

STATE OF THE ART RAPPORT "VERKEERSSTROOMMODELLEN"

Deel X. Conclusies en geïndiceerd onderzoek

R-78-44

Ir. H. Botma

Voorburg, januari 1978

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

<u>Samenvatting</u>	5
1. <u>Inleiding</u>	7
2. <u>Verkeersstroomkenmerken</u>	9
2.1. Macroscopische verkeersstroomkenmerken	9
2.1.1. Stand van zaken	
2.1.2. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen	
2.2. Mesoscopische verkeersstroomkenmerken	10
2.2.1. Stand van zaken	
2.2.2. Conclusies	
2.2.3. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen	
2.3. Microscopische verkeersstroomkenmerken	11
2.3.1. Stand van zaken	
2.3.2. Conclusies	
2.3.3. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen	
3. <u>Verkeersstroommodellen</u>	13
3.1. Algemeen	13
3.1.1. Het basisdiagram	
3.1.1.1. Beschrijving	
3.1.1.2. Conclusies	
3.1.1.3. Geïndiceerd onderzoek	
3.1.1.4. Toepassingen	
3.2. Macroscopische dynamische verkeersstroommodellen	14
3.2.1. Input-output modellen	
3.2.1.1. Beschrijving	
3.2.1.2. Conclusies	
3.2.1.3. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen	
3.2.2. Kinematische en schokgolven	
3.2.2.1. Beschrijving	
3.2.2.2. Conclusies	
3.2.2.3. Geïndiceerd onderzoek	
3.2.2.4. Toepassingen	

3.2.3.	Uitgebreide macroscopische dynamische modellen	
3.2.3.1.	Beschrijving	
3.2.3.2.	Conclusies	
3.2.3.3.	Geïndiceerd onderzoek	
3.2.3.4.	Toepassingen	
3.2.4.	Modellen voor het aantal strookwisselingen	
3.2.4.1.	Beschrijving	
3.2.4.2.	Conclusies	
3.2.4.3.	Geïndiceerd onderzoek en toepassingen	
3.2.5.	Algemene conclusies	
3.3.	Mesoscopische verkeersstroommodellen	19
3.3.1.	Clustermodellen	
3.3.1.1.	Beschrijving	
3.3.1.2.	Conclusies	
3.3.1.3.	Geïndiceerd onderzoek en toepassingen	
3.3.2.	Boltzmannmodellen	
3.3.2.1.	Beschrijving	
3.3.2.2.	Conclusies	
3.3.2.3.	Geïndiceerd onderzoek	
3.4.	Microscopische verkeersstroommodellen	21
3.4.1.	Manoeuvre-modellen	
3.4.1.1.	Beschrijving	
3.4.1.2.	Conclusies	
3.4.1.3.	Geïndiceerd onderzoek	
3.4.1.4.	Toepassingen	
3.4.2.	Simulatiemodellen	
3.4.2.1.	Beschrijving	
3.4.2.2.	Conclusies	
3.4.2.3.	Geïndiceerd onderzoek en toepassingen	
4.	<u>Relaties tussen externe factoren en verkeersstroom-</u> <u>kenmerken</u>	24
4.1.	Stand van zaken	24
4.2.	Geïndiceerd onderzoek en toepassingen	25

5.	<u>Relaties tussen verkeersstroomkenmerken en kwaliteits-</u>	27
	<u>aspecten van het verkeer</u>	
5.1.	Inleiding	27
5.2.	Macroscopische verkeersstroomkenmerken	28
5.2.1.	Conclusies	
5.2.2.	Geïndiceerd onderzoek	
5.2.3.	Toepassingen	
5.3.	Mesoscopische verkeersstroomkenmerken	29
5.3.1.	Conclusies	
5.3.2.	Geïndiceerd onderzoek	
5.3.3.	Toepassingen	
5.4.	Microscopische verkeersstroomkenmerken	31
5.4.1.	Conclusies	
5.4.2.	Geïndiceerd onderzoek	
5.4.3.	Toepassingen	
6.	<u>Slotbeschouwing</u>	33
6.1.	Relevantie van verkeersstroomkennis voor verkeers-	33
	veiligheid	
6.2.	Betekenis van verkeersstroomkennis voor maatregelen	34
6.3.	Belangrijkste conclusies en indicaties	35
	<u>Dankbetuiging</u>	37
	<u>Afbeeldingen</u>	38
	<u>Literatuur</u>	39

SAMENVATTING

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.

1. INLEIDING

In het tiende en laatste deel van het State of the art rapport "Verkeersstroommodellen" zal het hele gebied nog eens opnieuw beschouwd worden. De nadruk valt daarbij op de conclusies en het zogenaamde geïndiceerde onderzoek. Dit laatste is onderzoek dat aansluit op de bestaande kennis en waarvan verwacht wordt dat het bruikbare resultaten zal opleveren. Het is dus niet alles wat nog onbekend is, maar een deelverzameling daarvan. Ter wille van de duidelijkheid worden de conclusies en het geïndiceerde onderzoek vooraf gegaan door een korte weergave van de stand van zaken op het betreffende deelgebied. Voor meer details, zoals achtergronden, specificaties en beperkingen van de conclusies dient men de voorgaande delen te raadplegen. De globale gedachte achter het project "Verkeersstroommodellen", waarvan deze literatuurstudie een onderdeel vormt, wordt geïllustreerd met Afbeelding 1; ontleend aan Asmussen (1976). Daarin is weergegeven dat de voertuigbewegingen, te beschrijven met verkeersstroomkenmerken en verkeersstroommodellen, als het ware een schakel zijn tussen de, ten dele te manipuleren, externe factoren en kwaliteitsaspecten van het verkeersproces.

De indeling van de stof sluit in grote mate aan bij de in Deel I genoemde doelen van de literatuurstudie, die daar geformuleerd waren als:

- 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.

Als eerste worden in hoofdstuk 2 de verkeersstroomkenmerken behandeld, evenals de modellen verdeeld in macro-, meso- en microscopische. Opgemerkt kan nog worden dat in de bestaande literatuur meestal slechts de niveau's macro- en microscopisch worden onderscheiden. Wat hier mesoscopisch is genoemd wordt dan meestal tot macroscopisch gerekend.

In hoofdstuk 3 worden de verkeersstroommodellen behandeld, inclusief het in de doelstelling apart aangegeven aspect geldigheid. Vervolgens komen in hoofdstuk 4 de relaties tussen de externe factoren, zoals wegkenmerken en omstandigheden, en de verkeersstroomkenmerken aan de orde. Hierbij is een indeling naar de externe factoren zelf aangehouden.

In hoofdstuk 5 ten slotte worden de relaties behandeld tussen verkeersstroomkenmerken en kwaliteitsaspecten van het verkeer, beperkt tot afwikkeling en veiligheid, opnieuw geordend naar macro-, meso- en microscopisch.

De betekenis van de verkeersstroomkennis voor indicatie, ontwerp en evaluatie van maatregelen en het geïndiceerde onderzoek worden niet apart maar bij de genoemde deelonderwerpen behandeld.

Er is afgezien van het opnieuw behandelen van de meetmethoden die voor onderzoek van verkeersstromen in aanmerking komen. Daarvoor wordt verwezen naar Deel IX van het rapport.

