

STATE OF THE ART RAPPORT "VERKEERSSTROOMMODELLEN"

Deel I. Inleiding

R-77-39

Ir. H. Botma

Voorburg, oktober 1977

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Voorwoord

Samenvatting

1.	<u>Project verkeersstroommodellen</u>	1
1.1.	Plaats en omschrijving	1
1.2.	Doel	2
1.3.	Motivering	3
1.4.	Kader	4
2.	<u>"State of the art" als eerste fase</u>	6
2.1.	Motivering	6
2.2.	Doel	6
2.3.	Beperkingen	7
2.4.	Indelingsprincipe	7
2.5.	Praktische indeling	8
2.6.	Samenvattingen van de deelrapporten	8

Afbeeldingen

Literatuur

VOORWOORD

Binnen de SWOV zijn de onderzoeken ingedeeld in Beleidvoorberedend onderzoek, Evaluatieonderzoek en Basisonderzoek.

Hierbij is het Basisonderzoek op indirecte wijze relevant voor het beleid omdat het kennis verzamelt waar de eerste twee typen onderzoek gebruik van maken. Algemeen gesteld behelst Basisonderzoek onderzoekactiviteiten die, zonder dat direct beleidsmaatregelen voor ogen staan, nodig zijn voor het beschrijven van het verkeersveiligheidsprobleem, het doen van prognoses, het stellen van prioriteiten, het verbeteren van onderzoeksmethoden en theorievorming ten behoeve van toekomstig onderzoek.

Een van de basisonderzoeken van de SWOV is het project "Verkeersstroommodellen". Hierin staan centraal de interacties tussen de verschillende voertuig-bestuurdercombinaties, zoals ze in voertuigbewegingen tot uiting komen. De interacties worden door verkeersstroommodellen beschreven en hanteerbaar gemaakt. Voertuigbewegingen, die in dit project worden samengevat tot verkeersstroomkenmerken, zijn afhankelijk van de hoeveelheid verkeer die op een zeker moment van een zekere faciliteit gebruik wil maken, van kenmerken van bestuurders, voertuigen en wegen en van omstandigheden. Maatregelen kunnen direct gericht zijn op voertuigbewegingen of ze beïnvloeden via de genoemde factoren. Tevens kunnen verkeersstroomkenmerken of specifieke veranderingen daarin gerelateerd worden aan kwaliteitsaspecten van het verkeer, waaronder verkeersveiligheid. Op deze wijze ontstaat er een model dat de relatie tussen maatregelen en veranderingen in kwaliteitsaspecten behandelt via de tussenfase voertuigbewegingen.

Interactie van voertuigen treedt op wanneer voertuigen zich in elkaars omgeving bevinden en wordt meer van belang naarmate de verkeersdrukke toeneemt. Dit laatste is in Nederland op een groot deel van het wegennet het geval en maakt verkeersstroomonderzoek steeds meer relevant.

In de literatuur is een grote hoeveelheid informatie over verkeersstroommodellen aanwezig, echter in ongeordende vorm. De weinige overzichtswerken die er op dit gebied bestaan zijn niet geschikt om er het belang van deze kennis voor verkeersveiligheidsonderzoek uit af te leiden. Daarom is besloten het betreffende gebied in kaart te brengen door middel van een literatuurstudie en daarbij de relevantie voor verkeersveiligheidsonderzoek zoveel mogelijk te benadrukken. Het resultaat hiervan is dit State of the art rapport, opgesteld door Ir. H. Botma van de afdeling Theoretisch Onderzoek Pre-Crash.

Ir. E. Asmussen

Directeur van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

SAMENVATTING

In het eerste deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" wordt een beschrijving gegeven van het project "Verkeersstroommodellen" van de SWOV aan de hand van een schematische voorstelling van het verkeersproces. Vervolgens worden het doel en de motivering van dit project behandeld en de relatie met andere basisonderzoeken van de SWOV. Hiervan afgeleid worden de motivering en het doel van de literatuurstudie die zal leiden tot het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen". Tenslotte worden de beperkingen en de indeling van de literatuurstudie aangegeven.

1. PROJECT VERKEERSSTROOMMODELLEN

1.1. Plaats en omschrijving

Wegverkeer kan vanuit vele gezichtspunten beschouwd worden. Een ordening van onderwerpen, waarmee de plaats van verkeersstromen globaal kan worden aangegeven, is gepresenteerd door Asmussen (1976), zie Afbeelding 1. Ter toelichting op deze schematische voorstelling van het verkeersproces het volgende. Maatschappelijke activiteiten van individuen leiden tot een vraag naar verplaatsingen. Of een vraag resulteert in een verplaatsing hangt af van de mate waarin de verplaatsing nodig wordt geacht en van de aangeboden faciliteiten en beperkingen. Uitvoering van de verplaatsing gaat samen met een aantal keuzes die men hiërarchisch kan ordenen op vier niveau's. Op het eerste niveau kiest het individu het reisdoel en het tijdstip van aankomst, op het tweede het vervoermiddel, op het derde de route en het reisschema en tenslotte op het vierde niveau de manoeuvre. Het gedrag van de individuen gezamenlijk wordt "som"-gedrag genoemd. Zo geldt op het vierde niveau dat de uitvoering van de manoeuvres tot uiting komt in voertuigbewegingen, waarvan de "sommen" verkeersstromen genoemd worden.

