

| ANWB | **rai** | NVVA |

VERKEERSSIGNALERING EN VERKEERSVEILIGHEID

Een literatuurstudie naar toepassing, functioneren en effectiviteit van verkeerssignalerings- en beheersingssystemen.

Consult ten behoeve van de Nederlandse Vereniging van Automobiell-
assuradeuren NVVA

R-87-12

Ing. C.C. Schoon

Leidschendam, 1987

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Voorwoord

1. Inleiding
2. Toepassing
3. Basisonderzoek
 - 3.1. Studies naar verkeersstromen en incidenten
 - 3.2. Intensiteiten en ongevallen
 - 3.3. Criteria voor verkeersreguleringsystemen
4. Componenten van verkeersreguleringsystemen
 - 4.1. Systemen voor incidentendetectie
 - 4.2. Systemen voor snelheidsbeïnvloeding
 - 4.3. Rijstrooksignalering
 - 4.4. Alternatieve route-aanduidingen
 - 4.5. Toeritregelingen
 - 4.6. Waarschuwingssystemen
5. Verkeersbeheersingssystemen
 - 5.1. Verkeersbeheersingssystemen voor een wegennetwerk
 - 5.2. Verkeersbeheersingssystemen voor corridors
 - 5.3. Verkeersbeheersingssystemen voor hoofdadars
6. Effectiviteitsstudies
 - 6.1. Effectiviteit
 - 6.2. Kosten en baten
7. Conclusies

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 4

VOORWOORD

Verkeersreguleringsystemen worden de laatste jaren in toenemende mate toegepast ter verhoging van de capaciteit van de weg en ter bevordering van de verkeersveiligheid. Het doel van dit rapport is het geven van een overzicht van de verschillende systemen die op autosnelwegen in diverse landen worden toegepast. De literatuurstudie blijft beperkt tot systemen waarbij de informatieverschaffing zich buiten het voertuig afspeelt. Voor kennis aangaande de overdracht van de informatie met behulp van boordinstrumenten kan worden verwezen naar een SWOV-studie over elektronica in het wegverkeer (Wouters, 1984).

Voor zover effecten bekend zijn van de diverse systemen, zal dit worden beschreven. De opdrachtgever stelde vooral belang in het effect van de in Nederland toegepaste signaleringssystemen. In deze studie zal daar dan ook uitgebreider op worden ingegaan.

In 1981/1982 zijn in Nederland op enkele zwaarbelaste wegvakken verkeerssignaleringssystemen toegepast, te weten op Rijksweg A13 (en gedeelten van A16 en A20) bij Rotterdam en Rijkswegen A2/A12 nabij Utrecht. Beoogd wordt de weggebruiker te informeren over filevorming en wegwerkzaamheden. Hierbij worden rijstrooksignalering en signaalgevers met snelheidsadviezen toegepast. In diverse andere landen zijn de aldaar toegepaste systemen niet alleen gericht op het signaleren, maar ook op het beheersen van de verkeersstromen. In deze landen is dan ook niet alleen sprake van de regulering van het verkeer op een enkele hoofdader zoals in Nederland, maar op een netwerk van wegen. Systeemcomponenten als alternatieve route-aanduidingen en toeritregeelingen zorgen hierbij voor een toewijzing van de rittenbundels over diverse wegen en voor een gedoseerde toelating van het verkeer op een hoofdader. Hiermee wordt beoogd een optimaal gebruik van de beschikbare capaciteit te bewerkstelligen. Dergelijke systemen die ook in deze literatuurstudie zullen worden behandeld, zullen met "verkeersbeheersingssystemen" worden aangeduid.

De opdrachtgever van dit consult is de Nederlandse Vereniging van Automobielaassuradeuren NVVA. Het rapport vormt een onderdeel van het onderzoekprogramma dat de SWOV uitvoert na overleg met en in opdracht van de drie particuliere subsidiegevers ANWB, NVVA en RAI, die zijn overeengekomen een door hen jaarlijks vastgesteld onderzoekprogramma door de SWOV te laten uitvoeren.

Deze studie is uitgevoerd door ing. C.C. Schoon, van de Hoofdafdeling Tactisch Onderzoek SWOV.

1. INLEIDING

Verkeersreguleringsystemen zijn belangrijke hulpmiddelen om de taken van de verkeersdeelnemer en wegbeheerder te ondersteunen en/of over te nemen (Wouters, 1984).

Voor de verkeersdeelnemer spelen deze systemen in het verkeersproces een rol bij het verplaatsings- en verkeersgedrag. Onder het verplaatsingsgedrag wordt de hoeveelheid aan activiteiten verstaan die te maken hebben met de keuze van reisdoel, vervoermiddel en route. Als de (potentiële) weggebruiker over adequate informatie beschikt, kan een optimale keuze worden gemaakt. Naarmate deze informatie betrouwbaarder en actueler is, zal de (potentiële) weggebruiker zich er eerder door laten beïnvloeden. Het is de taak van de wegbeheerder deze informatie te verzamelen en zorg te dragen voor de verspreiding. Onder verkeersgedrag worden die activiteiten verstaan die verband houden met het uitvoeren van de bestuurderstaak, zoals het bepalen van snelheid, koers, dwarspositie. Het niveau van de waakzaamheid speelt hierbij een belangrijke rol. De bestuurderstaak kan worden verlicht door het verstrekken van adequate informatie over het voorliggende weggedeelte. Deze informatie kan aan de bestuurder worden overgebracht via boordinstrumenten en/of via signaleringssystemen die boven of langs de weg zijn aangebracht.

Voor de wegbeheerder zijn verkeersreguleringsystemen van belang voor de beheersing van het verkeer. Hieronder wordt verstaan de beïnvloeding van het gebruik van het type vervoermiddel, de distributie van verkeer over (netwerken van) wegen, verkeersstroomgeleiding (verdeling van het verkeer over rijstroken) en regelingen om de verkeersstroom te homogeniseren (bijv. snelheidssignaleringen). Daarnaast kunnen waarschuwingssystemen worden toegepast om de waakzaamheid van de weggebruiker te vergroten.

Naarmate met meer geavanceerde systemen wordt gewerkt, is het beter mogelijk het verkeer te regelen op basis van tijd- en plaatsgebonden informatie.

In deze literatuurstudie wordt als verzamelnaam voor de diverse systemen de term verkeersreguleringsystemen gehanteerd. Het toepassingsgebied strekt zich uit van lokale signalering tot beheersing van het verkeer over een stelsel van wegen. In dit rapport zal in het eerste geval worden gesproken over verkeerssignaleringsystemen en in het tweede geval over verkeersbeheersingssystemen.

In beide systemen kunnen dezelfde systeemelementen voorkomen zoals, incidentdetectie, rijstrooksignalering. Het kenmerkende verschil is dat bij de signaleringssystemen de systeemelementen min of meer als zelfstandige units

operationeel zijn; bij de verkeersbeheersingssystemen is niet alleen sprake van een integratie van de afzonderlijke systeemelementen, maar tevens van een koppeling over een uitgestrekt gebied.

Alvorens op deze systemen en hun componenten wordt ingegaan, zal eerst worden behandeld wanneer tot toepassing wordt overgegaan en welke studies in dit verband zijn uitgevoerd. De literatuurstudie wordt afgerond met een hoofdstuk over de effectiviteit van enkele behandelde systemen en/of componenten.

2. TOEPASSING

De ontwikkeling en installatie van verkeersreguleringsystemen is een bijzondere kostbare zaak. In het algemeen zal men tot toepassing overgaan als op een verkeersader of netwerk van wegen veelvuldig sprake is van congestie, of als dit in de toekomst in toenemende mate wordt verwacht.

Drie belangrijke hoofdoorzaken van congestie zijn aan te geven (McDermott, 1979):

- incidenten als gevolg van pech, ongevallen, bijzondere weersomstandigheden, onderhoudswerkzaamheden;
- overbelasting gedurende piekperioden;
- problemen met geometrie, zoals rijstrookreductie en -versmalling, steile hellingen (denk hierbij aan zware voertuigen).

Ten aanzien van de laatste twee punten zou door aanpassing van het wegennet en de geometrie de oorzaak van congestievorming voor een groot deel weggenomen kunnen worden. Veelal is echter de benodigde ruimte niet beschikbaar en/of zijn de kosten te hoog. Omtrent het eerste punt kan worden gesteld dat congestievorming in veel gevallen moeilijk te voorkomen is.

Keller (1979) geeft condities en redenen aan die van belang waren voor de installatie van verkeersreguleringsystemen in West-Duitsland:

- wegen waarvan de verkeersintensiteit gedurende een relatief korte tijd groter is dan de capaciteit van de weg (ochtend- en avondspits, vakantieperioden);
- wegen met een tijdelijke ondercapaciteit gedurende het tijdsbestek dat de uitbreiding van het wegennet nog niet is gerealiseerd;
- typen autosnelwegen die niet aan nieuwe ontwerpeisen voldoen;
- wegen waar zich (veelvuldig) specifieke omstandigheden voordoen (weersinvloeden, bijzondere locaties).

Uit deze opsomming kan de conclusie worden getrokken dat men in West-Duitsland meer het accent legt op signalering van gevaar en het homogeniseren van de verkeersstroom. In de Verenigde Staten wordt juist meer accent op de verkeersbeheersing gelegd. Gezien het grote verkeersaanbod is dit niet verwonderlijk. Het bevorderen van de doorstroming van verkeer in stedelijke agglomeraties is daar een belangrijk criterium om tot de toepassing van elektronische verkeerssystemen over te gaan.

Bevordering van de doorstroming en de hiermee samenhangende vergroting van de capaciteit van de weg, leiden tot een aantal positieve effecten (o.m. Harmelink, 1983):

- verbeteren van de verkeersveiligheid;
- reduceren van de reistijd;
- besparing van brandstof;
- reduceren van luchtverontreiniging en geluidoverlast;
- verlichten van de bestuurderstaak.

Een enkel reguleringssysteem heeft als additioneel doel de bevordering van de doorstroming van voertuigen met een hoge bezettingsgraad, zoals bussen en carpools (Capelle, 1979).

3. BASISONDERZOEK

De basisgedachte bij invoering van verkeersreguleringssystemen is het zo lang mogelijk stabiel houden van de verkeersstroom. In het algemeen treedt namelijk bij toename van de intensiteit een daling van de snelheid op. Als een bepaalde verzadigingsgraad wordt bereikt, leidt dit tot een instabiele verkeersstroom (met een verhoogde kans op ongevallen) en tot een afname van de capaciteit. Dit beeld kan met een aantal studies worden onderbouwd. Verder worden in dit hoofdstuk criteria met betrekking tot signaleringssystemen aangegeven.