2. VERKEERSSTROOMKENMERKEN

2.1. Macroscopische verkeersstroomkenmerken

2.1.1. Stand van zaken

De belangrijkste macroscopische verkeersstroomkenmerken zijn intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid. De intensiteit heeft meestal betrekking op een wegdoorsnede en een periode, de dichtheid op een wegvak en een tijdstip, terwijl de gemiddelde snelheid op beide situaties betrekking kan hebben. Het is mogelijk de drie kenmerken op consistente wijze te definiëren voor: een wegdoorsnede en een tijdstip; een wegdoorsnede en een periode, een wegvak en een tijdstip; een wegvak en een periode. In het laatste geval zijn de intensiteit en de dichtheid per definitie gekoppeld aan respectievelijk de prestatie, dat is de afgelegde afstand, en de reistijd, dat is de verbruikte tijd, van alle voertuigen in het beschouwde wegvak gedurende de betreffende periode.

Een betrekkelijk nieuw kenmerk is de bezettingsgraad, die aangeeft welke fractie van de tijd een wegdoorsnede door een voertuig is bezet en die gerelateerd is aan de dichtheid.

2.1.2. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen

De relatie tussen bezettingsgraad en dichtheid moet verder onderzocht worden met als doel na te gaan in hoeverre de dichtheid uit de bezettingsgraad voorspeld kan worden. Dit is van belang omdat de dichtheid, in tegenstelling tot de bezettingsgraad, relatief moeilijk observeerbaar is. Indien een betrouwbare relatie wordt gevonden is ze toepasbaar bij elk onderzoek waarbij de dichtheid een rol speelt en gemeten moet worden.

2.2. Mesoscopische verkeersstroomkenmerken

2.2.1. Stand van zaken

De belangrijkste mesoscopische verkeersstroomkenmerken zijn volgtijden, volgafstanden, snelheden en snelheidsverschillen (van twee opeenvolgende voertuigen) en de verdelingen van deze grootheden. Een hieruit af te leiden kenmerk is de mate en aard van clustering van een verkeersstroom, waarbij een cluster bestaat uit een aantal opeenvolgende voertuigen op één rijstrook, die elkaar in zekere mate beïnvloeden.

2.2.2. Conclusies

Van de mesoscopische verkeersstroomkenmerken worden vooral de verdelingen gebruikt. Kenmerken waarbij de volgorde in tijd of plaats een rol speelt worden nog niet veel toegepast.

Volgtijden en volgafstanden

- Voor volgtijden en volgafstanden zijn een groot aantal mathematische verdelingen gesuggereerd. Bij kleine intensiteit blijkt de exponentiële verdeling een goede beschrijving te zijn; bij grotere intensiteit lijkt de lognormale verdeling wel geschikt, omdat ze flexibel en relatief eenvoudig hanteerbaar is. De combinaties van verschillende verdelingen hebben theoretisch aantrekkelijke eigenschappen; ze zijn echter praktisch moeilijk hanteerbaar ten gevolge van de vele parameters en de benodigde opsplitsing van de verkeersstroom in delen.

- Opeenvolgende volgtijden en volgafstanden blijken op autosnelwegen geheel of vrijwel onafhankelijk te zijn; op enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom is nog geen uitspraak over de onafhankelijkheid te doen, de onderzoeksresultaten zijn strijdig.

Snelheden

- Van snelheden wordt meestal aangenomen dat ze normaal verdeeld zijn en dit blijkt in veel gevallen ook vrij goed te kloppen. Bij

duidelijke afwijkingen hiervan bestaat er een aantal alternatieven, waar tussen nog geen duidelijke voorkeur is aan te geven.

- Opeenvolgende snelheden zijn in sterke mate afhankelijk als de bijbehorende volgtijden kleiner dan een zekere grenswaarde zijn.

Clusters

- Er is veel aandacht besteed aan het opstellen van een geschikte clusterdefinitie, hetgeen echter nog niet tot duidelijke resultaten heeft geleid.

2.2.3. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen

- Nagaan of de capaciteit van aders te voorspellen is uit de verdeling van de volgtijden, wellicht in combinatie met snelheden, gemeten bij intensiteiten kleiner dan de capaciteit. Dit is van belang omdat voor gevallen, die afwijken van de ideale wegtypen zoals ze in de Amerikaanse Highway Capacity Manual worden beschreven, de capaciteit veelal nog niet nauwkeurig genoeg bekend is, terwijl het bij wegontwerp een belangrijke parameter is.

- Onderzoek van de verdelingen en de onderlinge afhankelijkheden van volgtijden, volgafstanden, snelheden en snelheidsverschillen. Kennis hierover kan met name toegepast worden bij de microscopische simulatiemodellen.

2.3. Microscopische verkeersstroomkenmerken

2.3.1. Stand van zaken

De microscopische verkeersstroomkenmerken zijn gebaseerd op de trajectoriën van individuele voertuigen en op het daaruit af te leiden snelheids- en versnellingsverloop. Voorbeelden hiervan zijn respectievelijk de ritduur (te relateren aan de ritafstand), de standaardafwijking van het snelheidsverloop en het (energiedichtheids)spectrum van de versnelling. In sommige kenmerken zijn ook aspecten van de laterale voertuigbewegingen en eenvoudige aspecten van de voertuigbediening opgenomen. De kenmerken zijn meestal opgesteld met het doel kwaliteitsaspecten van de verkeersstroom te representeren.

2.3.2. Conclusies

- De meeste kenmerken hebben uitsluitend betrekking op de longitudinale bewegingen van de voertuigen.
- Het opnemen van aspecten van de voertuigbediening in de kenmerken lijkt, zeker op de arbitraire manier zoals dit tot nu toe gebeurd is, niet nodig.
- Sommige kenmerken zijn operationaliseringen die nogal afwijken van de grootheden die men eigenlijk wil bepalen. Dit is vermoedelijk veroorzaakt door de beperkingen van de beschikbare meet- en registratie-apparatuur en de niet-machinale verwerking. Operationaliseringen op deze gronden zijn met de nu beschikbare middelen vrijwel niet meer nodig.

2.3.3. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen

- Het is van belang de samenhang tussen de kenmerken vast te stellen omdat dit tot meer inzicht in het verkeersproces en een efficiëntere verzameling van de gegevens kan leiden. Tot nu toe is slechts in beperkte mate de eventuele lineaire afhankelijkheid van de diverse kenmerken onderzocht.
- Onderzoek van nieuw op te stellen kenmerken die aspecten van de longitudinale en laterale voertuigbewegingen meer gelijkwaardig behandelen, dus bijvoorbeeld een combinatie van longitudinale en laterale versnelling in plaats van longitudinale versnelling en hoeksnelheid.
- Toepassingen van de bestaande en nog te verzamelen kennis hangen af van de in hoofdstuk 4 en 5 te behandelen relaties tussen externe factoren, verkeersstroomkenmerken en kwaliteiten van het verkeer.