Aan verkeersstromen kan men allerlei kenmerken onderscheiden, zoals bijvoorbeeld de intensiteit, de gemiddelde snelheid en de verdelingen van snelheden, volgtijden en reistijden. De beschrijvingen van de afhankelijkheden tussen de diverse verkeersstroomkenmerken worden "verkeersstroommodellen" genoemd. Het project "Verkeersstroommodellen" is hiertoe echter niet beperkt maar ruimer van opzet. Dit laat zich illustreren met een schema (zie Afbeelding 2), dat evenals het vorige een specificatie voor dit project van een algemener schema van Asmussen (1976) is.

De vraag naar verplaatsingen is in dit schema op het derde niveau van het vorige schema gedacht, dus als een toedeling

van de rittenbundels aan de wegnetten. Naast de vraag hebben de factoren wegkenmerken, voertuigkenmerken, bestuurderskenmerken en omstandigheden invloed op de voertuigbewegingen en daarmee op de verkeersstroomkenmerken en modellen. Met voertuigkenmerken worden hier uitsluitend de permanente bedoeld, zoals voertuigtype, afmetingen en remvermogen, en niet de variabele die in de voertuigbewegingen tot uiting komen. Maatregelen kunnen via de eerste vier factoren invloed hebben op de voertuigbewegingen maar ook rechtstreeks. Een voorbeeld van het laatste zijn snelheidslimieten. Bij omstandigheden wordt gedacht aan factoren als regen, mist en duisternis, die in het algemeen niet direct door maatregelen te beïnvloeden zijn. Wel kan een nadelig effect van bepaalde omstandigheden op de voertuigbewegingen bestreden worden met behulp van een verandering van de wel te manipuleren factoren. Een voorbeeld hiervan is de installatie van wegverlichting, wat opgevat kan worden als een verandering van de wegkenmerken.

Een belangrijk onderdeel van het project vormen voorts de relaties tussen verkeersstroomkenmerken en kwaliteitsaspecten van het verkeersproces, waaronder de mate van veiligheid. Uiteindelijk gaat het om de relatie tussen maatregelen en kwaliteitsveranderingen, zodat men kan voorspellen welke maatregelen genomen moeten worden om een bepaalde kwaliteit te bereiken. De aanpak via het project "Verkeersstroommodellen" is een van de manieren om kennis te verkrijgen van het proces dat zich tussen maatregel en kwaliteitsverandering afspeelt.

1.2. Doel

Doel van het verkeersveiligheidsonderzoek van de SWOV is het verzamelen van kennis die bruikbaar is bij het treffen van maatregelen die de verkeersveiligheid bevorderen en dit geldt in gelijke mate voor het project "Verkeersstroommodellen". De maatregelen betreffen verbeterde uitvoeringsvormen van wegen, voertuigen, mensen (opleiding) en regelingen bij

handhaving van de mobiliteit.

Wat meer specifiek kan het doel als volgt omschreven worden:
Onderzoek van bestaande, niet of onvoldoende geverifieerde, en ontwikkeling van nieuwe:

- relaties tussen verkeersstroomkenmerken (de verkeersstroommodellen);
- relaties tussen enerzijds de vraag (naar het gebruik van de wegen), wegkenmerken, permanente voertuigkenmerken, bestuurderskenmerken, omstandigheden en maatregelen en anderzijds verkeersstroomkenmerken;
- relaties tussen verkeersstroomkenmerken en kwaliteitsaspecten van het verkeer.

Dit alles slechts voorzover het relevant te achten is voor het eerder genoemde algemene doel van verkeersveiligheidsonderzoek.

1.3. Motivering

Bij verkeersveiligheidsonderzoek gaat het uiteindelijk om ongevallen, die echter relatief zeldzaam en moeilijk observeerbaar zijn. Dit laatste zowel in de betekenis van directe observatie van het ongevalsgebeuren als registratie na afloop, die van nature beperkt en bovendien onvolledig is (zie bv. Blokpoel & Carlquist, 1972). Bovendien zijn ongevallengegevens bij de introductie van nieuwe maatregelen niet beschikbaar. Een mogelijk geschikt tussencriterium zijn de voertuigbewegingen waarbij dan de relaties met enerzijds maatregelen en anderzijds ongevallen ten dele apart onderzocht kunnen worden. Zodra hierbij verschillende verkeersstroomkenmerken betrokken zijn is ook de relatie er tussen, zoals die beschreven wordt door verkeersstroommodellen, van belang. Het gaat er om dat vastgesteld wordt wat de kenmerken zijn van een veilige en een onveilige verkeersstroom en vervolgens hoe de verstoringen of de voor verstoringen gevoelige situaties te voorspellen zijn uit, bij voorkeur eenvoudig observeerbare, verkeersstroomkenmerken.

