

STATE OF THE ART RAPPORT "VERKEERSSTROOMMODELLEN"

Deel VII. Microscopische verkeersstroomkenmerken

R-78-41

Ir. H. Botma

Voorburg, 1978

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Samenvatting

Symbolen

1. <u>Inleiding</u>	1
2. <u>De kenmerken</u>	2
2.1. Inleiding	2
2.2. Kenmerken gebaseerd op de voertuigtrajectorie	2
2.3. Kenmerken gebaseerd op het snelheidsverloop	4
2.4. Kenmerken gebaseerd op het versnellingsverloop	5
2.5. Diversen	6
2.6. Mathematische relaties tussen de kenmerken	8
2.7. Empirische relaties tussen de kenmerken	9
2.8. Meetmethoden	11
3. <u>Relaties met kwaliteiten verkeer</u>	13
3.1. Inleiding	13
3.2. Onveiligheid	14
3.3. Afwikkeling	16
3.4. Comfort	16
4. <u>Slotbeschouwing</u>	17

Tabellen

Literatuur

Appendix A: Verslag van Ir. C. Brouwer "Kenmerken van individuele voertuigbewegingen en de kwaliteit van het verkeer"

SAMENVATTING

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 geïnstrumenteerde voertuigen met proefpersonen en meetsystemen die willekeurige voertuigen observeren in aanmerking. Beide methoden worden kort besproken en op een aantal aspecten vergeleken.

SYMBOLLEN

a	versnelling
$C(\tau)$	autocovariantiefunctie
C_i	gewichtscoëfficiënt
f	aantal malen dat de snelheid meer verandert dan een zekere drempelwaarde
G	getal van Greenshields of inspanningsparameter
L	ritfengte
n_g	het aantal malen dat de beweging van het gaspedaal van richting verandert
n_r	het aantal malen dat de rem bediend wordt
n_s	het aantal malen dat de stuurverdraaiing van richting verandert
$P(\omega)$	spectrum
$p(\cdot)$	kansdichtheid
Q	kwaliteitsfactor
S.I.	service index
T	ritduur
T_o	oponthoud
T_r	rijtijd
T_s	stoptijd
v	snelheid
\bar{v}	gemiddelde ritsnelheid
Δs	som van de absolute waarden van snelheidsveranderingen
$\Delta \theta$	som van de absolute waarden van richtingsveranderingen
σ	standaardafwijking
τ	tijdsverschil
φ	stuurverdraaiing
ω	(cirkel)frequentie

1. INLEIDING

In dit deel van het rapport worden de zogenaamde microscopische verkeersstroomkenmerken behandeld. Ze zijn gebaseerd op individuele voertuigtrajectoriën, dat wil zeggen op de plaats van een voertuig als functie van de tijd. Van een trajectorie kan men diverse eigenschappen beschouwen. Er wordt een indeling gemaakt naar de trajectorie zelf, en naar het er uit af te leiden verloop van de snelheid en de versnelling. Dit leidt tot een groot aantal kenmerken, waarin soms ook aspecten van de laterale voertuigbewegingen en eenvoudige aspecten van de voertuigbediening worden opgenomen. De kenmerken kunnen afhankelijk zijn, enerzijds als een direct gevolg van hun definitie en anderzijds ten gevolge van de aard van het verkeersproces.

Veel van de te behandelen microscopische verkeersstroomkenmerken zijn opgesteld met het doel een, of een combinatie van verschillende, kwaliteitsaspecten van de verkeersstroom te representeren. Nagegaan zal worden in welke mate dit doel bereikt is, en wel voor de kwaliteitsaspecten onveiligheid, afwikkeling en comfort.

De inhoud van dit deel van het rapport is voor een groot gedeelte gebaseerd op een, in opdracht van de SWOV, door Ir. C. Brouwer uitgevoerde literatuurstudie, die als Appendix A is opgenomen.

2. DE KENMERKEN

2.1. Inleiding

Aan een voertuigtrajectorie kunnen vele kenmerken onderscheiden worden en men treft hiervan in de literatuur een grote verscheidenheid aan. Deze kenmerken zijn meestal opgesteld met de bedoeling een of meer kwaliteitsaspecten van de verkeersstroom te representeren. In het volgende zullen de belangrijkste van deze kenmerken behandeld worden. Daarbij is voor een indeling gekozen op grond van de mate van detail. Achtereenvolgens worden kenmerken behandeld die gebaseerd zijn op:

- de voertuigtrajectorie zelf;
- het snelheidsverloop;
- het versnellingsverloop;
- aspecten van de laterale voertuigbeweging en eenvoudige aspecten van de voertuigbediening.

Is een kenmerk gebaseerd op gegevens van meer dan een niveau, dan is het meest gedetailleerde niveau beslissend voor de klassering.

Een belangrijke bron op dit gebied is het Amerikaanse compendium "Measures of the quality of traffic service" (HRB, 1972), waarin een aantal van deze kenmerken wordt behandeld.

2.2. Kenmerken gebaseerd op de voertuigtrajectorie

Ritlengte, L

De ritlengte is de lengte van een verplaatsing tussen twee punten langs een route. Die twee punten kunnen de oorsprong en bestemming van de rit zijn, maar dit is niet noodzakelijk.