3.1. Studies naar verkeersstromen en incidenten

De relatie tussen het snelheidsverloop en de bezettingsgraad van een rijstrook is in Afbeelding 1 geïllustreerd (McDermott, 1979). De bezettingsgraad is hier gedefinieerd als het percentage van de tijd dat een detectiezone door een voertuig wordt bezet. Uit de afbeelding blijkt dat in het traject van de bezettingsgraad van 0-20% de snelheid constant blijft. Bij verdere toename van de bezettingsgraad daalt de snelheid. Het verloop van de intensiteit is eveneens in de curve afgebeeld: de intensiteit neemt in het bezettingsgraadtraject van 0-20% toe, bereikt zijn maximale waarde in het traject van 20-30% en neemt vervolgens weer af bij toename van de bezettingsgraad.

Ter verkrijging van een stabiele verkeersstroom wordt bij diverse systemen het instrument van snelheidsbeheersing gehanteerd. Zackor (1979) heeft het effect van signaleringssystemen met maximum-snelheidsaanduidingen op een Duitse autosnelweg aangetoond (zie Afbeelding 2). In deze afbeelding wordt bij drie verkeersdichtheidsklassen (aantallen voertuigen per kilometer weg) de snelheidsverdeling gegeven voor de situaties zonder en met een aangegeven snelheidslimiet van 80 km/u, verdeeld naar linker en rechter rijstrook. Duidelijk is geïllustreerd dat de spreiding in snelheid bij toepassing van 80 km/u-limiet wordt gereduceerd. Dit resulteert in een meer uniforme en stabiele verkeersstroom, hetgeen de verkeersveiligheid vergroot en de capaciteit in geringe mate doet toenemen. Voor een nadere kwantificering van het effect wordt verwezen naar het Hoofdstuk 6. Verder geeft Zackor aan dat een geleidelijke verhoging van de aangeduide snelheidslimiet met stappen van 10 km/u een effectieve manier is om het functioneren van signaleringssystemen weer in overeenstemming te brengen met de zich op dat moment manifesterende verkeerssituatie.

Het zich voordoen van congestie door incidenten verstoort een stabiele verkeersstroom in hoge mate. Om inzicht in de problematiek van dergelijke incidenten te verkrijgen is studie naar de aard, locatie, tijdsduur etc, van belang. In het kader van de activiteiten van een Europese Commissie EUCO-COST 30^{*}) is hier een literatuurstudie naar verricht (David en Klijnhout, 1979). Het informeren van de weggebruiker bij optredende incidenten maakte eveneens deel uit van de studie. Enkele bevindingen zijn:

- het grootste aantal incidenten vindt plaats op een beperkt gedeelte van het wegennet;
- de detectie van incidenten is een groot probleem; de tijdsduur van incident tot berichtgeving op de radio bedraagt 20 minuten tot een uur;
- meer dan de helft van de secundaire aanrijdingen gebeuren binnen 10 minuten na de primaire aanrijding.

Op grond van deze bevindingen trekken de auteurs de volgende conclusies:

- radio-informatie is in verband met het voorkomen van ongevallen niet geschikt om de weggebruiker op incidenten te attenderen;
- het attenderen op incidenten maakt een zeer korte detectietijd noodzakelijk; dit kan alleen op die trajecten met een grote verkeersbelasting die voorzien kunnen worden van technische hulpmiddelen;
- visuele signalering is het meest geschikte systeem voor de betreffende trajecten.

3.2. Intensiteiten en ongevallen

In een studie van Zackor & Herkt (1978) wordt benadrukt dat niet alleen de verkeerskenmerken relevant zijn voor de toepassing van reguleringsystemen, maar tevens de ongevallenquotiënten bij de omgevingskenmerken licht of donker en droog of nat wegdek. De studie legt de relatie tussen het aantal ongevallen per 10⁶ voertuigkilometers en de verkeersintensiteit voor de combinaties van de condities droog of nat wegdek en licht of donker (zie Afbeelding 3). Hieruit blijkt dat de combinatie "licht + droog wegdek" over het gehele traject van intensiteiten een laag ongevallenquotiënt geeft. De combinatie "licht + nat wegdek" geeft meer ongevallen bij het toenemen van de intensiteit. De situatie "donker" vertoont een geheel ander beeld: lage intensiteiten geven een hogere ongevallenquotiënt dan hoge intensiteiten.

^{*}) European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research COST. Hierin zijn 11 landen vertegenwoordigd waaronder Nederland.

Vooral de combinatie "donker" en "nat wegdek" geeft bij een geringe verkeersintensiteit een bijzonder hoog ongevallequotiënt. Geconcludeerd wordt dat reguleringssystemen onder deze omstandigheden effectief kunnen zijn.

3.3. Criteria voor verkeersreguleringsystemen

Reguleringsystemen dienen voor een goede informatie-overdracht naar de bestuurder zorg te dragen. De bestuurder is namelijk in het mens-voertuig-weg systeem het meest cruciale element. Voor een goede uitvoering van de rijtaak dient hij de aangeboden informatie op een juiste manier te verwerken en vervolgens op adequate manier er naar te handelen. Hiertoe is voor reguleringssystemen een aantal criteria van belang (Riemersma et al., 1985):

- de informatie moet de aandacht trekken van de bestuurder;
- de leesbaarheid van de tekst en/of de herkenning van de symbolen moet voldoende zijn, ook onder ongunstige omstandigheden en een vluchtige blik;
- de tekst moet duidelijk worden begrepen en de toegepaste symbolen moeten gemakkelijk geleerd en onthouden kunnen worden;
- waar nodig moet het systeem de weggebruiker tijdig informeren;
- rekening moet worden gehouden met de beperktheid van de capaciteit van informatieverwerking; als de informatie afwijkt van de verwachtingen van de bestuurder moeten speciale middelen worden aangewend om de aandacht te trekken (voor-waarschuwingen, lichtsignalen e.d.);
- systemen moeten worden ontworpen op basis van onderzoek met een goede steekproef uit de gebruikers;
- nieuwe systemen moeten compatibel zijn met overige systemen voor wat betreft bijvoorbeeld de symbolen, de plaats langs de weg, de soort informatie en voor de visuele aspecten;
- storingen aan het systeem moeten kenbaar worden gemaakt.

Bomier (1986) geeft in meer kwantitatieve zin aan waaraan panelen voor variabele informatie-overdracht moeten voldoen, bijvoorbeeld betreffende het aantal karakters en de dimensies hiervan, de lichtsterkte en de relatie tussen zichtbaarheid en rijsnelheid.

4. COMPONENTEN VAN VERKEERSREGULERINGSYSTEMEN

De vele systeemcomponenten die in de loop der jaren zijn ontwikkeld worden afzonderlijk of in combinatie toegepast. Uit de literatuur blijkt dat naarmate problemen met de wegcapaciteit toenemen en de wegenstructuur omvangrijker wordt, meer componenten worden toegepast. De componenten en de schakelingen zijn geavanceerder naarmate de sturing van de verkeersstroom vergt dat op de actuele verkeerssituatie ingespeeld dient te worden. De volgende systeemcomponenten kunnen worden onderscheiden.

4.1. Systemen voor incidentendetectie

Systemen die automatisch incidenten kunnen detecteren (de zgn. AID-systemen) vormen de basis voor (automatische) verkeersreguleringsystemen. Op grond van de verkregen informatie met behulp van AID kunnen automatisch of handmatig maatregelen worden getroffen, bijvoorbeeld het inschakelen van een waarschuwingssysteem, snelheidsregulering of het activeren van een gesloten TV-circuit. Afhankelijk van de aard van het incident kunnen hulpverleningsdiensten worden ingeschakeld.

In het algemeen berust de werking van AID op het volgende principe. Op regelmatige afstand worden per rijstrook de intensiteit en snelheid van het verkeer gemeten. Met een computerprogramma worden de gegevens tussen opeenvolgende meetpunten vergeleken. Automatische detectie komt tot stand bij te grote onderlinge verschillen.

In het kader van EUCO-COST 30 coördineert een werkgroep het onderzoek dat in diverse Europese landen gaande is. Geconstateerd is (Martin, 1985) dat de diverse AID-algoritmes zijn afgestemd op locale verkeersomstandigheden en op de functie die AID heeft in het reguleringssysteem. Momenteel bestaat nog geen AID-algoritme dat rekening houdt met een diversiteit aan omstandigheden. Martin concludeert dat een samenstelling van de diverse ontwikkelde systemen op dit moment de beste benadering is.

4.2. Systemen voor snelheidsbeïnvloeding

De beïnvloeding van snelheid van voertuigen is van belang om te grote schokgolven - met de kans op kop-staartbotsingen - te voorkomen. Met behulp van signaalgevers wordt vóór de plaats van een verkeersopstopping een snelheidsadvies gegeven die stroomopwaarts gezien hoger in waarde is.

Systemen voor snelheidsbeïnvloeding kunnen onderscheiden worden in plaatsge-

bonden en niet-plaatsgebonden systemen. De plaatsgebonden systemen worden ingezet op specifieke locaties als bruggen, tolstations en rijbaanversmalingen. De aard, plaats en veelal ook de tijd van de congestie is bekend. De apparatuur kan hierop ingesteld worden. Beoogd wordt het verkeer met een hoge snelheid op een geleidelijke wijze tot stilstand te brengen (zoals bij bruggen en tolstations).

Bij de niet-plaatsgebonden systemen zullen AID-systemen de congestie dienen te localiseren, zodat vervolgens signaalgevers geactiveerd kunnen worden. Naast het signaleren van dreigende opstopping heeft het systeem voor snelheidsbeïnvloeding de functie de verkeersstroom te stabiliseren ter vergroting van de capaciteit van de rijbaan of rijstrook (o.m.: Morin, 1982; Keller, 1979).

Naast deze algemene regelingen zijn er systemen die op individuele wijze de weggebruikers er op attenderen dat een bepaalde vooringestelde snelheid door hen is overschreden (zie verder par. 4.6).

4.3. Rijstrooksignalering

Bij onderhoudswerkzaamheden of incidenten kunnen één of meer rijstroken tijdelijk niet voor het verkeer beschikbaar zijn. Met signaalgevers boven een rijstrook wordt dit kenbaar gemaakt met verdrijfpijlen en rode kruisen. Een dergelijke signalering kan gepaard gaan met snelheidsaanduidingen. Voorbij de blokkering volgt het signaal "einde alle tijdelijke aanduidingen" (o.m.: Dudek, 1979; Remeijn, 1980).

4.4. Alternatieve route-aanduidingen

Bepaalde drukke routes kunnen worden ontlast als gebruik gemaakt kan worden van alternatieve routes. Op borden en displays is dit kenbaar te maken. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in permanente aanduidingen en aanduidingen die op afstand regelbaar zijn. Alternatieve route-aanduidingen kunnen betrekking hebben op verwijzingen naar wegen van gelijkwaardige kwaliteit (corridorstelsel) of naar wegen die deel uit maken van een secundair wegennet (Keller, 1979). De corridorstelsels zullen hierna nog aan de orde komen; een duidelijk voorbeeld voor het secundair wegennet zijn de in Frankrijk toegepaste Bis-routes (OECD, 1982a).

