

STATE OF THE ART RAPPORT "VERKEERSSTROOMMODELLEN"

Deel IX. Meetmethoden voor verkeersstromen

R-78-43

Ir. H. Botma

Voorburg, januari 1978

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

<u>Samenvatting</u>	3
1. <u>Inleiding</u>	4
2. <u>Indeling van de meetmethoden</u>	5
2.1. Indeling naar wat gemeten wordt	5
2.2. Indeling naar hoe gemeten wordt	7
3. <u>Beoordeling van de meetmethoden</u>	8
4. <u>Overzicht van de meetmethoden</u>	10
4.1. Inleiding	10
4.2. Alle voertuigtrajectoriën	10
4.2.1. Luchtfoto(film)	10
4.2.2. Stelsel sensoren	13
4.2.3. Vergelijking luchtfoto(film)methode met stelsel sensen	16
4.3. Steekproef in de voertuigtrajectoriën	16
4.3.1. Luchtfoto(film)	16
4.3.2. Meer dan één foto(film)camera in vaste opstelling	17
4.3.3. Geïstrumenteerd voertuig dat de eigen bewegingen registreert	18
4.3.4. Geïstrumenteerd voertuig dat de eigen bewegingen en die van naburige voertuigen registreert	19
4.4. Steekproef in de plaats	22
4.5. Steekproef in de tijd	24
4.6. Restgroep	26
4.6.1. "Moving observer"	26
4.6.2. Bijzondere toepassingen van radar	27
5. <u>Slotbeschouwing</u>	28
<u>Literatuur</u>	30

SAMENVATTING

In het negende deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" worden meetmethoden behandeld, die geschikt zijn voor het verzamelen van gegevens van verkeersstromen. De meetmethoden worden hierbij primair ingedeeld naar wat er mee gemeten wordt. Uitgangspunt vormt de verzameling van alle voertuigtrajectoriën over een zeker wegvak en binnen een zekere periode.

Als eerste worden meetmethoden behandeld die geschikt zijn voor het verzamelen van alle trajectoriën. Dit zijn luchtfotomethoden en meetsystemen waarbij een stelsel sensoren op de weg wordt aangebracht op relatief kleine onderlinge afstand.

Als tweede komen meetmethoden aan de orde die een steekproef in de voertuigtrajectoriën nemen, d.w.z. dat enige geïsoleerde of een beperkt aantal naburige trajectoriën worden geobserveerd. Hiervoor worden voornamelijk geïnstrumenteerde voertuigen gebruikt.

Als derde wordt de steekproef in de plaats behandeld, waarbij de verkeersstroom op één of meer wegdoorsneden wordt geobserveerd. Deze meetmethode wordt het meest toegepast, maar wordt slechts kort behandeld.

Als vierde komt dan de steekproef in de tijd aan de orde, waarbij de verkeersstroom op een aantal momenten geobserveerd wordt. Dit is praktisch uitsluitend met een luchtfotomethode te realiseren. Tenslotte wordt een aantal, niet in het indelingsschema passende methoden, behandeld.

Een aantal aspecten die bij de beoordeling van een meetmethode van belang zijn wordt genoemd. Bij de bespreking van de diverse meetmethoden wordt de beoordeling aan de hand van deze lijst uitgevoerd. Details van apparatuur worden niet behandeld.

1. INLEIDING

In de voorgaande delen van dit rapport zijn verkeersstroomkenmerken en verkeersstroomodellen behandeld. Voor onderzoek hiervan zijn gegevens uit werkelijk verkeer onontbeerlijk. In dit deel zullen meetmethoden behandeld worden die geschikt zijn voor het verzamelen van verkeersstroomgegevens. Meetmethoden zijn in de voorgaande delen wel af en toe kort besproken maar hier zal het uitvoeriger en systematischer gebeuren. Hoewel dit deel van het rapport op deze manier een enigszins onafhankelijke plaats binnen het geheel inneemt, is het toch een gewenste en functionele aanvulling op het geheel. Immers meetmethoden bepalen mede welk onderzoek mogelijk is.

In principe kan men meetmethoden indelen naar wat en naar hoe gemeten wordt. Hier wordt het eerste indelingsprincipe voorop gesteld, waarbij wordt uitgegaan van meetmethoden voor alle voertuigtrajectoriën op een zeker wegvak en gedurende een zekere periode. Minder volledige informatie wordt verkregen als men slechts enkele voertuigtrajectoriën observeert of alleen een steekproef in de tijd of in de plaats neemt. Bij deze indeling blijft dan overigens nog een restgroep over die er niet in past.

Welke meetmethode voor een bepaald onderzoek het meest geschikt is kan niet algemeen aangegeven worden. Dit zal enerzijds afhangen van het doel en de opzet van het onderzoek en anderzijds van de beschikbare middelen, in de vorm van mankracht, apparatuur en geld. Wel wordt een lijst gepresenteerd van aspecten die bij de behandeling van een meetmethode van belang zijn. Bij de te behandelen meetmethoden worden een aantal van deze beoordelingsaspecten "ingevuld".

In de praktijk wordt het meest gebruik gemaakt van de steekproef in de plaats, d.w.z. het verrichten van waarnemingen aan de verkeersstroom op één of een aantal wegdoorsneden. Hiervoor is dan ook relatief een grote variatie aan apparatuur beschikbaar. Omdat hiervan echter reeds diverse overzichten bestaan zal er hier minder aandacht aan besteed worden dan aan de minder gebruikelijke meetmethoden.

2. INDELING VAN DE MEETMETHODEN

2.1. Indeling naar wat gemeten wordt

Een volledige beschrijving van een verkeersstroom bestaat uit het volgende: van elk voertuig in het beschouwde weg- en tijdvak de permanente voertuigkenmerken (type, afmetingen, capaciteiten) en de longitudinale en laterale voertuigtrajectorie. Onder de longitudinale trajectorie van een voertuig wordt verstaan de positie van het voertuig in de langsrichting van de weg als functie van de tijd, onder de laterale trajectorie de positie van het voertuig in een richting loodrecht op de as van de weg als functie van de tijd. Het referentiepunt van het voertuig is hierbij bijvoorbeeld het zwaartepunt of het midden van de voorkant. Bewegingen van het voertuig ten opzichte van zijn zwaartepunt blijven buiten beschouwing; dit behoort niet meer tot het onderwerp verkeersstromen maar tot onder meer voertuigdynamica en voertuigbesturing. Uit de trajectoriën kunnen door differentiatie snelheden en versnellingen worden afgeleid. Bij de interpretatie van de zo gedefinieerde trajectoriën en de afgeleide grootheden is het horizontaal en verticaal profiel van de weg nodig.

Uitgaande van een volledige beschrijving van een verkeersstroom is de volgende indeling voor meetmethoden ontworpen. Hierbij worden meetmethoden onderscheiden die gericht zijn op:

- alle voertuigtrajectoriën;
- een steekproef in de voertuigtrajectorieën;
- een steekproef in de plaats;
- een steekproef in de tijd.