Ritduur, T

De ritduur is de duur van de rit. Het is het eerst in aanmerking komende kenmerk van een rit waarvan de ritlengte gegeven is.

Gemiddelde ritsnelheid, \bar{v}

De ritlengte gedeeld door de ritduur levert de gemiddelde ritsnelheid op. Dit kenmerk hoort in deze klasse thuis en niet in de volgende, omdat het snelheidsverloop er niet voor nodig is.

Rijtijd en stoptijd, T_r en T_s

De ritduur kan men verdelen in rijtijd en stoptijd. Dit is een eerste poging het niet ideale verloop van een rit te karakteriseren. Op zichzelf hebben rijtijd en stoptijd weinig betekenis, ze zullen gezamenlijk met ritlengte en/of ritduur beschouwd moeten worden. Wil men dit kenmerk in één getal uitdrukken dan komen stoptijd/ritlengte, stoptijd/ritduur en stoptijd/rijtijd in aanmerking. Een detaillering van de stoptijd in aantal stops en verdeling van de duur is ook mogelijk.

Oponthoud, T_o

Het oponthoud is het tijdverlies dat ontstaat ten gevolge van elementen die de bestuurder in zijn voortgang hinderen en die hij zelf niet kan beïnvloeden.

Het oponthoud wordt verdeeld in twee complementaire hoofdgroepen die met de oorzaak samenhangen, nl.:

- a) operationeel oponthoud, dat ontstaat door de aanwezigheid van andere verkeersdeelnemers;
- b) vast oponthoud, dat een gevolg is van bijvoorbeeld verkeerslichten en stopborden.

Het operationeel oponthoud kan dus ook gedefinieerd worden als het tijdverlies dat ontstaat ten gevolge van het niet kunnen aanhouden van de wenssnelheid. Immers de wenssnelheid wordt gedefinieerd als de snelheid die men rijdt zonder beïnvloed te worden door andere verkeersdeelnemers. Bij vast oponthoud zal men ook een of andere referentiewaarde voor de snelheid of de ritduur moeten kiezen.

Het oponthoud is een betere maatstaf voor de vlotheid van de rit dan de stoptijd, omdat daarin bijvoorbeeld niet het tijdverlies ten gevolge van afremmen en optrekken tot uiting komt en alleen de extreme invloed van andere verkeersdeelnemers. Evenals rijtijd en stoptijd zal het oponthoud in combinatie met ritlengte en/of ritduur beschouwd moeten worden.

2.3. Kenmerken gebaseerd op het snelheidsverloop

De eerste afgeleide van een trajectorie naar de tijd is de snelheid, als functie van de tijd voor te stellen door $v(t)$ en als functie van de plaats door $v(x)$. In het volgende zal met $v(t)$ gewerkt worden, maar voor $v(x)$ geldt vrijwel hetzelfde. **Vat** men het snelheidsverloop op als de uitkomst van een stochastisch proces, dan liggen de volgende afgeleide kenmerken voor de hand.

Snelheidsruis, σ_v

Dit is de standaardafwijking van $v(t)$.

Opmerking: Met de term ruis wordt in vele vakgebieden een onregelmatig en niet voorspelbaar fluctuerende grootheid aangeduid. Het is wat ongelukkig dat men in de verkeerswereld deze term voor de standaardafwijking van een dergelijke grootheid gebruikt.

Kansdichtheid, $p(v)$

Deze functie geeft aan hoe veelvuldig de diverse waarden van de snelheid voorkomen, echter ongeacht hun volgorde van optreden tijdens de rit.

Autocovariantiefunctie, $C_v(\tau)$

Deze functie geeft informatie over de lineaire afhankelijkheid van snelheden die door een tijdsinterval ter grootte τ gescheiden zijn.

Spectrum, $P_v(\omega)$

Deze functie geeft aan hoe de variantie van $v(t)$ verdeeld is over de (cirkel)frequentie ω . Een grote waarde van het spectrum bij relatief hoge frequenties duidt op snelle veranderingen van de snelheid, dus op grote versnellingen en vertragingen, en zou kunnen samenhangen met een ongunstige toestand van de verkeersstroom.

Het stochastische proces $v(t)$ zal veelal niet stationair zijn, dat wil zeggen dat de algemene kenmerken er van, waaronder de in het voorgaande genoemde, als functie van de tijd veranderen. Dit kan het interpreteren van de kenmerken bemoeilijken. Het verdient daarom overweging, alvorens de kenmerken te bepalen, de laagfrequentie component uit $v(t)$ te verwijderen, waardoor het proces meer stationair zal worden. De informatie, die het laagfrequente deel van $v(t)$ bevat, is ten dele te representeren met de kenmerken gebaseerd op de voertuigtrajectorie, die in par. 2.2. behandeld zijn.

2.4. Kenmerken gebaseerd op het versnellingsverloop

De tweede afgeleide van een trajectorie naar de tijd is de versnelling, als functie van de tijd voor te stellen door $a(t)$ en als functie van de plaats door $a(x)$.

Geheel analoog aan het snelheidsverloop kunnen hieruit worden afgeleid:

<u>Versnellingsruis</u>	σ_a
<u>Kansdichtheid</u>	$p(a)$
<u>Autocovariantiefunctie</u>	$C_a(\tau)$
<u>Spectrum</u>	$P_a(\omega)$

Daarnaast zijn er kenmerken die gebaseerd zijn op $a(t)$ of $a(x)$ en op minder gedetailleerde kenmerken van de longitudinale voertuigbeweging.

