

EVALUATIE-OPZET VOOR EEN PLAATSELIJK SIGNALERINGSSYSTEEM

R-76-38

Ir. H. Botma & Ir. H.L. Oei

Voorburg, oktober 1976

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

SAMENVATTING

Er wordt een schets gegeven van de manier waarop het effect van een plaatselijk signaleringssysteem geëvalueerd kan worden. De evaluatie betreft voornamelijk het effect van het systeem op het verkeersgedrag en de onveiligheid, maar ook de doorstroming komt aan de orde. Bij de opzet van de evaluatie is gekozen voor de methode van bestudering van vóór- en naperiode, voor zover mogelijk aangevuld met controlegroepen. Voorts wordt een aantal factoren besproken die de evaluatie kunnen verstoren, waarbij per geval een remedie wordt aangegeven. Ook is een beschouwing opgenomen over de aantallen ongevallen die nodig zijn voor een statistisch verantwoorde analyse.

SUMMARY

A way of evaluating an automatic queue-warning system is outlined. The main object of the evaluation is to measure the effect of such a system on road behaviour and road safety, although the overall journey time will also be examined. The chosen method of research entails before and after studies, if possible complemented with control groups. Furthermore, disturbing elements in the method of research will be discussed together with their respective solutions. Finally, the number of accidents will be looked at that are necessary for a statistically reliable analysis.

VOORWOORD

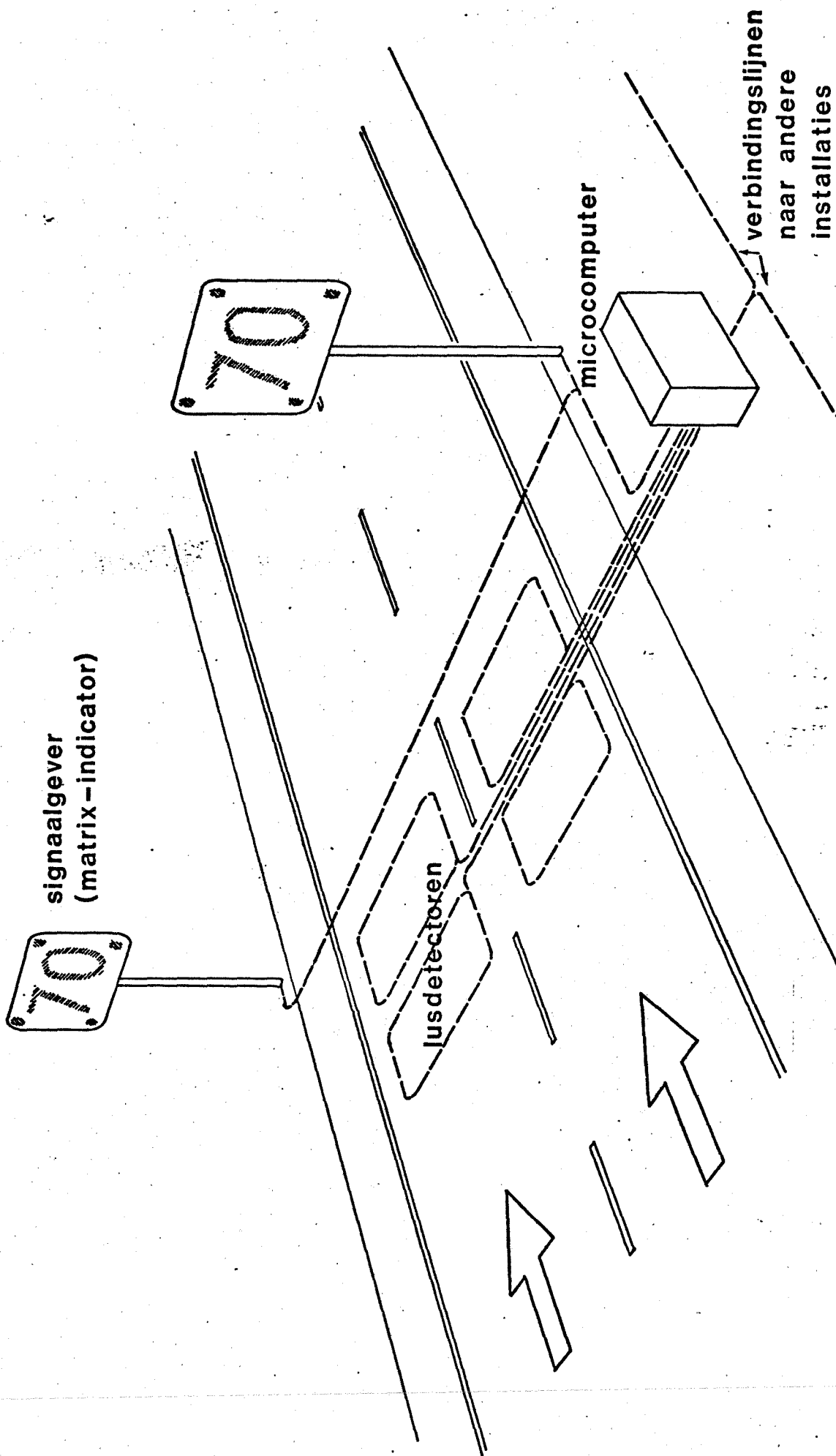
In de meeste geïndustrialiseerde landen heeft de groei van het wegennet geen gelijke tred kunnen houden met de toename van het aantal gemotoriseerde voertuigen. Dit verklaart de belangstelling waarin verkeerssignaleringsystemen zich meer en meer mogen verheugen. Deze systemen hebben tot doel opstoppingen op te sporen en te signaleren, zodat bestuurders tijdig maatregelen kunnen nemen die hun veiligheid bevorderen. Verschillende van deze systemen zijn inmiddels reeds ingevoerd, o.a. op de zwaarst belaste delen van het Nederlandse autowegennet. Rijkswaterstaat heeft bovendien plannen ten aanzien van nieuwe signaleringssystemen, die in de nabije toekomst gerealiseerd zullen worden.