Behalve met verkeersonveiligheid bestaan er ook meer of minder directe relaties tussen voertuigbewegingen en andere kwaliteitsaspecten van het verkeer als reistijden, comfort en geluidsproduktie. Kennis hiervan is nuttig omdat maatregelen die primair beogen de veiligheid te verbeteren vrijwel altijd (dit geldt niet voor crash en post-crash maatregelen) ook andere kwaliteitsaspecten beïnvloeden. Ook in het omgekeerde geval, namelijk als maatregelen in eerste instantie niet op een verbetering van de veiligheid zijn gericht maar bijvoorbeeld op een vermindering van reistijden, kan kennis van de genoemde relaties bruikbaar zijn.

1.4. Kader

Verkeersveiligheidsonderzoek wordt onder andere ingedeeld, naar de volgorde van de gebeurtenissen bij een ongeval, in pre-crash, crash en post-crash onderzoek. Het project "Verkeersstroommodellen" gaat uitsluitend over de pre-crash fase, dat wil zeggen tot aan het moment dat een ongeval onvermijdelijk is.

Binnen de SWOV is een indeling gemaakt in basis-, beleidsvoorbereidend- en evaluatieonderzoek. Het project "Verkeersstroommodellen" valt onder het basisonderzoek, dat wil zeggen het behelst onderzoekactiviteiten die niet direct gericht zijn op beleidsmaatregelen maar nodig zijn voor het stellen van prioriteiten, het doen van prognoses, het beschrijven van het verkeersveiligheidsprobleem, het verbeteren van onderzoekmethoden en theorievorming ten behoeve van toekomstig onderzoek (zie SWOV, 1973).

Zoals reeds eerder gesteld bevindt het verkeersstroomonderzoek zich op manoeuvre-niveau, waar binnen nog te onderscheiden zijn:

- a) waarneming, informatieverwerking en beslissing (van de bestuurder);
- b) voertuigbediening;
- c) voertuigbewegingen.

In het basisonderzoek "Analyse van de rijtaak" worden vooral de waarnemingsaspecten van het manoeuvregedrag onderzocht, terwijl binnen het basisonderzoek "Cybernetisch model bestuurder/voertuig" de interactie tussen bestuurder en voertuig centraal staat. In deze beide projecten gaat het om relatief gedetailleerde beschrijvingen van het gedrag van een bestuurder en een bestuurder-voertuigcombinatie. Daarmee vergeleken is de gedragsbeschrijving in termen van voertuigbewegingen bij het project "Verkeersstroommodellen" veel meer globaal. In zekere zin geldt dit nog sterker voor de aanpak bij het basisonderzoek "Categorie-indeling van wegen", waar de functie van de weg een uitgangspunt vormt. Omdat het "som"-gedrag in feite toch bepaald wordt door het individuele is er een duidelijke relatie tussen de genoemde basisonderzoeken en kunnen resultaten van het ene onderzoek bij de andere gebruikt worden.

2. "STATE OF THE ART" ALS EERSTE FASE

2.1. Motivering

In het voorgaande is gebleken dat het onderwerp verkeersstroommodellen nogal omvangrijk is. Voor het doen van een verantwoorde keuze van een onderzoek is het nodig een overzicht te hebben van de bestaande kennis, met name van de relevantie daarvan voor maatregelen die de verkeersstroom en de veiligheid beïnvloeden. Daarom is besloten het totale gebied in kaart te brengen door middel van een literatuurstudie, die zal uitmonden in een State of the art rapport. Hierin zullen de diverse verkeersstroomkenmerken en -modellen die bestaan besproken en geëvalueerd worden. Aan meetmethoden en -apparatuur wordt aandacht geschonken omdat die mee bepalen welk onderzoek mogelijk is.

2.2. Doel

Het doel van de literatuurstudie is het volgende:

- een overzicht geven van verkeersstroomkenmerken;
- een overzicht geven van relaties tussen verkeersstroomkenmerken (dus van de verkeersstroommodellen);
- de geldigheid van de modellen nagaan;
- een overzicht geven van de relaties tussen enerzijds de vraag (naar het gebruik van wegen), wegkenmerken, permanente voertuigkenmerken, bestuurderskenmerken, omstandigheden en maatregelen en anderzijds verkeersstroomkenmerken;
- een overzicht geven van de relaties tussen verkeersstroomkenmerken en kwaliteiten van het verkeer;
- de betekenis van verkeersstroomkennis nagaan voor indicatie, ontwerp en evaluatie van maatregelen die de verkeersstroom en daarmee de kwaliteit van het verkeer beïnvloeden;
- een overzicht geven van meetmethoden die voor onderzoek van verkeersstromen in aanmerking komen;
- een overzicht geven van geïndiceerd onderzoek.

2.3. Beperkingen

Het overzicht zal beperkt worden tot motorvoertuigen. Voor andere verkeersdeelnemers als voetgangers en (brom)fietsers is vrijwel geen verkeersstroomtheorie ontwikkeld en lijkt deze aanpak ook minder van belang voor verkeersveiligheidsonderzoek.

Een tweede beperking is dat voornamelijk verkeersstromen op aders beschouwd zullen worden. Voor kruisingen is er wel veel theorie maar die betreft vooral wachttijdaspecten en ook hier lijkt een stromingsaanpak minder van belang voor verkeersveiligheidsonderzoek.