Parameter van Helly σ_a / \bar{v}

Dit is de versnellingsruis gedeeld door de gemiddelde ritsnelheid \bar{v} . Deze grootheid is geïntroduceerd door Helly & Baker (1967) en zou een maatstaf moeten zijn voor de verkeerskwaliteit op stedelijke wegen met veel verkeerslichten.

Energieveranderingsruis σ_{av}

Dit is de standaardafwijking van het product van $a(t)$ en $v(t)$. Versnellingen leveren een grotere bijdrage tot het kenmerk naarmate ze bij een hogere snelheid plaatsvinden. De naam is ontleend aan het feit dat de afgeleide naar de tijd van de kinetische energie evenredig is met het product van snelheid en versnelling. Te verwachten valt dat dit kenmerk een goede maatstaf is voor het brandstofverbruik van het voertuig.

Kwaliteitsfactor Q

Dit kenmerk is een functie van het gemiddelde over de plaats van de absolute waarde van de versnelling, het aantal malen (f) dat de snelheid meer verandert dan een zekere drempelwaarde en de gemiddelde ritsnelheid (\bar{v}). In formule:

$$Q = \bar{v} / \left(\sqrt{f/L} (1/L) \int_0^L |a(x)| dx \right)$$

Dit kenmerk is kwalitatief ongeveer het omgekeerde van de parameter van Helly, omdat de noemer van Q evenals σ_a , aangeeft in welke mate er tijdens een rit versneld en vertraagd wordt. Waarom dit echter met deze, niet bepaald voor de hand liggende, formule wordt uitgedrukt is onduidelijk.

2.5. Diversen

Getal van Greenshields of inspanningsparameter, G

Dit kenmerk is gebaseerd op longitudinale en laterale aspecten van de voertuigbeweging. Het is een functie van:

- de som van de absolute waarden van snelheidsveranderingen groter dan een zekere drempelwaarde (ca. 3 km/h), te noteren als Δs ;

- de som van de absolute waarden van de richtingsveranderingen groter dan een zekere drempelwaarde (enige graden), te noteren als $\Delta\theta$;
- de gemiddelde ritsnelheid, \bar{v} .

De formule luidt: $G = \Delta s \Delta\theta / \bar{v}$

De sommen van absolute waarden van snelheids- en richtingsveranderingen, die groter zijn dan een zekere drempelwaarde, zijn vermoedelijk door de meetmethode ingegeven operationalisering van wat men eigenlijk wil bepalen. Laat men de drempelwaarden naar nul naderen, dan blijken Δs en $\Delta\theta$ respectievelijk over te gaan in de integraal van de absolute waarde van de versnelling en de hoeksnelheid, θ' .

$$\Delta s \rightarrow \int_0^T |a(t)| dt \quad \Delta\theta \rightarrow \int_0^T |\theta'(t)| dt$$

Het invoeren van de drempelwaarden heeft tot gevolg dat kleine fluctuaties in v en θ geen bijdrage tot het kenmerk leveren. Hetzelfde kan men bereiken door de standaardafwijking te nemen, waarbij het kiezen van een drempel overbodig wordt. Een moderne versie van het Getal van Greenshields zou dan worden:

$$G^* = \sigma_a \sigma_\theta T^2 / \bar{v}$$

De factor T^2 in G^* is een gevolg van het feit dat Δs en $\Delta\theta$ geen gemiddelden maar sommen zijn. Een tweede variant van het kenmerk, die een betere vergelijking met kenmerken als de parameter van Helly mogelijk maakt, ligt nu voor de hand, nl.

$$G^{**} = \sigma_a \sigma_\theta / \bar{v}$$

Service index, S.I.

Dit kenmerk is een functie van longitudinale en laterale aspecten van de voertuigbeweging en van eenvoudige aspecten

van de voertuigbediening. De combinatie tot een kenmerk is op vele manieren mogelijk en er zijn diverse varianten in de literatuur te vinden. De hier te presenteren variant bestaat uit de som van drie termen: de eerste geeft de mate van versnellen, vertragen en van richting veranderen aan, de tweede aspecten van de bediening en de derde van de rijtijd betrokken op de ritduur. De formule is:

$$\text{S.I.} = C_1 \frac{\bar{v}}{(\Delta s/T_r)(\varphi/T_r)} + C_2 \frac{\bar{v}}{(\Delta s/T_r)((n_s+n_g+2n_r)/T_r)} + C_3 ((T/T_r)^3 - 1)$$

Hierin zijn C_1 , C_2 en C_3 gewichtcoëfficiënten, φ is de stuurverdraaiing, T de ritduur en T_r de rijtijd, n_s en n_g respectievelijk het aantal malen dat de stuurverdraaiing en de beweging van het gaspedaal van richting verandert en n_r het aantal malen dat de rem bediend wordt.

De service index is een poging aspecten van voertuigbeweging en voertuigbediening in een kwaliteitsgetal te combineren. De achtergrond van de gekozen combinatie is echter onduidelijk. Een nadeel van het opnemen van aspecten van de voertuigbediening is, dat de waarde van het kenmerk meer door eigenschappen van de bestuurder wordt bepaald dan in de gevallen waarbij uitsluitend de voertuigbewegingen beschouwd worden.

