kan worden verbeterd als de beste toepassing wordt gekozen.

Het SVT heeft in juni 1983 een nieuwe werkgroep gestart die moet onderzoeken of geplaatste verkeerslichten aan de vooraf gestelde eisen voldoen. Deze werkgroep zal zich ook buigen over de vraag hoe het effect van het plaatsen van verkeerslichten kan worden bepaald.

In Engeland bereidt men een nieuwe aanpak voor die in eerste instantie uitgaat van de intensiteiten. Er wordt een berekening gemaakt van de som van alle wachttijden zonder verkeerslichten en eenzelfde berekening met verkeerslichten. Het plaatsen kan pas worden gerechtvaardigd indien de vermindering van deze totale wachttijd tenminste 20 % is. Voor uitzonderingsgevallen gelden afwijkende regels.

Een andere benadering is de rendementsberekening. Het effect van een wijziging van de vormgeving of het plaatsen van verkeerslichten kan tot een zodanige besparing van het aantal ongevallen leiden dat kan worden gesproken van een voldoende rendement. Een eerste aanzet hiertoe is geleverd door Beumer en Zwart (1980). Met deze gegevens is een schatting van het toekomstige aantal ongevallen mogelijk, afhankelijk van vormgeving en intensiteiten.



10.1 Algemeen

Uit de behandeling van de verschillende aspecten blijkt dat het effect van verkeerslichten niet altijd gelijk is aan het verwachte effect en dat het soms negatief uitvalt. Bepaalde problemen kunnen met verkeerslichten in het geheel niet worden opgelost.

Voor de verschillende aspecten zijn geen algemene normen te geven. Op één kruispunt worden de aspecten niet alle gelijk gewaardeerd. De mate waarin elk aspect meespeelt bij de besluitvorming, hangt af van de situatie en de problemen ter plaatse. Zo zal bij een groot aantal ongevallen het verminderen daarvan erg belangrijk zijn en zal bij lange wachttijden de verbetering van de verkeersafwikkeling voorop staan.

Bij de beoordeling van de toestand op een kruispunt moet allereerst worden getracht de oorzaak van de genoemde problemen weg te nemen door andere maatregelen dan het plaatsen van verkeerslichten (zie paragraaf 3.2). Blijkt dat dit niet mogelijk is, dan moet worden onderzocht of de problemen werkelijk met verkeerslichten kunnen worden opgelost.

Wanneer vooraf vaststaat dat één aspect de doorslag zal geven, dan kan de wenselijkheid van het plaatsen van verkeerslichten aan de hand van de gegeven informatie worden bepaald. Vaak spelen echter meer aspecten een rol. In ieder geval is het juist om per geval alle aspecten na te gaan om tijdig te kunnen waarschuwen voor negatieve gevolgen die bij de besluitvorming in eerste instantie geen rol spelen.

Het is moeilijk om een bruikbare methode te geven die in iedere situatie leidt tot een goed antwoord op de vraag of verkeerslichten moeten worden geplaatst. In de praktijk blijkt het afwegen van alle voor- en nadelen dan ook op velerlei manieren te gebeuren. Hieronder volgen een aantal voorbeelden van mogelijke procedures.

10.2 Eén doorslaggevend aspect

De verschillende aspecten worden op volgorde van belangrijkheid gezet. Deze volgorde wordt door het bevoegd gezag vastgesteld, bijvoorbeeld:

- aantal ongevallen
- verkeersafwikkeling
- subjectieve onveiligheid
- kosten
- energieverbruik
- milieu-aspecten

Per aspect wordt nu bepaald of dat doorslaggevend is voor het al of niet plaatsen van verkeerslichten. Zo ja, dan is bekend of verkeerslichten moeten worden geplaatst dan wel ongewenst zijn; zo nee, dan wordt gekeken naar het volgende aspect.

Is bijvoorbeeld het aantal ongevallen groot, kan dit met andere maatregelen niet voldoende worden teruggebracht en mag men verwachten dat het plaatsen van verkeerslichten dit aantal tot een kwart terugbrengt, dan kan dit de doorslag geven, ongeacht de andere aspecten.

Om te weten wat er verder gebeurt, is een beperkt onderzoek naar de gevolgen voor de andere aspecten nog wel gewenst.

Is er evenwel geen grote invloed op het aantal ongevallen te verwachten, dan kan het oplossen van grote problemen in de verkeersafwikkeling de doorslag geven, zonder dat verder naar andere aspecten wordt gekeken, enz.

10.3 Ongevallen en verkeersafwikkeling

In de praktijk vormen de objectieve verkeersonveiligheid en de verkeersafwikkeling vaak samen de reden om tot het plaatsen van verkeerslichten te besluiten. Zo is in Tilburg een methode in gebruik die beide aspecten combineert en waarbij normwaarden zijn toegevoegd.

De invloed van de intensiteiten is verwerkt in de intensiteitsscore:

$$A = \frac{\sum I}{n} \cdot \frac{1}{g_A}$$

waarin:

$\sum I$ = som van de intensiteiten op de hoofd- en zijrichtingen voor een gemiddeld etmaal (pae/etmaal)

n = aantal voedende rijstroken ($n \geq 4$)

g_A = grenswaarde intensiteitsscore.

Het aantal ongevallen is verwerkt in de ongevalsscore:

$$B = \frac{LD \times 8 + UMS}{g_B}$$

waarin:

LD = aantal letsel/dood ongevallen in vier jaren achtereen

UMS = aantal ongevallen met uitsluitend materiële schade in vier jaren achtereen

g_B = grenswaarde ongevallenscore

De in Tilburg gebruikte grenswaarden zijn $g_A = 2.500$ en $g_B = 68$. Deze waarde voor g_B komt overeen met 10 ongevallen per jaar, waarvan 10 % met letsel/dood. Conform de gegevens in hoofdstuk 3 zal deze waarde buiten de bebouwde kom lager kunnen liggen.

Verkeerslichten kunnen worden geplaatst wanneer:

$$A \geq 1 \text{ èn } A + B \geq 2.$$

Er moet dus naast de intensiteitsnorm ook worden voldaan aan de ongevals-norm.

Wanneer deze twee aspecten de doorslag moeten geven, is deze methode bruikbaar, zij het dat vooraf de normwaarden g_A en g_B voor beide moeten zijn vastgelegd.

10.4 Algehele afweging

De meest uitgebreide afweging heeft plaats door alle aspecten afzonderlijk te onderzoeken. Het effect wordt dan per aspect weergegeven in de vorm die ook bij vergelijkende warenonderzoeken wordt toegepast. De kwalificaties zijn dan bijvoorbeeld: zeer gunstig, gunstig, geen invloed, ongunstig en zeer ongunstig. Hiermee ontstaat een totaalbeeld waarmee een beslissing gemakkelijker kan worden genomen. Een verfijning is mogelijk door bij elk aspect een gewichtsfactor te geven wanneer aan de aspecten verschillend belang wordt gehecht. Hoewel dit de meeste informatie geeft, is het moeilijk om aan het geheel normwaarden te verbinden waaraan minimaal moet worden voldaan.