Over signaleringssystemen is in de internationale literatuur veel informatie te vinden, behalve wanneer het gaat om evaluatie van de systemen. Op het laatste symposium over verkeersregeling, dat in 1974 in Monte Carlo werd gehouden, is dan ook geconstateerd dat evaluatie tot dan toe te weinig aandacht had gekregen. In hetzelfde jaar heeft ir. Beukers, hoofd van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat, op het SWOV-congres "Beheerst Verkeer" gesteld dat signaleringsprojecten voor Nederlandse autosnelwegen in eerste instantie een experimenteel karakter hebben en dat een zorgvuldige evaluatie van de effecten noodzakelijk is. Dit alles is voor de auteurs van bijgaand artikel aanleiding geweest een opzet te maken voor de evaluatie van het effect van signaleringssystemen op de verkeersonveiligheid. Het vaststellen van dit effect is vooral van belang om het plaatsen van de kostbare signaleringssystemen te kunnen afwegen tegen het nemen van alternatieve maatregelen. Het artikel sluit aan bij twee artikelen van ir. Oei over informatiesystemen in het wegverkeer (Verkeerskunde 5/76 en 6/76).

1. ALGEMEEN

In onderstaand artikel wordt een schets gegeven van een evaluatieplan voor een zogenaamd plaatselijk signaleringssysteem. Dit systeem is in principe alleen bedoeld om bij bekende discontinuïteiten in de geometrie van de weg bestuurders te waarschuwen voor niet direct waarneembare congesties. Essentieel voor installatie van dit systeem is dus dat oorzaak en plaats van mogelijke filevorming tevoren bekend zijn. Dergelijke systemen zijn reeds geïnstalleerd op RW 16 ten noorden van de brug over de Oude Maas en op RW 6 en 9 ten zuiden van de Velsertunnel. In het laatste geval gaat het behalve om filebeveiliging tevens om de geleiding van twee samenvoegende verkeersstromen.

Er is voor evaluatie van het plaatselijke signaleringssysteem gekozen, omdat een evaluatieplan voor dit type signaleringssysteem met geringe aanpassingen ook bruikbaar is bij de evaluatie van andere typen signaleringssystemen. Het plan is erop gericht het effect van het in werking zijnde systeem vast te stellen. Eventuele effecten die uitsluitend het gevolg zijn van de aanwezigheid van het systeem, blijven in deze schets buiten beschouwing.



FILEBEVEILIGING - MODULAIRE INSTALLATIE (bron: RWS-DVK)

2. DOEL VAN HET SYSTEEM EN VAN DE EVALUATIE

Het primaire doel van het plaatselijke signaleringssysteem is ongevallen als gevolg van congesties zoveel mogelijk te voorkomen. Door middel van afpellende snelheidsindicaties en knipperlichten wordt bij congesties een tijdige en geleidelijke snelheidsafname beoogd.

Als neveneffect kan dit systeem homogeniserend werken op de verkeersstroom en wel wanneer de intensiteit nog juist niet zo hoog is dat congesties optreden. De homogenisering kan worden bereikt met behulp van niet-afpellende snelheidsindicaties zonder knipperlichten. Hiervan wordt vermindering of uitstel van congesties verwacht, wat niet alleen de veiligheid maar ook de doorstroming ten goede kan komen.

In grote lijnen werkt het systeem als volgt. Elk van de beide rijstroken die naar de discontinuïteit leiden, wordt ongeveer om de 500 m voorzien van meetapparatuur. Op elk meetpunt wordt per rijstrook, met behulp van twee inductielussen in het wegdek, de snelheid van elk voertuig afzonderlijk en de volgtijd ten opzichte van zijn voorligger gemeten. Uit de volgtijden en snelheden worden met een filterprocedure de intensiteit en snelheid bepaald die op dat moment karakteristiek zijn voor de verkeersstroom op elk van de meetpunten. Deze berekende waarden worden in een aantal klassen ingedeeld. Bij elke klasse hoort een bepaalde stand van de signaalgever. Het meetpunt met de 'slechtste' situatie bepaalt de in te schakelen signaalstand ter plaatse en de stroomopwaarts oplopende snelheidsindicaties, waardoor de bestuurder wordt geconfronteerd met een afpellende configuratie. De vertoonde snelheidsindicaties zijn voor beide rijstroken gelijk. Het resultaat is dat bij een aangroeiende file de snelheidsindicaties steeds verder stroomopwaarts aangepast worden. Een uitvoeriger beschrijving van het systeem is gegeven door Klijnhout en Jenezon (1973).

De primaire doelstelling van de evaluatie is na te gaan in hoeverre het signaleringssysteem de verkeersonveiligheid vermindert.

Voor een betrouwbare vaststelling van het effect van het systeem moet echter ook het verkeersgedrag onderzocht worden. Dit fungeert immers als schakel tussen de maatregel en het effect ervan op de veiligheid. Het niet onderzoeken van het verkeersgedrag heeft in het verleden al vaak tot niet interpreteerbare resultaten of zelfs verkeerde conclusies geleid.