2.6. Mathematische relaties tussen de kenmerken

Uit de definities van de kenmerken volgen, zonder dat extra gegevens nodig zijn, bepaalde relaties tussen de kenmerken. Deze gelden dus altijd, onafhankelijk van wat voor andere factoren dan ook. Een aantal voorbeelden van dit type relaties zal genoemd worden.

- De standaardafwijking wordt gedefinieerd als een parameter van de kansdichtheid maar volgt ook éénduidig uit het spectrum.

- Autocovariantiefunctie en spectrum zijn elkaar Fourierge-transformeerde en dus éénéénduidig gekoppeld.
- Omdat de versnelling de afgeleide van de snelheid is, zijn de spectra van beide grootheden éénéénduidig gekoppeld.

2.7. Empirische relaties tussen de kenmerken

Deze relaties volgen niet uit de definities van de kenmerken maar uit de aard van het verkeersproces. Ze kunnen dus afhankelijk zijn van factoren als wegtype en verkeersdrukke. Theorie omtrent het verkeersproces, in meer of minder expliciete vorm, kan tot voorspelling van dit soort relaties leiden, die dan empirisch getoetst kunnen worden. Tot nu toe zijn voornamelijk eventuele lineaire afhankelijkheden van diverse kenmerken onderzocht. Drie onderzoeken op dit gebied zijn het vermelden waard.

Herman & Lam (1974) hebben de samenhang tussen rijtijd en stoptijd onderzocht bij woon-werkritten in een stedelijk gebied, met 0,8 tot 2 verkeerslichten per kilometer van de route. De rijtijd bleek in dit geval een lineaire functie van de stoptijd te zijn (correlatiecoëfficiënt 0,75). De minimale rijtijd, die optreedt bij een stoptijd gelijk aan nul, correspondeerde met een snelheid van 55 km/h.

Torres (1969) heeft gegevens verzameld in ritten van 2 mijl op een stedelijke autosnelweg, waarbij de verkeersdrukke varieerde van afwikkelniveau C tot F, dus van nog redelijk vlot verkeer tot aan congestie. Ondermeer zijn een aantal lineaire afhankelijkheden onderzocht met het volgende resultaat: correlatiecoëfficiënt tussen versnellingsruis en ritduur 0,75; tussen versnellingsruis en rijbaanintensiteit 0,75 en tussen snelheidsruis en rijbaanintensiteit 0,66.

Omtrent de relatie tussen microkenmerken onderling bij ritten in een stedelijk gebied is recent gerapporteerd door

Evans et al (1976).

Van 92 ritten van 2 mijl, uitgevoerd op routes en onder omstandigheden die representatief geacht werden voor stedelijk verkeer, werden gegevens verzameld met het doel de relatie tussen brandstofverbruik en details van de voertuigbewegingen te bepalen. De verkeerstoestand wordt wellicht het best gekarakteriseerd door de gemiddelde snelheid over 2 mijl, die varieerde van 14 tot 68 km/h. Uit het gemeten snelheids- en versnellingsverloop werden relatief veel grootheden afgeleid, die behalve met het brandstofverbruik ook onderling gecorreleerd werden. Het resultaat voor de in dit kader relevante kenmerken was als volgt (zie Tabel 1 voor de correlatiematrix):

- de kenmerken gebaseerd op de voertuigtrajectorie (variabelen 1 t/m 5) zijn onderling sterk gecorreleerd;
- het kenmerk gemiddelde versnelling (variabele 7) levert lineair onafhankelijke informatie (overigens lijkt deze informatie van weinig belang omdat de waarde sterk door toeval bepaald zal worden);
- de snelheidsruis volgt maar zeer ten dele uit de meer globale kenmerken;
- de kenmerken gebaseerd op het versnellingsverloop zijn onderling vrij sterk gecorreleerd;
- de versnellingsruis volgt maar zeer ten dele uit de meer globale kenmerken, terwijl de correlatie met de snelheidsruis het grootst is (0,63).

De belangrijkste conclusie voor dit geval is dus dat een kenmerk gebaseerd op de voertuigtrajectorie, de snelheidsruis en de versnellingsruis drie slechts zwak (lineair) samenhangende grootheden zijn.

Opgemerkt moet nog worden dat bij de bepaling van \overline{v} en \overline{a} ook de tijd dat het voertuig stilstond meetelde. Doet men dit niet dan zullen deze kenmerken groter uitvallen en wellicht ook de diverse relaties veranderen.

Vermeldenswaard is verder dat de reistijd (over de afstand

van 2 mijl) 72% van de variantie in het brandstofverbruik kon verklaren, en dat dit met behulp van drie andere variabelen slechts tot 84% was op te voeren.

De resultaten van Evans et al (1976) zijn in overeenstemming met die van Herman & Lam (1974); in beide gevallen zijn ritduur en stoptijd vrij sterk lineair afhankelijk.

Tussen de resultaten van Evans et al (1976) en Torres (1969) bestaat geen overeenstemming, maar die beide onderzoeken zijn dan ook in een verschillend verkeersmilieu, respectievelijk stedelijke wegen en autosnelwegen, uitgevoerd.