LITERATUURLIJST

Allsop, E.

SIGSET, a computer program for calculating traffic signal settings.
Traffic engineering & control 13(1971) 6, 58-60.

Beumer, C., A. Zwart.

Verkeersveiligheidsaspecten op met verkeersregelinstallaties beveiligde aansluitpunten in Gelderland.

Verkeerskunde 31(1980) 9, 465-469.

Brilon, W.

Anmerkungen zur Leistungsermittlung von Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlagen.

Strassenverkehrstechnik 26 (1982) 2, 46-48.

Buck, P.E.M., C.M. Verhoek, E.O. Mansvelder.

De verhouding tussen intensiteit en capaciteit voor het bepalen van de verkeersafwikkeling op niet met verkeerslichten geregelde kruispunten.

Verkeerskunde 32 (1981) 12, 614-619.

Haes, F. de.

De berekening van capaciteit, wachtrijlengte en vertraging voor ongeregelde kruispunten.

Driebergen-Rijsenburg, Studiecentrum Verkeerstechniek, 1981.

Hansson, A.

Manual computer program SIGSIM.

Malmö, VBB, 1980.

Hansson, A.

Traffic signal calculations: computer program CAPCAL and SIGSIM.

Congress paper 46. Paris, Atec, 1980.

Harders, J.

Die Leistungsfähigkeit nicht signalgeregelter städtischer Verkehrsknoten.

Bonn, 1968 (Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 76).

Kraus, B.

Beitrag zur empirischen Leistungsermittlung ungesteuerter Knotenpunkte.

Strassenverkehrstechnik 26 (1982) 5, 161-163.

Langdon, F.J.

Noise nuisance caused by road traffic in residential areas II.

Journal of sound and vibration 47 (1976) 2, 265-282.

Middelham, F.
FLEXSYT.

Verkeerskunde 30 (1979) 8, 384-389.

Ministeriële werkgroep verkeerslichten.
Regelgeving verkeerslichten.
's-Gravenhage, 1982.

Moning, H.J.

De invloed op de verkeersonveiligheid van het plaatsen van verkeerslichten op kruispunten buiten de bebouwde kom.
Delft, TH Civiele Techniek, 1982.

Pitzinger, P.

Konflikte mit Vortritt: Leistung, Stau, Wartezeit.
Strassenverkehrstechnik 26 (1982) 5, 158-161.

RONA, Commissie, werkgroep kruispunten.

Voorlopige richtlijnen kruispunten met verkeerslichten buiten de bebouwde kom.
's-Gravenhage, 1981.

Sherwood, P.T., P.H. Bowers.

Air pollution from road traffic; a review of the present position.
Crowthorne, 1970 (TRRL report 352).

Siegloch, W.

Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalsteuerung.
Bonn, 1973 (Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 153).

Slop, M.

Criteria voor het aanbrengen van verkeerslichten.
Verkeerskunde 23 (1972) 9, 404-409.

Slop, M.

Criteria voor het aanbrengen van verkeerslichten.
Verkeerstechiek 26 (1975) 10, 519-523.

TNO-TPD.

Voorstel voor een rekenmethode voor de bepaling van de geluidsbelasting door wegverkeer in het kader van art. 102 van de Wet geluidhinder.
(TNO/TPD notitie 14, 1980-06.16).

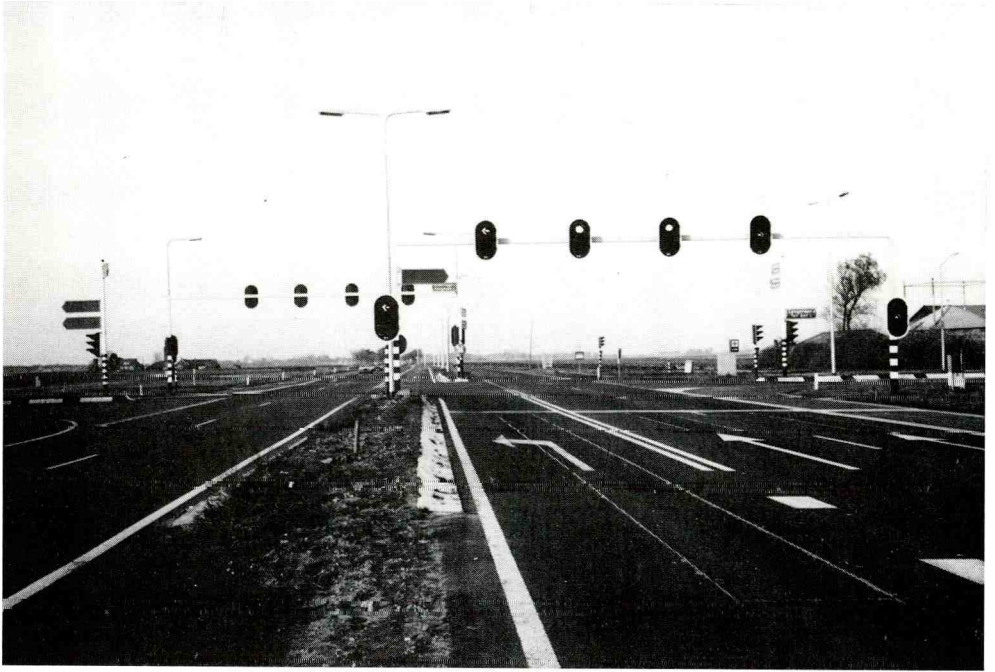
Webster, F.V.
Traffic signal settings.
London, 1958 (Road research laboratory RRTP 39).

Zuylen, H.J. van.
Verkeersregeling en brandstofverbruik.
Verkeerskunde 33 (1982) 11, 591-597.

Zuylen, H.J. van, J.J. Klijnhout.
De berekening van de capaciteit van geregelde kruisingen.
Tilburg, Verkeersacademie, 1980.



N.B. Deze bijlage is als hoofdstuk 2 en 3 van het artikel: "Verkeersafwikkeling op niet met verkeerslichten geregelde kruispunten", opgenomen in Verkeerskunde nummer 12 van 1981.



1 Beschrijving van de methode

1.1 Algemeen

Achtereenvolgens worden besproken:

- uitgangspunten;
- bepaling van de som van de intensiteiten van de deelstromen (stromen van hogere orde) die voorrang hebben op de te beschouwen deelstroom;
- kritisch tijdsinterval;
- bepaling van de capaciteit van de te beschouwen deelstroom;
- storingsfactoren;
- toetsingscriteria.

De toepassing van de methode zal aan de hand van een voorbeeld in hoofdstuk 2 worden getoond.

1.2 Uitgangspunten

Bij een gegeven verkeersbelasting kan met behulp van deze methode de deelcapaciteit worden berekend van iedere verkeersstroom die voorrang moet verlenen aan stromen van hogere orde.