Tenslotte de relaties met de kwaliteit van het verkeer. Bij het wegverkeer zijn diverse kwaliteitsaspecten te onderscheiden, ruwweg te verdelen in produktieaspecten (reistijd, comfort) en neveneffecten (onveiligheid, luchtverontreiniging, geluidhinder). In het State of the art rapport zullen alleen onveiligheid, afwikkeling (doorstroming, reistijd e.d.) en comfort aan de orde komen omdat deze sterk samenhangen, terwijl de andere zich in het algemeen meer lenen voor een geïsoleerde beschouwing.

2.4. Indelingsprincipe

Als indelingsprincipe is gekozen de mate van detail van de diverse beschrijvingen van een verkeersstroom, waarbij drie niveau's zullen worden onderscheiden, nl. macroscopisch, mesoscopisch en microscopisch. Naarmate de gegevens van het verkeer gedetailleerder zijn, zullen ze moeilijker verkregen kunnen worden en zal ook meestal de analyse uitvoeriger moeten zijn. Deze overweging heeft er toe geleid de volgorde van macroscopisch naar microscopisch te kiezen, zodat min of meer de baten van de grotere inspanningen stapsgewijs kunnen blijken. De drie niveau's worden als volgt beschreven:

1. Macroscopisch niveau: Gemiddelde verkeersstroomkenmerken zoals intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid.

2. Mesoscopisch niveau: Kenmerken gedefinieerd met behulp van verzamelingen individuele voertuigkenmerken, voornamelijk verdelingen, bijvoorbeeld van snelheden en volgtijden.

3. Microscopisch niveau: Kenmerken gedefinieerd met behulp van individuele voertuigtrajectoriën, zoals reistijd en maatstaven voor de variaties in snelheid en versnelling.

2.5. Praktische indeling

Naast de indeling in de drie genoemde niveau's zijn de verkeersstroomkenmerken en de verkeersstroommodellen onderscheiden, en de laatste op macro-niveau nog verder in evenwichts- en dynamische modellen. Dit heeft geleid tot tien deelrapporten waarvan in het volgende de titel wordt gegeven.

- I Inleiding
- II Macroscopische verkeersstroomkenmerken
- III Het basisdiagram
- IV Macroscopische dynamische verkeersstroommodellen
- V Mesoscopische verkeersstroomkenmerken
- VI Mesoscopische verkeersstroommodellen
- VII Microscopische verkeersstroomkenmerken
- VIII Microscopische verkeersstroommodellen
- IX Meetmethoden voor verkeersstromen
- X Conclusies en geïndiceerd onderzoek

Een indruk van de inhoud geven de hierna volgende samenvattingen van de deelrapporten.

2.6. Samenvattingen van de deelrapporten

In het eerste deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" wordt een beschrijving gegeven van het project "Verkeersstroommodellen" van de SWOV aan de hand van een schematische voorstelling van het verkeersproces. Vervolgens worden het doel en de motivering van dit project behandeld en de relatie met andere basisonderzoeken van de SWOV. Hiervan

afgeleid worden de motivering en het doel van de literatuurstudie die zal leiden tot het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen". Tenslotte worden de beperkingen en de indeling van de literatuurstudie aangegeven.

In het tweede deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" worden zogenaamde macroscopische verkeersstroomkenmerken behandeld. De belangrijkste hiervan zijn de intensiteit, de dichtheid en de gemiddelde snelheid. Deze grootheden worden op verschillende, onderling consistente, manieren gedefinieerd, waarbij ze betrekking hebben op: een wegdoorsnede en een tijdstip; een wegdoorsnede en een periode; een wegvak en een tijdstip; een wegvak en een periode. Tevens worden de macroscopische kenmerken prestatie, reistijd, doorstroming, "kinetische energie" en bezettingsgraad gedefinieerd.

Er wordt een opsomming gegevens van wat er bekend is over de relatie tussen macroscopische kenmerken en de verkeersonveiligheid, gedefinieerd als het aantal ongevallen per afgelegde afstand. Op autosnelwegen en aangrenzende wegcategoryën is in diverse onderzoeken gebleken dat zowel relatief lage als hoge uurintensiteiten samengaan met een verhoogde onveiligheid. Op enkelbaans 2-strookswegen is hetzelfde verband nog slechts in een geval geconstateerd. In Nederland is de relatie tussen het representatieve afwikkelingsniveau van een jaar, bepaald door intensiteit en gemiddelde snelheid in het op 30 na drukste uur van dat jaar, en de onveiligheid onderzocht. Op autosnelwegen gaat een dalend afwikkelingsniveau, dat wil zeggen een grotere verkeersdruk, samen met een verhoogde onveiligheid. Op enkelbaans 2-strookswegen is de relatie minder duidelijk maar is het wel al vrij zeker dat de twee hoogste afwikkelingsniveau's niet het veiligst zijn.

Nagegaan is welke maatregelen in principe door de geconstateerde relatie tussen verkeersdruk en onveiligheid geïndiceerd worden.