In het kader van EUCO-COST 30 worden de ontwikkelingen met betrekking tot variabele informatieborden (VMS) gecoördineerd om voor zo ver dat mogelijk is uniforme systemen te verkrijgen. De alternatieve route-aanduidingen vallen

binnen dit project. Stelling (1985) maakt hierbij onderscheid in twee systemen:

- vervangend: de normale bestemmingen op een bewegwijzeringsbord worden vervangen door de alternatieve bestemmingen, bijvoorbeeld door middel van roterende drums;
- aanvullend: alternatieve bestemmingen worden op extra borden kenbaar gemaakt die qua kleur en uitvoeringsvorm afwijken van de normale borden. Eventueel kan hierop de reden van de routewijziging bekend worden gemaakt.

Naast de toepassing van alternatieve route-aanduidingen vanwege congestieproblemen, vindt toepassing plaats op locaties waar sprake is van stremming van de gehele rijbaan. Als voorbeeld kunnen worden genoemd een Noors systeem dat in werking wordt gesteld als een brug in één van beide hoofdaders naar het stadscentrum van Trondheim wordt geopend (OECD, 1982b), en een in Nederland ontwikkeld handmatig systeem dat er voor zorg draagt dat bij onvoorziene gebeurtenissen op autosnelwegen het verkeer via alternatieve routes kan worden omgeleid. Het systeem waarbij gebruik gemaakt zal worden van een mobiele bebordingsset, zal eind 1986 operationeel zijn (CPVC, 1986).

4.5. Toeritregelingen

Ter bevordering van een maximale doorstroming op de hoofdader - met name het handhaven van een bepaalde optimale snelheid - kan het verkeer bij toeritten met behulp van toeritregelingen op een gedoseerde manier toegelaten worden. Twee regelniveaus worden hierbij toegepast:

1. star: op gezette tijden (bijv. tijdens piekuren) wordt de toerit geheel afgesloten; de regeling kan ook ingesteld worden op een vaste dosering (bijv. een vaste tijdsduur of een bepaald aantal voertuigen);
2. flexibel: hierbij kunnen drie regelingen worden onderscheiden te weten: de dosering is afhankelijk van de verkeersintensiteit op de hoofdader en toerit; de dosering is afhankelijk van de vrije invoegruijnte op de hoofdader, de dosering maakt deel uit van de algehele regeling van het totale (locale) wegennet.

In het algemeen geldt dat ter voorkoming van overschrijding van de capaciteit van de hoofdader de verkeerstoevoer zo ver mogelijk stroomopwaarts reeds gedoseerd dient te worden (Capelle, 1979; Dudek, 1979).

Toeritregelingen hebben als nadeel dat congestievorming bij de toerit en aansluitende secundaire wegen kan ontstaan. In Hoofdstuk 5 wordt hierop nader ingegaan.

4.6. Waarschuwingssystemen

Waarschuwingssystemen worden zowel toegepast als afzonderlijke units dan wel als componentsystemen van uitgebreide verkeersreguleringsystemen. Wat hun functioneren betreft kunnen ze permanent in werking zijn (bijv. op gevaarlijke locaties), semi-permanent in werking zijn (bijv. bij wegwerkzaamheden) of dan pas functioneren als het te signaleren gevaar zich voordoet (bijv. bij congestie, mist).

Qua uitvoeringsvorm worden de volgende typen toegepast:

- passief: borden en markeringen (deze zullen hier verder niet worden behandeld);
- semi-passief: displays met een vaste instelling van tekst of symbolen
- actief: displays met variabele tekst en/of symbolen.

In alle gevallen kan de gevaarsignalering gepaard gaan met flits- en/of knipperlichten.

De situaties waarvoor waarschuwingssystemen kunnen worden aangewend, zijn in te delen naar weg- en verkeerssituaties en naar bijzondere weersomstandigheden.

Wegsituaties

Waarschuwingssystemen worden voor potentieel gevaarlijke locaties geplaatst, die buiten het gezichtsveld van de bestuurder liggen. Genoemd kunnen worden de vaste locaties, als scherpe bochten, smalle bruggen, spoorwegovergangen, tunnels en de niet-vaste locaties, zoals daar waar wegwerkzaamheden plaatsvinden, beijzelde bruggen, ongevallen.

Vanwege de specifieke gevaren die in tunnels kunnen optreden, zoals brand en een te hoog CO-gehalte, worden in tunnels speciale detectie- en waarschuwingssystemen toegepast. Indien er een melding van een dergelijk gevaar is (automatisch, met behulp van een gesloten TV-circuit, of een alarmeringssysteem) kan de weggebruiker op verschillende wijzen gewaarschuwd worden: mededelingen op borden in combinatie met knipperlichten, radio, luidsprekers. Ontsnappingsroutes kunnen worden aangegeven. Buiten de tunnel wordt de tunnelingang afgesloten met behulp van verkeerslichten (Mitani, 1985; Van Heurck, 1986; OECD, 1982c; OECD, 1982d).

In Noorwegen is sinds 1977 voor wegvakken waar frequent groot wild oversteekt, een systeem in gebruik dat het wild automatisch detecteerd, waarna een signaleringssysteem in werking treedt (OECD, 1982e).

In de Verenigde Staten is een systeem in ontwikkeling waarbij een ontvanger in het voertuig de bestuurder op gevaarlijke situaties attendeert (auditief en/of visueel). Hiertoe is door de wegbeheerder stroomopwaarts voor de gevaarlijke locatie in de wegberm een zender geïnstalleerd. In principe kan de zender ook op bijzondere voertuigen worden gemonteerd die door hun omvang en/of lage snelheid een gevaar op de weg vormen. Het systeem (SHAWS = Safety Hazard Advance Warning Systeem) dient nog voorzien te worden van een inrichting die voorkomt dat voertuigen die van de tegenovergestelde richting komen eveneens signalen ontvangen (OECD, 1982f).

Verkeerssituatie

In diverse landen zijn waarschuwingssystemen voor files in gebruik ter voorkoming van kop-staartbotsingen. Veelal worden ze op locaties geïnstalleerd die vanwege afwijkende wegkenmerken aanleiding tot filevorming geven. De signaalgevers met de waarschuwende tekst worden met de hand of automatisch bediend. In sommige gevallen is het systeem uitgebreid met signaalgevers voor adviessnelheden en/of een inhaalverbod voor vrachtauto's. Bij automatische detectie worden inductielussen toegepast voor het registreren van de verkeersintensiteit en voertuigsnelheden (Keller, 1979; Bolte, 1983; OECD 1982g, 1982h, 1982i).

In Engeland en Frankrijk wordt een systeem uitgetest dat niet alleen het type gevaar en de snelheid aanduidt, maar ook de afstand tot de gevarezone (Rutley et al., 1983; Morin, 1982).

Systemen voor snelheidsbeïnvloeding zijn hiervoor reeds beschreven. Hier kan worden volstaan met de opmerking dat aanduidingen met snelheidsadviezen ook een duidelijke waarschuwingsfunctie hebben met betrekking tot potentieel gevaarlijke verkeerssituaties.

Een individuele waarschuwing voor bestuurders die een snelheidslimiet overschrijden wordt onder meer in Engeland en Canada toegepast. Op automatische wijze licht een waarschuwing op als sneller wordt gereden dan een vooringestelde snelheid. Hierbij wordt tevens aangegeven welke maximale snelheid van toepassing is. Beoogd wordt dat een individuele waarschuwing meer effect heeft dan de generale snelheidsaanduidingen (Helliard-Symons, 1984; OECD, 1982j; OECD, 1982k).

Een ander type individueel waarschuwingssysteem betreft de volgtijdsignalering waarmee in Engeland geëxperimenteerd wordt. De bestuurder krijgt een

waarschuwing als de volgtijd ten opzichte van zijn voorligger geringer is dan een vooraf ingestelde waarde. Het doel is de kans op kop-staartongevallen te reduceren door beïnvloeding van de volgafstand. De volgtijd wordt gemeten met behulp van infrarood licht of inductielussen (Helliard-Symons, 1983; OECD, 1982).

Bij de Drechtunnel in Nederland is een detectiesysteem voor te hoge of te hoog beladen voertuigen in gebruik. Bij detectie worden verkeerslichten op rood gezet. Naast het voorkómen van schade aan de tunnelingang is het doel de verkeersveiligheid te verhogen door te voorkomen dat zware typen voertuigen op een abrupte en onverwachte manier tot stilstand komen of dat vallende lading en brokstukken een gevaar voor overige weggebruikers opleveren (Rijks-waterstaat, 1986).

Weersomstandigheden

Slechte weersomstandigheden kunnen invloed hebben op het ontstaan van ongevallen. In Duitsland komt men uit op een aandeel van 16-31% van het totale aantal verkeersongevallen (Hautala et al., 1985). In het algemeen wordt onderkend dat vooral plotseling optredende verslechtering van de weersomstandigheden hieraan debet is. Het tijdig informeren en waarschuwen van (potentiële) weggebruikers is dan ook van belang voor de verkeersveiligheid.

Momenteel zijn in de diverse landen veel systemen erop gericht de weggebruiker via de ether te informeren. De wegbeheerder krijgt of verzamelt hiertoe de informatie die tevens van belang is om tijdig maatregelen te kunnen treffen, bijv. bij sneeuwval en ijsvorming (Geerts et al., 1985; Schlup et al., 1985). In dit verband is het interessant van het Finse Videotex-systeem melding te maken, waarmee de aangesloten gebruikers "real-time" informatie kunnen opvragen van diverse automatische weersstations die langs diverse autowegen zijn gesitueerd (Keskinen, 1985).

De research van diverse landen is erop gericht bestaande systemen zodanig uit te breiden dat de langs de rijbaan geplaatste of te plaatsen signaleringssystemen de weggebruiker automatisch kunnen informeren en/of waarschuwen.

Incidenteel worden reeds diverse (automatische) signaleringssystemen toegepast:

In Zwitserland zijn op een locatie waar veel mistongevallen plaatsvonden, handbediende mistwaarschuwborden geplaatst, in combinatie met waarschu-

wing voor ijsvorming en files (OECD, 1982m). Ook in Frankrijk worden instelbare waarschuwborden voor mist toegepast (Tertrais & Besnard, 1986). Op bepaalde locaties op Duitse Autobahnen zijn automatische mistdetectie- en waarschuwingssystemen geïnstalleerd; detectie vindt plaats bij een zichtlengte van minder dan 150 m (Keller, 1979).