2.8. Meetmethoden

Voor het verzamelen van de gegevens komen in principe twee methoden in aanmerking:

A. Geïstrumenteerde voertuigen met proefpersonen.

B. Meetsystemen die willekeurige voertuigen observeren.

Voor realisering van methode B komen in aanmerking:

a) gebruik van een dicht stelsel detectoren (op, in of naast de weg);

b) registratie van de voertuigtrajectorie op beeld (foto, film, video) vanuit een luchtvoertuig of een vaste, hoog gesitueerde standplaats;

c) registratie vanuit een ander geïstrumenteerd voertuig.

De twee methoden A en B zullen op een beperkt aantal belangrijke aspecten vergeleken worden. Voor meer details wordt verwezen naar Deel IX van het rapport.

- Beperkingen.

Methode A is overal en altijd bruikbaar, echter variatie van voertuigtype kan bij de meer gedetailleerde kenmerken kostbaar worden door de benodigde duplicering of verplaatsing van apparatuur.

Methode B is in het algemeen niet overal (bv. niet voor lange ritten) en niet altijd (meetsysteem bv. afhankelijk van

licht- en weerscondities) te gebruiken.

- Te verzamelen kenmerken.

Met methode A zijn alle behandelde kenmerken, tot en met de voertuigbediening, te registreren.

Met methode B is het registreren van de snelheid, en zeker van de versnelling, met voldoende nauwkeurigheid moeilijk en kostbaar terwijl de voertuigbediening vrijwel in het geheel niet observeerbaar is.

- Opvallendheid.

Deze is honderd procent bij methode A omdat men met proefpersonen werkt; bij methode B is de mate afhankelijk van het toegepaste meetsysteem en in veel gevallen nihil.

In zekere zin kunnen de meetmethoden als aanvullend gezien worden, de eerste levert gedetailleerde kenmerken van weinig voertuigen en de tweede globale kenmerken van veel voertuigen.

3. RELATIES MET KWALITEITEN VERKEER

3.1. Inleiding

In Deel II van dit rapport over macroscopische verkeersstroomkenmerken is behandeld wat er bekend is van de relatie tussen deze kenmerken en kwaliteiten van het verkeer, gegeven de wegkenmerken en constante of een normale variatie vertonende omstandigheden, bestuurders- en permanente voertuigkenmerken. In Deel V is hetzelfde gedaan voor mesoscopische verkeersstroomkenmerken, waarbij dan tevens de macroscopische verkeersstroomkenmerken als gegeven beschouwd moesten worden. Een logische voortzetting hiervan is onderzoek van de relaties tussen microscopische verkeersstroomkenmerken en kwaliteiten van het verkeer, waarbij zowel de macroscopische als de mesoscopische verkeersstroomkenmerken gegeven zijn. Dus bijvoorbeeld: wat is de relatie tussen versnellingsruis en het ongevallenquotiënt op een wegvak, gegeven de intensiteit, gemiddelde snelheid, volgtijd- en snelheidsverdeling. In dit geval geldt echter nog sterker dan in de voorgaande, dat een dergelijke onderzoeksopzet maar beperkt realiseerbaar is.

De gedachte achter de boven geschetste onderzoeksmethoden is in feite dat men de kwaliteit van het verkeer wil beschrijven en voorspellen met zo globaal mogelijke gegevens van de verkeersstroom, omdat die gemakkelijker te verkrijgen en eventueel te beïnvloeden zijn. Indien dit niet het geval is, kan het handiger zijn uitsluitend microscopische verkeersstroomkenmerken te verzamelen en die aan kwaliteitsaspecten te relateren. Gaat het hierbij om onveiligheid dan is tevens de intensiteit nodig, teneinde een ongevallenquotiënt te kunnen bepalen.

In het volgende komen van de kwaliteiten van het verkeer onveiligheid, afwikkeling en comfort aan de orde.

3.2. Onveiligheid

Tussen de kenmerken die gebaseerd zijn op de voertuigtrajectorie zelf (behandeld in par. 2.2.) en onveiligheid zijn geen relaties bekend. Gezien de aard van deze kenmerken is het ook niet zo waarschijnlijk dat dergelijke relaties bestaan.

Tussen de kenmerken die gebaseerd zijn op het snelheidsverloop (behandeld in par. 2.3.) en onveiligheid zijn geen relaties bekend. In dit geval lijkt het echter niet uitgesloten dat er dergelijke relaties bestaan. Zo zou een grote standaardafwijking van het snelheidsverloop, met name op een homogene weg, kunnen wijzen op een gevaarlijke situatie. Op een route met veel kruisingen zijn veelvuldige en relatief grote snelheidsveranderingen veelal onvermijdelijk en zegt een grote standaardafwijking niet veel. In dat geval zou de vorm van het snelheidsspectrum wel iets kunnen zeggen, in die zin dat bijdragen bij relatief hoge frequenties ongunstig zijn.