In het derde deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" wordt het basisdiagram behandeld. Het is een representatie van de relatie die in evenwicht bestaat tussen twee van de drie macroscopische verkeersstroomkenmerken intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid. In evenwicht wil hier zeggen dat de grootheden enige tijd constant zijn.

Een groot aantal theoretische modellen van het basisdiagram wordt behandeld. Ze berusten op diverse veronderstellingen omtrent het gedrag van voertuig-bestuurderscombinaties in de verkeersstroom of op een analogie tussen een verkeersstroom en een fysische stroming. Het blijkt dat verschillende uitgangspunten soms tot hetzelfde basisdiagram leiden.

Vervolgens worden onderzoeksaspecten behandeld. Van belang is of het wegvak al of niet homogeen is, zowel voor de representatie van de wegkenmerken als voor de keuze van de meetmethode. De in aanmerking komende meetmethoden worden kort besproken. De belangrijkste resultaten van het vele onderzoek en de nog bestaande lacunes in de kennis worden aangegeven.

Tenslotte wordt de betekenis van het basisdiagram voor wegontwerp en verkeerskwaliteit besproken, waaronder de relatie met de afwikkelingsniveau's. Een aantal voorbeelden van meer specifieke toepassingen wordt gegeven.

In het vierde deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" wordt het gedrag van macroscopische verkeersstroomkenmerken in dynamische situaties behandeld. De modellen worden in dit geval meestal geformuleerd als één, of een stelsel van, partiële differentiaalvergelijkingen.

Als eerste worden de zogenaamde input-outputmodellen behandeld. Hierbij worden verkeersstroomkenmerken bij de in- en uitgang van een te kiezen deel van het wegennet aan elkaar gerelateerd. Wat er tussen in- en uitgang gebeurt blijft daarbij in eerste instan-

tie buiten beschouwing, het is een black-box model. Een belangrijke potentiële toepassing van dit type model is de automatische bewaking van de verkeersstroomtoestand als onderdeel van een verkeersbeheersingssysteem.

Als tweede worden de modellen behandeld die de voortplanting van een zekere verkeersstroomtoestand (kinematische golven) en die van een verandering daarin (schokgolven) in plaats en tijd beschrijven. Deze modellen zijn al in de vijftiger jaren opgesteld maar worden pas de laatste jaren wat meer toegepast. Zo maken ze een belangrijk onderdeel uit van een uitgebreider model dat de verkeersafwikkeling op een rijbaan van een autosnelweg met wisselende geometrie en verschillende toe- en afritten beschrijft.

Bezwaren tegen de "golfmodellen" hebben geleid tot formele uitbreidingen waarbij in model gebracht wordt dat bestuurders enerzijds anticiperen op de verkeersstroomtoestand voor hen en anderzijds pas na een zekere responsietijd reageren. Een meer praktische uitbreiding in deze richting heeft geleid tot een bruikbaar model voor de verkeersafwikkeling op de rijbaan van een autosnelweg met toe- en afritten. Het is ontwikkeld voor toepassing bij een verkeersbeheersingssysteem.

Voor het strookwisselen op een rijbaan voor eenrichtingsverkeer zijn een aantal modellen opgesteld die de strookwisselintensiteit relateren aan de dichtheden op de afzonderlijke rijstroken. Onderzoek hiervan heeft geleid tot de voorkeur voor een niet-lineaire afhankelijkheid van dichtheden en dichtheidsverschillen. Samen met modellen voor kinematische- en schokgolven kunnen de strookwisselmodellen in principe verkeerssituaties beschrijven die bijvoorbeeld optreden bij een toe- en afrit, bij een verandering van het aantal rijstroken en bij een blokkering. Toepassingen hiervan zijn nog niet bekend.

In het vijfde deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" worden zogenaamde mesoscopische verkeersstroomkenmerken behandeld. Dit zijn verzamelingen van lokaal of momentaan beschouwde voertuigbewegingskenmerken en de daaruit af te leiden kenmerken. De belangrijkste zijn de verdelingen van volgtijden, volgafstanden en snelheden. Een groot aantal mathematische verdelingen die hiervoor in aanmerking komen worden behandeld.

Vervolgens wordt het experimentele onderzoek van mesoscopische kenmerken behandeld. Het is voornamelijk gericht geweest op het vergelijken van geobserveerde en mathematische verdelingen, het vaststellen van de afhankelijkheid van opeenvolgende waarden en de relaties met mesoscopische verkeersstroomkenmerken, wegkenmerken en omstandigheden.

Nagegaan wordt wat er bekend is over relaties tussen mesoscopische verkeersstroomkenmerken en onveiligheid. Voor wat betreft volgtijden en volgafstanden is er wel enig onderzoek geweest maar dat heeft niet tot resultaten geleid. Bij snelheden zijn er wel relaties gevonden, waarbij is gebleken dat vooral de mate van variatie rond het gemiddelde van belang is voor de onveiligheid. Combinaties van mesoscopische kenmerken zijn nog slechts zelden aan onveiligheid gerelateerd en dit heeft nog niet tot resultaten geleid.

Tenslotte worden enige toepassingen van kennis op het gebied van mesoscopische verkeersstroomkenmerken gegeven. Ze hebben voornamelijk betrekking op maatregelen die direct het snelheidsgedrag trachten te beïnvloeden.