3. VERKEERSSTROOMMODELLEN

3.1. Algemeen

3.1.1. Het basisdiagram

3.1.1.1. Beschrijving

Dit model beschrijft de relaties die in evenwicht bestaan tussen twee van de drie macroscopische verkeersstroomkenmerken intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid. Er is een groot aantal modellen voor het basisdiagram opgesteld; ze berusten op diverse veronderstellingen van het gedrag van voertuig-bestuurderscombinaties in de verkeersstroom of op een analogie tussen een verkeersstroom en een fysische stroming.

3.1.1.2. Conclusies

- De globale vorm van het basisdiagram is bekend.
- Voor het gebied waar de dichtheid kleiner is dan de kritische (de waarde bij de capaciteit) is op wegen van hoge categorie (auto-snelwegen e.d.) vrij veel kwantitatieve kennis van het basisdiagram verzameld.
- Voor dichtheden groter dan de kritische is op alle categorieën wegen minder bekend.
- Met betrekking tot het al of niet optreden van een discontinuïteit in de relaties in de omgeving van de capaciteitstoestand is nog te weinig kennis verzameld voor een definitief oordeel.
- Het effect van omstandigheden als regen, schemer en duisternis op de relaties is vrijwel onbekend.

3.1.1.3. Geïndiceerd onderzoek

Nodig is het vaststellen van het basisdiagram voor alle wegcategorieën die regelmatig flink belast worden. Binnen dit kader is relevant:

- het effect van wegkenmerken binnen een categorie waaronder discontinuïteiten als vernauwing van het dwarsprofiel en stijle hellingen;
 - het effect van omstandigheden als regen, duisternis en wegverlichting;
 - het effect van de voertuigsamenstelling;
 - het effect van operationele maatregelen als snelheidsbeïnvloeding.
- Voorlopig nog meer theoretisch gericht is onderzoek:
- naar het optreden van een discontinuïteit in het basisdiagram;
 - naar een zinvolle uitbreiding van het basisdiagram tot een relatie tussen snelheid en hoeveelheid verkeer op een netwerk.

3.1.1.4. Toepassingen

- Bij het ontwerp van wegen is kennis van het basisdiagram, in afhankelijkheid van de wegkenmerken, bruikbaar voor het bewerkstelligen van het beoogde verkeersgedrag.
- Bij het ontwerp van verkeersbeheersingsmaatregelen heeft men de basisdiagrammen van de betreffende aders nodig.
- Bij de evaluatie van maatregelen zijn verandering(en) van het basisdiagram veelal (een van de) geschikte karakterisering(en) van effecten op de verkeersstroom.

3.2. Macroscopische dynamische verkeersstroommodellen

3.2.1. Input-output modellen

3.2.1.1. Beschrijving

Bij een input-output model worden verkeersstroomkenmerken op twee of meer plaatsen van het wegennet aan elkaar gerelateerd, waarbij het tussengelegen gedrag van de verkeersstroom als het ware in een black box wordt gestopt. Tot nu toe is alleen de relatie tussen in- en uitgangsvariabelen bepaald in de veronderstelling dat een lineaire systeembeschrijving geschikt is.

3.2.1.2. Conclusies

Deze beschouwingwijze is nog niet veel gebruikt, maar het lijkt een vruchtbare aanpak.

3.2.1.3. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen

Verder onderzoek van deze aanpak is gewenst, waarbij de uitbreiding gezocht moet worden in een vollediger beschrijving van de in- en output en het loslaten van de veronderstelling dat het systeem lineair is. Bovendien is integratie met de bestaande verkeersstroomtheorie nodig. Als men met deze methode inderdaad tot betrouwbare korte termijn voorspellingen kan komen, zijn potentiële toepassingsgebieden onder meer : verkeersafhankelijke regelingen met verkeerslichten en ontwerp en bedrijf van automatische incidentdetectie.

Tevens lijkt het de moeite waard te onderzoeken of men met een input-output model een betrouwbare methode kan ontwikkelen voor het bepalen van de dichtheid op een wegvak.

Met het model in de huidige vorm is het, ten opzichte van andere methoden, relatief eenvoudig de verdeling van de reistijden van voertuigen over een wegvak te bepalen. Daarbij geldt wel de belangrijke beperking dat er sprake moet zijn van vrij verkeer, waarbij de voertuigen elkaar nog niet beïnvloeden.

3.2.2. Kinematische en schokgolven

3.2.2.1. Beschrijving

Deze theorie, een van de oudste binnen het onderwerp verkeersstromen, beschrijft de voortplanting van toestanden (kinematische golven) en toestandsveranderingen (schokgolven) van de verkeersstroom.

3.2.2.2. Conclusies

- Voor een kwalitatieve beschrijving van een aantal verschijnselen in een verkeersstroom is dit een bruikbare theorie.
- Voor een kwantitatieve beschrijving is de theorie ook geschikt, echter niet voor verschijnselen waarbij relatief weinig voertuigen betrokken zijn en/of de tijd voor snelheidsveranderingen niet klein is ten opzichte van de beschouwde tijd.
- De waarde van een uitbreiding van de theorie, waarmee anticipatie- en responsie-eigenschappen van voertuig-bestuurdercombinaties worden gemodelleerd, is nog onbekend.

3.2.2.3. Geïndiceerd onderzoek

- Verder onderzoek van de golfmodellen kan het beste in het kader van de in par. 3.2.3. te behandelen uitgebreide macroscopische dynamische modellen plaatsvinden.

3.2.2.4. Toepassingen

- Bij het ontwerp van systemen die automatisch incidenten moeten detecteren.
- Bij de schatting van reistijden bij een gestoorde verkeersafwikkeling.
- Als onderdeel van een uitgebreider model.

3.2.3. Uitgebreide macroscopische dynamische modellen

3.2.3.1. Beschrijving

Er zijn een aantal modellen opgesteld die de gehele verkeersafwikkeling op een rijbaan van een autosnelweg, inclusief het effect van toe- en afritten, beschrijven. Ze maken gebruik van de golventheorie en van andere deelmodellen. Het belangrijkste model lijkt dat van May te zijn, dat uitgebreid is met een procedure voor het berekenen van het brandstofgebruik en de emissie van uitlaatgassen. Een nog

minder ver ontwikkeld model is dat van Payne, dat potentieel dezelfde mogelijkheden heeft als het model van May.

3.2.3.2. Conclusies

- Het model van May blijkt een geschikte beschrijving te zijn van de verkeersafwikkeling op een rijbaan van een autosnelweg met vele toe- en afritten en een variabele geometrie.
- Voor het model van Payne geldt hetzelfde, echter in minder sterke mate.

3.2.3.3. Geïndiceerd onderzoek

- Gezien de potentiële toepassingsmogelijkheden lijkt het van belang deze modellen verder te onderzoeken en ontwikkelen. Voor Europese condities is wellicht een meer gedetailleerde beschrijving van de verkeersstroom nodig, in het bijzonder het onderscheiden van personen- en vrachtauto's en het apart modelleren van de rijstroken en het aantal strookwisselingen.

3.2.3.4. Toepassingen

- Indicatie en voorspelling van het effect van wegwitbreiding op de verkeersafwikkeling.
- Ontwerp en bedrijf van verkeersbeheersingssystemen, in het bijzonder van toeritdoseringsen.
- Voorspelling van het effect van maatregelen op brandstofgebruik en emissie van uitlaatgassen.