De deelcapaciteit is sterk afhankelijk van:

- het aantal beschikbare rijstroken en het (eventueel) gemeenschappelijk gebruik van een rijstrook door afzonderlijke deelstromen (met name van belang op de zijwegen);
- de verdeling van de optredende tijdsintervallen tussen opeenvolgende voertuigen in de verkeersstromen van hogere orde (volgtijdsinterval); een aantal intervallen moet zo groot zijn, dat vanaf de zijweg voertuigen op verantwoorde wijze in deze stromen kunnen invoegen, dan wel deze stromen kruisen (kritisch tijdsinterval);
- het aantal wachtende voertuigen op het kruisingsvlak in deelstromen van hogere orde, welke stromen op hun beurt weer voorrang moeten verlenen.

In eerste instantie wordt per deelstroom de basiscapaciteit berekend, alsof deze deelstroom over een eigen rijstrook beschikt. In tweede instantie wordt de invloed van de voornoemde verstoringen in rekening gebracht. De hieruit volgende gecorrigeerde capaciteit wordt vergeleken met de werkelijk optredende intensiteit.

Voor iedere deelstroom of een combinatie van deelstromen kan nu de wachttijd worden bepaald. Door het op deze wijze toetsen van alle verkeersstromen op een kruispunt ontstaat een indruk van het afwikkelingsniveau. Daar rekening wordt gehouden met verschillende verstoringen, zoals de invloed van linksafslaand verkeer vanaf de hoofdweg op kruisend verkeer vanaf de zijweg, vereist de toepassing van de methode een bepaalde volgorde van behandeling van de deelstromen. De volgorde is:

1. rechtsafslaan vanaf de zijweg;
2. linksafslaan vanaf de hoofdweg;
3. kruisen vanaf de zijweg;
4. linksafslaan vanaf de zijweg.

De berekening geschiedt op basis van verkeersintensiteiten. Het verdient aanbeveling de benodigde telling in de vorm van een stromentelling uit te voeren. Eventuele fietsers en bromfietzers dienen in de telling te worden meegenomen. Voor nieuwe kruispunten kan worden uitgegaan van gedetailleerde verkeersprognoses (inclusief afslagbewegingen).

De volgende symbolen worden in de berekening gebruikt:

- i = deelstroom-nummer;
- ΣQ_i = de som van de intensiteiten van de deelstromen waaraan deelstroom i voorrang moet verlenen, uitgedrukt in pae/h;
- T_i = het kritisch tijdsinterval voor deelstroom i , benodigd voor het uitvoeren van de beweging;
- P_{bi} = de basiscapaciteit van deelstroom i , uitgedrukt in pae/h;
- P_{vi} = de capaciteit van deelstroom i , uitgedrukt in pae/h, gecorrigeerd voor de invloed van verstoringen in de deelstromen waaraan deelstroom i voorrang moet verlenen (deelstromen van hogere orde);
- P_{oi} = de capaciteit van deelstroom i , uitgedrukt in pae/h, gecorrigeerd voor de invloed van verstoringen in deze deelstroom door het gemeenschappelijk gebruik van de rijstrook door deelstroom i en één of twee andere deelstromen;
- I_i = de werkelijk optredende intensiteit van deelstroom i , uitgedrukt in pae/h;
- I'_i = de werkelijk optredende intensiteit van deelstroom i uitgedrukt in pae/h;
- R_i = de reservecapaciteit van deelstroom i ;
- V_i = de verhouding tussen I'_i en P_{vi} of P_{bi} ;
- α_i = de correctiefactor die aangeeft in welke mate de basiscapaciteit (P_{bi}) moet worden verminderd, omdat de voorranghebbende deelstromen zelf ook nog voorrang moeten verlenen.

Voor de volgorde van de nummering van de deelstromen wordt de standaardnummering voor met verkeerslichten geregelde kruispunten, gebruikt.

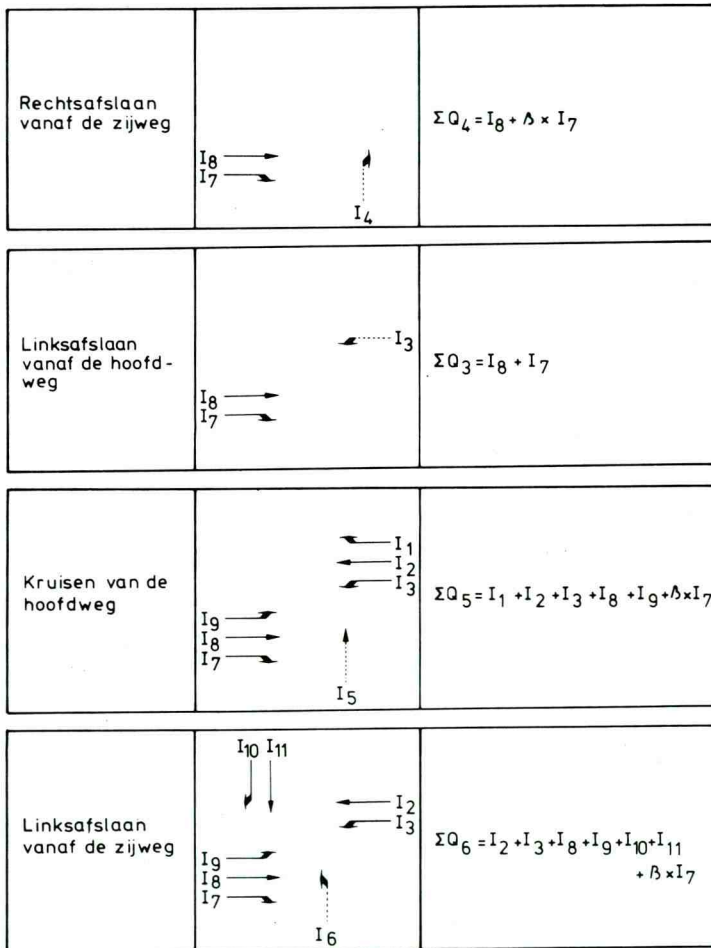
1.3 Bepaling van de som van de intensiteiten van de deelstromen (ΣQ_i), die voorrang hebben op de te beschouwen deelstroom

In figuur 1 is weergegeven uit welke deelstromen het verkeer kan bestaan dat ten opzichte van de te beschouwen deelstroom voorrang heeft (deelstromen van hogere orde). Omdat uitgegaan wordt van de resultaten van verkeerstellingen in motorvoertuigen per uur is de verkeerssamenstelling van de deelstromen van hogere orde van ondergeschikt belang. Aan alle verkeersdeelnemers in deze stromen moet immers voorrang worden ver-

leend. In de sommatie treedt een probleem op met (brom)fietsers op de hoofdrijbaan of op in de voorrang opgenomen fietspaden. De invloed hiervan moet in de berekening worden opgenomen.

Zoals reeds uit figuur 1 blijkt, oefent het verkeer van deelstroom 1 en 7 een storende invloed uit op zowel het links- als rechtsafslaan, als het kruisende verkeer vanaf de zijweg. Bij de berekening van de som van de intensiteiten moet I_1 en I_7 voor deze storende invloed met een factor β worden vermenigvuldigd. In Duitsland is deze factor 0, wanneer rechtsafslaand verkeer vanaf de hoofdweg over een uitvoegstrook beschikt. In de overige gevallen bedraagt deze factor 0,5.