Voor wat betreft de relaties tussen kenmerken gebaseerd op het versnellingsverloop, en daarvan vooral versnellingsruis, en onveiligheid is meer informatie beschikbaar. Een overzicht hiervan wordt gegeven door Brouwer (1975). Hierin wordt enerzijds een aantal gevallen genoemd waarbij een verschil in onveiligheid samen gaat met een, soms aannemelijk, verschil in versnellingsruis. Anderzijds worden geobserveerde waarden van versnellingsruis en ongevalenquotiënt voor verschillende wegtypen met elkaar vergeleken. Wat daarbij echter meestal ontbreekt is een analyse van alternatieve "verklaringen" voor het verschil in onveiligheid, bijvoorbeeld in termen van eenvoudige weg- en verkeerskenmerken.

Aparte vermelding verdient een onderzoek van Heimbach et al (1968). Hierin wordt het microscopische verkeersstroomkenmerk snelheidsverandering over een rijtijd van 1 minuut beschouwd.

Dit wordt gedefinieerd als het aantal malen per minuut dat de snelheid meer dan 2 mijl/h verandert. Neemt men de limiet van deze grootte voor naar nul gaande snelheidsstap, wat tevens betekent dat de versnelling die men nog kan onderscheiden naar nul gaat, dan blijkt dit te leiden tot de integraal van de absolute waarde van de versnelling naar de tijd. Het kenmerk kan dus gezien worden als een operationalisering hiervan.

Met een geïnstrumenteerd voertuig is het effect van de volgende factoren op dit kenmerk onderzocht:

- wegvak (6 vrij homogene wegvakken van verschillende wegcategorieën met verschillende etmaalintensiteit)
- rijrichting
- dag (alleen werkdagen)
- tijd van de dag (binnen de periode $6\frac{1}{2}$ tot $21\frac{1}{2}$ uur)
- bestuurder (5 personen).

Met behulp van variantieanalyse bleek dat alle factoren een significant effect hadden, echter ten opzichte van de factor wegvak waren de overige te verwaarlozen voor wat betreft de grootte van het effect. Dit maakte het mogelijk te onderzoeken of het ongevallenquotiënt op de wegvakken samenhang met dit microkenmerk. Op één uitzondering na was er sprake van een monotone relatie. Aangezien de wegvakken op veel meer punten dan etmaalintensiteit en ongevallenquotiënt verschillend zullen zijn geweest, is dit resultaat moeilijk te interpreteren. Het geplande vervolgonderzoek lijkt hieraan tegemoet te komen. Daarbij wil men het onderzoek herhalen voor een verzameling wegvakken van één wegcategorie (enkelbaans "primary road"), die weinig verschillen in wegkenmerken maar wel in belasting en ongevallenquotiënt. Hiervan zijn echter geen resultaten bekend.

Van de overige, in het bovenstaande niet genoemde, kenmerken is niet bekend of en hoe ze met de onveiligheid samenhangen. Voor zover de mate van versnellen en vertragen er in voorkomt, geldt ongeveer hetzelfde als in voorgaande omtrent versnellingsruis is opgemerkt.

3.3. Afwikkeling

De term afwikkeling wordt meestal in algemene ongedefinieerde zin gebruikt. Het geeft iets weer van de mate van vlotheid of doorstroming van het verkeer. Op macroscopisch gebied is de afwikkeling geoperationaliseerd tot zekere combinaties van intensiteit, betrokken op de capaciteit, en gemiddelde snelheid. Op microscopisch niveau is de reistijd, in dit deel aangeduid met ritduur, de voor de hand liggende eerste operationalisering van de afwikkeling. Daarnaast zijn de andere kenmerken, die op de voertuigtrajectorie zelf zijn gebaseerd, als stoptijd, aantal stops en oponthoud, geschikte operationaliseringen van bijkomende afwikkelingsaspecten. Hiermee gelden de relaties tussen afwikkeling en deze groep van microscopische verkeersstroomkenmerken dus per definitie. Tevens zijn op deze manier de relaties tussen afwikkeling en de overige microscopische verkeersstroomkenmerken (gebaseerd op snelheids- en versnellingsverloop) teruggebracht tot relaties tussen microscopische kenmerken onderling, die reeds in par. 2.7. behandeld zijn.

3.4. Comfort

Het kwaliteitsaspect comfort wordt vaak genoemd, echter meestal zonder dat het gedefinieerd wordt. Vermoedelijk heeft comfort zoveel aspecten dat het niet op eenduidige wijze is te operationaliseren. Hieruit volgt niet dat men het kwaliteitsaspect comfort buiten beschouwing kan laten. Zo zullen bij het wegontwerp bepaalde eisen, bijvoorbeeld omtrent de vlakheid van de weg, de kromtestraal van een boog, de lengte van een vertragingsstrook, mede gebaseerd worden op aspecten van comfort. Voor het relateren van microscopische verkeersstroomkenmerken aan het comfort ontbreekt echter een geschikte operationele definitie. Wel kan men stellen dat bepaalde microscopische verkeersstroomkenmerken een aspect van het comfort representeren, bijvoorbeeld het aantal stops, de versnellingsruis en de kwaliteitsfactor.

4. SLOTBESCHOUWING

- De kenmerken

De meeste kenmerken hebben uitsluitend betrekking op de longitudinale beweging van de voertuigen. Bij de kenmerken die gebaseerd zijn op het verloop van de longitudinale versnelling valt, in plaats van een uitbreiding met de hoeksnelheid, te overwegen hiervoor de laterale versnelling te nemen. Bij combinatie tot één kenmerk is het dan een voordeel dat de dimensies gelijk zijn, zodat men ook sommen, eventueel gewogen of vectorieel, kan beschouwen. Op deze wijze kan ook het belang van het gelijktijdig optreden van grote langs- en dwarsversnellingen gerepresenteerd worden. Een uitbreiding met de verticale versnelling valt te overwegen als men in een relatie met comfort geïnteresseerd is.