3.2.4. Modellen voor het aantal strookwisselingen

3.2.4.1. Beschrijving

- Een aantal modellen die de intensiteit van het strookwisselen, bij éénrichtingsverkeer op een meerstrooksrijbaan, op verschillende manieren aan de rijstrookdichtheden relateren zijn opgesteld en ten

dele getoetst. Tevens is een ontwikkeling gestart waarbij de theorie van de kinematische en schokgolven wordt gecombineerd met een strookwisselmodel.

3.2.4.2. Conclusies

- Er is nog te weinig toetsend onderzoek van de diverse strookwisselhypotheseën uitgevoerd voor een oordeel.
- Het lijkt wat beperkt uitsluitend de dichtheid als "verklarende" factor voor het aantal strookwisselingen te nemen.

3.2.4.2. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen

- De strookwisselmodellen moeten verder ontwikkeld worden, te denken valt aan het effect van grotere afwijkingen van de evenwichtssituatie en het opnemen van meer verklarende factoren dan alleen de dichtheid. De potentiële toepassingen van deze modellen zijn het gebruik als onderdeel van een uitgebreider model.

3.2.5. Algemene conclusies

- Er bestaat een vrij beperkt aantal modellen die het gedrag van verkeersstroomkenmerken op macroscopisch niveau in dynamische situaties beschrijven.
- De toetsing van deze modellen is tot nu toe in veel gevallen te summier geweest.
- Een versnelling in de ontwikkeling op dit gebied is begonnen, enerzijds door de behoefte aan meer beheersing van het verkeer, anderzijds mogelijk gemaakt door de ontwikkeling van meet-, registratie- en verwerkingsapparatuur.
- De modellen zijn vooral bruikbaar bij ontwerp en bedrijf van verkeersbeheersingssystemen bij grote dichtheden, zowel bij verdelen, doseren als regelen en bij onderdelen hiervan zoals automatische incidentdetectie, echter ook bij sommige maatregelen die de geometrie van de weg betreffen.
- Gezien de hoge belasting van een deel van het auto(snel)wegennet,

de terughoudendheid bij de aanleg van nieuwe wegen en de potentiële gunstige effecten van verkeersbeheersing lijken de macroscopische dynamische verkeersstroommodellen ook voor Nederland van veel belang.

3.3. Mesoscopische verkeersstroommodellen

3.3.1. Clustermodellen

3.3.1.1. Beschrijving

In deze modellen spelen clusters een belangrijke rol. Beschreven worden de, in aantal voertuigen uitgedrukte, omvang van de clusters en hun snelheid en veranderingen in deze "externe" clusterkenmerken. Te onderscheiden vallen clustermodellen voor éénrichtingsverkeer op één rijstrook, éénrichtingsverkeer op twee of meer rijstroken en tweerichtingsverkeer op twee rijstroken.

Bij éénrichtingsverkeer op één rijstrook is de situatie relatief eenvoudig. Toch blijkt dat de weinige bestaande modellen het gedrag van de voertuigen nogal sterk schematiseren. Het is dan ook de vraag hoe de, nog niet uitgevoerde, vergelijking met de realiteit voor de modellen zal uitvallen.

Bij éénrichtingsverkeer op meer dan één rijstrook moet ook het strookwisselen gemodelleerd worden. Het model neemt de vorm aan van een stelsel differentiaalvergelijkingen voor de verdeling van de clusters naar omvang, snelheid en rijstrook en de ontwikkeling in plaats en tijd. Alleen de homogene en stationaire situatie is tot nu toe beschreven en leidt tot redelijke resultaten, zoals uit een beperkte toetsing blijkt.

Voor dezelfde verkeerssituatie heeft Rørbech een Markov model opgesteld dat de toestandsveranderingen beschrijft die optreden tussen twee, op vrij korte afstand van elkaar gelegen wegdoorsneden. De toestand van een voertuig wordt gedefinieerd als het al-dan-niet in cluster rijden en de rijstrook. Het blijkt dat een eerste orde Markov proces een reële beschrijving is.

Voor tweerichtingsverkeer op twee rijstroken zijn relatief veel clustermodellen opgesteld. Ze zijn moeilijk met elkaar te vergelijken omdat ze veelal verschillende aspecten van het totale verschijnsel benadrukken en niet op elkaar voortbouwen. Ze beschrijven uitsluitend de homogene en stationaire situatie.

3.3.1.2. Conclusies

- De clustermodellen zijn nog slechts zeer beperkt of in het geheel niet getoetst, zodat ze op die grond niet goed te beoordelen zijn.
- Vergelijking op andere gronden is moeilijk omdat de modellen vaak op verschillende aspecten van het gehele verschijnsel gericht zijn.

3.3.1.3. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen

- Voordat de clustermodellen gebruikt kunnen worden zullen ze veel uitvoeriger getoetst moeten worden dan tot nu toe gebeurd is. Het meest belovend lijkt verdere ontwikkeling van het Markov model van Rørbech. Potentieel zijn de modellen toepasbaar bij ontwerp en evaluatie van maatregelen als snelheidslimieten, inhaalverboden en geometrische wijzigingen van de weg. De vraag is echter of de ontwikkeling van de in par. 3.4.2. te behandelen microscopische simulatiemodellen niet meer vruchtbaar zal zijn.

3.3.2. Boltzmannmodellen

3.3.2.1. Beschrijving

In dit type model, dat is opgesteld voor éénrichtingsverkeer op twee of meer rijstroken, staat de snelheidsverdeling centraal. Het model wordt geformuleerd als een differentiaal-integraalvergelijking voor de snelheidsverdeling, waarin tot uiting moet komen dat: snelheden dalen ten gevolge van beperkte inhaalmogelijkheden; 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.

3.3.2.2. Conclusies

Zowel de nog slechts beperkt uitgevoerde toetsing als een theoretische evaluatie valt voor dit model negatief uit.

3.3.2.3. Geïndiceerd onderzoek

Gezien de huidige stand van zaken lijkt verdere ontwikkeling van dit type model niet geïndiceerd.

3.4. Microscopische verkeersstroommodellen

3.4.1. Manoeuvre-modellen

3.4.1.1. Beschrijving

Onderscheiden worden de manoeuvres "volgen", inclusief het "naderen", en "inhalen". Bij de inhaalmanoeuvre is het van belang of er rekening gehouden moet worden met tegenliggers; is dat niet het geval, dan kan men beter de strookwisseling als een aparte manoeuvre beschouwen.

Een volgmodel beschrijft hoe een bestuurder-voertuigcombinatie een voorligger volgt; daarbij spelen perceptie-, beslissings- en besturingsaspecten een rol. Voor de manoeuvre "volgen" zijn vele modellen opgesteld en is een duidelijke ontwikkeling aan te geven van zeer eenvoudige tot complexe modellen, waarbij in de laatste de beperkingen van voertuig en bestuurder zijn opgenomen. Onderzoek van volgmodellen valt uiteen in het bepalen van perceptiemogelijkheden van bestuurders en in het onderzoek van volgedrag in laboratoria en gewoon verkeer.