Er wordt van uitgegaan dat linksafslaand verkeer in tegengestelde richting voor elkaar langs draait. Indien dit niet het geval is, dient hiermee rekening te worden gehouden (zie ook hoofdstuk 1.6.3).



Figuur 1: Deelstromen van de hogere orde ten opzichte van de beschouwde deelstroom.

Tabel 1: Kritisch tijdsinterval in seconden.

voertuigbeweging	toelaatbare snelheid 50 km/h		snelheidspatroon 90 km/h	
	2 rij- stroken	4 rij- stroken	2 rij- stroken	4 rij- stroken
Rechtsafslaan vanaf de zijweg:				
Bord 9 RVV	5,0	5,0	6,0	6,0
Bord 10 RVV	6,0	6,0	7,0	7,0
(Met invoegstrook)	3,0	3,0	4,0	4,0
Op verkeerspleinen	4,5	4,5	4,5	4,5
Linksafslaan vanaf de hoofdweg				
	5,0	5,5	5,5	6,0
Kruisen van de hoofdweg:				
Bord 9 RVV	6,0	6,5	7,0	8,0
Bord 10 RVV	7,0	7,5	8,0	9,0
Linksafslaan vanaf de zijweg:				
Bord 9 RVV	6,5	7,0	8,0	9,0
Bord 10 RVV	7,5	8,0	9,0	10,0

1.4 Kritisch tijdsinterval

Het verkeer dat aan het overige verkeer voorrang dient te verlenen, zal gebruik moeten maken van de daarvoor in aanmerking komende intervallen in de verkeersstromen die voorrang hebben (hogere orde). De grootte van het gewenste interval is afhankelijk van de soort voorrangsregeling (met of zonder de verplichting tot stoppen), van de vormgeving van het kruispunt en van de acceleratie-eigenschappen van het voertuig.

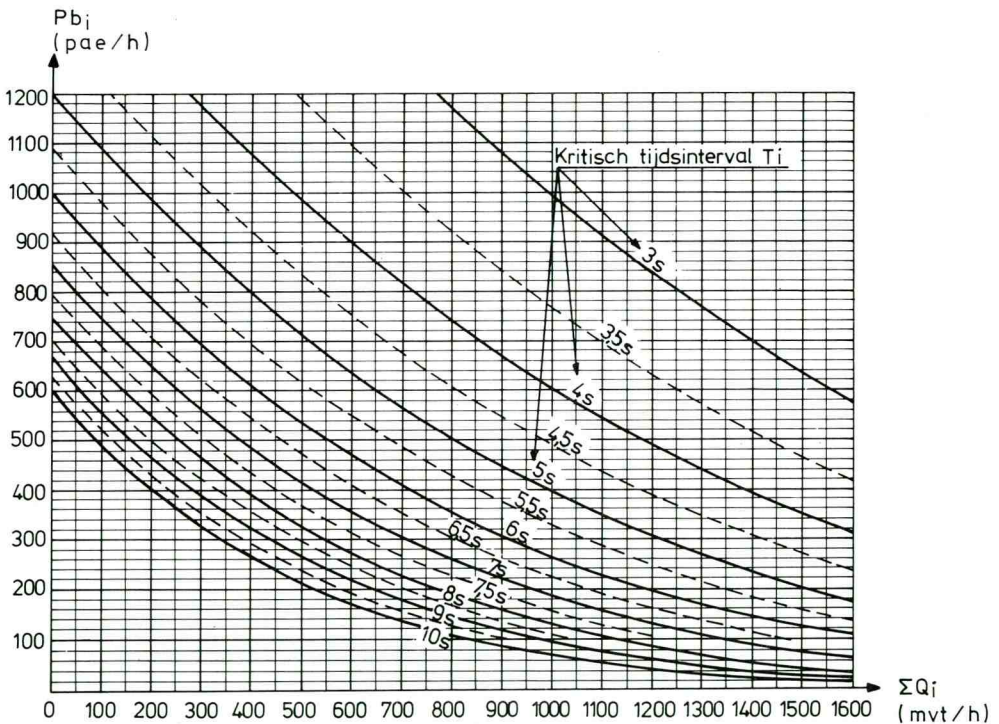
Onder het kritisch tijdsinterval kan derhalve verstaan worden: de kleinste waarde van het tijdsinterval tussen opeenvolgende voertuigen in de stromen van hogere orde, die door een weggebruiker in de beschouwde deelstroom nog aanvaardbaar wordt geacht om de gewenste beweging uit te voeren. In tabel 1 staan de door Harders gehanteerde kritische tijdsintervallen voor personenauto's, uitgedrukt in seconden. Onderscheid wordt gemaakt naar de uit te voeren beweging, de voorrangsregeling, de snelheid op de hoofdweg en het aantal doorgaande rijstroken op de hoofdweg.

1.5 Bepaling van de capaciteit van de te beschouwen deelstroom

Voor de bepaling van de uiteindelijke capaciteit dient allereerst de basiscapaciteit P_{bi} vastgesteld te worden. Deze basiscapaciteit is het maximale

aantal voertuigen (uitgedrukt in pae/h), waaruit de deelstroom mag bestaan, slechts rekening houdend met de deelstromen van hogere orde. In figuur 2 is hiervoor een nomogram afgebeeld. De basiscapaciteit kan nu bepaald worden door in het nomogram ΣQ_i en T_i in te voeren, behorend bij de beschouwde situatie. De op deze wijze verkregen basiscapaciteit P_{bi} is alleen juist onder de voorwaarden:

- er treden geen storingen op in deelstromen van hogere orde;
- de beschouwde deelstroom beschikt over een eigen rijstrook;
- er bevinden zich geen wachtende voertuigen op het kruisingsvlak.



Figuur 2: Nomogram voor bepaling van de basiscapaciteit.

Zo kan de basiscapaciteit van de stromen 4, 10, 3 en 9 (rechtsafslaan vanaf de zijweg, respectievelijk linksafslaan vanaf de hoofdweg) direct uit figuur 2 worden verkregen. Wanneer aan de voorwaarden voldaan is behoeft geen verdere correctie uitgevoerd te worden en is voor deze deelstromen de basiscapaciteit tevens gecorrigeerde capaciteit.

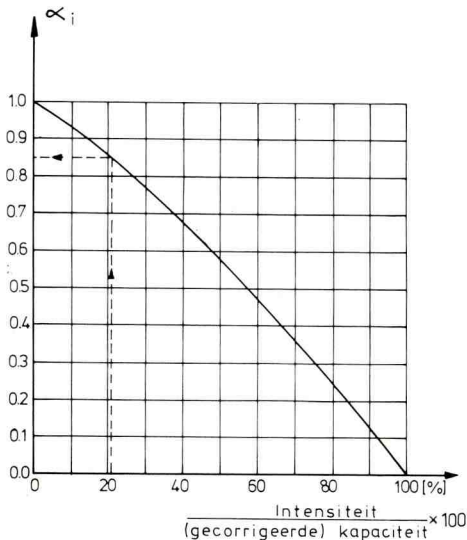
Bij het beschouwen van de deelstromen 5, 11, 6 en 12 (de hoofdweg kruisen, respectievelijk linksafslaan vanaf de zijweg) moet nog rekening worden gehouden met storingen in de deelstromen van hogere orde. Zo moet deelstroom 3 op zijn beurt voorrang verlenen aan de deelstromen 7 en 8. De mate waarin hiermee rekening moet worden gehouden wordt in hoofdstuk 1.6 besproken.