In het zesde deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" worden mesoscopische verkeersstroommodellen behandeld, die het gedrag van mesoscopische verkeersstroomkenmerken beschrijven.

Als eerste worden de clustermodellen behandeld, zo genoemd omdat clusters er een centrale rol in spelen. Onderscheiden worden clustermodellen voor tweerichtingsverkeer op twee rijstroken, eenrichtingsverkeer op een rijstrook en eenrichtingsverkeer op twee of meer rijstroken.

Voor het eerste geval zijn relatief veel modellen opgesteld. Evaluatie hiervan is moeilijk omdat vrijwel nog geen vergelijking met de realiteit heeft plaatsgevonden. Er wordt een overzicht gegeven van de diverse modelaspecten.

Voor eenrichtingsverkeer op een rijstrook zijn modellen te onderscheiden die de vorming van clusters, het uiteenvallen van clusters en de groei en afbraak van een file beschrijven. Van elk geval wordt een model besproken.

Voor eenrichtingsverkeer op meer dan een rijstrook zijn niet zoveel modellen opgesteld. Ze zijn meest van hetzelfde type als de modellen voor tweerichtingsverkeer op twee rijstroken en zijn evenzo moeilijk te toetsen. Daarnaast is er een eenvoudiger model opgesteld, dat met relatief eenvoudig observeerbare grootheden onderzocht kan worden. Het blijkt dat de toestandsveranderingen van voertuigen tussen twee wegdoorsneden, waarbij de toestand bepaald wordt door het al of niet in cluster rijden en de rijstrook, volgens een eerste orde Markov proces verlopen.

Min of meer apart staan de modellen die beschrijven hoe clusters, die een aantal geregelde kruisingen passeren, van omvang veranderen. Het zogenaamde diffusiemodel dat hiervoor is opgesteld blijkt redelijk te voldoen, hoewel het gebaseerd is op nogal onrealistische veronderstellingen.

Als tweede worden de Boltzmanmodellen behandeld, die hun naam danken aan een analogie met statistisch-mechanische

beschouwingen van stelsels deeltjes. Hierin staan niet de clusters maar de snelheidsverdelingen centraal. Deze modellen zijn uitsluitend opgesteld voor eenrichtingsverkeer op meer dan een rijstrook, waarbij de rijstroken niet apart behandeld worden.

Het model wordt geformuleerd als een differentiaal-integraal-vergelijking voor de snelheidsverdeling. Hierin moet tot uiting komen dat: snelheden dalen ten gevolge van beperkte inhaal mogelijkheden; na een snelheidsdaling de wenssnelheid weer geleidelijk bereikt wordt; en bestuurders bij grote drukte de neiging hebben zich bij de gemiddelde snelheid aan te passen.

Het model is in een homogene en stationaire situatie getoetst met nog in discussie zijnde resultaten. Een theoretische analyse wijst er op dat het model, zelfs voor geringe dichtheden, niet geheel juist is. Dit is aanleiding tot het opstellen van een nog complexer model, waarvan toetsing zeer moeilijk zal zijn.

De belangrijkste conclusie is dat er veel mesoscopische verkeersstroomodellen zijn opgesteld, die vrijwel nog niet getoetst zijn. De bruikbaarheid van deze modellen is dan ook voorlopig grotendeels onbekend.

In het zevende deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" worden zogenaamde microscopische verkeersstroomkenmerken behandeld. Deze zijn gebaseerd op de trajectoriën van individuele voertuigen. Er worden een groot aantal kenmerken besproken. Ze worden ingedeeld naar de mate van detail en zijn gebaseerd op respectievelijk de voertuigtrajectorie zelf, het snelheidsverloop en het versnellingsverloop. Voorbeelden van kenmerken op de drie niveau's zijn respectievelijk de ritduur, de standaardafwijking van het snelheidsverloop en het spectrum van het versnellingsverloop.

Twee soorten relaties tussen de microscopische verkeersstroomkenmerken worden behandeld, degene die rechtstreeks uit de definities zijn af te leiden en degene die blijkbaar uit de aard van het verkeersproces volgen. Naar de laatste soort relaties is overigens nog niet veel onderzoek verricht.

De microscopische verkeersstroomkenmerken zijn meestal opgesteld met het doel kwaliteitsaspecten van de verkeersstroom te representeren. Voor afwikkeling is dit het geval, omdat kenmerken zoals ritduur, stoptijd en oponthoud operationalisering van afwikkelingsaspecten zijn. Voor wat betreft onveiligheid is er nog geen duidelijke relatie met de kenmerken aangetoond, wel enigszins aannemelijk gemaakt. Relaties met comfort zijn moeilijk te leggen, omdat een geschikte operationele definitie hiervan ontbreekt.

Voor het verzamelen van de kenmerken komen gefinstrumenteerde voertuigen met proefpersonen en meetsystemen die willekeurige voertuigen observeren in aanmerking. Beide methoden worden kort besproken en op een aantal aspecten vergeleken.