Een belangrijk bijproduct van het gedragsonderzoek is een vermeerdering van de kennis over het verkeersproces. Omdat als gevolg van de installatie van een signaleringssysteem een effect op de doorstroming niet denkbeeldig is, zal ook dit aspect in het onderzoek worden betrokken.

In deze paragraaf zijn de termen onveiligheid, verkeersgedrag en doorstroming in algemene zin gebruikt; in de volgende paragraaf zullen zij operationeel worden gemaakt.

3. EVALUATIE

De criteriumvariabelen bij de evaluatie van het plaatselijke signaleringssysteem zijn: onveiligheid (O), verkeersgedrag (G) en doorstroming (D).

Uit methodologische overwegingen is bij de evaluatie van een signaleringssysteem een controlegebied wenselijk. Vanwege de hoge kosten die verbonden zijn aan de installatie van een volledig meetsysteem ter bepaling van het verkeersgedrag, zal voor dit aspect het gebruik van een controlegebied praktisch niet realiseerbaar zijn. Het gebruik van een controlegebied is tegen geringe kosten wel mogelijk voor de variabelen onveiligheid en doorstroming (mits voldoende nauwkeurigheid te bepalen met een eenvoudige methode; zie ook par. 3.3.2.).

Waar het gebruik van een controlegebied onmogelijk is, zal moeten worden volstaan met vóór- en nastudie van het wegvak waarop een plaatselijk signaleringssysteem geïnstalleerd wordt. De criteriumvariabelen zullen in vóór- en naperiode zoveel mogelijk onder vergelijkbare omstandigheden beschouwd moeten worden.

Omdat het signaleringssysteem niet gedurende de gehele naperiode het verkeer beïnvloedt, zal alleen dat deel van de naperiode in de studie betrokken worden dat het systeem in werking is. Van de vóórperiode zal alleen het gedeelte worden genomen waarin het systeem in werking zou zijn geweest als het aanwezig was geweest. Het is vermoedelijk te kostbaar om dit gedurende de hele vóórperiode te registreren. Daarom zullen hiervoor de spitsuren genomen worden. Er zal wel onderscheid gemaakt dienen te worden tussen de spitsuren waarop de politie voor filebeveiliging zorgde en de spitsuren waarop dit niet gebeurde.

De ongevallengegevens zullen betrekking moeten hebben op een periode van minimaal één jaar; dit in verband met de seizoenen.

Voor het verkeersgedrag en de doorstroming kan worden volstaan met registratie over een kortere tijd. Bij de interpretatie van de meetgegevens uit de naperiode zal rekening gehouden moeten worden met de mogelijke invloed van de toenemende bekendheid van de bestuurders met het systeem.

De vergelijkbaarheid van vóór- en naperiode kan op vele manieren worden verstoord. Veranderingen ten aanzien van bepaalde variabelen, gemeten buiten de periode dat het systeem in werking is, zouden hierover misschien aanwijzingen kunnen geven. Aangezien de intensiteit en samenstelling van het verkeer dan aanmerkelijk anders zijn, moet bij het interpreteren van zulke gegevens wel de uiterste voorzichtigheid worden betracht.

Verstorende factoren kunnen bestaan uit veranderingen in wegkenmerken, in verkeerskenmerken en in het weer; ook kunnen verstoringen het gevolg zijn van genomen maatregelen. Hieronder worden enkele mogelijk verstorende factoren opgesomd en wordt per variabele (O, G, D) voor zover mogelijk een remedie aangegeven.

Wegkenmerken

- Onderhoudswerkzaamheden die de kenmerken van de weg niet ingrijpend wijzigen. Remedie: de betreffende periode voor O uitsluiten; G en D in die periode niet meten.
- Ingrijpende wijzigingen in de wegkenmerken. Deze maken een vergelijking van vóór- en naperiode problematisch.
- Veranderingen van bepaalde karakteristieken van de discontinuïteit, bv. tijdstip en duur van brugopening, verkeerslichtenregeling. Zonder nadere informatie is over een remedie weinig te zeggen.

Verkeerskenmerken

Veranderingen in intensiteit en samenstelling (percentage vrachtverkeer); bij een weg met veel buitenlandse verkeersdeelnemers eventueel ook de verdeling van de verkeersdeelnemers naar nationaliteit. Voor O kan met niet te grote veranderingen van intensiteit rekening worden gehouden door de ongevallen te relateren aan de verkeersprestatie. Ingrijpende wijzigingen in de verkeerssamenstelling worden niet verwacht. Bij G en D kan men vergelijkbare perioden nemen en eventueel voor D een maatstaf gebruiken die onafhankelijk is van kleine intensiteitswijzigingen.

Weer

Grote veranderingen in weersomstandigheden (bv. strenge winter alléén in de vóórperiode). Remedie: de betreffende periode niet in de analyse betrekken.