1.6 Storingsfactoren

1.6.1 De invloed van storingen in de deelstromen van hogere orde

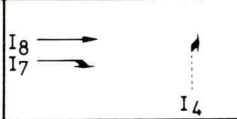
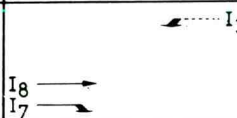
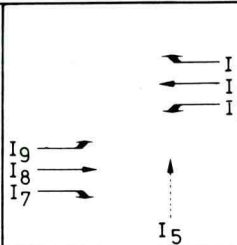
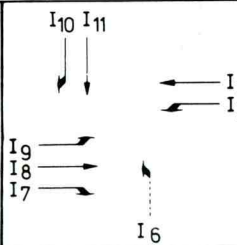
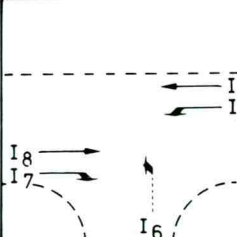
Bevindt zich in de deelstromen van hogere orde een deelstroom die op zijn beurt ook weer voorrang moet verlenen, dan zal de hierdoor ontstane verstoring invloed uitoefenen op de capaciteit van de beschouwde deelstroom. De gewenste verkeersbeweging kan immers niet direct uitgevoerd worden. Dit verschijnsel treedt onder andere op bij het beschouwen van deelstroom 5 en 11 of 6 en 12. Voor deze deelstromen behoren 3 en 9 tot de deelstromen van hogere orde, maar 3 en 9 moeten zelf weer voorrang verlenen aan 7 en 8 respectievelijk 1 en 2.

De uit figuur 2 verkregen basiscapaciteit p_{bi} moet worden gecorrigeerd met de correctiefactor α_i ($P_{bi} \times \alpha_i$). Deze correctiefactor geeft de waarschijnlijkheid aan van een storingsvrije toestand in de deelstromen van hogere orde, die zelf ook voorrang moeten verlenen. Met behulp van de grafiek in figuur 3 is de waarde van α_i te bepalen. De ingangsgrootheid voor de gra-



Figuur 3: Nomogram voor de bepaling van de correctiefactor α_i .

fiek is de verhouding tussen de werkelijk optredende intensiteit en de capaciteit van de desbetreffende deelstroom, uitgedrukt in procenten. Voor de invloed van deze correctie op de te beschouwen deelstromen gelden de vergelijkingen, zoals weergegeven in figuur 4.

Rechtsafslaan vanaf de zijweg		$Pv_4 = \alpha_7 \times \alpha_8 \times Pb_4$ $\alpha_7 = \alpha_8 = 1$
		$Pv_4 = Pb_4$
Linksafslaan vanaf de hoofd- weg		$Pv_3 = \alpha_7 \times \alpha_8 \times Pb_3$ $\alpha_7 = \alpha_8 = 1$
		$Pv_3 = Pb_3$
Kruisen van de hoofdweg		$Pv_5 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_8 \times$ $\alpha_9 \times \alpha_7 \times Pb_5$ $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_7 = \alpha_8 = 1$ $\alpha_3, \alpha_9 \neq 1$
		$Pv_5 = \alpha_3 \times \alpha_9 \times Pb_5$
Linksafslaan vanaf de zijweg		$Pv_6 = \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_8 \times \alpha_9 \times$ $\alpha_{10} \times \alpha_{11} \times \alpha_7 \times Pb_6$ $\alpha_2 = \alpha_7 = \alpha_8 = 1$ $\alpha_3, \alpha_9, \alpha_{10}, \alpha_{11} \neq 1$
		$Pv_6 = \alpha_3 \times \alpha_9 \times \alpha_{10} \times \alpha_{11} \times Pb_6$
Linksafslaan vanaf de zijweg bij T-aansluitingen		$Pv_6 = \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_7 \times \alpha_8 \times Pb_6$ $\alpha_2 = \alpha_7 = \alpha_8 = 1$ $\alpha_3 \neq 1$
		$Pv_6 = \alpha_3 \times Pb_6$

Figuur 4: Vergelijkingen voor de bepaling van de capaciteit, gecorrigeerd voor de invloed van storingen in de deelstromen van hogere orde.

1.6.2 De invloed van het gemeenschappelijk gebruik van een rijstrook door verschillende deelstromen op de zijweg

Voor voertuigen die vanuit de zijweg het kruispunt naderen, is er meestal slechts één rijstrook beschikbaar. De deelstromen voor linksaf, rechtdoor en rechtsaf bevinden zich dan op deze ene rijstrook en beïnvloeden de afwikkeling. Voor een zijweg met één rijstrook op het kruispunt, moet de capaciteit als volgt berekend worden:

$$\frac{1}{P_{oi}} = \frac{a}{P_{vai}} + \frac{b}{P_{vbi}} + \frac{c}{P_{vci}}$$

P_{oi} : de capaciteit van de verkeersstromen i , opgebouwd uit drie deelstromen, gecorrigeerd voor de invloed van verstoringen door gemeenschappelijk gebruik van de rijstrook

a , b en c : de verhouding tussen de intensiteit van de afzonderlijke deelstroom en de totale intensiteit van de verkeersstroom op de rijstrook

$\frac{P_{vai}}{P_{vbi}}$ en $\frac{P_{vai}}{P_{vci}}$: de capaciteit van de afzonderlijke deelstromen (eigen rijstrook), gecorrigeerd voor de invloed van storingen in de deelstromen van hogere orde

Voor een zijweg met twee rijstroken op het kruispunt (linksaf apart, rechtdoor en rechtsaf gecombineerd of rechtsaf apart, rechtdoor en linksaf gecombineerd) moet de capaciteit als volgt berekend worden:

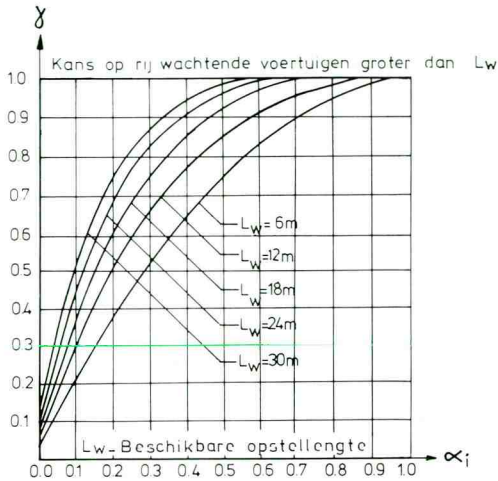
$$\frac{1}{P_{oi}} = \frac{a}{P_{vai}} + \frac{b}{P_{obi}} \quad \text{resp.} \quad \frac{1}{P_{oi}} = \frac{b}{P_{vbi}} + \frac{c}{P_{vci}}$$

(N.B.: definitie der symbolen analoog als voornoemd)

Indien de voertuigen zich naast elkaar kunnen opstellen, mag de invloed die de voertuigen op elkaar uitoefenen verwaarloosd worden.