Bij strookwissel- en inhaalmodellen is de beschrijving beperkt tot perceptie- en beslissingsaspecten en blijft de besturing tijdens de manoeuvre (nog) buiten beschouwing. Onderzoek is vooral gericht op het perceptievermogen van de mens en op de uitkomst van het beslissingsproces, d.w.z. wanneer besluit een bestuurder al-dan-niet de manoeuvre te beginnen.

3.4.1.2. Conclusies

In het algemeen zijn de manoeuvre-modellen nog (te) weinig getoetst. Oorzaak hiervoor is onder andere de benodigde kostbare instrumentatie, vooral als het veldonderzoek van reëel verkeer betreft.

3.4.1.3. Geïndiceerd onderzoek

- Het onderzoek naar de perceptiemogelijkheden van bestuurders in allerlei verkeerssituaties moet voortgezet worden.
- Voor het toetsen van de modellen is meer informatie nodig van het manoeuvre-gedrag in reëel verkeer.

3.4.1.4. Toepassingen

- De belangrijkste toepassing van de manoeuvre-modellen ligt in inpassing in een uitgebreider verkeersstroommodel.
- Verder zijn de modellen bruikbaar bij indicatie, ontwikkeling en evaluatie van hulpmiddelen voor bestuurders bij de rijtaak.

3.4.2. Simulatiemodellen

3.4.2.1. Beschrijving

Meer volledige beschrijvingen van de verkeersstroom op microscopische schaal, waarin onder andere manoeuvre-modellen zijn opgenomen, zijn alleen door middel van simulatiemodellen te realiseren. Hierbij worden de voertuigbewegingen nagebootst met behulp van een digitale rekenmachine op grond van deterministische en toevals-

afhankelijke regels. De ontwikkeling van deze modellen is nog vrij recent en pas mogelijk geworden door de beschikbaarheid van grote en snelle rekenmachines.

3.4.2.2. Conclusies

Bij de huidige stand van zaken zijn nog geen duidelijke conclusies omtrent de waarde van de modellen te trekken. De variatie aan modellen en specifieke toepassingen is groot en in het algemeen is de geldigheid van de modellen nog onvoldoende onderzocht. Wel kan gesproken worden van een veelbelovende ontwikkeling en een groot potentieel toepassingsgebied.

In principe kunnen de modellen ongevallen, in de zin van botsingen tussen voertuigen, genereren. Voorlopig is het niet aannemelijk dat dit reële betekenis heeft, daarvoor lijken de modellen nog te weinig gedetailleerd. Wel is het voorstelbaar dat de modellen conflicten, dit zijn nader te definiëren gebeurtenissen die verondersteld worden met ongevallen in relatie te staan, op reële wijze genereren. De belangrijke stap die dan nog overblijft is het relateren van conflicten aan ongevallen.

3.4.2.3. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen

De verdere ontwikkeling en validatie van de simulatiemodellen is gewenst en heeft onder meer tot doel:

- het voorspellen van het effect van veranderingen in de externe factoren op de verkeersstroom;
- het voorspellen van conflicten en het relateren van conflicten aan andere verkeersstroomkenmerken (noodzakelijke aanvulling hierop is het relateren van conflicten aan onveiligheid);
- de ondersteuning of afleiding van de minder gedetailleerde mesoscopische en macroscopische verkeersstroommodellen.

4. RELATIES TUSSEN EXTERNE FACTOREN EN VERKEERSSTROOMKENMERKEN

4.1. Stand van zaken

Onder de externe factoren worden hier verstaan de vraag (naar het gebruik van wegen), wegkenmerken, permanente voertuigkenmerken, bestuurderskenmerken, omstandigheden en maatregelen die direct de voertuigbewegingen (bedoelen) te beïnvloeden; zie ook Afbeelding 1.

Dit onderwerp is op zich dusdanig uitgebreid dat het in het rapport relatief weinig aandacht heeft gekregen. Bovendien geldt dat het moeilijk is het effect van een enkele factor geïsoleerd te onderzoeken en dat iedere factor vrijwel alle verkeersstroomkenmerken beïnvloedt. In hetgeen volgt zal een poging gedaan worden voor iedere factor afzonderlijk de invloed te schetsen, zoals die valt te verwachten en ten dele ook door onderzoek bevestigd is. Interacties tussen de factoren, die zeker zullen bestaan, blijven hierbij buiten beschouwing.

De vraag, dus de hoeveelheid verkeer die van een weg gebruik wil maken, bepaalt de verkeersdrukke. Zolang de capaciteit van de weg voldoende is wordt de vraag door de intensiteit beschreven en kan men het effect op andere verkeersstroomkenmerken "via" de intensiteit onderzoeken. Schiet de capaciteit van de weg tekort dan wordt de situatie complexer en is er geen eenvoudige relatie meer tussen vraag en toestand van de verkeersstroom. Voor de beschrijving van de verkeersstroom is dan minstens een macroscopisch dynamisch verkeersstroommodel nodig. Het effect op meer gedetailleerde verkeersstroomkenmerken kan dan "via" de dichtheid onderzocht worden.

Het effect van wegkenmerken, van wegtype tot aan details van de geometrie, is voornamelijk onderzocht voor wat betreft het snelheidsgedrag van vrij rijdende voertuigen, en hierover is vrij veel bekend. Daarnaast is er onderzoek verricht naar het effect op de gemiddelde snelheid in combinatie met de intensiteit, zodat het in feite het basisdiagram betreft; zie ook par. 3.1.

Bij permanente voertuigkenmerken moet vooral gedacht worden aan afmetingen, vermogen in verhouding tot het gewicht en de maximaal te rijden snelheid. Het effect van deze kenmerken, meestal gereduceerd tot een verdeling in voertuigtypen, op de snelheid en het snelheidsverloop (bijvoorbeeld op hellingen en bij het wegtrekken) is wel enigszins bekend. Relatief nieuw is onderzoek naar de relatie tussen de maximaal haalbare snelheid van personenauto's en volgedrag.

De relatie tussen bestuurderskenmerken en verkeersstroomkenmerken is een vrijwel nog niet onderzocht gebied.

Bij omstandigheden valt te denken aan het weer, verlichting, seizoen, tijd van de dag en dergelijke. De relatie tussen deze factoren en verkeersstroomkenmerken is nog vrijwel niet onderzocht.

Voor wat betreft de maatregelen, die direct gericht zijn op de voertuigbewegingen, is er vooral veel onderzoek geweest naar het effect van snelheidslimieten op de gereden snelheden, soms uitgebreid met volgtijden. Duidelijke resultaten heeft dit niet opgeleverd; soms wordt (tijdelijk) de gemiddelde snelheid beïnvloed en onafhankelijk daarvan daalt veelal de variantie van de snelheden. Het onderzoek naar het effect van maatregelen die, als onderdeel van een dynamisch verkeersbeheersingssysteem, de voertuigbewegingen bedoelen te beïnvloeden, staat nog in de kinderschoenen.

4.2. Geïndiceerd onderzoek en toepassingen

Onderzoek naar de relaties tussen details en combinaties van wegkenmerken en de gereden snelheden moet nog verder uitgebreid worden, vooral vanuit de doelstelling de snelheden met behulp van het wegontwerp te beheersen.

Onderzoek naar de relaties tussen het bestuurderskenmerk "rijervaring" en microscopische verkeersstroomkenmerken zou relevant kunnen zijn in verband met de relatief grote ongevalsbetrokkenheid van onervaren rijders.