Automatische sneeuwval-, sneeuwlaag- en vorstdetectie wordt op een autosnelweg in een bergachtig gebied in Japan toegepast. De weggebruiker wordt via informatiepanelen gewaarschuwd (Mitani, 1985). In de Verenigde Staten wordt met name op bruggen veel aan detectie van sneeuw en ijsvorming gedaan (Fox, 1976).

Automatische detectie van te harde zijwind wordt in Nederland toegepast op de Moerdijkbrug. Na detectie wordt de weggebruiker gewaarschuwd en geven signaalgevers een snelheidslimiet aan (Ravenschot et al., 1979; OECD, 1982n).

5. VERKEERSBEHEERSINGSSYSTEMEN

Teneinde te komen tot een optimale verkeersafwikkeling en een zo groot mogelijke mate van verkeersveiligheid, worden systeemcomponenten samengesteld tot geïntegreerde verkeersreguleringsystemen, hier verder aangeduid met verkeersbeheersingssystemen. Naar de mate van uitgestrektheid van het gebied waarbinnen de verkeersbeheersing operationeel is, worden de systemen in hetgeen volgt verdeeld in drie hoofdgroepen te weten: verkeersbeheersingssystemen voor een wegennetwerk, voor corridors en voor hoofdaders.

5.1. Verkeersbeheersingssystemen voor een wegennetwerk

In de Verenigde Staten zijn momenteel 19 verkeersbeheersingssystemen operationeel, terwijl aan 8 wordt gewerkt. Bekende steden waar deze systemen worden toegepast zijn: Los Angeles, San Francisco, Houston, Detroit. Als belangrijk kenmerk geldt voor deze systemen dat de verkeersgegevens op elektronische wijze worden verzameld (meestal om de halve mijl) en dat de componenten op automatische wijze in werking worden gesteld als daar aanleiding toe is. Gebruikelijk is dat de volgende componenten deel uit maken van het systeem: toeritregeling, alternatieve route-aanduidingen, waarschuwingssignalering. Veelal wordt bij incidenten de informatie aan (commerciële) radio-stations doorgegeven (May et al., 1985; Dunn et al., 1983; Dudek et al., 1982).

Een toegepast systeem in Chicago is vooral gericht op het detecteren van incidenten, waarna een snelle hulpverlening zorg draagt voor een spoedige oplossing van de congestie. Ter illustratie: in 1977 is over een lengte van 169 km autosnelweg per dag gemiddeld 150 keer assistentie verleend (McDermott, 1979; Dunn et al., 1983).

Saxton (1985) beschrijft dat in de Verenigde Staten verkeerscongestie niet zo zeer meer problematisch is op grote verbindingroutes tussen steden, maar hoe langer en meer op "urban-suburban"-delen van het wegennet bij grote steden. Dit heeft onder meer te maken met spreiding van kantoorgebouwen over de randgebieden. Er zal dan ook meer aandacht moeten komen voor verbindingswegen tussen corridors in radiale richting.

Saxton beschrijft verder twee demonstratieprojecten over de toepassing en ontwikkeling van toekomstige verkeersbeheersingssystemen: IMIS (Integrated Motorist Information System) toegepast in New York en TMS (Traffic Management System) toegepast in Washington. Het kenmerkende van IMIS is dat het systeem ook bij piekbelastingen een hoge graad van "level of service" (C/D) dient te

bereiken; dit wordt vooral van belang geacht als er geen wezenlijke capaciteitsverbetering door uitbreiding van het wegennet meer mogelijk is. TMS is van belang vanwege de opgedane ervaring bij twee belangrijke problemen. Ten eerste het installeren en testen van uitgebreide communicatiesystemen waarbij een optimale afstemming tussen onder meer betrouwbaarheid en kosten bereikt diende te worden. Ten tweede het inspelen op klachten van weggebruikers bij de toepassing van toeritregelingen die veroorzaken dat filevorming bij toeritten ontstaan.

In Japan is op een stelsel van tolwegen rond Tokio een verkeersbeheersingssysteem in gebruik genomen: Urban Expressway Traffic Congestion System. Informatie omtrent congestie wordt verkregen met detectoren (ultrasoon of inductielussen), gesloten TV-circuit en alarmeringstelefoon om de 500 m. Naast de gebruikelijk toegepaste componenten zijn systemen aangesloten voor informatie-overdracht aangaande meteorologische gegevens en route-aanduidingen op grafische wijze (Mitani, 1985).

In Engeland is bij Glasgow het CITRAC-systeem (Centrally Integrated Traffic Control) in gebruik. De wegen rond deze stad worden onder meer gekenmerkt door de vele aansluitingen per lengte-eenheid. Naast observatie en regeling van het verkeer op de autosnelweg, zijn ook vele kruisingen en aansluitingen in het systeem opgenomen (Hyslop, 1983).

In Duitsland is ten zuiden van Frankfurt op grote schaal een experiment uitgevoerd met beïnvloeding van verkeersstromen over een netwerk van autosnelwegen (oppervlak 30x35 km) (Leutzbach, 1980). Ca. 600 inductielussen zijn geïnstalleerd voor de registratie van de intensiteit, snelheid en detectie van lange voertuigen. Op basis van deze informatie worden borden met alternatieve route-aanduidingen bediend (automatisch of met de hand).

In Italië heeft de Societé Autostrada 2618 km tolwegen met 207 toeritten in beheer. Hierbij worden de volgende subsystemen toegepast die deels zijn gericht op registratie, deels op informatieverstrekking: registratie van het verkeer bij tolstations met behulp van inductielussen en een gesloten TV-circuit, automatische detectie van de atmosferische toestand, controle tunnel-equipment, alarmeringssysteem (Di Tommaso, 1985).

5.2. Verkeersbeheersingssystemen voor corridors

Een corridor is een stelsel van wegen met min of meer parallel lopende hoofd-

aders en dwarsverbindingen. Corridorregelingen hebben tot doel het verkeer zodanig over de hoofdaders te verdelen, dat sprake kan zijn van een zo maximaal mogelijke doorstroming. Het instellen van dergelijke regelingen is dan alleen zinvol als een alternatieve hoofdader op hetzelfde tijdstip een bepaalde extra hoeveelheid verkeer kan opnemen (Krell, 1975).

In de Verenigde Staten wordt onderscheid gemaakt in corridor- en minicorridorsystemen. Het eerst genoemde bevat de regelingen op een hoofdader, de toeritten, parallelwegen, toegangswegen en een netwerk van dwarsverbindingen. Het minicorridorsysteem is eveneens gebaseerd op een hoofdader, maar het netwerk van aansluitende wegen is minder uitgebreid; het bevat alleen de toeritten en parallelwegen (Dunn & McDermott, 1983; Cappelle, 1979; Dudek, 1979).

Als voorbeeld van het corridorsysteem dat wordt toegepast in Florida, Verenigde Staten kan de S & C regeling (Surveillance and Control System) worden genoemd. Hierbij worden de verkeersgegevens van alle wegen in het geregelde net onderling vergeleken, zodat op een afgestemde wijze de toewijzing van het verkeer kan plaatsvinden. De gegevens worden verkregen met inductielussen, politieursurveillance, radioband en een gesloten TV-circuit (OECD, 1982o).

In Frankrijk is ten zuiden van Lille een corridorsysteem in gebruik dat in werking wordt gesteld bij ongevallen en incidenten. De informatie wordt verkregen via automatische incidentendetectie en TV-monitoren. De weggebruiker wordt geïnformeerd door middel van alternatieve route-aanduidingen. Daarnaast vindt verkeersregeling plaats met behulp van verkeerslichten en wegafzettingen. Soortgelijke systemen zijn in gebruik in de omgeving van Parijs en Marseille (OECD, 1982p).

In Duitsland worden corridorsystemen toegepast op wegennetten waar een kwalitatief gelijkwaardige alternatieve route voor handen is. In sommige gevallen wordt bij de alternatieve route-aanduidingen de reden aangegeven bijv. "STAU VOR". Locaties waar corridorsystemen worden toegepast zijn: Rijn-Main, Koblenz, Wuppertal (Knoll, 1975; Everts, 1975; Zackor & Karajan, 1978; OECD, 1982q, 1982r, 1982s).

5.3. Verkeerbeheersingssystemen voor hoofdaders

In het volgende wordt van diverse landen een aantal geïntegreerde systemen beschreven die op een of meer afzonderlijke hoofdroutes worden toegepast. De literatuur geeft veelal aan dat de reeds toegepaste componenten zullen worden uitgebreid met andere componenten en/of met meer geavanceerde componenten.

In Canada wordt bij Toronto het "Freeway Traffic Management System" (FTMS) op de autosnelweg 401 toegepast. Een kenmerk van deze autosnelweg is de toename van de verkeersintensiteit en de fysische onmogelijkheid tot uitbreiding en/of verbreding over te gaan. De implementatie van het FTMS-systeem is als demonstratieproject opgezet om onder de gegeven omstandigheden de haalbaarheid van een uitgebreid systeem van verkeersbeheersing te testen. Het systeem bevat de volgende componenten: automatische voertuigen- en incidentendetectie, toeritregeling, regelbare informatiepanelen, gesloten TV-circuit en een communicatiesysteem (Harmelink et al., 1983).

Verder is bij Ontario een "Traffic Management System (TMS) in gebruik. Dit bevat dezelfde componenten als het hierboven beschreven systeem. De regelbare informatiepanelen kunnen de volgende informatie verschaffen: waarschuwing voor files, snelheidsaanduidingen, het geblokkeerd zijn van een rijstrook (OECD, 1982t).

In Nederland zijn op twee locaties in de randstad autosnelwegsignaleringsystemen in gebruik. De eerste is bij Rotterdam op Rijksweg A13 en gedeelten van enkele aansluitende autosnelwegen nl. A16 en A20. De tweede locatie is bij Utrecht op gedeelten van Rijksweg A2 en A12. De systemen bestaan uit automatische incidentendetectie, rijstrookgebonden snelheidsaanduidingen en rijstrooksignalering. De systemen zijn erop berekend dat in de toekomst een uitbreiding zal plaats vinden met componenten aangaande signalering van bijzondere omstandigheden (gladheid, mist) en alternatieve route-aanduidingen (Remeijn, 1980).

In Duitsland is op de autosnelwegen A8 en A46 het DESC0 (Decentralised Speed Control) in gebruik. Geregistreerd worden de verkeersgegevens en omgevingscondities (licht of donker, droog of nat). De strategie is bij gunstige weersomstandigheden de verkeersstroom te stabiliseren binnen een marge van een gemiddelde snelheid. Zijn de weersomstandigheden ongunstig voor de verkeersonveiligheid, dan wordt de snelheidslimiet gereduceerd. Opgemerkt wordt dat het systeem een alternatief is voor algemene snelheidslimieten (OECD, 1982u).