1.6.3 De invloed van op het kruisingsvlak wachtende voertuigen

In bepaalde gevallen kan het voorkomen dat voertuigen van de beschouwde deelstroom i hinder ondervinden van op het kruisingsvlak wachtende voertuigen van deelstromen van hogere orde. Dit treedt bijvoorbeeld op bij Krimpenerwaard-kruispunten. De beschouwde deelstroom 5 of 6 kan hinder ondervinden van deelstroom 3. Analoog deelstroom 11 of 12 met deelstroom 9. De capaciteit moet dan nog gecorrigeerd worden voor de invloed van deze hinder. Harders heeft hiervoor een extra correctiefactor ingevoerd, die de waarschijnlijkheid aangeeft dat geen hinder optreedt. Met behulp van het nomogram in figuur 5 is de waarde van deze factor te bepalen. De ingangsgrootheid is de α -factor (zie paragraaf 1.6.1). Afhankelijk van de maximaal mogelijke lengte van de wachtrij, waarbij nog geen hinder optreedt (L_w), kan γ worden bepaald. L_w volgt uit de vormgeving van het kruispunt (zie figuur 6).



Figuur 5: Nomogram voor de bepaling van de kans dat de rij wachtende voertuigen niet groter is dan de beschikbare opstellengte. (zie figuur 6)

1.7 Toetsingscriteria

Na het uitvoeren van de benodigde correcties wordt de gecorrigeerde capaciteit vergeleken met de werkelijk optredende intensiteit. De intensiteit van de deelstroom moet hiervoor omgerekend worden van mvt/h naar pae/h ($I_i \rightarrow I'_i$).

In tabel 2 staan de door Harders gebruikte omrekeningsfactoren in relatie tot het hellingpercentage van het kruisingsvlak. Opvallend is de gelijke behandeling van (brom)fietsers en motorrijders. Bij een langshelling van

Tabel 2: Omrekeningsfactoren naar pae.

Hellingsgraad	(Brom-) fietsers motoren	Personen auto's	Vracht-auto's	Vracht-auto's + oplegger	Motorvoertuigen*
+ 4 %	0,7	1,4	3,0	6,0	1,7
+ 2 %	0,6	1,2	2,0	3,0	1,4
0 %	0,5	1,0	1,5	2,0	1,1
- 2 %	0,4	0,9	1,2	1,5	1,0
- 4 %	0,3	0,8	1,0	1,2	0,9

* Aanbevolen waarde bij onbekende samenstelling van het verkeer

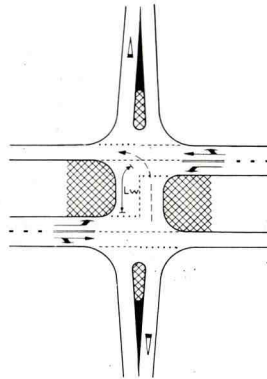
0 % wordt voor beide groepen van verkeersdeelnemers 0,5 pae in rekening gebracht.

Per deelstroom wordt het verschil uitgerekend tussen de werkelijk optredende intensiteit (I'_i) en de gecorrigeerde capaciteit. De uitkomst van deze berekening is de reservecapaciteit R_i , uitgedrukt in pae/h.

Aan deze verschillen kent Harders een bepaalde waardering toe, zoals in tabel 3 is aangegeven.

Tabel 3: Kwalificatie van de reservecapaciteit.

Grootte van de wachttijd	R_i	(pae/h)
	Kenwaarde	Grenswaarden
overbelasting	< 0	< 0
erg lange wachttijd	50	0-75
lange wachttijd	100	76-125
matige wachttijd	150	126-175
kleine wachttijd	200	176-250
bijna geen wachttijd	400	251-600
geen wachttijd	> 600	> 600



Figuur 6.

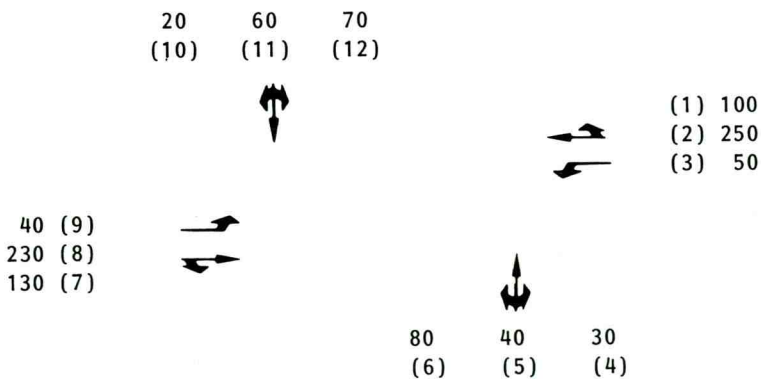
Bij een verschil van 200 pae/h is er sprake van een kleine wachttijd voor het verkeer op de beschouwde verkeersstroom; met andere woorden een goed afwikkelingsniveau. Bij een verschil van 150 pae/h wordt gesproken over een matige wachttijd of een redelijk afwikkelingsniveau. Als criteria voor klein en goed, respectievelijk matig en redelijk heeft Harders gemiddelde wachttijden van 15 en 20 seconden aangehouden. Deze waarden zijn gekozen op grond van onder meer beperkte kansen op (irriterend) lange wachttijden. Voorts is uitgegaan van een geringe kans op een wachtrij van meer dan 5 voertuigen in de beschouwde verkeersstroom.

Voor deze studie werden in Duitsland zeer veel waarnemingen verricht, waaronder ook enkele voor het bepalen van verbanden tussen wachttijden aan de kop van een wachtrij en de mate van irritatie van de bestuurders (3 proefpersonen). In het algemeen echter zullen overbelasting en zeer lange wachttijden zelden acceptabel zijn. Een matige wachttijd van ongeveer 20 seconden tijdens de spitsuren kan evenwel als aanvaardbaar worden gezien.