In het achtste deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" worden de microscopische verkeersstroommodellen behandeld, namelijk de manoeuvre modellen volgen, strookwisselen en inhalen, en de meer volledige simulatiemodellen van een verkeersstroom, waarin diverse manoeuvre modellen zijn opgenomen.

Van de vele volgmodellen worden de belangrijkste behandeld, waarbij de evolutie wordt gevolgd van eenvoudige en sterk mechanistische modellen naar degene die de beperkingen van bestuurder en voertuig opnemen. Onderzoek van volgmodellen valt uiteen in het bepalen van perceptiemogelijkheden van bestuurders, het onderzoek van het volgedrag in laboratoria en in gewoon verkeer. Enige toepassingen van de volgmodellen, bij indicatie, ontwikkeling en evaluatie van hulpmiddelen voor bestuurders bij de rijtaak, worden aangegeven.

Strookwisselen en inhalen worden geanalyseerd in termen van de voor deze manoeuvres benodigde en beschikbare ruimte. Behandeld wordt wat er bekend is van de voor deze manoeuvres relevante perceptiemogelijkheden van bestuurders en wat de benodigde ruimte is op grond van de voertuigkenmerken. Onderzoek in reëel verkeer komt meestal neer op het bepalen van de zogenaamde gap-acceptance functie, die de kans aangeeft dat een bestuurder de manoeuvre begint in afhankelijkheid van zekere condities.

Meer volledige beschrijvingen van de verkeersstroom op microscopische schaal zijn alleen met behulp van simulatiemodellen te realiseren. Hierbij worden de voertuigbewegingen nagebootst met behulp van een digitale rekenmachine, op grond van deterministische en toevalsafhankelijke regels. Naast algemene aspecten van deze in opkomst zijnde modellen worden er een aantal recente voorbeelden van besproken. Toepassingen liggen vooral op het gebied van afwikkelaspecten van de verkeersstroom. Daarnaast wordt de mogelijke relatie met verkeersveiligheidsonderzoek behandeld.

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 geïstrumenteerde 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.

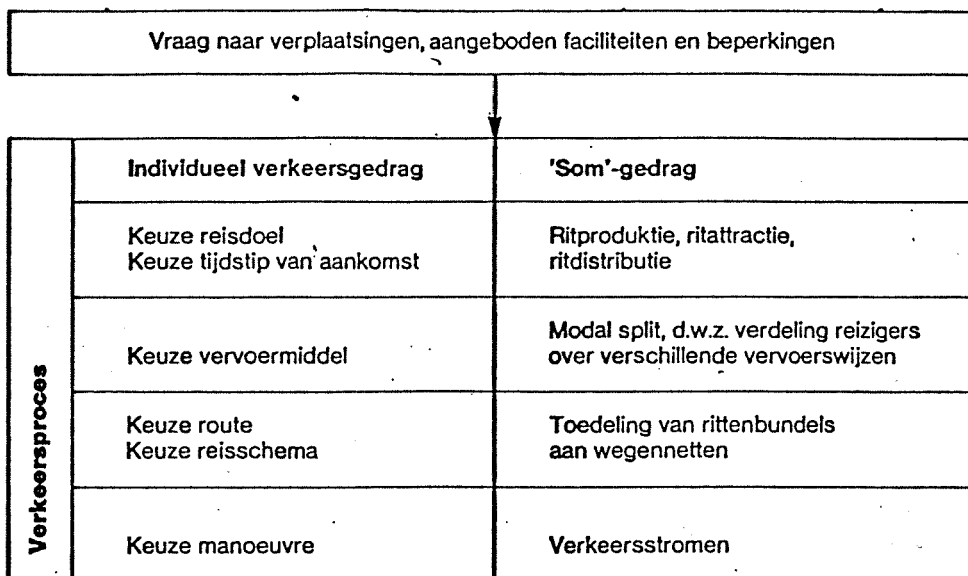
In het tiende en laatste deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" wordt het gehele gebied nog eens kort beschreven aan de hand van de in het eerste deel genoemde doelen van deze literatuurstudie. Het gaat daarbij vooral om de conclusies en het aangeven van onderzoek dat aansluit op de bestaande kennis en toepasbaar lijkt te zijn.

Als eerste worden de eigenschappen van de verkeersstroom die nodig zijn voor de beschrijving, de zgn. verkeersstroomkenmerken, behandeld. Van belang is dat de kenmerken bij gebruik duidelijk gedefinieerd worden en dat aandacht wordt besteed aan eventuele verschillen tussen de formele definitie en de operationalisering.