De relaties tussen weercondities (nat/droog) en verlichting (dag/nacht/wegverlichting) en verkeersstroomkenmerken verdient aandacht in het kader van de "verklaring" van het effect van deze factoren op de verkeersveiligheid en de indicatie van maatregelen.

Voor wat betreft maatregelen is het onderzoek naar het effect van dynamische verkeersbeheersingssystemen op de verkeersstroomkenmerken noodzakelijk voor een goede indicatie, ontwerp en bedrijf van dergelijke systemen.

5. RELATIES TUSSEN VERKEERSSTROOMKENMERKEN EN KWALITEITSASPECTEN VAN HET VERKEER

5.1. Inleiding

Van de kwaliteitsaspecten zijn uitsluitend afwikkeling, (on)veiligheid en in zeer beperkte mate comfort behandeld. Afwikkeling is op zich een ongedefinieerd begrip en kan in het algemeen het beste in reistijden worden vertaald. Onveiligheid wordt hier afzonderlijk beschouwd en niet gezien als een aspect van de afwikkeling. In samenhang met verkeersstromen is onveiligheid meestal het beste te karakteriseren door het aantal ongevallen per afgelegde afstand, een vorm van het zogenaamde ongevallenquotiënt.

Soms zijn de relaties tussen verkeersstroomkenmerken en afwikkeling triviaal, zodat het dan overbodig is ze te noemen. Dit geldt bijvoorbeeld voor het microscopische verkeersstroomkenmerk "ritduur", dat beschouwd kan worden als een operationalisering van de afwikkeling.

Opgemerkt moet worden dat het vaststellen van een relatie tussen een (combinatie van) verkeersstroomkenmerk(en) en een kwaliteitsaspect van de verkeersstroom een hachelijke zaak is, in het bijzonder als het om onveiligheid gaat. Alle overige invloedsfactoren zouden in principe constant moeten zijn of een normale variatie moeten vertonen. Aan deze condities is veelal niet voldaan en er is in het algemeen onvoldoende kennis om het effect van de verstorende factoren in rekening te brengen.

De volgorde bij de behandeling is, zoals gebruikelijk, macro-, meso- en microscopisch. De gedachte hierbij is dat men de kwaliteitsaspecten van de verkeersstroom wil beschrijven met zo globaal mogelijke gegevens omdat die relatief eenvoudiger te observeren en eventueel te beïnvloeden zijn. Dit hoeft echter niet altijd het geval te zijn.

5.2. Macroscopische verkeersstroomkenmerken

5.2.1. Conclusies

- Op autosnelwegen en aangrenzende wegcategorieën is in diverse onderzoeken gebleken dat zowel relatief lage als hoge uurintensiteiten, zoals ze voorkomen bij afwikkelingsniveau A, B, C en D, samengaan met een verhoogd ongevalquotiënt. Op enkelbaans-tweestrookswegen is hetzelfde soort verband nog slechts in één onderzoek 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-tweestrookswegen is de relatie minder duidelijk maar het is wel al vrij zeker dat de twee hoogste afwikkelingsniveau's niet het veiligst zijn.
- Het vermoeden dat de verkeerssamenstelling, uitgedrukt in de fractie van de intensiteit die uit vrachtauto's bestaat, in relatie staat tot het ongevalquotiënt, is nog niet duidelijk door onderzoek bevestigd.
- Onderzoek naar de relatie tussen dichtheid en onveiligheid is niet bekend.
- Het bestaan van een relatie tussen de gemiddelde snelheid op zich en het ongevalquotiënt is, ondanks veel onderzoek, niet in algemene zin aangetoond.

5.2.2. Geïndiceerd onderzoek

Het is gewenst dat de relaties tussen een (combinatie van) macroscopisch(e) verkeersstroomkenmerk(en) en het ongevalquotiënt wordt vastgesteld voor wegtypen die regelmatig flink belast worden. Als verkeersstroomkenmerk komen in aanmerking: intensiteit ten opzichte van de capaciteit (mits afwikkelingsniveau F niet voorkomt), dichtheid, bezettingsgraad, afwikkelingsniveau, eventueel aan te

vullen met verkeerssamenstelling. Het kenmerk moet in detail geobserveerd worden, dus geen etmaalwaarde, maar bijvoorbeeld de waarde in een uur of zelfs in een kwartier. Verder moet het behalve een goede voorspeller voor het ongevallenquotiënt, geschikt zijn voor routinematige observatie.

Te onderscheiden zijn de volgende onderzoeksfasen:

- vaststellen van de relatie;
- verklaren van de relatie, waarvoor onder meer mesoscopische en microscopische verkeersstroommodellen nodig kunnen zijn;
- nagaan hoe de relatie te verbeteren is.

5.2.3. Toepassingen

De gevonden relatie tussen verkeersdrukke en ongevallenquotiënt betekent dat er een gebied van voor de veiligheid min of meer optimale belastingen van een ader bestaat. Belastingen die onder dit gebied liggen zijn moeilijk te voorkomen en bovendien gaan lage belastingen veelal samen met factoren als duisternis en alcoholgebruik, die eerder als oorzaak voor een verhoogde onveiligheid in aanmerking komen. Voor belastingen boven het optimale gebied zijn in principe twee soorten maatregelen geïndiceerd. Ten eerste het voorkomen dat de hoge belasting optreedt. Dit kan door een vermindering van de vraag, absoluut of door een gelijkmatiger verdeling over tijd en wegen, en door een verhoging van de capaciteit door wegwitbreiding. Ten tweede kan men trachten de relaties in gunstige zin te wijzigen door middel van beïnvloeding van de voertuigbewegingen op de aders, bijvoorbeeld door regeling van het rijstrookgebruik en de snelheden. Maatregelen van beide soorten maken deel uit van de in sterke ontwikkeling verkerende verkeersbeheersingssystemen, die een beter gebruik van de bestaande wegfaciliteiten beogen.

5.3. Mesoscopische verkeersstroomkenmerken

5.3.1. Conclusies

- Onderzoek van de relatie tussen snelheden en onveiligheid heeft tot twee belangrijke resultaten geleid. Voertuigen die veel afwijken van

de gemiddelde snelheid zijn relatief vaker bij ongevallen betrokken; een grote variatie van snelheden is dus een symptoom van een relatief onveilige verkeersstroom. Gegeven dat er een ongeval gebeurt neemt de ernst hiervan toe met de voor het ongeval gereden snelheid.

- Een mogelijke relatie tussen volgtijden en volgafstanden op zich en onveiligheid is nog slechts beperkt onderzocht en dit heeft niet tot resultaten geleid.
- Incidenteel is een sterke samenhang gevonden tussen het ongevallenquotiënt in horizontale bogen van tweestrookswegen en een functie van varianties van laterale posities en gemiddelde snelheden in het begin en het midden van de boog.
- Het beoordelen van combinaties van snelheden en volgafstanden van elkaar volgende voertuigen in termen van potentiële kop-staartbotsingen is theoretisch en praktisch mogelijk, echter een relatie met optredende ongevallen is nog niet aangetoond.