Opgemerkt kan worden dat er bij verkeersonderzoek vrijwel altijd sprake is van een steekproef. Men onderzoekt het verkeer gedurende een beperkte tijd en op een beperkt deel van het wegennet, met het doel uitspraken te doen over langere perioden en uitgebreidere wegennetten. De steekproeven in het voorgaande zijn dus als het ware tweede trappen van een totale steekproef.

De steekproef in de voertuigtrajectoriën kan ook beschouwd worden

als een steekproef in plaats en tijd, waarbij deze twee grootheden op speciale wijze samenhangen. Het leek echter beter dit geval apart te behandelen.

Volkomen sluitend is de gekozen indeling niet, er blijft een restgroep over van meetmethoden die er niet in passen.

Bij elke meetmethode kunnen de te verzamelen kenmerken worden onderscheiden in:

- permanente voertuigkenmerken;
- aspecten van de longitudinale voertuigbewegingen;
- aspecten van de laterale voertuigbewegingen.

Toelichting

Wat met alle voertuigtrajectoriën bedoeld wordt behoeft weinig toelichting. Beschikt men er over dan zijn er vele mogelijkheden voor onderzoek van bijvoorbeeld strookwisselen, volggedrag, inhaalgedrag, verstoringen in de stroom, enz. Voor beperkter onderzoek kan men een steekproef in de voertuigtrajectoriën, in de plaats of in de tijd achteraf gunstig kiezen. Het zal echter duidelijk zijn dat het verzamelen van alle voertuigtrajectoriën niet eenvoudig is.

Een steekproef in de voertuigtrajectoriën kan bestaan uit geïsoleerde elementen en hiervan kunnen dan bijvoorbeeld het snelheids- en versnellingsverloop geanalyseerd worden. Bestaat de steekproef uit enige naburige trajectoriën, dan kunnen interacties bij bijvoorbeeld naderen, volgen en inhalen geanalyseerd worden, echter minder uitvoerig dan wanneer alle voertuigtrajectoriën ter beschikking staan.

Bij een steekproef in de plaats worden de voertuigtrajectoriën bemonsterd op een of meer plaatsen. Bij twee of meer plaatsen is het voor de mogelijkheden tot onderzoek van belang of men de voertuigen al of niet identificeert. De steekproef in de plaats zonder voertuigidentificatie is de meest toegepaste meetmethode voor het verzamelen van gegevens van een verkeersstroom.

Voor een steekproef in de tijd geldt vrijwel het overeenkomstige als voor een steekproef in de plaats. Praktisch is de steekproef in de tijd echter moeilijker uitvoerbaar.

Opgemerkt moet worden dat de grenzen tussen de categorieën in de beschrijvingen niet scherp zijn. Als men de steekproef in de plaats of in de tijd zeer dicht neemt, komt men in de categorie "alle voertuigcategorieën" terecht.

2.2. Indeling naar hoe gemeten wordt

Hoewel dit indelingsprincipe niet gekozen wordt, zal het toch enigszins uitgewerkt worden. Een verdere indeling is mogelijk op de volgende aspecten.

1. Type waarnemer (waarnemer in algemene zin: mens, apparatuur of een combinatie van beide)

- Mens; bijvoorbeeld tellen van aantal passerende voertuigen op doorsnede, uitlezen van voertuigposities van een luchtfoto;
- Apparatuur; een verdere indeling is mogelijk naar fysisch principe:
 - . radar
 - . laser
 - . infra-rood
 - . sonar
 - . foto en film
 - . video
 - . elektromagnetisch (inductielussen)
 - . elektromechanisch (luchtslangen, coaxiaalkabels, tape-switches)
 - . foto-elektrisch

2. Positie waarnemer

- Onmiddellijke omgeving van de weg; bijvoorbeeld coaxiaalkabel op de weg, inductielus in de weg, radarsnelheidsmeter naast de weg, acoustische detector boven de weg.
- Verder verwijderd van de weg; bijvoorbeeld filmen uit luchtvoertuig of vanaf hoog gebouw.

3. Bewegingstoestand waarnemer

- Star; bijvoorbeeld inductielussen in de weg.
- Bewegend; bijvoorbeeld filmen uit luchtvoertuig, gebruik van geïnstrumenteerd voertuig.

3. BEOORDELING VAN DE MEETMETHODEN

Bij de beoordeling van een meetmethode, of beter van een waarnemings-systeem bestaande uit meten, registreren en verwerken, zijn de volgende punten van belang:

1. Effect van de meetmethode op de te meten grootheden

Dit effect komt tot stand doordat weggebruikers merken dat er iets bijzonders aan de hand is of dat ze geobserveerd worden en als reactie hun gedrag veranderen. De grootte van zo'n effect is moeilijk vast te stellen, terwijl de veronderstelde aanwezigheid er van de waarde van resultaten van een onderzoek kan verminderen. Men moet er dus naar streven apparatuur onzichtbaar of onopvallend te maken. Bij een experiment met proefpersonen is een effect op het te meten gedrag in principe nooit uit te sluiten.

In hetgeen volgt zal dit aspect van een meetmethode korthedshalve aangeduid worden met "effect meetmethode".

2. Aanpassing van meting, registratie en verwerking aan elkaar

Naarmate men meer gegevens verzamelt wordt dit belangrijker; ideaal is registratie in een vorm die rechtstreeks met rekentuing verwerkt kan worden.

3. Beperkingen in gebruik

Inductielussen in de weg bijvoorbeeld zijn bruikbaar bij alle weer- en zichtomstandigheden, in tegenstelling tot een luchtfotomethode.

4. Betrouwbaarheid

5. Nauwkeurigheid

6. Installatie

De omvang van de installatiewerkzaamheden is bepalend voor de mobiliteit van het systeem. Van belang is ook of en hoe lang de weg afgezet moet worden.

7. Snelheid waarmee de gewenste gegevens beschikbaar komen

Dit wordt voornamelijk bepaald door het punt aanpassing en de beschikbaarheid van mankracht en apparatuur.

8. Aanpassing aan op andere wijze verkregen gegevens

Hier is bij de beoordeling van één meetmethode weinig algemeen te zeggen.

9. Privacy

Dit kan in het bijzonder bij foto- en filmmethoden van toepassing zijn. Het probleem of verkeersonderzoek in bepaalde gevallen een ontoelaatbare inbreuk op privacy kan betekenen wordt zelden beschouwd; ook in dit rapport zal het bij deze vermelding blijven.

10. Veiligheid

Met name bij toepassing van radar en lasers met smalle bundels is persoonlijk letsel niet uitgesloten. Over de toelaatbare doses bestaat nogal verschil van mening; zie IEEE (1971).