Maatregelen

- Ongevallenregistratie. Voor onderzoek van 0 zal de mate waarin ongevallen geregistreerd worden, niet gewijzigd mogen worden.
- Politietoezicht. Verwacht wordt dat het effect van intensief politietoezicht op het verkeer zo groot is, dat er voor gezorgd moet worden dat wat dit betreft geen noemenswaardige verschillen tussen vóór- en naperiode bestaan (voor zover dit verantwoord is).
- Wijziging in de algemene snelheidslimieten. Dit zal voor het gebied waar zowel in de vóór- als naperiode reeds een specifieke snelheidslimiet geldt (90, 70, 50) geen effect op 0, G en D hebben. In het gebied stroomopwaarts van de specifieke snelheidslimiet zal de wijziging in de spitsuren waarschijnlijk geen effect op 0, G en D hebben, omdat de snelheden dan reeds onder de limiet zullen liggen. Buiten de spitsuren zal er in dit gebied mogelijk wel een effect op 0, G en D zijn. Verondersteld wordt dat een eventueel effect op 0 zich slechts over een relatief klein deel van het totale aantal ongevallen van het gehele gebied zal uitstrekken. Indien er aanwijzingen komen over het effect op 0, zal zonodig een correctie worden aangebracht.
- Wijziging in de starre plaatselijke snelheidslimieten. Deze maken een vergelijking tussen vóór- en naperiode problematisch.
- Autogordel. Verondersteld wordt dat veranderingen in het gebruikspatroon van de autogordel effect zullen hebben op de afloop van de ongevallen. Hierdoor zal het aantal geregistreeerde ongevallen beïnvloed kunnen worden. De grootte van de invloed zal afhankelijk zijn van de kwaliteit van de registratie.
Aangenomen wordt dat deze invloed kan worden gecorrigeerd met behulp van het controlegebied.
- Alcoholpromillage. Verondersteld wordt dat een wijziging in het alcoholconsumptiepatroon onder de bestuurders (bv. door wijziging

in alcoholcontrole) vooral effect heeft op 0 in de nachtelijke uren (22.00 - 05.00 uur). Remedie is uitsluiting van deze uren.

3.1. Onveiligheid

Voor het bepalen van de onveiligheid kan gebruik gemaakt worden van de aantallen ongevallen, betrokken voertuigen, letselongevallen en slachtoffers. Welke variabelen gekozen zullen worden, is afhankelijk van de betrouwbaarheid van de geregistreeerde gegevens, de omvang ervan en het verwachte effect van het systeem op de variabelen. Eenvoudigheidshalve wordt in deze paragraaf slechts gesproken over ongevallen.

Uit de ongevallenregistratie volgen type, plaats en tijdstip van het ongeval, de wijze van verkeersdeelname, en de omstandigheden waaronder het ongeval plaatsvond.

Als minimale meetduur wordt voor de onveiligheid een vóór- resp. naperiode van één jaar genomen in verband met seizoensinvloeden. Als het aantal ongevallen in één jaar uit statistisch oogpunt te gering blijkt te zijn, zal de periode langer moeten worden genomen.

Hoeveel ongevallen nodig zijn voor een verantwoorde analyse, hangt af van de effectiviteit van het systeem en van het acceptabel geachte risico om onjuiste conclusies te trekken. Stel het werkelijke effect van het systeem voor door de verhouding (r) van het verwachte aantal ongevallen in de naperiode tot het verwachte aantal in de vóórperiode en onderscheid twee gevallen: $r < 1$, het systeem heeft een positief effect en $r \geq 1$, het systeem heeft geen positief effect. De conclusie van de analyse is in eerste instantie ook een van deze twee mogelijkheden. Daarbij loopt men echter het risico een onjuiste conclusie te trekken, en wel op twee manieren (zie tabel 1).

		werkelijkheid	
		$r < 1$	$r \geq 1$
conclusie	$r < 1$	$1 - \beta$	α
	$r \geq 1$	β	$1 - \alpha$

Tabel 1. Definitie van α en β .

De kansen om ten onrechte te besluiten tot een al dan niet positief effect zijn respectievelijk α en β . De keuze van de grootte van α wordt onder meer beïnvloed door de kosten van het signalerings-systeem; de bijbehorende fout leidt immers tot overbodige installatie. De grootte van β is mede afhankelijk van de omvang van de onveiligheid, omdat de bijbehorende fout leidt tot het niet installeren van het systeem en dus tot het niet reduceren van de onveiligheid.

Op grond van de gebruikelijke veronderstelling dat het aantal ongevallen een toevalsvariabele volgens de Poissonverdeling is, kan men berekenen hoeveel ongevallen uit de vóórperiode (m_{voor}) er minimaal nodig zijn opdat de kansen op onjuiste conclusies onder zekere waarden blijven. Dit aantal is tevens afhankelijk van de onbekende werkelijke waarde van r (zie tabel 2, waarbij α en β beide 5% gekozen zijn). Een schatting van het aantal benodigde ongevallen volgt dus uit de gekozen waarden van α en β en uit een schatting vooraf van het effect van het systeem.

r	m_{voor}
0.1	21
0.2	27
0.3	37
0.4	51
0.5	76
0.6	122
0.7	223
0.8	514
0.9	2111

m_{voor}	m_{na}
10	2
15	5
20	9
30	17
40	25
50	33
75	54
100	76
200	167
500	447
1000	926

Tabel 2. Statistisch benodigd aantal ongevallen in de vóórperiode (m_{voor}) in afhankelijkheid van systeemeffect r , bij $\alpha = \beta = 5\%$.

Tabel 3. Bovengrens m_{na} voor significant effect, bij $\alpha = 5\%$.

Tabel 3 is van het type dat gebruikt moet worden als de aantallen ongevallen in vóór- en naperiode beschikbaar zijn. Gegeven het aantal in de vóórperiode (m_{voor}) is berekend hoeveel het aantal in de naperiode (m_{na}) maximaal mag bedragen, opdat tot een significant positief effect met betrouwbaarheid $1-\alpha$ besloten kan worden.