5.3.2. Geïndiceerd onderzoek

Het is gewenst de relaties tussen een (combinatie van) mesoscopisch(e) verkeersstroomkenmerk(en) en onveiligheid verder te onderzoeken. Daarbij kan aangesloten worden bij de reeds bekende relaties. Doel van dit onderzoek is onder andere het "verklaren" van de relaties tussen macroscopische kenmerken en onveiligheid.

5.3.3. Toepassingen

- Het gevonden verband tussen de variatie van snelheden en onveiligheid heeft, samen met andere overwegingen, geleid tot het vrij algemene streven naar verkeersstromen waarin de snelheidsverschillen tussen de voertuigen gering zijn; dit wordt dan wel aangeduid met de term "homogeniseren" van de verkeersstroom.
- De relatie tussen het ongevallenquotiënt in horizontale bogen en de snelheden en laterale posities is mogelijk bruikbaar bij de evaluatie van markering en signalering in bogen.

5.4. Microscopische verkeersstroomkenmerken

5.4.1. Conclusies

- Microscopische verkeersstroomkenmerken zijn ten dele directe operationaliseringen van de afwikkeling en er dus per definitie aan gerelateerd.
- Er bestaan aanwijzingen voor een relatie tussen "versnellingsruis", of aanverwante kenmerken die de onregelmatigheid van het snelheidsverloop uitdrukken, en onveiligheid.
- Relaties met "comfort" zijn moeilijk te leggen omdat een geschikte operationele definitie van dit kwaliteitsaspect ontbreekt. Van de verkeersstroomkenmerken lijken in principe de microscopische het meest geschikt voor een relatie met, of een operationalisering van "comfort".

5.4.2. Geïndiceerd onderzoek

Gewenst is verder onderzoek van de relatie tussen microscopische verkeersstroomkenmerken en onveiligheid. Historisch heeft "versnellingsruis" de meeste aandacht gekregen. Het is echter de moeite waard, en met de huidige registratie- en analysemethoden ook mogelijk, uit een uitgebreide verzameling van microscopische kenmerken en ongevallengegevens de optimale relatie te bepalen. Dat wil zeggen na te gaan welke functie van één of meer microscopische kenmerken het ongevalenquotiënt het beste voorspelt. Doel is onder meer het "verklaren" van de relaties tussen macroscopische en microscopische verkeersstroomkenmerken en onveiligheid.

5.4.3. Toepassingen

Zolang de relaties tussen microscopische verkeersstroomkenmerken en onveiligheid nog niet in voldoende mate zijn aangetoond kan men slechts van potentiële toepassingen spreken. Deze zouden kunnen liggen in het vervangen van ongevallengegevens door microscopische kenmerken, een vervanging waaraan grote behoefte bestaat gezien de

schaarsheid en moeilijke observeerbaarheid van ongevallen. Bovendien zouden deze relaties aanwijzingen kunnen geven omtrent de veiligheid bevorderende maatregelen.

6. SLOTBESCHOUWING

6.1. Relevantie van verkeersstroomkennis voor verkeersveiligheid

Het doel van dit State of the art rapport is geweest de grote hoeveelheid informatie over verkeersstromen en verkeersstroommodellen, die in de literatuur aanwezig is, te ordenen en in het bijzonder de relevantie voor verkeersveiligheidsonderzoek aan te geven. Mede door dit laatste verschilt dit rapport van andere overzichten, zoals de monografie "Traffic flow theory" van de Transportation Research Board (Gerlough & Huber, 1975) en het gedeelte over "Flow theories" van Edie in het boek "Traffic Science" van Gazis (1974).

Voor wat betreft de relevantie van verkeersstroomkennis voor verkeersveiligheidsonderzoek nog de volgende algemene opmerkingen. Per afgelegde voertuigafstand is de kans op een ongeval in de loop der tijden gedaald tot een relatief laag niveau. Aangezien de totale schade ten gevolge van verkeersongevallen nog steeds aanzienlijk is, blijft er behoefte bestaan aan een verdere reductie van de verkeersonveiligheid. Dit zal ten dele gerealiseerd moeten worden met nog te ontwerpen nieuwe maatregelen, waarvoor een grondiger kennis van het totale verkeersproces nodig is dan nu ter beschikking staat. De verkeersstroomaanpak, dat wil zeggen een beschrijving van het verkeersproces in termen van voertuigbewegingen, is daarbij slechts één benadering en de resultaten ervan zullen in het algemeen te zamen met die van andere benaderingen beschouwd moeten worden.

In het algemeen kan gesteld worden dat de verkeersstroombenadering relevanter is naarmate de verkeersdrukke toeneemt, omdat dan de interacties tussen de voertuigen frequenter en intenser worden. Dit laatste zal in Nederland in toenemende mate het geval worden omdat de wegeaanleg achterblijft bij de groei van het verkeer. Tevens mag verwacht worden dat het streven duidelijker verkeers- en verblijfsgebieden te creëren, of anders gezegd doorgaand en bestemmingsverkeer meer te scheiden, zowel in stedelijke als niet-

stedelijke gebieden, de verkeersdrukke op de hoofdadere extra zal doen toenemen.

6.2. Betekenis van verkeersstroomkennis voor maatregelen

Vele maatregelen ter verbetering van een of ander kwaliteitsaspect van het verkeer hebben direct of indirect invloed op voertuigbewegingen, dus is verkeersstroomkennis in principe steeds relevant, echter praktisch wel in verschillende mate. In de volgende opsomming van een aantal soorten maatregelen is de relevantie in de gestelde volgorde in het algemeen dalend.

Als eerste, maatregelen die direct gericht zijn op de voertuigbewegingen. Voorbeelden hiervan zijn verkeersafhankelijke routegeleiding, dosering, snelheidslimieten, inhaalverboden en regels voor het volggedrag. De eerste twee maatregelen leiden tot een andere verdeling van het verkeer naar plaats en tijd en verkeersstroomkennis geeft inzicht in de consequenties in afwikkeling en onveiligheid. Bij de regeling zelf is een macroscopisch dynamisch verkeersstroommodel te gebruiken en voor details een microscopisch simulatiemodel. Bij regeling van de snelheid zijn er directe consequenties in afwikkeling, die in veiligheid zijn ten dele bekend op grond van de relatie tussen de snelheidsverdeling en het ongevallenquotiënt. Voor inhaalverboden en regels met betrekking tot het volggedrag zijn de consequenties in afwikkeling te bepalen, en die in veiligheid te verkennen, met een microscopisch simulatiemodel.

Bij maatregelen met betrekking tot wegkenmerken kan men globaal onderscheiden het ontwerp van netwerken en het eigenlijke wegontwerp, dat vooral betrekking heeft op de geometrie. Bij het eerste spelen de functie van de weg, de voorspelde hoeveelheid verkeer, de eisen in termen van afwikkeling en de consequenties (nog geen eisen) in onveiligheid een rol. Bruikbaar is hierbij de kennis van het basisdiagram en de relatie tussen onveiligheid en afwikkelingsniveau. Bij het geometrische wegontwerp zijn de relaties tussen wegkenmerken en het basisdiagram en de microscopische simulatiemodellen bruikbaar.