11. Kosten

Opmerkingen

. Getracht is bovenstaande punten, afgezien van de kosten, min of meer in volgorde van belangrijkheid te vermelden, al zullen voor ieder geval afwijkingen kunnen optreden.

. Bij de behandeling van de diverse meetmethoden zullen de punten 7 t/m 10 meestal buiten beschouwing blijven.

4. OVERZICHT VAN DE MEETMETHODEN

4.1. Inleiding

Bij het overzicht zal de in par. 2.1. besproken indeling gehanteerd worden. Vanzelfsprekend is de daarbij het eerst aan de orde komende meetmethode voor alle voertuigtrajectoriën, in principe ook geschikt voor de andere klassen, echter gebruik ervan zal dan meestal niet efficiënt zijn.

Het overzicht is beperkt tot methoden die min of meer operationeel zijn. Op details van de toegepaste technieken zal weinig ingegaan worden; het overzicht is bestemd voor gebruikers, niet voor ontwerpers van meetapparatuur.

Van de meeste meetmethoden zal een beschrijving, één of meer voorbeelden en een beoordeling gepresenteerd worden; soms echter zal de behandeling beperkt blijven tot het geven van een voorbeeld.

4.2. Alle voertuigtrajectoriën

4.2.1. Luchtfoto(film)

Beschrijving

Vanaf een vast hoog gelegen punt, bijv. een gebouw (Taylor, 1970) of een ballon (Breuer, 1970), of vanuit een luchtvoertuig dat al of niet met de verkeersstroom meevliegt (Ohio State University, 1969), wordt het verkeersbeeld vastgelegd met een foto- of filmcamera. Voor het verkrijgen van de voertuigtrajectoriën worden de posities van de voertuigen, eventueel ook een voertuigidentificatie, en markeringspunten op of langs de weg uitgelezen. Met behulp van de bekende posities van de markeringspunten in het gewenste coördinatenstelsel, bijv. langs en loodrecht de weg, kunnen ook de uitgelezen voertuigposities hier naar getransformeerd worden. Bij een bewegende camera is deze transformatie voor elk beeld anders. Het samenstellen van de voertuigtrajectoriën, d.w.z. het bij elkaar

zoeken van posities van hetzelfde voertuig op verschillende beelden, gebeurt met behulp van de voertuigidentificatie of een algoritme die gebruik maakt van de beperkte veranderingen van beeld tot beeld. Behalve de kwantitatieve informatie, in de vorm van voertuigtrajectoriën en voertuigafmetingen, levert het meetresultaat een blijvend kwalitatief beeld van de verkeersstroom en de omgeving.

Voorbeeld

Over het gebruik van de luchtfotomethode is uitvoerig gerapporteerd door Ohio State University (1969).

Een helicopter vloog op ca. 1100 m hoogte boven de verkeersstroom en trachtte een speciaal gemerkt voertuig te volgen. Gebruikt werd een fotocamera met 115 mm filmformaat, die éénmaal per seconde een foto maakte. Een film correspondeerde met een meetduur van 10 minuten en er werd per foto een wegvak van ca. 1700 m bestreken (schaal 1:15000). Het uitlezen van een foto kostte 30 minuten en de fout in de positie bedroeg ca. 0,3 m.

Verzameld werden: permanente voertuigkenmerken: type (afmetingen); longitudinale trajectorie: positie, snelheid, (versnelling); laterale trajectorie: rijstrook, maar nauwkeuriger informatie is mogelijk.

De verkregen gegevens zijn gebruikt voor verkennend theoretisch onderzoek (hypothesevorming en enige toetsing), in het bijzonder analyse van verstoringen in de stroom, volgtijden, volggedrag, en verband snelheid en dichtheid in niet-stationaire situaties.

Beoordeling

1. Bij opstelling van de camera op een gebouw lijkt camouflage geen probleem. Gebruik van een ballon is in dit opzicht minder geschikt. Bij een luchtvoertuig zal de vlieghoogte van belang zijn en of de politie verkeersgedrag vanuit de lucht pleegt te controleren.

2. Het uitlezen van de film, ook met gebruik van moderne apparatuur (motion analysers), is zeer arbeidsintensief. Pogingen dit geheel

of ten dele te automatiseren zijn ondernomen. Zowel in West-Duitsland als in de Verenigde Staten, hebben respectievelijk Wolferts (1974) en Raudseps (1975) een gemengd mens-machine systeem ontworpen, waarbij de mens het moeilijkste deel uitvoert, zoals het uitlezen van de eerste foto en de markeringspunten. Ten opzichte van het uitsluitend door mensen laten uitlezen is zodoende de procedure ca. 10 maal zo snel geworden. Echter ook dan is het uitlezen nog steeds zeer tijdrovend en kostbaar. Zo vermeldt Wolferts dat voor een meting die 5 minuten duurt, over een wegvak van 300 m lengte, waar 1800 voertuigen per uur passeren en iedere seconde een foto wordt gemaakt, het uitlezen één uur interactief werken (mens en computer) en daarna nog twee à drie uur rekentijd vergt.

3. De beperkingen volgen uit de benodigde goede weer- en zichtcondities, de voorwaarden voor gebruik van het luchtruim, de aanwezigheid van viaducten en schaduw van begroeiing, enz. Bij duister- nis komt als alternatieve meetmethode infraroodfotografie in aan- merking, zie Frank (1964), maar dit is nog niet operationeel.

4. De betrouwbaarheid is geen probleem omdat de apparatuur reeds lang voor andere doeleinden, in het bijzonder luchtkartering, wordt toegepast.

5. De nauwkeurigheid van de uitgelezen posities is afhankelijk van:

- gekozen schaal (= filmformaat/beeldformaat)
- beeldkwaliteit; op zijn beurt afhankelijk van:
 - . kwaliteit camera en film;
 - . lichtcondities;
 - . opstelling camera (zoveel mogelijk trillingsvrij);
 - . positie camera t.o.v. de weg (loodrecht er boven is het beste);
 - . uitleesapparatuur (mogelijkheid tot vergroting en instelbaar- heid haarlijnen).

De indruk bestaat dat, als aan de andere factoren de nodige zorg wordt besteed, de schaal de belangrijkste factor is. Naarmate de schaal groter is, wordt de fout in de positie kleiner, wat bij een gegeven filmformaat ten koste gaat van de afmetingen van het beeldveld.

Voor de nauwkeurigheid van uit de posities af te leiden snelheden en versnellingen is ook de fout in het tijdsinterval tussen de foto's of filmbeelden van belang. Relevant is verder dat fotocamera's in het algemeen een betere kwaliteit leveren dan filmcamera's maar de beschikbare, meestal ontworpen voor kartering, zijn vaak niet ingericht voor de gewenste fotofrequentie.