Uit beide tabellen blijkt dat voor betrouwbare conclusies een relatief groot aantal ongevallen (in 1972 gebeurden er ca. 17 ongevallen per km zwaar belaste autosnelweg; zie Beukers, 1974) of een groot effect van het systeem nodig is.

Op het wegvak waar een plaatselijk signaleringssysteem geïnstalleerd wordt, dient zowel in vóór- als naperiode een permanent telpunt aanwezig te zijn, dat de uurintensiteiten registreert. Met behulp daarvan kunnen in vóór- en naperiode de spitsperioden en de prestatie (voertuigkm) bepaald worden. De globale gang van zaken is aangegeven in tabel 4.

	vóórperiode		naperiode	
	$T_{1,1}$	$T_{1,2}$	$T_{2,1}$	$T_{2,2}$
prestatie	P_1	Q_1	P_2	Q_2
ongevallen	$\begin{array}{c} n_1 \\ \swarrow \quad \searrow \\ n_{1,1} \quad n_{1,2} \end{array}$	m_1	$\begin{array}{c} n_2 \\ \swarrow \quad \searrow \\ n_{2,1} \quad n_{2,2} \end{array}$	m_2

$T_{1,1}$ en $T_{2,1}$ = spitsperioden

$T_{1,2}$ en $T_{2,2}$ = overige perioden minus nachtelijke uren

Tabel 4

Bij bepaling van het effect van het systeem, door vergelijking van n_1/P_1 met n_2/P_2 , kan de vergelijking van m_1/Q_1 met m_2/Q_2 eventueel als controle dienen. Het is overigens niet uitgesloten

dat ten gevolge van de beperkingen in $T_{1,2}$ en $T_{2,2}$ (uitsluiting nachtelijke uren enz.) de aantallen m_1 en m_2 te klein worden. Bovendien moet bedacht worden dat deze controlegroep niet ideaal is. Een betere oplossing is het gebruik van een controlegebied.

Het is gewenst de ongevallen n_1 en n_2 verder te verdelen, namelijk in ongevallen die met het systeem voorkomen kunnen worden (met name kop-staartbotsingen ten gevolge van schokgolven of filevorming), en ongevallen waar dit niet voor geldt (bv. ongevallen ten gevolge van een voertuigdefect). Het is te verwachten dat bij deze opsplitsing vele twijfelgevallen zullen bestaan: is bv. een botsing tegen een vast voorwerp in het spitsuur het gevolg van een poging een file te ontwijken of niet?

Deze overwegingen hebben geleid tot het opsplitsen van n_1 in kop-staartongevallen ($n_{1,1}$) en overige ongevallen ($n_{1,2}$); hetzelfde geldt voor n_2 . Het effect van het systeem kan nu apart beschouwd worden voor kop-staartongevallen en overige ongevallen, waarbij controle met m_1/Q_1 en m_2/Q_2 mogelijk is.

Voor de andere variabelen kan een soortgelijke analyse worden uitgevoerd.

3.2. Verkeersgedrag

Tijdens de vóór- en nastudie zullen de relevante aspecten van het verkeersgedrag onder vergelijkbare omstandigheden moeten worden gemeten. Op deze wijze dient men te komen tot een relatie tussen signaleringssysteem, verkeersgedrag en onveiligheid.

Daar slechts uitwendige voertuigkenmerken worden geobserveerd, zullen de overige kenmerken en de veranderingen daarin (bv. attentieniveau van de bestuurders) buiten beschouwing blijven. Het is echter wel van belang te weten of de bestuurders de bedoeling van het systeem begrijpen en hoe hun attitude ten opzichte van de gedragsaanbevelingen is. Informatie hieromtrent kan slechts verkregen worden door middel van een enquête; op de opzet van zo'n enquête zal hier niet worden ingegaan.

Voor registratie van het verkeersgedrag kan ten dele gebruik gemaakt worden van de meetapparatuur die een onderdeel vormt van het signaleringssysteem, en die is aangebracht op onderlinge afstanden van ca. 500 m. Deze afstanden lijken te groot om de verkeersstroom, met name de snelheidsdaling en de voortplanting van de schokgolf, goed te kunnen analyseren. Voor het bepalen van de optimale afstand is nadere studie en overleg met de systeemontwerpers noodzakelijk.

Gezien de hoge kosten zal het er wel op neerkomen dat slechts een beperkt gedeelte (bv. 1000 m) van het wegvak voorzien kan worden van extra meetpunten. De plaats hiervan zal gekozen worden op grond van ongevallengegevens en wegkenmerken. Zo kan tevens beter onderzocht worden waar en hoe op de adviessnelheden gereageerd wordt en kan aan de hand van patroonherkenning in een opeenvolging van voertuiglengten getracht worden individuele voertuigen te volgen. Deze laatste methode is echter tot nu toe nog niet voldoende betrouwbaar gebleken.

Daarnaast zou incidenteel met een film- of fotomethode vanaf een geschikt hoog punt of vanuit een vliegtuig de verkeersstroom kunnen worden geregistreerd. Zo kan een vrijwel volledig beeld van het gedrag worden verkregen, dat bruikbaar is bij de interpretatie van de beperktere informatie die men met het vaste meetsysteem verkrijgt.