In de Verenigde Staten is nabij San Francisco een "Bay Bridge Traffic Management System" operationeel. Het systeem is er op gericht zo snel mogelijk incidenten te detecteren, waarna ze kunnen worden opgelost. Hiertoe zijn de volgende voorzieningen aangebracht: incidentendetectie en een gesloten TV-circuit. De bestuurders worden bij incidenten gewaarschuwd met behulp van regelbare informatieborden (May et al., 1985).

6. EFFECTIVITEITSSTUDIES

Zoals in Hoofdstuk 2 is aangegeven worden verkeersreguleringsystemen in het algemeen toegepast om de volgende doelstellingen te bereiken:

- optimaal gebruik van de beschikbare capaciteit van wegen
- verbeteren van de verkeersveiligheid
- verlichten van de bestuurderstaak
- reduceren van de reistijd
- besparing van brandstof
- reduceren van luchtverontreiniging en geluidoverlast.

In de literatuur zijn maar weinig studies bekend waarbij de effectiviteit van geïnstalleerde reguleringsystemen met betrekking tot alle aangegeven doelstellingen is onderzocht. Veelal volstaat men met ongevallenstudies. Studies naar het rijgedrag hadden onder meer betrekking op het effect van rijstrooksignalering. Vastgesteld werd de mate waarin op meer of minder geleidelijke manier van rijstrook werd gewisseld. Andere studies betreffende het rijgedrag stonden in verband met snelheidsregulering.

Leutzbach (1979) stelt dat de effectiviteit van de diverse verkeersreguleringsystemen moeilijk te kwantificeren is. Ook al gaat men bij voor- en nastudies uit van identieke begincondities, dan is veelal de optredende spreiding in de verkeersprestatie van dien aard dat weinig significante verschillen zijn vast te stellen. Bovendien zijn de huidige methoden van dataverzameling ter kwantificering van het effect niet erg precies; hiervoor zou meer inspanning moeten worden geleverd.

In par. 6.1. zijn per land verschillende studies beschreven van effecten van reguleringsystemen.

Naast effectiviteitsbepaling kan het nut van verkeersreguleringsystemen worden vastgesteld met kosten/batenstudies. Hierbij wordt de economische waarde van een maatregel uitgedrukt in termen van de verhouding tussen de kosten en de positieve en negatieve effecten (baten). Keller (1979) geeft aan dat er gebrek is aan betrouwbare en uitgebreide effectiviteitsmodellen. Er zou moeten worden geanalyseerd naar effecten voor wegbeheerders, uitvoerders en weggebruikers, hetgeen niet mogelijk is als alleen de gebruikelijke indicatoren als reistijd, energiekosten en kosten van ongevallen worden beschouwd. Ook de effecten die niet in geld zijn uit te drukken - en die meestal betrekking hebben op de niet-weggebruiker - zullen bij de evaluatie betrokken dienen te worden.

In par. 6.2 wordt verder verslag gedaan over een in Nederland verrichte

kosten/batenstudie van het signaleringssysteem op de Rijkswegen A13 en A2/A12, en van een vergelijkbaar systeem in Duitsland.

6.1. Effectiviteit

Uit de literatuur blijkt dat tot dusver in Duitsland de meeste effectiviteitsstudies zijn verricht. Deze hadden betrekking op onafhankelijke systemen met een signaleringsfunctie. Hoewel door Leutzbach (1979) wordt aangegeven dat dergelijke systemen "gemakkelijk" zijn te integreren in netwerksystemen, stelt Zackor (1979) dat vooralsnog de voorkeur moet worden gegeven aan zelfstandige eenheden voor beperkte gebieden (met name bij knelpunten), teneinde reductie in investeringskosten te bewerkstelligen.

Krell (1979) beschrijft een studie waarin wordt aangetoond dat op Duitse autosnelwegen bij een hoge uurintensiteit enig effect van verkeerssignalering is te verwachten (zie Afbeelding 4). Zowel voor de snelheid (bovenste grafiek) als de reistijd (onderste grafiek) blijkt de invloed van dynamisch instelbare snelheidslimieten bij een uurintensiteit van boven de 2000 voertuigen per uur. De hiermee te bewerkstelligen capaciteitstoename wordt echter op hooguit 5% geschat. De verwachting wordt uitgesproken dat dynamische route-aanduidingen naar parallelroutes méér kunnen bijdragen aan het verkrijgen van een optimaal gebruik van de beschikbare capaciteit als er sprake is van overbelasting.

Uit een studie van Tafel & Kumm (1977) blijkt dat een grotere capaciteitstoename mogelijk is. Met een snelheidssignaleringssysteem ter beïnvloeding van de verkeersstroom is op de A3 (Frankfurt-Keulen) een toename van de capaciteit gemeten van 20-40%.

Bolte (1982) beschrijft de effectiviteit van een automatisch waarschuwingssysteem voor files op een deel van de autosnelweg A8 tussen Stuttgart en München. Na installatie was het ongevallenquotiënt (het aantal ongevallen per miljoen voertuigkilometers) na 5 jaar gedaald met 34%, terwijl op wegen zonder signaleringssystemen het ongevallenquotiënt na dezelfde periode met 14% was toegenomen. Het ongevallenquotiënt op het betreffende wegvak van de A8 stak echter in de oude situatie bijzonder ongunstig af tegen het gemiddelde cijfer voor alle autosnelwegen in Duitsland. Was dit in het eerste geval in het jaar voorafgaande aan de installatie (1975) 2,01 ongevallen per miljoen voertuigkilometers, in het tweede geval was het 0,60 ongevallen per miljoen voertuigkilometers. Als voornaamste oorzaak van het hoge ongevallenquotiënt wordt de frequent voorkomende filevorming nabij Aichelberg genoemd ten gevolge van smalle rijstroken zonder vluchtstrook, een hellingspercentage van 7% (opgaand) en een boogstraal van 400 m.

Leutzbach (1980) stelt in een lezing naar aanleiding van de effectiviteit van verkeerssignaleringsystemen hoe een dergelijk niveau van verkeersveiligheid met minder technische inspanning gehandhaafd kan worden.

Een Amerikaanse evaluatie van het grootschalig surveillance- en regelsysteem toegepast bij Chicago (zie par. 5.1), heeft aangetoond dat elektronische hulpmiddelen op een bestaand netwerk van autosnelwegen kunnen worden gebruikt om de efficiency en veiligheid van de verkeersstromen te verhogen (McDermott, 1979). De toegepaste technieken resulteerden in een daling van het aantal congesties in de piekperiodes tot 60% en een reductie in het aantal ongevallen tot 18%. Met name wordt veel effect bereikt met toeritregelingen. Aangegeven wordt dat dit (op korte termijn) leidt tot verbetering van de doorstroming op de hoofdader, maar dat aangepaste regelingen noodzakelijk zijn om de problemen niet te verleggen naar de toeritten. Hoofdader en toeritten moeten in een operationele balans met elkaar worden gebracht.

De effectiviteit van regelbare informatiepanelen is in de Verenigde Staten op basis van voor- en nastudie in vier staten onderzocht (Hanscom, 1982). Bij het onderzoek waren diverse typen panelen betrokken die voor het tijdelijk afsluiten van een rijstrook werden gebruikt. De gegeven informatie had betrekking op: rijstrookafsluiting, snelheidsadvies en het invoegen. Bij de toepassing van dit systeem zijn gunstige effecten betreffende het rijgedrag gevonden, zoals toename van tijdige rijstrookwisseling, meer geleidelijker rijstrookwisselingen, significant minder late rijstrookwisselingen en reductie van de gemiddelde snelheid. Er is qua effect niet veel verschil tussen de typen panelen onderling aangetoond. De onderzoekers bevelen de toepassing van deze informatiepanelen aan als aanvulling op bestaande voorzieningen zoals de verdrijfpijlen. Van deze pijlen wordt overigens opgemerkt dat ze aanzienlijk meer invloed op het rijgedrag hebben dan de informatiepanelen. Uit het oogpunt van kosten en baten wordt gesuggereerd de informatiepanelen voor de volgende situaties toe te passen: korte duur van de rijstrookafsluiting, minimum verkeersintensiteit van 900 voertuigen per uur en beperkte zichtafstand tot de afgesloten rijstrook.

In Nederland is een evaluatie uitgevoerd van het functioneren van het verkeerssignaleringsysteem zoals dat wordt toegepast op weggedeelten van de autosnelwegen A13 en A2/A12 (De Kroes e.a., 1983). In par. 5.3 is dit systeem beschreven. De evaluatie bevatte de kwantificering van de externe effecten van het systeem in termen van systeembeschikbaarheid en systeemgebruik, verkeersveiligheid en verkeersafwikkeling. De volgende resultaten kunnen worden gegeven.

Het systeem was voornamelijk operationeel bij filevorming en wegwerkzaamheden; storingen zijn nauwelijks opgetreden. Het effect op de verkeersveiligheid is berekend met een voor- en nastudie waarbij controlewegvakken betrokken zijn geweest. Berekend is dat het systeem een reductie van het totale aantal ongevallen van 24% heeft bewerkstelligd; de reductie van het aantal secundaire en ernstige ongevallen bedroeg resp. 46 en 35%. Over de verkeersafwikkeling is vastgesteld dat vergeleken met de oude situatie bij files een meer geleidelijke afname van de snelheid aan de staart van de file optrad. De doorstroming van het verkeer gaf een verhoging van 4,5% te zien. Bij wegwerkzaamheden is een meer soepele samenvoeging van de verkeersstromen geconstateerd en de afname van de gemiddelde snelheid ten opzichte van de naderingsnelheid bedroeg 20-30 km/u. Met betrekking tot de verkeersbelasting is een capaciteitstoename van 1 à 2% berekend waarbij een verbetering van de stabiliteit van de verkeersstroom is opgetreden.

Na deze studie is door een Werkgroep van Rijkswaterstaat (1985) een kosten/-batenstudie uitgevoerd. Hierbij is het effect op de verkeersveiligheid herberekend. Men komt nu uit op een reductie van in totaal 16% van de ongevallen (in plaats van de 24% van De Kroes e.a.). De verbetering van de doorstroming is vastgesteld op 5,6% (in plaats van 4,5%). De verschillen tussen de cijfers hebben betrekking op het feit dat De Kroes e.a. (1983) geen rekening hebben gehouden met de wijziging van de intensiteit die op de bij het onderzoek betrokken wegvakken heeft plaats gevonden. Vooral op de controlewegvakken trad een sterke wijziging op vanwege het openstellen van de Gaasperdammerweg medio 1982. De Werkgroep geeft geen herberekening van de reductie van de secundaire en ernstige ongevallen vanwege de "afnemende betrouwbaarheid van de geschatte effecten".