6. Het betreft het aanbrengen van de markeringspunten langs de weg, waarvan de posities bepaald moeten worden, en eventueel de installatie van de camera in het luchtvoertuig. Het laatste kan problemen opleveren met betrekking tot de trillingsvrije opstelling, de voedingsspanning en de richtmogelijkheden, als het een willekeurig luchtvoertuig betreft. Storing van het verkeer zal de installatie dus niet hoeven te veroorzaken.

7. De verwerkingssnelheid wordt bepaald door het uitlezen, duidelijk de zwakste schakel van deze meetmethode.

11. Belangrijkste kostenfactoren zijn het uitlezen en - indien van toepassing - het luchtvoertuig.

4.2.2. Stelsel sensoren (dichte steekproef in de plaats)

Beschrijving

De luchtfotomethode kan beschouwd worden als een dichte steekproef in de tijd en is in principe te vervangen door een dichte steekproef in de plaats, te realiseren door een wegvak te voorzien van een groot aantal sensoren. Van deze methode zijn uitsluitend Nederlandse voorbeelden bekend.

Voorbeelden

Het Stevin-Laboratorium van de TH Delft heeft rond 1965 een systeem gebruikt waarbij aspassages werden gedetecteerd met luchtslangen of coaxiaalkabels en geregistreerd op schrijvers. De uitwerking was

zeer arbeidsintensief, één meetdag verwerken kostte ca. één manjaar, zodat er weinig onderzoek met de apparatuur is gedaan; Korsmit (1966).

Het Laboratorium voor Verkeerskunde van de TH Delft heeft dit systeem gemoderniseerd tot het zogenaamde Verkeersdataverzamelingssysteem; zie Van Dijk & Mozes (1975). Bij dit systeem kunnen in principe verschillende typen sensoren worden toegepast maar tot nu toe zijn voornamelijk luchtslangen gebruikt. Een meetpunt of meetraai bestaat per rijstrook uit twee luchtslangen (diameter ca. 4 mm), die op een meter afstand loodrecht op de rijrichting zijn aangebracht. Een aantal meetraaien, nu maximaal 32 stuks maar nog uit te breiden tot 64, in een bepaalde configuratie geïnstalleerd en waarmee simultaan gemeten wordt, vormen een meetopstelling. Na voorbewerking met een computer worden de aspassages geregistreerd op magneetband. De verdere verwerking van de gegevens tot hanteerbare informatie omtrent de verkeersstroom gebeurt automatisch. Een belangrijk onderdeel hierbij is het koppelingsalgoritme, waarmee de informatie van hetzelfde voertuig op verschillende raaien bij elkaar gezocht wordt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de berekende wielbasis en de snelheidsinformatie. De afstand tussen de meetraaien waarbij de koppeling nog lukt is afhankelijk van de verkeerssituatie en lijkt voorlopig tussen 100 en 300 m te liggen. Stelt men deze afstand op 200 m dan kan bijvoorbeeld op een tweestrooks-rijbaan de verkeersstroom over een lengte van 3 km relatief gedetailleerd geobserveerd worden. Verzameld worden: permanente voertuigkenmerken: aantal assen en wielbasis; longitudinale trajectorie: passagemoment en snelheid; laterale trajectorie: rijstrook.

De laterale positie binnen een rijstrook kan in principe worden bepaald met behulp van een extra luchtslang die scheef over de weg gespannen is, maar deze mogelijkheid is nog niet uitgewerkt en beproefd. Het betekent wel dat per meetraai drie in plaats van twee slangen nodig zijn en dat dus bij dezelfde capaciteit van het systeem een korter wegvak geobserveerd kan worden.

Beoordeling

1. De sensoren op de weg zijn zichtbaar, of en onder welke condities dit (te) veel effect heeft op het te meten verkeersgedrag is nog in onderzoek.

Vervanging van de luchtslangen door in het wegdek aan te brengen drukgevoelige "vibra-coaxiaal" kabels met gelijke eigenschappen is in principe mogelijk, maar zal de installatiewerkzaamheden en de kosten negatief beïnvloeden.

2. Het ontwerp van het systeem is speciaal gericht geweest op een goede aanpassing, ter vermindering van omvangrijke uitleesbaarheid zoals bij de luchtfotomethode en de registratie van aspassages op schrijvers nodig is.

3. Meten op rijbanen met meer dan twee rijstroken is (nog) niet mogelijk.

4. Het grote aantal onderdelen van het systeem op de weg zou problemen t.a.v. de betrouwbaarheid kunnen geven, maar dit blijkt niet het geval te zijn.

5. De geschatte maximale fout in de snelheid bedraagt 1 à 2% bij een snelheid van 20 m/s en in de wielbasis 2 à 3% bij een wielbasis van 2,5 m.

6. De installatie van de sensoren is relatief eenvoudig; of afzetting van de weg nodig is zal afhangen van de intensiteit (in stille uren) en de gereden snelheden.

7. De snelheid van de verwerking kan groot zijn omdat het hele meetregistratie- en verwerkingsproces geautomatiseerd is.

11. Gegeven de beschikbaarheid van de apparatuur zijn de verdere kosten relatief gering.

4.2.3. Vergelijking luchtfoto(film)methode met stelsel sensoren

Hierbij moet bedacht worden dat luchtfotomethoden al jaren in gebruik zijn en in allerlei varianten voorkomen terwijl aan de andere kant het verkeersdataverzamelingssysteem tot nu toe uniek is en er nog maar beperkt ervaring mee is opgedaan. Met de nodige voorzichtigheid kan gesteld worden dat t.o.v. de luchtfotomethode het verkeersdataverzamelingssysteem:

- . meer opvallend is voor de weggebruiker;
- . een betere aanpassing heeft tussen meten, registreren en verwerken;
- . minder beperkingen in gebruik kent;
- . meer installatie op de weg vergt;
- . goedkoper in gebruik zal zijn.

4.3. Steekproef in de voertuigtrajectoriën

4.3.1. Luchtfoto(film)

Voorbeeld

Als voorbeeld kunnen de metingen van de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat genoemd worden; zie Baars & Khiati (1974). Hierbij werd gefilmd (filmformaat 36 mm en 36 beeldjes per seconde) vanuit een heli-copter die op 200 à 300 m hoogte vloog en een willekeurig voertuig over ca. 400 m volgde. Het beeldveld was ca. 60 x 45 m groot, corresponderend met een schaal van 1:2500. Elke halve seconde werd er een filmbeeld uitgelezen, wat per stuk ca. 8 minuten kostte en waarbij de standaardafwijking van de fout in de positie 5 cm bedroeg.

Hiermee werden verkregen: permanente voertuigkenmerken: type, lengte en breedte; longitudinale en laterale trajectoriën, positie, snelheid, versnelling. Bovendien een met een plotter vervaardigde tekening van de weg met daarin de trajectorie van het voertuig. Doel van het onderzoek waarbij de meetmethode werd gebruikt was het vergelijken van de voertuigtrajectoriën van willekeurige verkeersdeelnemers met die van geïnstrumenteerde proefpersonen in een meetvoertuig.