3.2.1. Meting van het verkeersgedrag

Op een aantal doorsneden per rijstrook registreert de meetapparatuur het moment van passage, de snelheid en de lengte van elk passerend voertuig. Dit zijn de basisgegevens waaruit alle andere relevante grootheden worden afgeleid. Wát relevant is, volgt uit de veronderstelde werking van het systeem. Van de installatie van een plaatselijk signaleringssysteem wordt effect verwacht op de volgende grootheden:

a. Gemiddelde snelheid (gemiddeld over een korte periode of een klein aantal voertuigen). Bij afpellende adviessnelheden als functie

van de afstand tot de staart van de file wordt een geleidelijker verloop en een eerder ingezette daling verwacht. Dit is de kerngedachte achter het signaleringssysteem.

Wanneer adviessnelheden (al dan niet appellend) worden aangegeven, zal het verschil in gemiddelde snelheid tussen de rijstroken geringer worden. Het advies is namelijk voor beide stroken hetzelfde.

b. Snelheidsverdeling. Verwacht wordt dat deze meer geconcentreerd zal zijn om het gemiddelde, te karakteriseren door een kleinere standaardafwijking.

c. Individuele snelheden. Ook deze zullen geleidelijker verlopen en vormen wellicht een betrouwbaarder criterium om de werking van het systeem te toetsen dan gemiddelde en verdeling. Of de analyse van deze grootheid mogelijk is, hangt af van de mate waarin de patroonherkenning met behulp van voertuiglengten slaagt.

d. Volgtijden en snelheidsverschillen tussen twee opeenvolgende voertuigen. Naar verwachting zullen ook deze veranderen. De vraag is hoe men deze veranderingen het beste kan karakteriseren in grootheden die interpreteerbaar zijn in termen van veiligheid. Bij de volgende grootheden, die gebaseerd zijn op verkeersstroomtheorie en soortgelijk onderzoek, is de relatie met veiligheid voornamelijk hypothetisch:

- volgtijdverdeling; deze zal meer geconcentreerd zijn om het gemiddelde, met name de fractie zeer korte volgtijden neemt af;
- 'turbulentie'; deze grootheid, geïnspireerd door 'car-following'-theorie, wordt gedefinieerd als:

$$\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[(v_i - v_{i-1}) / \tau_i \right]^2 \right)^{0,5}$$

waarbij v_i en v_{i-1} de snelheden van twee opeenvolgende voertuigen zijn en τ_i de bijbehorende volgtijd (zie Courage, 1972, die echter door volgafstand in plaats van volgtijd deelt); verwacht wordt dat de turbulentie zal afnemen ten gevolge van de kleinere snelheidsverschillen en de minder frequent voorkomende korte volgtijden;

- aantal potentieel onveilige volgers; door benodigde en beschikbare remvertraging te vergelijken is het onder bepaalde veronderstellingen mogelijk uit snelheden, voertuiglengte en volgtijd af te

leiden of een voertuig voldoende afstand houdt. Een beoordeling van het volgen per voertuig is o.a. uitgevoerd door Leutzbach (1970) en uitgebreid voor toepassing op een cluster door Ter Hoeven (1971); verwacht wordt dat het op deze manier bepaalde aantal potentieel onveilige volgers zal afnemen.

Bij al deze grootheden dienen tevens de bijbehorende intensiteit en bezettingsgraad (=percentage van de tijd dat een detector bezet is) bepaald te worden. Dit is nodig, omdat een goede vergelijking van meer gedetailleerde verkeersstroomkenmerken in het algemeen slechts zinvol is als de meer globale kenmerken vergelijkbaar zijn.

3.2.2. Vergelijkbaarheid van omstandigheden

De omstandigheden waaronder gemeten wordt, zullen vergelijkbaar moeten zijn voor wat betreft:

- seizoen;
- dag (werkdag, zaterdag, zondag);
- uur van de dag (licht, donker);
- weersomstandigheden;
- intensiteit (+ verkeerssamenstelling) en gemiddelde snelheid (bezettingsgraad) van het verkeer dat het beschouwde wegvak binnenrijdt, inclusief de toeritten; ook voor wat betreft het verloop in de tijd;
- periode en plaats van het begin van de filevorming.

3.2.3. Omvang van het onderzoek

Als men de veronderstelde relatie tussen verkeersgedrag en onveiligheid wil onderzoeken, moet in principe het verkeersgedrag representatief zijn voor de omstandigheden waaronder de ongevalen gebeuren. Ten behoeve van de realiseerbaarheid van het onderzoek naar het verkeersgedrag wordt hier een keuze gemaakt voor die omstandigheden waarin het systeem zou kunnen werken, namelijk de ochtend- en avondspits van werkdagen.

Eventueel zal een analyse van ongevallen uit de tijd vóór de vóórperiode aanleiding kunnen geven tot verandering van deze keuze of tot uitbreiding.

Voorlopig wordt er van uitgegaan dat zowel in vóór- als naperiode meetgegevens zullen worden verzameld van minimaal tienmaal één uur in de ochtendspits en een zelfde aantal in de avondspits. Verondersteld wordt dat dan een verzameling verkregen wordt waar voldoende vergelijkbare gevallen in voorkomen. De meetduur per keer moet bij voorkeur langer genomen worden dan één uur, wat de mogelijkheid biedt het meest geschikte uur voor analyses te nemen.