In Engeland zijn diverse studies verricht naar het effect van signaleringssystemen op de snelheid. Adviesnelheden van 80 km/u, aangegeven op matrixborden, gaf in een stedelijk gebied een reductie van de gemiddelde snelheid van lichte voertuigen van 4-9% (afhankelijk van de rijstrook; gesplitst naar rijstrook: rechts van 125 naar 114 km/u, midden van 110 naar 101 km/u en links van 91 naar 81 km/u). In gebieden buiten de bebouwde kom zijn met dit systeem vergelijkbare reducties gemeten (Lines, 1978).

Met een studie naar het effect van automatische op de individuele bestuurder afgestemde waarschuwing als sneller wordt gereden dan een vooringestelde snelheidslimiet, is een zeer geringe snelheidsreductie vastgesteld van de groep "higher speed vehicles". Aangenomen wordt dat op den duur regelmatige gebruikers van het wegvak langzamer gaan rijden om te voorkomen dat ze een snelheidsindicatie krijgen (Helliard-Symons, 1984).

In Frankrijk en Engeland is een nieuw bord met drie panelen uitgetest. Het bovenste paneel geeft een snelheidsadvies of een afgesloten rijstrook aan, het middelste geeft het soort gevaar aan en het onderste de afstand de gevaarslocatie (indien van toepassing). In Engeland is het effect op de M1 gemeten (Rutley et al., 1983). Indien alleen een adviessnelheid wordt aangegeven is de snelheidsreductie gemiddeld 5,9% (van 111 tot 105 km/u). Het aangeven van hetzelfde snelheidsadvies plus het soort gevaar geeft een reductie van 9,3% (van 111 tot 100 km/u). Ongevallenreductie is niet geconstateerd.

6.2. Kosten en baten

Door een Werkgroep van Rijkswaterstaat (1985) is met betrekking tot de signaleringssystemen op de autosnelwegen A13 en A2/A12 een evaluatie uitgevoerd om na te gaan in hoeverre de baten van het verkeerssignaleringsysteem opwegen tegen de hiermee gemoeide kosten. De Werkgroep komt tot de conclusie dat er geen ondubbelzinnig antwoord is te geven op de vraag of de kosten van het systeem opwegen tegen de baten, aangezien een deel van de baten niet financieel zijn te waarderen (onder meer het menselijk leed). Desondanks wordt gesteld dat de toepassing van het signaleringssysteem op de A13 verantwoord is vanwege het geringe verschil tussen kosten en financiële baten. Het verschil tussen kosten en baten is op de A2/A12 aanzienlijk groter vanwege de grote omvang van dit project en de in verhouding aanzienlijk geringere financiële baten. In het algemeen wordt geconcludeerd dat er situaties zijn waarin het signaleringssysteem verantwoord is toe te passen, maar dat de rentabiliteit sterk plaatsafhankelijk is.

Bolte (1985) heeft met een kosten/batenberekening becijferd dat het Duitse filebeveiligingssysteem op de A8 zich na 5 jaar heeft terugverdient. Hierbij zijn als baten de bespaarde ongevallenkosten en bespaarde kosten ten gevolge van files (tijd en brandstof) genomen en als kosten de investeringskosten en de kosten om het systeem in bedrijf te houden. Het is vooral te danken aan de grote reductie in het aantal ongevallen dat de investering na een relatief gering aantal jaren positief uitvalt.

7. CONCLUSIES

Het eerste deel van deze conclusies heeft betrekking op de bestudeerde literatuur. In het tweede gedeelte worden in meer algemene zin conclusies getrokken die mede van belang zijn voor de Nederlandse situatie.

Uit de literatuur is af te leiden dat met de toepassing van verkeersreguleringsystemen belangrijke vooruitgang is geboekt in de verkeersbeheersing. De ontwikkeling van meer geavanceerde elektronische systemen en systeemcomponenten hebben hier voor een belangrijk deel aan bijgedragen. De algemene doelstelling van verkeersreguleringsystemen is het zo stabiel mogelijk houden van de verkeersstroom hetgeen de capaciteit en de verkeersveiligheid gunstig beïnvloedt. Een stabiele verkeersstroom zonder congesties heeft tevens een gunstige invloed op het brandstofgebruik en aspecten verband houdend met het milieu.

In de Verenigde Staten wordt met betrekking tot de toepassing van verkeersreguleringsystemen algemeen erkend dat een autosnelweg geen afzonderlijke unit is, maar deel uit maakt van een stelsel van wegen. In Europa vindt toepassing in hoofdzaak nog geïsoleerd plaats. Gemis aan gelijkwaardige alternatieve routes, gebrek aan ervaring met geïntegreerde systemen en hoge investeringskosten zullen hieraan ten grondslag liggen.

Veelal worden verkeersreguleringsystemen toegepast als vergroting van de capaciteit van de weg door bijvoorbeeld rijbaanverbreding niet mogelijk is. Studies wijzen echter uit dat de capaciteitstoename hiermee tot ca. 5% beperkt blijft. In deze situaties is automatische incidentdetectie en signalering (waarschuwingen, snelheidsindicaties) effectief: de weggebruiker wordt gewaarschuwd en de politie en/of wegbeheerder kan vlot ingrijpen om het incident te verhelpen.

Uit de bestudeerde literatuur blijkt dat kwantificering van het effect van reguleringssystemen moeilijk is. Voor het verkrijgen van theoretische en praktische kennis worden demonstratieprojecten van groot belang geacht. Uit de resultaten van enkele evaluatiestudies van een paar landen blijkt dat een reductie van het aantal ongevallen ten gevolge van het toepassen van signaleringssystemen sterk kan variëren: Nederland 16%, Verenigde Staten 18%, Duitsland 40%. De laatst aangegeven grote reductie kan worden verklaard uit het feit dat in Duitsland in sommige gevallen signaleringssystemen zijn toegepast op wegvakken met bijzonder veel ongevallen.

Met enkele studies is een positieve beïnvloeding van het rijgedrag door verkeerssignaleringsystemen vastgesteld. Dit had betrekking op reductie van de

gemiddelde snelheid en beter uitgevoerde manoeuvres bij rijstrookwisselingen. Uit de literatuur blijkt dat veel belang wordt gehecht aan de ontwikkeling en toepassing van betrouwbare "low-cost" systemen. De hiermee gepaard gaande gunstiger kosten/batenverhouding maakt toepassing op ruimere schaal mogelijk. Van het besproken verkeerssignaleringsstelsel van Nederland is vastgesteld dat in het ene geval (RW A13) de kosten/batenverhouding gunstig is, waarmee toepassing verantwoord wordt geacht; in het andere geval (RW A2/A12) is deze verhouding ongunstig vanwege de hogere kosten en lagere baten, waardoor de toepassing niet verantwoord wordt geacht.

In algemene zin kan worden geconcludeerd dat signaleringssystemen als voordeel boven systemen met vaste instellingen hebben dat ze het gedrag van de bestuurders kunnen beïnvloeden als dat door omstandigheden noodzakelijk is. Bij een voortdurend adequaat reagerend systeem zal de geloofwaardigheid worden vergroot waardoor in toenemende mate een meer aangepast rijgedrag te verwachten is.

Signaleringsystemen die tot doel hebben de weggebruiker te attenderen op filevorming, zullen vooral van invloed zijn op de reductie van het aantal (secundaire) ongevallen. Dit attenderen kan in de vorm van het geven van snelheids- dan wel tekstaanduidingen. In beide gevallen zal het attentieniveau van de weggebruiker worden verhoogd. Bij snelheidsaanduidingen wordt de spreiding tussen de gereden snelheden gereduceerd. De effectiviteit van signaleringssystemen met deze snelheidsaanduidingen kan worden vergroot in situaties dat de weersomstandigheden ongunstig zijn (mist, ijzel). Het risico wordt door de weggebruikers in deze situaties verschillend ingeschat hetgeen kan leiden tot relatief grote snelheidsverschillen. Het opleggen van een normsnelheid is dan effectief om de verschillen te reduceren. Daarnaast kan de effectiviteit van snelheidsaanduidingen worden vergroot door de aanleiding tot deze aanduiding te vermelden.

Uit de beschreven kosten/batenstudies blijkt dat het installeren van een signaleringssysteem eerder rendabel is naarmate de onveiligheid op bepaalde wegvakken hoger is.

In Nederland lijkt de toepassing van elektronische geregelde corridorsystemen voorlopig niet haalbaar vanwege het ontbreken van gelijkwaardige parallellopende hoofdaders met goede dwarsverbindingen waarop sprake kan zijn van een evenwichtige verdeling van de verkeersstromen. Het opnemen van secundaire wegen bij een hoofdader is vanwege verkeersveiligheids- en milieuaspecten niet gewenst.

Mocht uit het oogpunt van verbetering van de bezettingsgraad van de huidige wegcapaciteit overgegaan wordt op tidal flow-systemen en op gebruik van de vluchtstrook (advies McKinsey & Company), dan zijn daartoe verkeerssignaleringsystemen een goed bruikbaar instrument. Het is echter raadzaam dat het effect van dergelijke oplossingen op de veiligheid nader wordt bestudeerd.

LITERATUUR

- Abrams, C.M.; DiRenzo, J.F. & Rosen, D.A. (1979). Measures of effectiveness for urban traffic management. In: Proceedings of the International symposium on Traffic control systems, Volume 2D. University of California, Berkeley, 1979.
- Bolte, F.F. (1982). Die Wirksamkeit der Stauwarnlage Aichelberg. Straße und Autobahn, Heft 7, 1982.
- Bolte, F.F. (1983). Effectiveness of queue warnings systems: Accident experience, driver's response, and cost benefit analyses. In: Proceedings of the 53rd Annual Meeting, London, 1983, Session 4. Institute of Transportation Engineers, 1983.
- Bolte, F.F. (1985). Quality requirements for queue warning systems. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 3. CEMT, Paris, 1985.
- Bomier, J. (1986). Information temps réel des usagers panneaux à messages variables (PMV) implantés en section courante autoroutière en amont des échangeurs - Etude de définition. Vème Congrès International ATEC '86, Theme V, 1986.
- Capelle, D.G. (1979). Freeway/corridor systems. In: Proceedings of the International symposium on Traffic control systems, Volume 1. University of California, Berkeley, 1979.
- CPVC (1986). Politieplan Alternatieve routes nog dit jaar operationeel. Centrale Politie Verkeerscommissie CPVC, 1986.
- David, Y. & Klijnhout, J. (1979). Requirements of drivers and road operational services concerning road information. In: Proceedings of the International symposium on Traffic control systems, Volume 2C. University of California, Berkeley, 1979.
- Di Tommaso, V. (1985). Informations aux usagers. Un précis sur les activités exploitées par la Société Autostrade S.P.A. par rapport à une stratégie généralisée de communication. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 2. CEMT, Paris, 1985.
- Dudek, C.L. (1979). Real-time displays. In: Proceedings of the International symposium on Traffic control systems, Volume 1. University of California, Berkeley, 1979.
- Dudek, C.L.; Stockton, W.R. & Hatcher, D.R. (1982). Realtime freeway-to-freeway diversion: the San Antonio Experience. Transportation Research Record 841, 1982.