Beoordeling

Deze is vrijwel identiek aan de beoordeling van de luchtfotomethode voor alle voertuigtrajectoriën. De grote nauwkeurigheid kon hier bereikt worden door de relatief grote schaal en het hiermee corresponderende kleine beeldveld.

4.3.2. Meer dan één foto(film)camera in vaste opstelling

Voorbeeld

Als voorbeeld een door Schwär (1973) beschreven meetmethode, waarbij met twee fotocamera's voertuigen over een wegvak van 100 à 200 m lengte gevolgd werden. De camera's waren gekoppeld, zodat de foto's op dezelfde momenten genomen werden. Tevens werden ze door de bedienaren op het te volgen voertuig gericht, waarbij de afstand van camera tot voertuig variëerde van 30 tot 200 m. Met een vrij gering aantal markeringspunten in het terrein konden met een soort driehoeksmeting de posities van het voertuig bepaald worden. Snelheden en versnellingen volgden uit de posities en de fotofrequentie, die in dit geval twee maal per seconde bedroeg.

De methode is gebruikt bij het bestuderen van het snelheids- en versnellingsverloop van voertuigen op een gebogen afrit van een autosnelweg.

Beoordeling

Deze is globaal dezelfde als die van de luchtfotomethode. Voor wat betreft de punten "effect meetmethode" en "beperkingen" is van belang dat behalve de camera's ook de bedienaren gecamoufleerd moeten worden. De nauwkeurigheid van deze methode is echter onbekend, de verwerking is arbeidsintensief en kost veel rekentijd.

4.3.3. Geïstrumenteerd voertuig dat de eigen bewegingen registreert

Voorbeelden

Vergeleken met de in het voorgaande behandelde "uitwendige" meet-systemen kan de instrumentatie in dit geval veel eenvoudiger zijn. De beperking ligt in het feit dat meestal met één type voertuig en een beperkt aantal proefpersonen gewerkt wordt.

Als eerste voorbeeld een eenvoudig systeem; zie Burmeister & Leichter (1971).

Van een Volkswagenbusje wordt, gerekend vanaf een beginpunt en -tijd, elke tijdstap (keuze uit 1, 2, 10, 20 en 100 seconden) de afgelegde weg of elke "wegstap" (keuze uit 10, 20, 100, 200 en 1000 m) de verstreken tijd op een ponsband geregistreerd. De registratie wordt verwerkt tot het verloop van snelheid en versnelling als functie van tijd en weg, verdelingen van deze grootheden, aantal en duur van de stops, enz.

Dit systeem wordt o.a. gebruikt bij voor- en nastudie van het effect van een verkeerslichtenregeling op een route.

Als tweede voorbeeld een omvangrijk systeem; zie Michon & Koutstaal (1969).

Van een Volvo-stationcar kunnen voor wat betreft de longitudinale voertuigtrajectorie gemeten worden de afgelegde weg en de snelheid (versnelling uit snelheid af te leiden) en voor wat betreft de laterale trajectorie de positie t.o.v. de wegbelijning en de dwarsversnelling. Het ontwerp van het meetsysteem is echter niet gericht op onderzoek van voertuigbewegingen alleen maar op de totale interactie omgeving-bestuurder-voertuig-voertuigbediening-voertuigbewegingen, reden waarom ook grootheden als kijkrichting, hartslag, stuurwielverdraaiing en verticale versnelling gemeten kunnen worden.

Dit systeem wordt o.a. gebruikt voor onderzoek in het kader van het SWOV-project "Analyse Rijtaak".

Beoordeling

1. De bestuurder zal zich altijd enigszins van het experiment bewust zijn en dit kan de resultaten vertekenen; dit lijkt vooral van belang bij onderzoek van "normaal" gedrag. Verder is het van belang dat het voertuig zelf niet door andere bestuurders als "waarnemer" herkend wordt.

2. Met de huidige technieken is aan boord van het voertuig een registratiesysteem te realiseren dat goed aangepast is aan de verdere verwerking.

3. Beperkingen in gebruik zijn er niet.

4. De betrouwbaarheid is geen probleem.

5. Ten opzichte van andere meetmethoden is een grote nauwkeurigheid te bereiken in het bijzonder van versnellingen.

6. De eenmalige installatie in het proefvoertuig is omvangrijk, vandaar dat men meestal met een voertuig volstaat; voor verder gebruik is dit punt niet meer van toepassing.

11. Gegeven de beschikbaarheid van de apparatuur zijn de verdere kosten relatief gering.

4.3.4. Geïnstrumenteerd voertuig dat de eigen bewegingen en die van naburige voertuigen registreert

Nog te verdelen in: Naburige "argeloze" voertuigen en Naburige "proef"-voertuigen.

1. Naburige "argeloze" voertuigen

Beschrijving

Voor de eigen bewegingen geldt hetzelfde als bij de vorige meetmethode. Voor het meten van de relatieve beweging van andere voertuigen komen diverse meettechnieken in aanmerking, zoals foto, radar, laser, infrarood. Wat tenslotte bruikbaar is wordt bepaald door wat, onder welke condities en hoe nauwkeurig men wil meten. De methode is tot nu toe voornamelijk gebruikt voor onderzoek van volggedrag (car-following).

Voorbeelden

Gordon (1971) beschrijft een onderzoek van volggedrag, waarbij de snelheid van de geïnstrumenteerde voorligger en de afstand tot een willekeurige volger werd gemeten door respectievelijk het fotograferen van de snelheidsmeter en de achterligger (tweemaal per seconde). Voor de bepaling van versnellingen was deze meetmethode te grof.

Hoefs (1972) heeft de snelheid van de geïnstrumenteerde auto met een gecamoufleerd vijfde wiel gemeten en de afstand tot de achterligger met een fotomethode (twee opnamen per seconde). Uit deze gegevens werd o.a. de versnelling van de achterligger afgeleid en daarbij werd, dankzij een zeer nauwkeurige maar arbeidsintensieve uitlezing van de foto's, een acceptabele meetfout bereikt (standaardafwijking $0,1 \text{ m/s}^2$ bij een volgafstand van 10 m). Bedacht moet wel worden dat deze fout toeneemt met het kwadraat van de volgafstand.

In het kader van het project "Verkeersstroommodellen" van de SWOV is overwogen volggedrag op grote schaal te gaan onderzoeken, waarvoor een nauwkeurige en niet-arbeidsintensieve meetmethode noodzakelijk werd geacht. Het gebruik van Doppler-radar voor het meten van de relatieve snelheid van de achterligger kwam het meest in aan-

merking. Het bleek echter dat hiermee, zonder een kostbare ontwikkeling, toch niet aan de gestelde eisen voldaan kon worden; zie Botma (1974).