3.3. Doorstroming

Het positieve effect op de doorstroming zou als volgt tot stand kunnen komen:

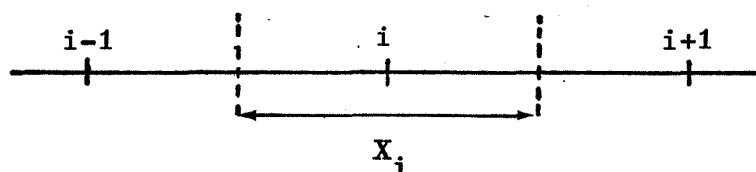
- filebeveiliging met afpellende snelheden → reductie aantal ongevallen → reductie fileomvang → reductie reistijd;
- homogeniseren verkeersstroom bij hoge intensiteiten →
 - a) minder storingen en reductie aantal ongevallen (stabielere verkeersstroom) → reductie fileomvang → reductie reistijd;
 - b) betere benutting van de weg stroomopwaarts van de discontinuïteit (hogere gemiddelde snelheid bij dezelfde intensiteit en een groter deel van de rijbaanintensiteit op de rechter rijstrook) → reductie reistijd.

De reductie van de file-omvang (in lengte en/of tijd) en de reistijd is een neveneffect van het signaleringssysteem dat primair beoogt de verkeersveiligheid te bevorderen. Deze overweging leidt tot de keuze alleen het totaal-effect van het systeem op de variabelen file-omvang en reistijd te onderzoeken.

3.3.1. File-omvang

Ter bepaling van de file-omvang wordt bij de evaluatie gebruik gemaakt van de volgende definitie. Op een doorsnede van een weg is een file aanwezig als bij grote verkeersdichtheid de gemiddelde snel-

heid (bv. minuutwaarde) kleiner is dan een zekere waarde (bv. 30 of 50 km/h). De lengte van de file wordt gelijk gesteld aan de lengte van het wegvak (X_i) waarvoor de doorsnede representatief wordt geacht (bv. tot halverwege de naburige doorsneden waar ook gemeten wordt; zie afbeelding 1).



Afbeelding 1.

File-omvang = $\sum X_i T_i$ km.uur; met T_i = tijd dat gedurende de beschouwde periode de gemiddelde snelheid op meetpunt i kleiner dan de grenswaarde is.

De file-omvang zal zonder en met signaleringssysteem onder vergelijkbare omstandigheden (zie par. 3.2.2.) bepaald worden.

3.3.2. Reistijden

Naast de file-omvang is de reistijd een variabele waarmee de doorstroming gekarakteriseerd kan worden en die bovendien eenvoudig interpreteerbaar en eventueel in geld om te rekenen is. Het lijkt daarom zinvol de reistijd te bepalen, en wel de totale reistijd van de voertuigen over het beschouwde weg- en tijdvak. Voor het bepalen van de totale reistijd, aan te duiden met R , bestaan diverse methoden. De volgende twee zijn in dit geval geïndiceerd, omdat ze bepaald kunnen worden met dezelfde gegevens die voor de analyse van het verkeersgedrag verzameld worden:

a. **Input-outputmethode.** Hiervoor is uitsluitend het verloop van de intensiteit bij de in- en uitgangen van het beschouwde wegvak nodig. Voor een ader met een in- en uitgang geldt bv. dat de totale reistijd over AB gedurende de periode T is:

$$R = \int_0^T \int_0^t (q_1(t') - q_2(t')) dt' dt + n_0 T$$

Daarbij zijn q_1 en q_2 de intensiteiten bij respectievelijk in- en uitgang (zie afbeelding 2), n_0 is het aantal voertuigen op AB ten tijde van $t=0$. De waarde van n_0 wordt geschat met behulp van een proefvoertuig dat, zich met de gemiddelde snelheid voortbewegend, van A naar B gaat. Men telt het aantal voertuigen dat B passeert vanaf het moment dat het proefvoertuig bij A start tot het moment dat het B bereikt.



Afbeelding 2

Een nadeel van deze methode is dat meetfouten een grote invloed op het resultaat kunnen hebben, zodat een voorafgaand onderzoek nodig is. De methode is o.a. gebruikt door Courage (1970).

b) Lokale snelheden. Analoog aan de wijze waarop de file-omvang is bepaald, kan men uit de lokale snelheden de totale reistijd schatten, volgens:

$$R = \sum_{i=1}^m X_i \sum_{j=1}^{n_i} 1/v_{ij}$$

met sommatie over m wegvakken van lengte X_i en de daarin gemeten snelheden v_{ij} . Voor toepassing van deze methode is nodig te weten hoe van zeer langzame en tijdelijk stilstaande voertuigen de snelheid bepaald wordt. Snelheden van de waarde nul mogen niet voorkomen, omdat R dan oneindig groot en onvergelykbaar wordt.

Wellicht levert een combinatie van beide methoden de beste resultaten op. Dit is o.a. toegepast door Nahi (1973), die een schattingsmethode aangeeft voor het aantal voertuigen op een wegvak en hun gemiddelde snelheid. Zijn methode is gebaseerd op passagemomenten en snelheden die aan de uiteinden van het betreffende wegvak geobserveerd zijn. Alvorens definitief voor een bepaalde methode kan worden gekozen, is echter nog wel enig vooronderzoek nodig.

3.3.3. Meetduur

Voor zowel file-omvang als reistijd kan dezelfde onderzoekperiode gekozen worden als voor het verkeersgedrag. Voor de reistijd is echter een elementaire meetduur van minimaal een spitsperiode gewenst, dus eventueel meer dan een uur.

3.4. Registratie en verwerking

De detectorgegevens worden in de vorm van tijdmarkeringen geregistreerd op magneetband. Hiermee ligt de volledige informatie vast in een vorm die direct door een computer verwerkt kan worden. Bij gebruik van meer magneetbandrecorders zullen deze gesynchroniseerd moeten worden. Tevens zal de stand van de signalering moeten worden vastgelegd.