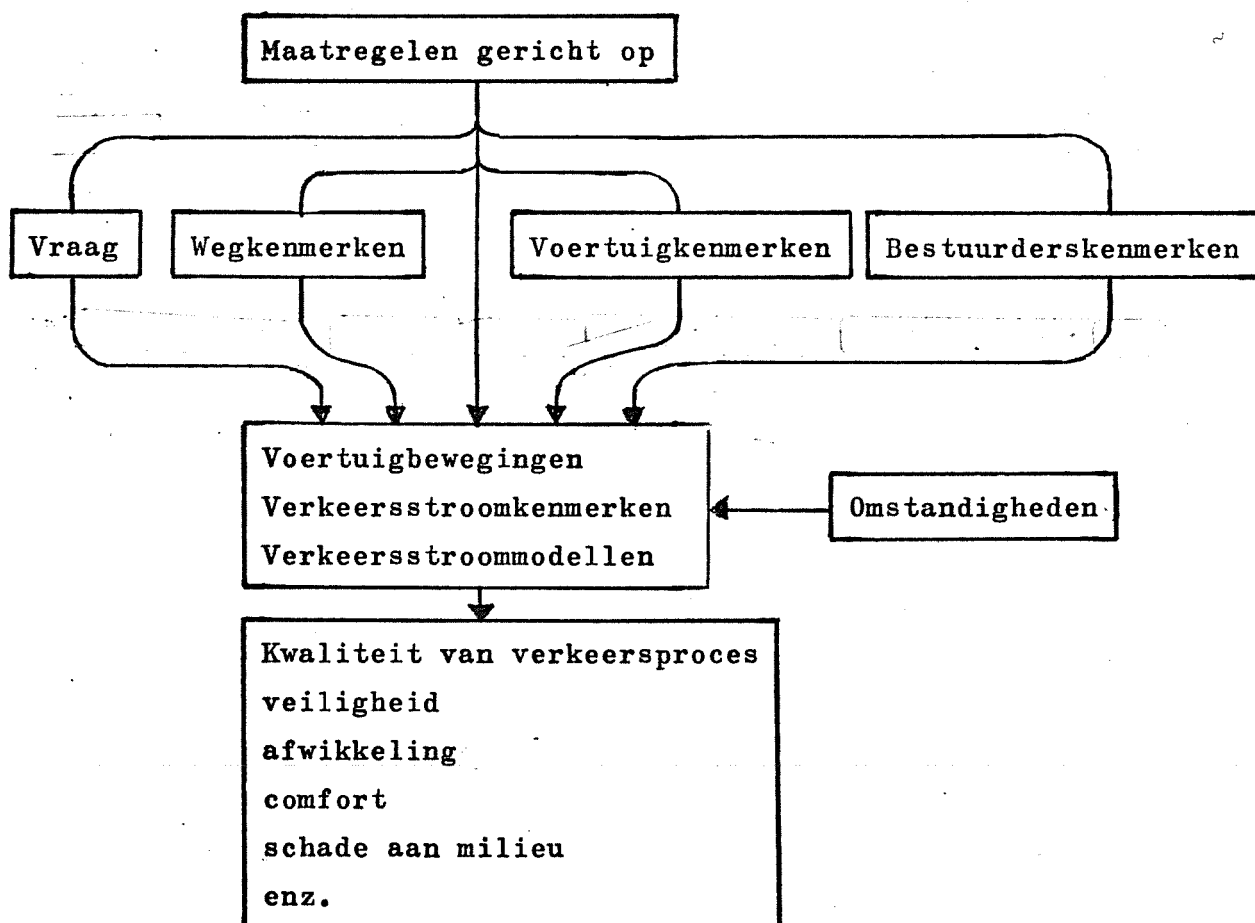
De hele verzameling verkeersstroommodellen, dat zijn de beschrijvingen van de interacties tussen de verkeersstroomkenmerken, wordt opnieuw kort besproken. Veel van het benodigde onderzoek bestaat uit het bepalen van de geldigheid van de modellen met behulp van gegevens uit werkelijk verkeer. Veelbelovende modeltypen zijn de macroscopische dynamische modellen, vanwege hun belang voor dynamische verkeersbeheersingssystemen, en de microscopische simulatiemodellen, omdat daarmee een meer reële beschrijving van de voertuigbewegingen mogelijk is dan met de minder gedetailleerde modellen.

De externe factoren die de verkeersstroom beïnvloeden zijn de vraag naar het gebruik van wegen, wegkenmerken, permanente voertuigkenmerken, bestuurderskenmerken, omstandigheden en maatregelen die direct de voertuigbewegingen beïnvloeden. Er wordt een korte schets gegeven van de invloed die van iedere factor afzonderlijk is te verwachten en ten dele ook door onderzoek is bevestigd.

Tenslotte wordt de kennis omtrent de relaties tussen verkeersstroomkenmerken en kwaliteitsaspecten van de verkeersstroom, beperkt tot afwikkeling en veiligheid, behandeld. De belangrijkste resultaten zijn de aangetoonde relaties tussen afwikkelingsniveau, uurintensiteit en de snelheidsverdeling en het aantal ongevallen per afgelegde afstand.



Afbeelding 1. Schematische voorstelling van het verkeersproces (Bron: Asmussen, 1976).



Afbeelding 2. Schematische voorstelling van het project "Verkeersstroommodellen" (Bron: Asmussen, 1976).

LITERATUUR

Asmussen, E. Beleid onderbouwd. In: SWOV-congres Toekomst in veiligheid. Amsterdam, 18 mei 1976. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Voorburg 1976.

Blokpoel, A. & Carlquist, J.C.A. Invloed van de "blikshade-regeling" op de aantallen geregistreerde verkeersslachtoffers en ongevallen. Verkeerstechniek 23 (1972) 9:429-433.

SWOV. Wording en werk. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Voorburg 1973.