Beoordeling

Van de beoordeling slechts de volgende punten:

1. Het meetvoertuig mag niet als zodanig herkenbaar zijn; dit heeft consequenties voor de instrumentatie (bijv. geen radar op het dak).
3. De beperkingen zijn afhankelijk van de gebruikte meettechniek, bijv. de fotomethode is niet bruikbaar bij duisternis.

2. Naburige "proef"-voertuigen

Voorbeelden

Chandler et al (1958) beschrijven een onderzoek van volggedrag waarbij de achterligger geïnstrumenteerd was en de eigen snelheid en versnelling mat. De afstand tot en de relatieve snelheid ten opzichte van de voorligger werd gemeten met behulp van een strak gehouden metalen draad op een haspel, waarvan het uiteinde met de voorligger was verbonden. Registratie gebeurde op een oscillograaf (onderzoek in 1957!), zodat de verwerking tijdrovend moet zijn geweest.

Als tweede voorbeeld een onderzoek van inhaalmanoeuvres met een tegenligger; zie Rumar & Berggrund (1973). Hierbij werd de afstand van het ingehaalde voertuig tot inhaler en tegenligger gemeten, met een camera op het dak die elke twee seconden via spiegels naar voren en naar achteren opnamen maakte. Tevens werd de positie van het ingehaalde voertuig geregistreerd bij begin en einde van de inhaalmanoeuvres, zodat alle drie de voertuigtrajectoriën vast lagen.

4.4. Steekproef in de plaats

Beschrijving

Hierbij worden op een of meer wegdoorsneden de passerende voertuigen geobserveerd, globaal, bijv. alleen het aantal of zeer volledig, bijv. permanente voertuigkenmerken (lengte, breedte, gewicht, aantal assen, kenteken), longitudinaal (passagemoment, snelheid, versnelling) en lateraal (positie, snelheid, versnelling). Er bestaat een grote verscheidenheid van apparatuur voor dit doel, vrijwel alle in par. 2.2. genoemde meetprincipes worden toegepast. Het zwaartepunt lag in het verleden en ligt nu nog bij apparatuur voor het meten van intensiteiten en snelheden; zie bijv. OECD (1972). Meer recent zijn daar de verblijfstijd (de lengte van het voertuig gedeeld door de snelheid) en een permanent voertuigkenmerk (doel veelal het onderscheiden van voertuigcategorieën) aan toegevoegd; zie bijv. Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen (1972). Een sterke stimulans bij de ontwikkeling en verbetering van de apparatuur wordt gevormd door de toepassing bij verkeersafhankelijke regelsystemen (verkeerslichten, signaleringssystemen).

Bij het observeren van dezelfde verkeersstroom op meer dan een doorsnede maakt het verschil of de voertuigen al of niet geïdentificeerd worden. In het laatste geval zijn de reistijden en het snelheidsgedrag niet alleen collectief maar ook voor ieder voertuig afzonderlijk te bepalen.

Voorbeelden

In het kader van dit rapport leek het niet nodig alle gebruikte meettechnieken op te sommen en te beoordelen. In plaats daarvan zal als voorbeeld een modern Nederlands systeem worden behandeld en wel dat van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat op auto(snel)-wegen; zie Van der Voort & Van Helden (1974).

Per rijstrook worden met twee in het wegdek aangebrachte inductielussen en bijbehorende detectoren per passerend voertuig drie tijd-

stippen gemeten en geregistreerd op magneet- of ponsband. Deze banden zijn geschikt voor directe verwerking met rekentuing waarbij in eerste instantie tijdreeksen van passagemomenten, volgtijden, snelheden en "elektrische" voertuiglengten bepaald worden.

Het beschreven systeem wordt toegepast voor:

- het permanent meten van intensiteiten op 60 punten van het auto- (snel)wegennet, waarbij de registratie op ponsband plaatsvindt;
- het incidenteel meten van snelheden, volgtijden e.d. op boven vermelde punten;
- intensiever onderzoek van verkeersstromen, bijv. op de autosnelweg A13 met meetpunten op afstanden van 500 m, ten behoeve van het ontwerpen van een uitgebreid signaleringssysteem (zie Jenezon & Klijnhout, 1975);
- het meten van verkeersparameters ten behoeve van de sturing van signaleringssystemen, waarbij de verwerking on-line gebeurt met minicomputers langs de weg (zie Klijnhout & Jenezon, 1973).

Een ander voorbeeld is een in West-Duitsland ontworpen, en reeds ten dele in bedrijf gesteld systeem, waarmee de verkeersstroom op een 80 km lang gedeelte van een autosnelweg continu kan worden geobserveerd. Hierbij is veel aandacht besteed aan een efficiënt transport van de data naar de centrale, wat onder andere is verkregen door middel van een zekere datareductie bij ieder meetpunt; zie Mura (1977).

Beoordeling

1. De inductielussen zijn niet (na vervanging wegdek) of nauwelijks zichtbaar en worden door weggebruikers vermoedelijk (nog) niet geassocieerd met enforcement, zodat geen problemen te verwachten zijn m.b.t. het effect van de meetmethode.
2. Het systeem is in feite geautomatiseerd.
3. Beperkingen in het gebruik zijn er niet.

4. De betrouwbaarheid is goed voor wat betreft de apparatuur. Als de voertuigen niet centraal over de lussen rijden, zoals bij-strookwisselingen het geval kan zijn, kunnen ze onvolledig of juist dubbel geregistreerd worden.

5. De fout in de snelheden is ca. 5%; in de lengten ca. 10% bij voertuigen tot 6 m en op elkaar ingestelde lussen. Gebruik makend van recent beschikbaar gekomen technieken uit de micro-electronica is het echter in principe mogelijk geworden nauwkeuriger lusdetectoren te ontwikkelen.

6. De installatie van de lussen is kostbaar en er is een wegafzetting voor nodig. Aansluiting van de registratieapparatuur is eenvoudig, zodat men op plaatsen waar lussen liggen vlot kan meten.

7. Dankzij de automatisering kunnen de metingen snel verwerkt worden, zowel "off line" in een rekencentrum als "on-line". Bij het besproken Nederlandse systeem gebeurt dat laatste met een computer in een speciaal ingerichte meetwagen en bij het West-Duitse met een computer in de centrale.

11. De vaste kosten zijn hoog (installatie lussen en detectoren en aanschaf van registratieapparatuur), de variabele relatief gering.

4.5. Steekproef in de tijd

Beschrijving

Hierbij worden op een of meer tijdstippen de aanwezige voertuigen op een wegvak of wegennet geobserveerd; globaal, bijv. alleen het aantal, of vollediger voor wat betreft de permanente voertuigkenmerken en de voertuigbewegingen. In theorie is de steekproef in de tijd gelijkwaardig met die in de plaats, praktisch is de laatste eenvoudiger te realiseren.

Als meettechniek komt vrijwel alleen de luchtfoto(film)methode in aanmerking. Wil men hiermee ook momentane snelheden bepalen dan moeten er twee opnamen kort na elkaar gemaakt worden.