Daarnaast zullen tijdens de registratie van het verkeersgedrag in de vóór- en naperiode menselijke waarnemers bijzonderheden registreren. Bij de verwerking kan wellicht gebruik worden gemaakt van reeds aanwezige programmatuur bij RWS.

De hoeveelheid registraties is in eerste instantie nogal groot. Als echter in de eerste stap van de verwerking de ruwe data worden getransformeerd tot tijdreeksen van passagemoment, snelheid en voertuiglengte, treedt een grote reductie op. Zo zal bv. 100 uren registratie op 25 meetpunten bij een intensiteit van 3600 voertuigen/h dan op drie magneetbanden (lengte 3200 ft en informatie-dichtheid 1600 bytes/inch) opgeslagen kunnen worden.

4. BENODIGDE GEGEVENS VOOR UITWERKING VAN HET EVALUATIEPLAN

Voor een uitwerking van het evaluatieplan voor een concrete situatie zijn meer gegevens nodig dan in het voorafgaande is aangegeven.

Met betrekking tot weg, verkeer en ongevallen zijn o.a. nodig:

- gedetailleerde wegkenmerken;
- gegevens betreffende eventuele wegwerkzaamheden in vóór- en naperiode;
- gegevens over speciale regelingen met betrekking tot de bottle-neck, zoals brugopeningen en programma's voor verkeerslichten.
- intensiteiten (uurwaarden), verkeerssamenstelling en afwikkelingsniveau van de laatste twee tot drie jaar;
- gedetailleerde ongevalsgegevens van de laatste twee tot drie jaar;
- details over het registratiesysteem;
- gegevens over de mate van toezicht en filebeveiliging door de politie.

Met betrekking tot het systeem moeten o.a. beschikbaar zijn:

- kwantitatieve verwachtingen ten aanzien van de verbetering in de verkeersveiligheid (bv. op grond van ervaringen elders met hetzelfde soort signaleringssysteem);
- plaatsen van de meet- en signaalpunten, in- en uitschakelcriteria (zijn er speciale criteria afhankelijk van het karakter van de discontinuïteit?).

5. SLOTOPMERKINGEN

In het voorgaande zijn de grote lijnen geschetst volgens welke de evaluatie van een plaatselijk signaleringssysteem kan plaatsvinden.

Bij het opstellen van het plan is bewust voor een nogal uitvoerige opzet gekozen. De vraag is, in hoeverre de diverse onderdelen praktisch uitvoerbaar zijn, bv. de opsplitsing van de ongevallen en de uitvoerige registratie van het verkeersgedrag. Er zijn een aantal concessies mogelijk, maar die zullen wel enigszins de betrouwbaarheid en volledigheid van de conclusies verminderen. Daarom leek het beter die niet meteen aan te brengen. Zo is een goed uitgangspunt voor verdere praktische uitwerking ontstaan, terwijl het evaluatieplan tevens als referentie kan dienen bij de beoordeling van een uiteindelijk gerealiseerd onderzoek.

De resultaten van een evaluatie die volgens dit plan wordt uitgevoerd, zullen een bijdrage vormen tot de noodzakelijke gegevens voor het uitvoeren van een kosten-batenanalyse van signaleringssystemen. Van de mogelijke baten zijn de reductie van de onveiligheid en van de reistijden behandeld. De vermindering van onderhoudskosten van de weg, dankzij een snellere afzetting bij werkzaamheden, zal bij een plaatselijk signaleringssysteem vermoedelijk gering zijn, omdat de signalering voor beide rijstroken gelijk is. Wel zullen er baten zijn ten gevolge van een reductie van de benodigde politie-inzet; een schatting hiervan kan het beste door de politie zelf gegeven worden.

Voorts zal uitvoering van een evaluatie leiden tot vermeerdering van kennis over het verkeersproces. Ten slotte is het mogelijk dat op grond van de resultaten van de evaluatie aanwijzingen worden gevonden voor verbetering van het signaleringssysteem. Het is echter moeilijk hierover van tevoren voorspellingen te doen.

De kosten van de evaluatie zelf zijn in dit artikel buiten beschouwing gebleven. Ze kunnen beter bepaald worden aan de hand van een uitgewerkt plan.

LITERATUUR

Beukers, B. Verkeersbeïnvloeding op autosnelwegen. In: Inter-traffic 74 "Beheerst verkeer". Definitief programma; Teksten lezingen. RAI, Amsterdam, 1974.

Courage, K.G. Evaluation and improvement of operations in a freeway corridor. Traffic Engineering 40 (1970) 6 (mrt.): 16-24.

Courage, K.G. & Bissell, H.H. Recording and analysis of traffic engineering measures. In: Highway Research Record no. 398. Washington, 1972.

Hoeven, W.J. ter & Koster, J. Een apparaat waarmede cluster-
vorming op autosnelwegen gedetecteerd kan worden. Afdeling der
Elektrotechniek. Technische Hogeschool Delft, 1971.

Klijnhout, J.J. & Jenezon, J.H. Plaatselijke signaleringssystemen; Een nieuwe vorm van filebeveiliging. Verkeerstechniek 24 (1973) 7: 338-339.

Leutzbach, W. et al. Über den Zusammenhang zwischen Verkehrsunfällen und Verkehrsbelastung auf einem deutschen Autobahnabschnitt. Accident Analysis & Prevention 2 (1970) 2 (dec.): 93-102.

Nahi, N.E. Freeway-traffic data processing. Proceedings of the IEEE 61 (1973) 5 (mei): 537-541.