- Dunn, W.M.; Powers, L.D. & Zove, P. (1979). The intergrated motorist information system: An examination of three trade-off studies. In: Proceedings of the International symposium on Traffic control systems, Volume 2B. University of California, Berkeley, 1979.
- Dunn, W.M. & McDermott, J.M. (1983). Status of freeway monitoring systems in the United States. In: Proceedings of the 53rd Annual Meeting, London, 1983, Session 14. Institute of Transportation Engineers, 1983.
- Everts, K. (1975). Wechselwegweisung in Versuchsfeld Rhein-Main. Haus der Technik-Vortragsveröffentlichungen 363, 1975.
- Fox, N.K. (1976). Development of a frost and ice detection system for highway bridges. Transportation Research Record 576, 1976.
- Geerts, J.H.; Lagerwey, R.J. & Vervoort, E.H. (1985). Some experiences with ice early-warnings systems in the Netherlands. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 5. CEMT, Paris, 1985.
- Hanscom, F.R. (1982). Effectiveness of changeable message signing at freeway construction site lane closures. Transportation Research Record 844, 1982.
- Harmelink, M.D.; Reyerson, E. & McLean, K.G. (1983). Freeway traffic management on highway 401, Toronto, Canada. In: Proceedings of the 53rd Annual Meeting, London, 1983, Session 14. Institute of Transportation Engineers, 1983.
- Hautala, P. & Nysten, E. (1985). Weather detection and prediction within the EUCO-COST 30 bis project. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 5. CEMT, Paris, 1985.
- Helliar-Symons, R.D. & Wheeler, A.H. (1983). Automatic close-following warning sign at Ascot. Report LR 1095. Transport and Road Research Laboratory, 1983.
- Helliar-Symons, R.D. (1984). Automatic speed warning sign - Hampshire trials. Report 1118. Transport and Road Research Laboratory, 1984.
- Heurck, J. van (1986). Renovatieplan verkeerstunnels van Rijkswaterstaat unieke operatie. Land en Water-nu (1986)8.
- Hyslop, A. (1983). CITRAC - Centrally integrated traffic control. In: Proceedings of the 53rd Annual Meeting, London, 1983, Session 14. Institute of Transportation Engineers, 1983.
- Keller, H. (1979). Strategies and effectiveness of traffic control systems on freeways in the Federal Republic of Germany. In: Proceedings of the International symposium on Traffic control systems, Volume 2A. University of California, Berkeley, 1979.

- Keskinen, A. (1985). Advancement in road weather development. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 5. CEMT, Paris, 1985.
- Knoll, E. (1975). Allgemeine Probleme der Verkehrsbeeinflussung, dargestellt am Versuchsfeld Rhein-Main. Haus der Technik-Vortragsveröffentlichungen 363, 1975.
- Krell, K. (1975). Probleme der Steuerung von Straßen-Korridoren. Haus der Technik-Vortragsveröffentlichungen 363, 1975.
- Krell, K. (1979). Effectiveness of freeway traffic control systems with respect to environmental protection. In: Proceedings of the International symposium on Traffic control systems, Volume 2D. University of California, Berkeley, 1979.
- Kroes, J.L. de; Donk, P. & Klein, S.J. de (1983). Evaluatie van de externe effecten van de verkeerssignalering. Dienst Verkeerskunde RWS & Technische Hogeschool, Delft, 1983.
- Leutzbach, W. (1979). Keynote adress. In: Proceedings of the International symposium on Traffic control systems, Volume 2A. University of California, Berkeley, 1979.
- Leutzbach, W. (1980). Traffic control systems on motorways in the Republic of Germany. Journal of the Institution of Highway Engineers, April 1980.
- Lines, C.J. (1978). The effect of motorway signals on traffic speed. Supplementary Report 363. Transport and Road Research Laboratory, 1978.
- Martin, J.A. (1985). Automatic incident detection - Report from COST 30 bis Working Group 2. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 6. CEMT, Paris, 1985.
- May, A.D.; Harvey, S.H.; MacCalden, S. & Murphy, D. (1985). Electronic aids on California freeways. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 2. CEMT, Paris, 1985.
- McDermott, J.M. (1979). Chicago area expressway surveillance and control: Final report. FHWA-IL-ES-27. Illinois Department of Transportation, 1979.
- Mitani, H. (1985). The application of electronic technology to road traffic control and surveillance for major roads in Japan. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 2. CEMT, Paris, 1985.
- Morin, J.M. (1982). La régulation de vitesse sur autoroute en France et à l'étranger. Rapport de recherche I.R.T. No. 56, 1982.
- OECD (1982). Traffic control and driver communication systems. Seminar, Aachen, 27th to 29th January 1982. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris, 1982.

- OECD (1982a). "Bis"-routes, p.12.
- OECD (1982b). Guidance by means of changeable traffic signs for Nidelv Bru, p.33.
- OECD (1982c). Drechttunnel control system, p.66.
- OECD (1982d). Traffic control system, Gothenburg, p.71.
- OECD (1982e). Prevention of wild animal accidents, p.119.
- OECD (1982f). Warnings of roadway hazards, p.112.
- OECD (1982g). Queue warning system Karlsruhe-Durlach, p.99.
- OECD (1982h). Queue warning system Irschenberg, p.102
- OECD (1982i). Queue warning system, Netherlands, p.108.
- OECD (1982j). Speed warning sign, p.79.
- OECD (1982k). Speed control of motor vehicle traffic by over-the-lane mounted internally illuminated signs, p.50.
- OECD (1982l). Close-following warning system, p.76.
- OECD (1982m). Warnanlage N2 Belchenrampe Süd, p.96.
- OECD (1982n). Wind warning system, p.91.
- OECD (1982o). Freeway and corridor control system, p.44.
- OECD (1982p). "Corridor" operations (town outskirts motorway control), p.60.
- OECD (1982q). Guidance by means of changeable direction signs in the Rhine-Main area, p.15.
- OECD (1982r). Guidance by means of changeable direction signs in the Koblenz area, p.18.
- OECD (1982s). Guidance by means of changeable direction signs in the Kamen-Wuppertal area, p.20.
- OECD (1982t). Driver information and control by overhead, changeable message sign, p.54.
- OECD (1982u). Local decentralized speed control, p.57.
- Ravenschot, W.H.; Versluis, A. & Voort, R.C. van der (1979). Windwaarschuwingsysteem bij de Moerdijkbrug. Verkeerskunde 30 (1979).
- Remeijn, H. (1980). Autosnelwegsignalering: Introductie. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 1980.
- Riemersma, J.B.J.; Moraal, J. & Godthelp, J. (1985). Human factors considerations relevant for highway information systems. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 1. CEMT, Paris, 1985.
- Rijkswaterstaat (1986). Hoogtedetectie. Rijkswaterstaat, Directie Bruggen, 1986.
- Rutley, K.S.; Hodge, A.R. & Lines, C.J. (1983). A new motorway signal. TRRL Report 1075. Transport and Road Research Laboratory, 1983.

- Saxton, L. (1985). Traffic systems in the United States, present and future developments. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 1. CEMT, Paris, 1985.
- Schlup, U. & Zehnder, W. (1985). Saisie électronique de l'état des routes pour l'entretien hivernal. In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 5. CEMT, Paris, 1985.
- Stelling, H.R.H. (1985). Variable message signs (VMS). In: Proceedings of the International seminar of Electronics and traffic on major roads, Session 4. CEMT, Paris, 1985.
- Tafel, H.J. & Kumm, W. (1977). Entwicklung eines automatischen optimalen Verkehrsbeeinflussungssystems auf Schnellstraßen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 241, 1977.
- Tertrais & Besnard, S. (1986). Les panneaux à message variable. Vème Congrès International ATEC '86, Theme II/3, 1986.
- Werkgroep Rijkswaterstaat (1985). Evaluatie Verkeerssignaleringsystemen. Projecten Rijksweg 13 en Rijkswegen 2/12. 1985.
- Wouters, P.I.J. (1984). Elektronica in het wegverkeer. R-84-23. SWOV, 1984.
- Zackor, H. (1979). Self-sufficient control of speed on freeways. In: Proceedings of the International symposium on traffic control systems, Volume 2A. University of California, Berkeley, 1979.
- Zackor, H. & Herkt, S. (1978). Kurzzeitprognose von Verkehrsströmen auf der Grundlage aktueller Querschnittsmessungen. Research Report for the Federal Ministry of Transportation, Bonn, 1978.
- Zackor, H. & Karajan, R.H. (1978). Untersuchungen zur Verkehrsbeeinflussung in einen Autobahnkorridor. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 257, 1978.

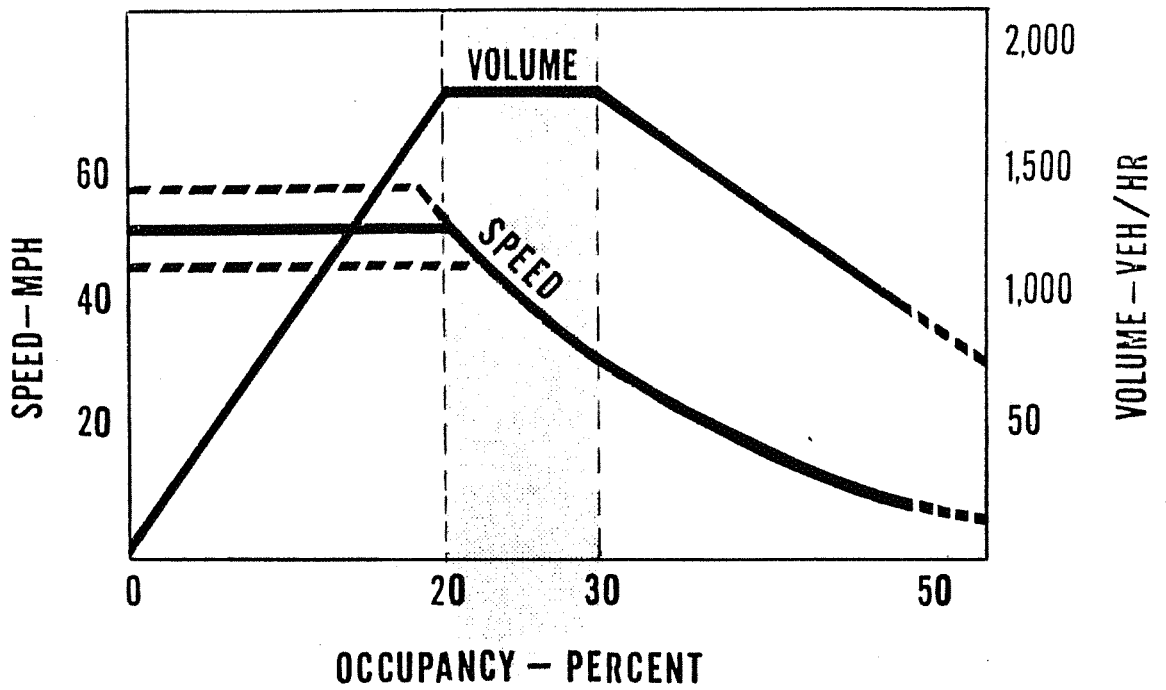
AFBEELDINGEN 1 T/M 4

Afbeelding 1. Een algemene verkeersstroomkarakteristiek voor autosnelwegen voor één rijstrook op een méétpunt. De snelheid (mijl per uur) en intensiteit (motorvoertuig per uur) uitgezet tegen de bezettingsgraad (Bron: McDermott, 1979).