De methode wordt niet veel gebruikt. Hier zullen drie voorbeelden genoemd worden.

Voorbeelden

Goudefroy-Demombynes (1971) heeft de methode gebruikt voor onderzoek van parkeergedrag (bezetting parkeerplaatsen en parkeerduur) en voor karakterisering van de verkeersafwikkeling op een stedelijk wegennet in het spitsuur (snelheden, dichtheden, lengtes van files voor kruispunten enz.).

Ruhm (1971) vermeldt als toepassing ook onderzoek van parkeergedrag en het bepalen van de momentane snelheidsverdeling op een wegennet. In dit geval zijn elk half uur twee foto's gemaakt en is een schaal gebruikt van 1:5000.

In Amsterdam is de luchtfotomethode gebruikt bij onderzoek van de relatie tussen het aantal voertuigen op de hoofdaders van een stedelijk wegennet en de gemiddelde snelheid; zie Stadsontwikkeling en Verkeersonderzoek (1975). Uit de luchtfoto's volgde het aantal aanwezige voertuigen, waaruit de totale reistijd van de voertuigen kon worden geschat. Uit intensiteitsmetingen op een aantal doorsneden kon de prestatie (voertuigkilometers) van de voertuigen op het netwerk geschat worden. De gemiddelde snelheid volgde dan, per definitie, uit het quotiënt van prestatie en reistijd.

Beoordeling

Hiervoor geldt globaal hetzelfde als voor de luchtfotomethode waarmee alle voertuigtrajectoriën verkregen worden; een belangrijk verschil is echter dat nu de tijd tussen twee opnamen relatief groot is, bijv. 5 minuten of een uur, waardoor de uitleesbaarheid veel geringer wordt.

4.6. Restgroep

4.6.1. "Moving observer"

Beschrijving

In het voorgaande is al diverse malen sprake geweest van bewegende waarnemers. Met de meetmethode "moving observer" wordt echter veelal een specifieke manier bedoeld om de intensiteit en de gemiddelde snelheid van een verkeersstroom te bepalen. Dit gebeurt door, vanuit een in de verkeersstroom rijdend voertuig, de aantallen inhalers, ingehaalden en tegenliggers te tellen en de eigen reistijd over het wegvak te meten voor ritten in beide richtingen. Uit deze gegevens kunnen de intensiteit en de gemiddelde snelheid van de verkeersstroom, voor beide richtingen afzonderlijk, worden afgeleid. Zie bijvoorbeeld Heere & Akkerman (1973), die de methode gebruiken bij onderzoek van het basisdiagram. Deze methode is dus geschikt voor wegen met verkeer in twee richtingen.

Voor wegen of rijbanen met eenrichtingsverkeer is een modificatie van de methode opgesteld; zie bijvoorbeeld Bennet (1975).

Nu zijn minimaal twee ritten nodig die met verschillende snelheden worden uitgevoerd, die bij voorkeur ruim boven en beneden de gemiddelde snelheid moeten liggen. Uit de aantallen inhalers, ingehaalden en de reistijden van de "observer" volgen de intensiteit en de gemiddelde snelheid.

Beoordeling

Van de beoordeling slechts twee punten:

5. De nauwkeurigheid van de methode is niet zo groot en bovendien is de grootte van de fout moeilijk te schatten. Door het aantal meetritten op te voeren is de nauwkeurigheid te verbeteren, mits ondertussen de toestand niet te veel veranderd is.

11. Aangezien er vrijwel geen apparatuur voor de methode nodig is, bestaan de kosten praktisch geheel uit personeelskosten.

4.6.2. Bijzondere toepassingen van radar

Voorbeelden

Puls-Doppler-radar; zie Schneeberger & Hayman (1970).

Met een dergelijke radar kunnen de afstand tot en de snelheid van bewegende voorwerpen gemeten worden. Gebruikt is een gemodificeerd apparaat, vroeger gebruikt voor meteorologische waarnemingen, met een parabolantenne van 2,4 m diameter, die vanaf een viaduct ca. 3 km autosnelweg bestreek. Met behulp van "range gating" kon een wegvak van ca. 75 m lengte geselecteerd worden, waarbinnen alle bewegende voorwerpen een bijdrage leverden tot het Dopplersignaal. Met filtering kon vervolgens een snelheidsgebied ter breedte van ca. $\frac{1}{4}$ km/h bekeken worden. Zodoende is in principe veel informatie omtrent de snelheden van voertuigen en hun posities (globaal) te verzamelen, die echter nog in een voor verkeersstroomonderzoek hanteerbare vorm gebracht moet worden.

Deze meetmethode, voor zover bekend slechts eenmaal verkend en nog niet voor onderzoek gebruikt, roept de volgende vragen op:

- is de informatie per rijstrook te verkrijgen;
- hoe belangrijk is het effect dat voertuigen elkaar afschermen;
- hoe storend zijn multiple-path effecten;
- kan de positie nauwkeuriger bepaald worden, eventueel ten koste van de snelheid.

Een hierop lijkende meetmethode wordt beschreven door Fuller & Lambell (1971). Met een Dopplerradar werd 400 m van een tweestrooksrijbaan van een autosnelweg geobserveerd, d.w.z. werd bepaald of er snelheden voorkwamen in de klassen 5-20, 20-40, 40-60 en groter dan 60 km/h. Doel was hier de detectie van storingen in de verkeersafwikkeling die tot lage snelheden geleid hadden.

5. SLOTBESCHOUWING

1. Korte karakterisering van de behandelde meetmethoden:

- a) De luchtfotomethode voor alle voertuigtrajectoriën heeft een grote potentiële bruikbaarheid voor verkeersstroomonderzoek; het kostbare - nog niet geautomatiseerde - uitlezen staat ruime toepassing in de weg.
- b) Een stelsel sensoren op de weg, ingericht voor het bepalen van alle voertuigtrajectoriën, lijkt een geschikt alternatief voor de luchtfotomethode te zijn.
- c) De diverse meetmethoden voor een steekproef in de voertuigtrajectoriën zijn veelal speciaal gericht op een bepaald onderzoek en niet zo zeer algemeen bruikbaar. Bij geïnstrumenteerde voertuigen ligt het toepassingsgebied vooral bij de aan verkeersstroomonderzoek grenzende gebieden voertuigbesturing en - indien tevens de bestuurder geïnstrumenteerd is - waarnemingsaspecten van het manoeuvregedrag.
- d) De luchtfotomethode voor een steekproef in de tijd lijkt geschikt voor het verzamelen van globale gegevens over relatief grote gebieden, bijv. het aantal voertuigen op een netwerk. Het schaarse gebruik van de methode zou ten onrechte gebaseerd kunnen zijn op het kostbare image van de luchtfotomethode voor alle voertuigtrajectoriën.
- e) De meetmethoden voor een steekproef in de plaats zijn het verst ontwikkeld en worden het meeste gebruikt, zowel voor verkeersstroomonderzoek als voor verkeersregelsystemen.