2 Toepassing in een voorbeeld

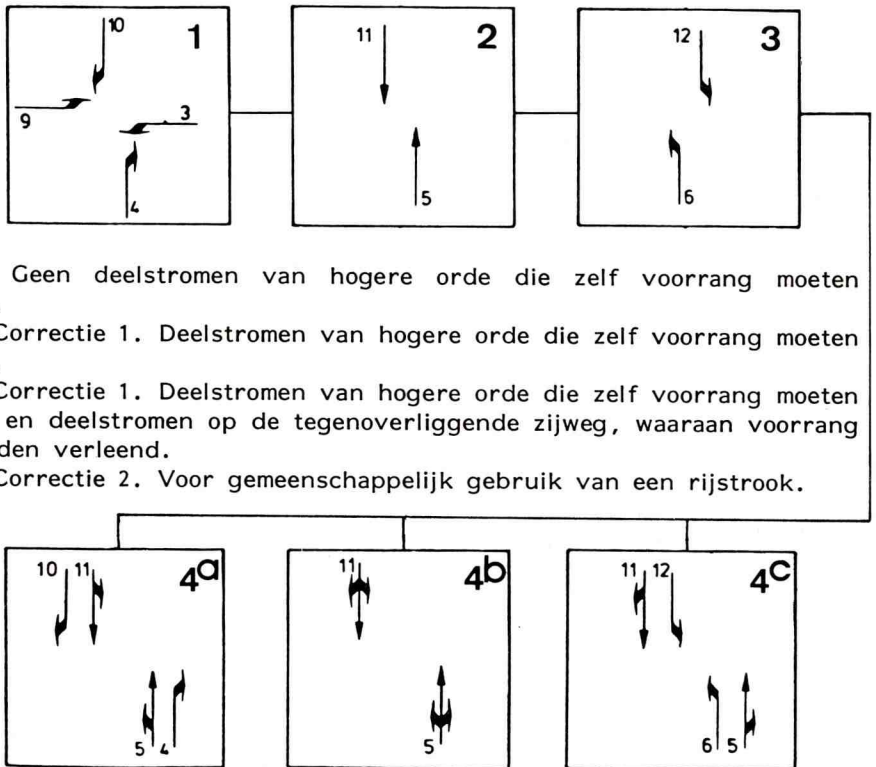
Ter verduidelijking van de methode wordt in dit hoofdstuk een voorbeeld gegeven van een in Nederland zeer veel voorkomende situatie. Het kruispunt bestaat uit een hoofdweg met per richting twee toeleidende rijstroken (linksaf, rechtdoorgaand en rechtsaf gecombineerd) en uit twee zijwegen met slechts één toeleidende rijstrook (linksaf, rechtdoorgaand en rechtsaf gebombineerd).

Rekenvoorbeeld I:



- Urintensiteiten in mvt/h
- Snelheid 50 km/h
- Voorrang geregeld met bord model 9 RVV
- Kruispuntvlak ligt horizontaal
- De stromen 3 en 9 blokkeren het kruispuntvlak niet
- 1 mvt = 1,1 pae

Afhankelijk van de combinatie van deelstromen op een gemeenschappelijke rijstrook moeten in de berekening de stappen 1 tot en met 4 worden uitgevoerd (zie figuur 7).



Stap 1: Geen deelstromen van hogere orde die zelf voorrang moeten verlenen.

Stap 2: Correctie 1. Deelstromen van hogere orde die zelf voorrang moeten verlenen.

Stap 3: Correctie 1. Deelstromen van hogere orde die zelf voorrang moeten verlenen en deelstromen op de tegenoverliggende zijweg, waaraan voorrang moet worden verleend.

Stap 4: Correctie 2. Voor gemeenschappelijk gebruik van een rijstrook.

Figuur 7: Stappenvolgorde in de berekening in relatie tot de vormgeving van het kruispunt.

Voor het berekenen van de gecorrigeerde capaciteit van de beschouwde deelstroom is het immers noodzakelijk dat de juiste correcties worden ingevoerd voor de stromen waaraan de beschouwde stroom voorrang moet verlenen. In het voorbeeld moeten derhalve de stappen 1, 2, 3 en 4 achtereenvolgens worden uitgevoerd.

Stap 1: Rechtsafslaan vanaf de zijweg

$$i = 4: \Sigma Q_4 = I_8 + \beta \times I_7 = 230 + 0,5 \times 130 = 295 \text{ mvt/h}$$

$$T_4 = 5 \text{ seconden}$$

$$P_{b4} = 895 \text{ pae/h } (P_{v4})$$

$$V_4 = \frac{I'_4}{P_{b4}} = 0,04 \quad \alpha_4 = 0,97$$

i = 10: analoog gaat de berekening voor i = 10

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{10} &= 300 \text{ mvt/h} \\ P_{b10} &= 890 \text{ pae/h} \quad (P_{v10}) \\ \alpha_{10} &= 0,99 \end{aligned}$$

Linksafslaan vanaf de hoofdweg

$$\begin{aligned} i = 3: \quad \Sigma Q_3 &= I_8 + I_7 = 230 + 130 = 360 \text{ mvt/h} \\ T_3 &= 5 \text{ seconden} \\ P_{b3} &= 835 \text{ pae/h} \\ R_3 &= 780 \text{ pae/h} \\ V_3 &= 0,07 \\ \alpha_3 &= 0,95 \end{aligned}$$

i = 9: analoog gaat de berekening voor i = 9

$$\begin{aligned} \Sigma Q_9 &= 350 \text{ mvt/h} \\ P'_{b9} &= 840 \text{ pae/h} \\ R_9 &= 796 \text{ pae/h} \\ \alpha &= 0,96 \end{aligned}$$

Stap 2: Kruisen van de hoofdweg

$$\begin{aligned} i = 5: \quad \Sigma Q_5 &= I_1 + I_2 + I_3 + I_8 + I_9 + \beta \times I_7 = 735 \text{ mvt/h} \\ T_5 &= 6 \text{ seconden} \\ P_{b5} &= 390 \text{ pae/h} \\ P_{v5} &= \alpha_3 \times \alpha_9 \times P_{b5} = 0,95 \times 0,96 \times 390 = 356 \text{ pae/h} \end{aligned}$$

$$V_5 = \frac{I'_5}{P_{v5}} = \frac{44}{356} = 0,12 \quad \alpha_5 = 0,91$$

i = 11: analoog gaat de berekening voor i = 11

$$\Sigma Q_{11} = 750 \text{ mvt/h}$$

$$P_{b11} = 380 \text{ pae/h}$$

$$P_{v11} = 346 \text{ pae/h}$$

$$\alpha_{11} = 0,86$$

Stap 3: Linksafslaan vanaf de zijweg

$$i = 6: \quad \Sigma Q_6 = I_2 + I_3 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + \beta \times I_7 = 715 \text{ mvt/h}$$

$$T_6 = 6,5 \text{ seconden } P_{b6} = 350 \text{ pae/h}$$

$$P_{v6} = \alpha_3 \times \alpha_9 \times \alpha_{10} \times \alpha_{11} \times P_{b6}$$

$$= 0,95 \times 0,96 \times 0,99 \times 0,86 \times 350 = 271 \text{ pae/h}$$

i = 12: analoog gaat de berekening voor i = 12

$$\Sigma Q_{12} = 690 \text{ mvt/h}$$

$$P_{b12} = 360 \text{ pae/h}$$

$$P_{v12} = 293 \text{ pae/h}$$

Stap 4: Correctie voor het gemeenschappelijk gebruik van een rijstrook

i = 4, 5 en 6 gecombineerd tot i = 5

$$\frac{I}{P_{o5}} = \frac{\frac{I'_4}{I'_4 + I'_5 + I'_6}}{P_{b4}} + \frac{\frac{I'_5}{I'_4 + I'_5 + I'_6}}{P_{v5}} + \frac{\frac{I'_6}{I'_4 + I'_5 + I'_6}}{P_{v6}}$$

$$\frac{1}{P_{o5}} = \frac{\frac{33}{165}}{895} + \frac{\frac{44}{165}}{356} + \frac{\frac{88}{165}}{271}$$

$$P_{o5} = 340 \text{ pae}$$

$$R_5 = P_{o5} - I'_5$$

$$= 340 - 165$$

$$= 175 \text{ pae/h kleine wachttijd}$$

$i = 10, 11$ en 12 gecombineerd tot $i = 11$.