Het opnemen van aspecten van de voertuigbediening in de kenmerken lijkt, zeker op de arbitraire manier zoals het tot nu toe is gebeurd, 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 registratieapparatuur en de niet machinale verwerking. Operationaliseringen op deze gronden zijn met de nu beschikbare middelen vrijwel niet meer nodig, wat de onderlinge vergelijkbaarheid van de kenmerken en onderzoeksresultaten ten goede kan komen.

- Meetmethoden

Met de huidige beschikbare geïnstrumenteerde voertuigen zijn alle beschouwde kenmerken voldoende nauwkeurig en ook redelijk efficiënt te meten, registreren en verwerken. Wil men microscopische verkeersstroomkenmerken van willekeurige voertuigen verzamelen, dan is de situatie, behalve bij de meest eenvoudige als ritduur en stoptijd, nog steeds problematisch. Bij beide meetmethoden rijst de vraag of het bepaalde kenmerk wel in voldoende mate representatief is voor de ver-

keersstroom, en niet te veel afhankelijk van de bestuurders- en voertuigeigenschappen.

Binnen Nederland is ondermeer een uitvoerig geïnstrumenteerd voertuig in gebruik bij het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO. Met de instrumentatie kunnen aspecten van de voertuigbeweging, de voertuigbediening en het gedrag van de bestuurder worden geregistreerd. Dit voertuig wordt o.a. gebruikt bij het onderzoek "Analyse Rijtaak" van de SWOV.

- Samenhang van de kenmerken

Het is van belang de samenhang tussen de kenmerken te kennen omdat dit tot meer inzicht in het verkeersproces en een efficiëntere verzameling van de gegevens kan leiden. Tot nu is voornamelijk de eventuele lineaire afhankelijkheid van de diverse kenmerken onderzocht.

Zoals reeds gesteld zal een minder van de definities afwijkende operationalisering op zich zelf reeds de onderlinge vergelijkbaarheid van de kenmerken ten goede komen. Verder is met een geïnstrumenteerd voertuig onderzoek van samenhang van de kenmerken goed uitvoerbaar.

- Relaties met de verkeerskwaliteit

Gegeven operationele definities van de verkeerskwaliteit kan men trachten relaties met microscopische verkeersstroomkenmerken te leggen. Sommige relaties zijn van eenvoudige aard, andere zullen uit de aard van het verkeersproces kunnen volgen.

Afwikkelingsaspecten lijken voldoende met behulp van microkenmerken beschreven en gedefinieerd te kunnen worden.

Een eventuele relatie met onveiligheid is van nature veel complexer. Met uitzondering van enige triviale gevallen zijn er dan ook hoogstens enige verbanden aannemelijk gemaakt, maar niet bewezen.

Historisch heeft versnellingsruis de meeste aandacht gekregen. Het is echter de moeite waard, en met de huidige registratie en analyse methoden ook mogelijk, uit een uitgebreide

verzameling van microkenmerken en ongevalsgegevens de optimale relatie te bepalen. Dat wil zeggen na te gaan welke functie van een of meer microkenmerken het ongevalenquotiënt het beste voorspelt. Dit moet echter steeds afgewogen worden tegen een meer globale aanpak waarbij de relatie tussen macroscopische en mesoscopische verkeersstroomkenmerken met onveiligheid wordt bepaald.

Tenslotte de relatie met comfort, waarbij het een probleem is dat de meest geschikte operationalisering hiervan niet bekend is. Bovendien kunnen er comfortaspecten bestaan die niet in de voertuigbewegingen tot uiting komt. De indruk bestaat echter dat dit kwaliteitsaspect sterk met de overige twee zal samenhangen en dus niet zo belangrijk is.

- Toepassingen

Er is in feite nog te weinig kennis op het gebied van de microscopische verkeersstroomkenmerken voor expliciete toepassingen. Eerst dienen de relaties met de diverse kwaliteitsaspecten, voorzover ze niet per definitie bestaan, betrouwbaar te worden vastgesteld. Daarna kan dan eventueel het microscopische verkeersstroomkenmerk, mits het gemakkelijker te verzamelen is dan het betreffende kwaliteitsaspect, dienen als vervangende maatstaf. Met name voor wat betreft de onveiligheid bestaat er een grote behoefte aan een betrouwbare voorspeller, zodat het "wachten" op de ongevallen niet meer nodig is.

	rit- duur 1	\bar{v} 2	stop- tijd 3	(3)/ (1) 4	aant. stops 5	σ_v 6	$\Delta v/T$ 7	σ_a 8	a_{max} 9	a_{min} 10
1	1	/	0.86	0.72	0.85	*	*	*	*	/
2		1	/	/	/	-0.27	*	-0.40	-0.28	-0.48
3			1	0.93	0.79	*	*	*	*	0.35
4				1	0.67	0.46	*	0.32	0.35	0.48
5					1	*	*	0.32	*	0.40
6						1	*	0.63	0.49	0.60
7							1	*	*	*
8								1	0.67	0.85
9									1	0.56
10										1

Toelichting:

$\Delta v/T$ gemiddelde versnelling tijdens de rit =
 $(v_{eind} - v_{begin})/\text{ritduur}$

a_{max} maximale versnelling tijdens de rit

a_{min} minimale versnelling tijdens de rit

* correlatiecoëfficiënt niet significant $\neq 0$ met $p=1\%$

/ van de correlaties met ritduur en \bar{v} is de grootste vermeld en de ander weggelaten, omdat ritduur en \bar{v} dezelfde informatie representeren

Tabel 1. Correlatiematrix van een aantal microscopische verkeersstroomkenmerken bij ritten in een stedelijk gebied. Bron: Evans et al (1976).