2. De meeste meetmethoden zijn in de eerste plaats of uitsluitend gericht op de longitudinale voertuigbewegingen, de permanente voertuigenmerken en de laterale voertuigbewegingen komen niet of minder gedetailleerd aan bod.

3. De gepresenteerde meetmethoden zijn in zekere zin aanvullend, d.w.z. sommige leveren relatief veel informatie over betrekkelijk weinig voertuigen (geïnstrumenteerd voertuig) en andere weinig informatie over veel voertuigen (steekproef in plaats of tijd). Dit

levert in beide richtingen mogelijkheden tot een, zij het beperkte, controle van de representativiteit. Het verzamelen van veel informatie omtrent veel voertuigen lijkt vooralsnog moeilijk uitvoerbaar.

4. Meetmethoden en technieken zijn een hulpmiddel bij onderzoek van verkeer en verkeersstroombmodellen. Daaruit volgt dat wat in een bepaald geval een geschikte meetmethode is afgeleid moet worden uit het doel van het onderzoek.

Anderzijds is er wel een zekere invloed van de beschikbaarheid van meetmethoden op de keuze en opzet van onderzoeken, speciaal als er veel ongeverifiëerde theorieën bestaan die wat betreft potentiële praktische relevantie niet verschillen.

Dit laatste geldt enigszins voor verkeersstroombmodellen; er is een groot aantal modellen opgesteld die relatief nog weinig zijn getoetst ten gevolge van het gebrek aan gegevens. De indruk bestaat dat dankzij recente ontwikkelingen op het gebied van apparatuur, registratie- en verwerkingstechnieken de situatie ten gunste van het toetsende onderzoek is veranderd.

LITERATUUR

Baars, A.D. & Khiati, F. Opzet voor het registreren van Verkeersgedrag op het Vaanplein. Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat, Delft, 1974.

Bennett, T.H. Use of the moving-car observer method on one-way roads. Traffic Engineering and Control 16 (1975) 10: 432-435.

Botma, H. Instrumentatieproblemen bij car-following onderzoek. SWOV, Voorburg, 1974.

Breuer, F.J. Auseinander- und Zusammenführen von Verkehrsströmen an Knoten in mehreren Ebenen. Forschungen für die Sicherheit in Strassenverkehr 3, 1970.

Burmeister, P. & Leichter, K. Automatische Analyse des Fahrtverlaufes eines Einzelfahrzeugs. Strassen Verkehrs Technik 15 (1971) 6: 191-196.

Chandler, R.E., Herman, R., Montroll, E.W. Traffic dynamics; studies in car-following. Operations Research 6 (1958) 2: 165-184.

Dijk, A.J. van & Mozes, D. Verkeersdataverzameling - een automatisch systeem voor registratie van verkeersdata en verwerking tot voertuigtrajectoriën. Verkeerskunde 26 (1975) 6: 308-314.

Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen. Merkblatt Detektoren für den Strassenverkehr. Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Köln, 1972.

Frank, J.D. Traffic data acquisition from aerial infrared imagery. In: Proc. Highway Conference on the Future of Research and Development in Traffic Surveillance, Simulation and Control. U.S. Dep. of Commerce, Bureau of Public Roads, Washington, 1964.

Fuller, K.L. & Lambell, A.J. Traffic flow analysis by radar. Traffic Engineering and Control 13 (1971) 3: 102-104.

Gaufrey-Demombynes, A. Recensements du stationnement et de la circulation par photographies aériennes. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes 45 (1971) 470: 83-84 en 89-93.

Gordon, D.A. The driver in single lane traffic. Highway Research Record 349. Highway Research Board, Washington, 1971.

Heere, E. & Akkerman, S. Verband tussen snelheid, dichtheid en intensiteit getoetst m.b.v. snelheids- en intensiteitsmetingen volgens de moving-observer methode. Verkeerstechniek 24 (1973) 5: 224-229.

Hoefs, D.H. Untersuchung des Fahrverhaltens in Fahrzeugkolonnen. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik 143. Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1972.

IEEE. Special issue on biological effects of microwaves. Transactions on Microwave Theory and Techniques. MTT-19 (1971) 2 (Feb.).

Jenezon, J.H. & Klijnhout, J.J. RW13: uitgebreid signaleringssysteem. Verkeerskunde 26 (1975) 7: 346-347.

Klijnhout, J.J. & Jenezon, J.H. Plaatselijke signaleringssystemen. Verkeerstechniek 24 (1973) 7: 338-339.

Korsmit, J.W.M. Verslag nr. 1 van het onderzoek naar het gedrag van verkeersstromen op wegen. Stevin Laboratorium, Technische Hogeschool Delft, Delft, 1966.

Michon, J.A. & Koutstaal, G.A. An instrumented car for the study of driver behavior. American Psychologist 24 (1969) 3: 297-300.

Mura, S. Das System zur zentralen Datenerfassung an der BAB A3 zwischen Dernbach und Heumar. Strassenverkehrstechnik 21 (1977) 4: 118-123.

OECD. Two lane rural roads; design and traffic flow. OECD, Paris, 1972.

Ohio State University. Investigations of traffic dynamics by aerial photogrammetry techniques. Ohio State University, Columbus, 1969.

Raudseps, J.G. Automatic extraction of highway traffic data from aerial photographs, 1975.

Ruhm, K. Traffic data collection and analysis by photogrammetric method. *Traffic Engineering and Control* 13 (1971) 8 (Dec.): 337-341.

Rumar, K. & Berggrund, U. Overtaking performance under controlled conditions. Univ. of Uppsala, Uppsala, 1973.

Sehnberger, R.F. & Hayman, R.A. A pulsed doppler radar experiment for highway traffic research. Highway Research Record 308. Highway Research Board, Washington, 1970.

Schwär, D. Untersuchungen über Verzögerungsstrecken an Ausfahrampen planfreier Knotenpunkte. *Strassenbau und Strassenverkehrstechnik* 143. Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1973.

Stadsontwikkeling en Verkeersonderzoek. Het verband tussen snelheid en verkeersprestatie van auto's in Amsterdam. *Stadsontwikkeling en Verkeersonderzoek*, Amsterdam, 1975.

Taylor, J.I. & Carter, R.G. Photogrammetric data acquisition for a freeway ramp operations study. Highway Research Record 319. Highway Research Board, Washington, 1970.

Voort, R.C. van der & Helden, D. van. Automatisering van de verkeersanalyse op autosnelwegen. *Verkeerstechniek* 25 (1974) 6: 304-310.

Wolferts, K. Untersuchungen zur automatischen Bildauswertung für verkehrstechnische Ermittlungen. *Strassenbau und Strassenverkehrstechnik* 175. Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1974.