$$\frac{1}{P_{o11}} = \frac{22}{165} + \frac{66}{165} + \frac{77}{165}$$

$890 \quad 346 \quad 293$

$$P_{o11} = 345 \text{ pae}$$

$$R_{11} = 345 - 165$$

$- 180 \text{ pae/li kleine wachttijd}$

Rekenvoorbeeld II:

De intensiteit van de stromen 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11 en 12 blijft gelijk.
De intensiteit van stroom 4 wordt 30 (was 30) mvt/h.
De intensiteit van stroom 5 wordt 80 (was 40) mvt/h.
De intensiteit van stroom 6 wordt 120 (was 80) mvt/h.

Rekenvoorbeeld III:

De intensiteit van de stromen 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11 en 12 blijft gelijk.
De intensiteit van stroom 4 wordt 120 (was 30) mvt/h.
De intensiteit van stroom 5 wordt 80 (was 40) mvt/h.
De intensiteit van stroom 6 wordt 30 (was 80) mvt/h.

Analoge berekeningen leveren dan figuur 8 op.

Resumé		(6) 80	(5) 40	(4) 30	(6) 120	(5) 80	(4) 30	(6) 30	(5) 80	(4) 120
		I			II			III		
Linksafslaan vanaf de hoofdweg	R3	780	geen	wachttijd	780	geen	wachttijd	780	geen	wachttijd
	R9	796	geen	wachttijd	796	geen	wachttijd	796	geen	wachttijd
Kruisen, links- en rechtsafslaan vanaf de zijweg	R5	175	kleine	wachttijd	75	lange	wachttijd	235	kleine	wachttijd
	R11	180	kleine	wachttijd	150	matige	wachttijd	105	lange	wachttijd

Conclusies:

In rekenvoorbeeld I is de intensiteit op beide wegen gelijk en nagenoeg identiek verdeeld over de diverse richtingen. De wachttijden op beide zijwegen zijn klein.

In rekenvoorbeeld II is de intensiteit op een der zijwegen veel groter dan op de andere zijweg met een grote linksafstroom en kruisende stroom. Voor deze zijweg worden de wachttijden lang en bovendien nemen ook de wachttijden op de tegenoverliggende zijweg toe, ondanks gelijke grootte en identieke verdeling.

In rekenvoorbeeld III is de totale intensiteit op de drukste zijweg gelijk aan die van rekenvoorbeeld II, doch nu is de rechtsafstroom overheersend en de linksafstroom relatief klein.

De afwikkeling van het verkeer vanaf deze zijweg ondervindt weinig hinder (kleine wachttijden), doch de afwikkeling van het verkeer vanaf de tegenoverliggende zijweg (identiek in alle rekenvoorbeelden) ondervindt nu sterke hinder (lange wachttijden).

Mededeling:

1. Statuten en Reglementen van het Studiecetrum Verkeerstechniek.
2. Stad en Verkeerstechniek (verslag van het congres 1976).
3. Jaarverslag 1977 (uitverkocht)
4. Voorstel tot regeling medegebruik van openbaar-vervoerstroken door andere vervoermiddelen.
5. Nederlandse bijdragen aan de 13e Internationale Studieweek over verkeerstechniek en verkeersveiligheid te Montreux (11 tot en met 14 september 1978).
6. Jaarverslag 1978.
7. Het effect van éénrichtingsverkeer op de verkeersveiligheid in woonwijken.
8. Verkeersdrempels.
9. Jaarverslag.
10. Fietsers, bromfietsers en verkeerslichten.
11. Openbaar-vervoerstroken.
12. Jaarverslag 1980 (uitverkocht).
13. Kenmerken van verblijfsgebieden.
14. Landbouwverkeer op tweestrookswegen.
15. Voorkeursbehandeling van het openbaar vervoer bij verkeerslichtenregeling.
16. Jaarverslag 1981, Werkplan 1982 (1983), Meerjarenplan 1982-1986.
17. Zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegdekken (in samenwerking met het Studie Centrum Wegenbouw).
18. Tijdelijke blokkering van een rijstrook - Een berekeningsmethode van de gevolgen voor het autoverkeer.
19. Jaarverslag 1982; Werkplan 1983 (1984).
20. Sydney-1983, de Nederlandse bijdrage aan het 17e Internationale Wegencongres (in samenwerking met het Studie Centrum Wegenbouw).
21. Ontsluitingswegen in verblijfsgebieden - een zoekstelsel voor verkeerstechneische maatregelen.
22. Criteria voor het plaatsen van verkeerslichten buiten de bebouwde kom.

Publikaties in samenwerking met het Studie Centrum Wegenbouw:

- Zichtbaarheid wegmarkeringen op natte wegdekken (literatuurstudie).
- Wegen '79, 16e Internationale Wegencongres; de Nederlandse bijdragen.
- De Winter van 1978-1979; gladheidsbestrijding en vorst- en dooi-schade.

Bovenvermelde uitgaven zijn verkrijgbaar door overmaking van f 7,50 per exemplaar op postrekening no 1736016 ten name van de penningmeester Studiecetrum Verkeerstechniek te Driebergen-Rijsenburg.

Uitgaven waarbij het Studiecentrum Verkeerstechniek was betrokken:

- Bijdragen aan de Verkeerskundige Werkdagen 1981, inclusief verslaglegging (in samenwerking met de afdeling Verkeerskunde en Vervoerstechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs). De uitgave (in 4 delen) is verkrijgbaar bij het Studiecentrum Verkeerstechniek à f 50,-. Subsidiënten en begunstigers van de stichting betalen f 35,-; studenten f 15,-. Exclusief verzendkosten ad f 10,-.
- Voordrachten Symposium Verkeerscirculatieplan Groningen 1981. Verkrijgbaar bij het Studiecentrum Verkeerstechniek door overmaking van f 7,50 per exemplaar op postgiro 1736016.
- Bijdragen aan de Verkeerskundige Werkdagen 1983, inclusief verslaglegging (in samenwerking met de afdeling Verkeerskunde en Vervoerstechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs). De uitgave (in 4 delen) is verkrijgbaar bij het Studiecentrum Verkeerstechniek à f 125,-. Begunstigers en KIVI-leden betalen f 100,-; studenten f 55,-. Exclusief verzendkosten ad f 10,-.

Colofon

Redactie: Bureau Goudappel Coffeng b.v., Deventer

Eindredactie: Bureau SVT, Driebergen-Rijsenburg

*Foto's: Bureau Goudappel Coffeng b.v., Deventer
ANWB, Den Haag*

Typewerk: Bureau Goudappel Coffeng b.v., Deventer

Druk: Drukkerij G.J. van Amerongen b.v., Amersfoort