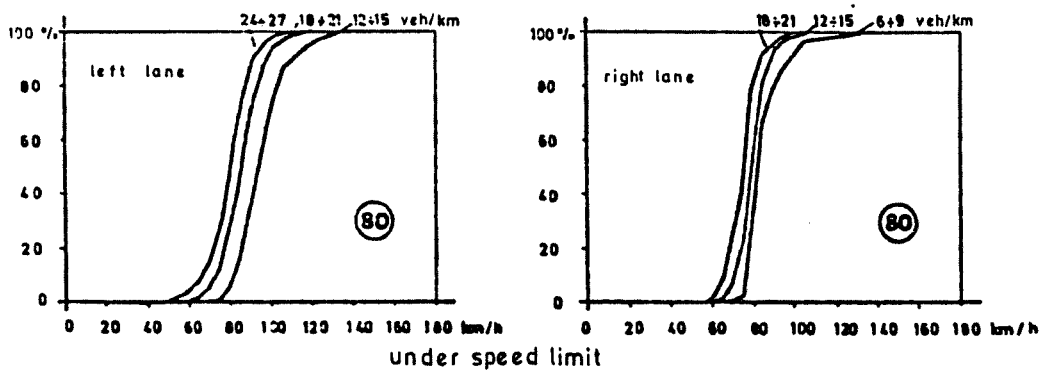
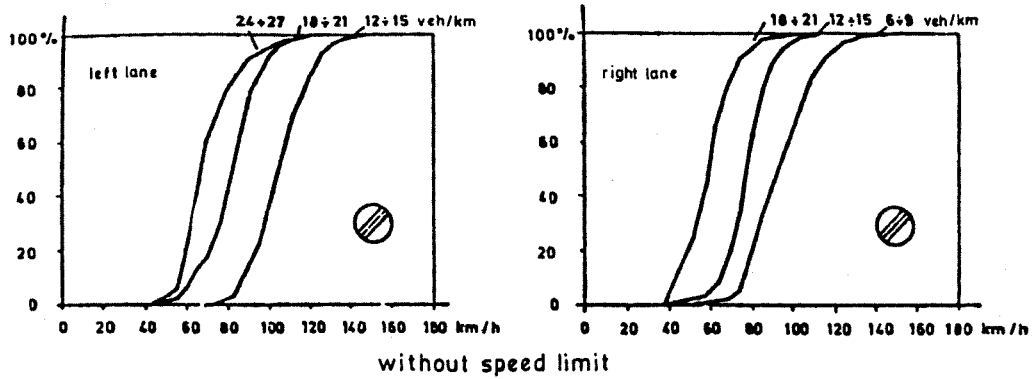
Afbeelding 2. De snelheidsverdeling op een Duitse autosnelweg met en zonder maximum snelheidsaanduidingen (80 km/u), verdeeld naar linker en rechter rijstrook voor drie verkeersdichtheidsklassen (Bron: Zackor, 1979).

Afbeelding 3. De relatie tussen het aantal ongevallen per 10^6 voertuigkilometers en de verkeersintensiteit voor de volgende combinaties van omgevingskenmerken: donker + droog wegdek; donker + nat wegdek; licht + droog wegdek; licht + nat wegdek (Bron: Zackor & Herkt, 1978).

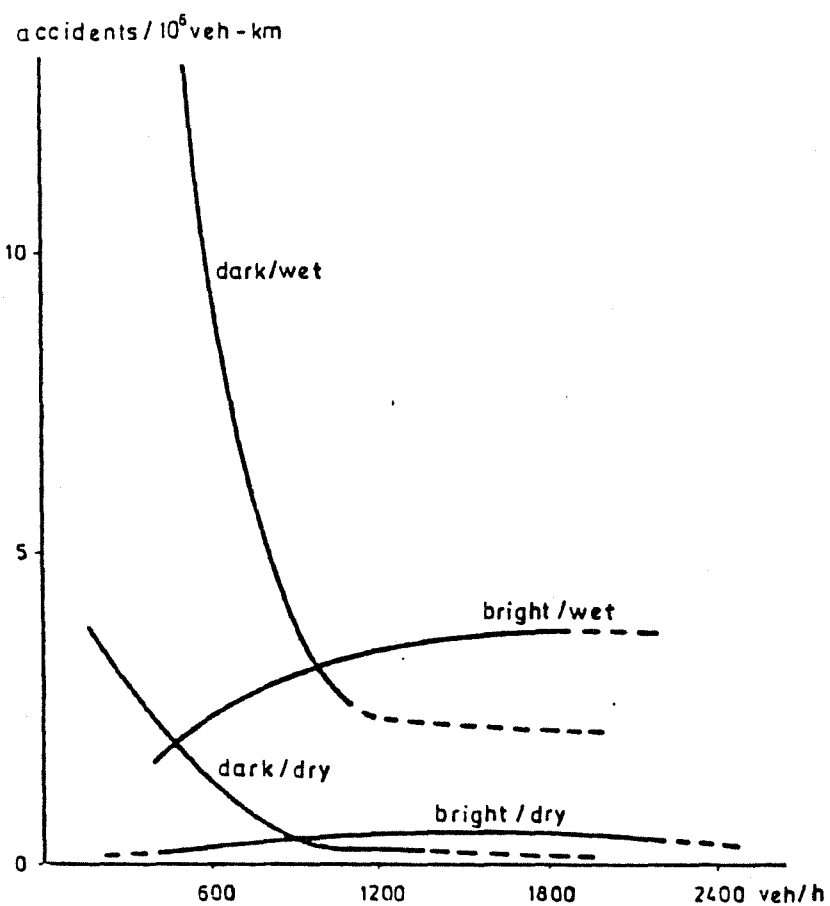
Afbeelding 4. Het effect van signaleringssystemen op de relatie tussen snelheid en verkeersintensiteit (bovenste curve) en tussen reistijd en verkeersintensiteit (onderste curve) (TCM = Traffic Control Measures) (Bron: Krell, 1979)



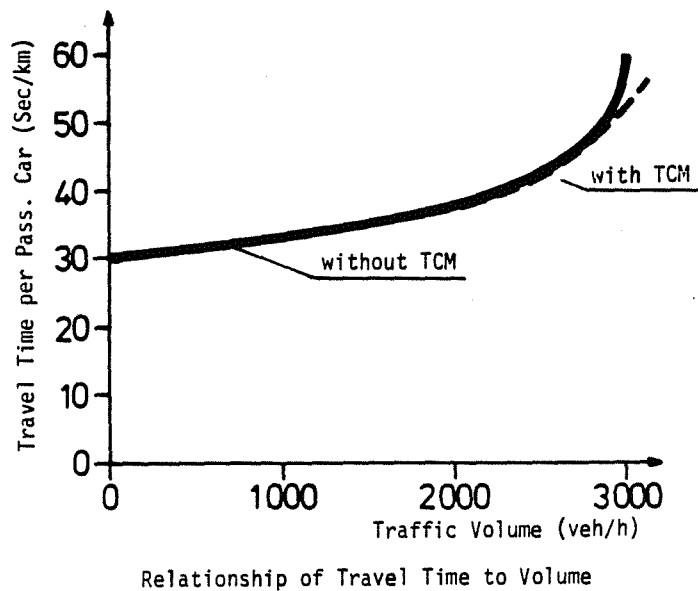
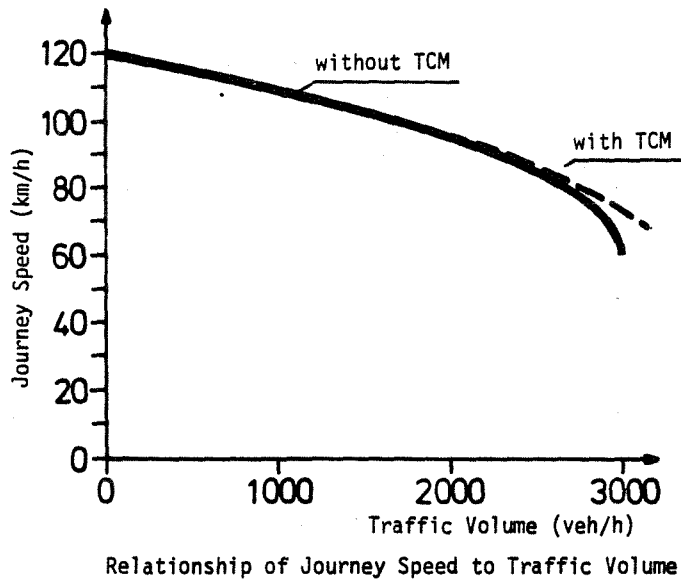
Afbeelding 1. Een algemene verkeersstroomkarakteristiek voor autosnelwegen voor één rijstrook op een méétpunt. De snelheid (mijl per uur) en intensiteit (motorvoertuig per uur) uitgezet tegen de bezettingsgraad (Bron: McDermott, 1979).



Afbeelding 2. De snelheidsverdeling op een Duitse autosnelweg met en zonder maximum snelheidsaanduidingen (80 km/u), verdeeld naar linker en rechter rijstrook voor drie verkeersdichtheidsklassen (Bron: Zackor, 1979).



Afbeelding 3. De relatie tussen het aantal ongevallen per 10⁶ voertuigkilometers en de verkeersintensiteit voor de volgende combinaties van omgevingskenmerken: donker + droog wegdek; donker + nat wegdek; licht + droog wegdek; licht + nat wegdek (Bron: Zackor & Herkt, 1978).



Afbeelding 4. Het effect van signaleringssystemen op de relatie tussen snelheid en verkeersintensiteit (bovenste curve) en tussen reistijd en verkeersintensiteit (onderste curve) (TCM = Traffic Control Measures) (Bron: Krell, 1979)