Als voorbeeld van een maatregel die de permanente voertuigkenmerken verandert kan gedacht worden aan een vergroting van de verhouding tussen vermogen en gewicht bij vrachtauto's. De consequenties voor de afwikkeling van de totale verkeersstroom zijn te bepalen, en die voor de onveiligheid te verkennen, met behulp van een microscopisch simulatiemodel.

Bij de bovenstaande voorbeelden moet wel bedacht worden dat met de huidige verkeersstroomkennis de effecten van maatregelen nog slechts in beperkte mate zijn te voorspellen. Maatregelen moeten dan ook veelal tevens vanuit andere gezichtspunten worden beschouwd, bijvoorbeeld vanuit de kennis omtrent de perceptieve en regelende vermogens van de bestuurders als elementen in een mens-machine systeem. Kennis van de genoemde gebieden is nog maar in zeer beperkte mate in verkeersstroommodellen opgenomen.

6.3. Belangrijkste conclusies en indicaties

Voor wat betreft de verkeersstroomkenmerken is het van belang dat ze duidelijk gedefinieerd worden en dat er voldoende aandacht wordt besteed aan eventuele verschillen tussen de formele definitie en de operationalisering.

Met betrekking tot de verkeersstroommodellen het volgende:

- Vele modellen zijn niet of nauwelijks getoetst op hun geldigheid met behulp van gegevens uit werkelijk verkeer, terwijl dat een noodzakelijke stap is die aan toepassing van het model vooraf moet gaan.
- De meeste modellen zijn ontwikkeld voor éénrichtingsverkeer; meer aandacht is nodig voor de ontwikkeling van modellen voor tweestrooks-wegen, die belangrijk zijn vanuit het oogpunt van verkeersprestatie en onveiligheid.
- Veelbelovende modeltypen zijn de macroscopische dynamische modellen en de microscopische simulatiemodellen. Het eerste vanwege de toepassing bij dynamische verkeersbeheersingssystemen en het tweede omdat daarmee een meer reële beschrijving van het gedrag van voer-

tuig-bestuurderscombinaties mogelijk is. Simulatiemodellen zullen naar verwachting het meest relevant worden voor verkeersveiligheids-onderzoek.

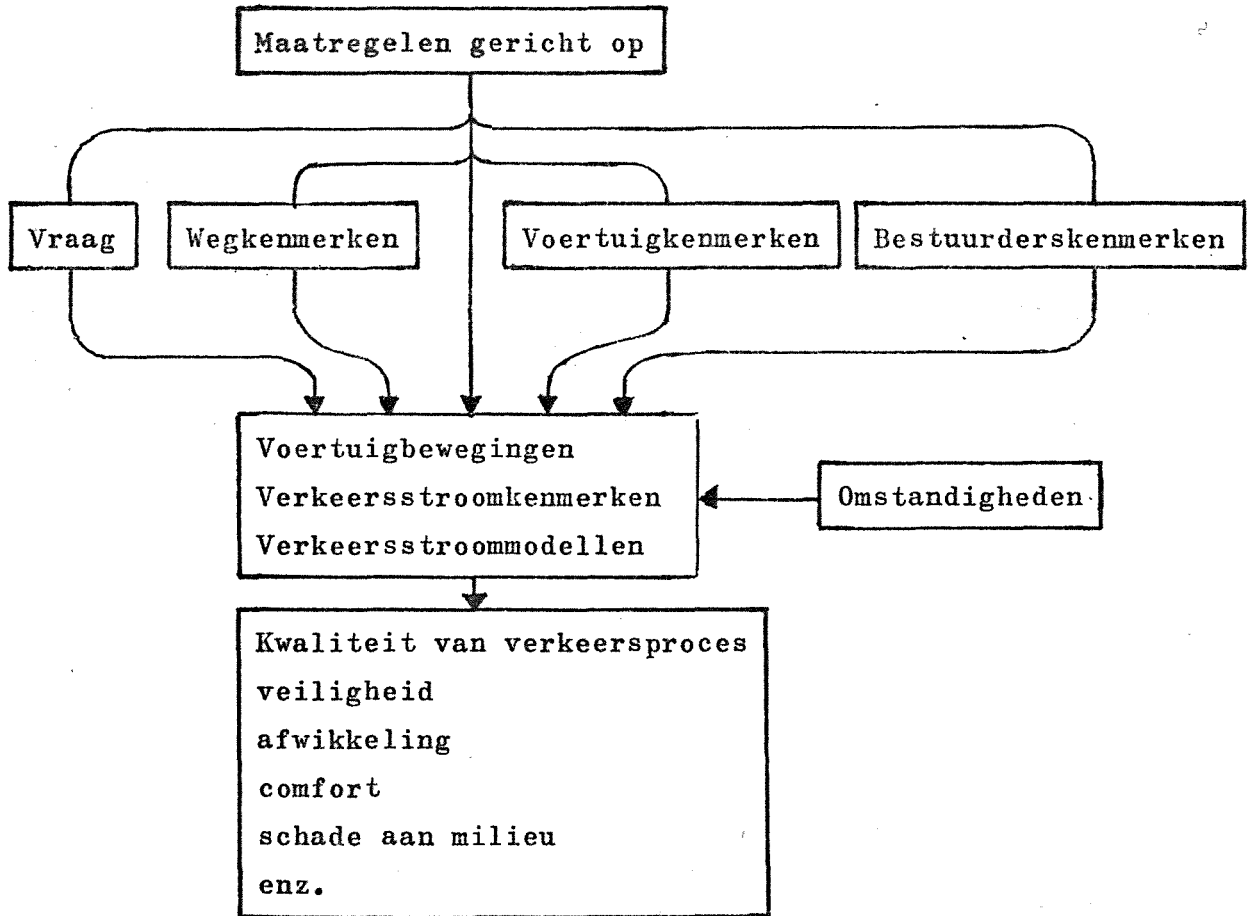
Voor wat betreft de effecten van externe factoren op de verkeersstroom zijn vooral belangrijk de relaties tussen wegkenmerken en snelheden en die tussen verschillende vormen van dynamische verkeersbeheersingssystemen en verkeersstroomkenmerken.

Naar de relaties tussen verkeersstroomkenmerken en verkeersonveiligheid is nog relatief weinig onderzoek verricht. De belangrijkste resultaten tot nu toe zijn de aangetoonde relaties tussen afwikkelingsniveau, uurintensiteit en snelheidsverdeling en ongevallenquotiënt.

Meetmethoden voor verkeersstromen zijn de laatste jaren sterk verbeterd, in het bijzonder door een betere aanpassing van meten, registreren en verwerken op elkaar. De mogelijkheden voor verkeersstroomonderzoek zijn daardoor belangrijk uitgebreid.

DANKBETUIGING

Hierbij wordt dank uitgebracht aan Professor ir. J. Volmuller van de Technische Hogeschool te Delft en aan drs. J.A.C. van Toorenborg van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat te 's-Gravenhage. Zij hebben commentaar gegeven op een eerste versie van het complete rapport, wat heeft geleid tot diverse verbeteringen.



Afbeelding 1. 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.

Gazis, D.C. Traffic Science. Wiley, New York, 1974.

Gerlough, D.L. & Huber, M.J. Traffic flow theory. Special Report 165. Transportation Research Board, Washington, 1975.