LITERATUUR

Brouwer, C. Versnellingsruis en de kwaliteit van de verkeersstroom. Verkeerskunde 26 (1975) 1 : 8-16.

Evans, L., Herman, R., Lam, T. Multivariate analysis of traffic factors related to fuel consumption in urban driving. Transportation Science 10 (1976) 2 : 205-215.

HRB. Measures of the quality of traffic service. Special report 130. Highway Research Board, Washington, 1972.

Heimbach, C.L., Cribbens, P.D., Horn, J.W. et al. Developing traffic flow indices for the detection of high accident potential highways in North Carolina; Part I, final report. North Carolina State University, North Carolina, 1968.

Helly, W. & Baker, P.G. Acceleration noise in a congested signalized environment. In: Edie, L.C. et al (ed) Vehicular Traffic Science. Proc. III Int. Symp. on the theory of traffic flow. Elsevier, New York, 1967.

Herman, R. & Lam, T. Trip time characteristics of journeys to and from work. In: Buckley, D.J. (ed) Proc. VI Int. Symp. on transportation and traffic theory. Elsevier, New York, 1974.

Torres, J.F. Acceleration noise, power spectra, and other statistics derived from instrumented vehicle measurements under freeway driving conditions. System Development Corporation, Santa Monica, 1969.

KENMERKEN VAN INDIVIDUELE VOERTUIGBEWEGINGEN EN DE KWALITEIT VAN
HET VERKEER

APPENDIX A

bij

State of the art report "VERKEERSSTROOMMODELLEN"

Deel VII. Microscopische verkeersstroomkenmerken (R-78-41)

Ir. C. Brouwer

Voorburg, 1978

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

1.	<u>Inleiding</u>	4
1.1.	De kwaliteit van het verkeer	4
1.2.	Invloed van de verkeersintensiteit en de toestand van de weg op de voertuigbewegingen	6
2.	<u>Verkeersparameters en methoden om de voertuigbewegingen en de kwaliteit van het verkeer te kenmerken</u>	9
2.1.	Parameters waarbij men een <u>tijdvak</u> beschouwt	9
2.1.1.	Overzicht	9
2.1.2.	Ritduur	9
2.1.3.	Rijtijd	10
2.1.4.	Ritduur per afstand	12
2.1.5.	Oponthoud	13
2.2.	Parameters en methoden waarbij men de <u>snelheid</u> van het voertuig beschouwt	15
2.2.1.	Overzicht	15
2.2.2.	Gemiddelde ritsnelheid	17
2.2.3.	Ontwerpsnelheid	17
2.2.4.	Gemiddelde ontwerpsnelheid	19
2.2.5.	Kruissnelheid	20
2.2.6.	Momentane snelheid	21
2.2.7.	Snelheidsruis	22
2.2.8.	De standaarddeviatie van de snelheidsruis	23
2.2.9.	Histogrammen van snelheid	24
2.2.10.	Het vermogensdichtheidsspectrum van de snelheid	25
2.3.	Parameters en methoden waarbij men de <u>versnelling</u> van het voertuig beschouwt	26
2.3.1.	Overzicht	26
2.3.2.	Versnellingsruis	27
2.3.3.	De parameter van Helly	28
2.3.4.	De kwaliteitsfactor	29
2.3.5.	De service-index	30
2.3.6.	De inspanningsparameter	32

2.3.7.	Het getal van Greenshields	34
2.3.8.	Energieveranderingsruis	34
2.3.9.	Histogrammen van versnelling	36
2.3.10.	Het vermogensdichtheidsspectrum van de versnelling	37
2.4.	Methoden waarbij men het optreden van bepaalde gebeurtenissen beschouwt en telt	39
2.4.1.	Overzicht	39
2.4.2.	Het wrijvingsconcept	39
2.4.3.	Het aantal malen dat men van rijstrook wisselt	41
3.	<u>Besluit</u>	43
3.1.	Beschouwing	43
3.2.	Overzicht van de parameters en methoden om de voertuigbewegingen te kenmerken en in verband te brengen met de kwaliteit van het verkeer	45
	<u>Afbeeldingen 1 t/m 3</u>	46
	<u>Literatuuroverzicht</u>	50

1. INLEIDING

1.1. De kwaliteit van het verkeer

Het is moeilijk om een definitie van de kwaliteit van het verkeer te geven. De ingenieur die de weg bouwt, de verkeerskundige, de politicus, de econoom en de automobilist, zij allen zullen het probleem vanuit verschillende gezichtshoeken zien.

De man die de wegen bouwt zal vooral de breedte van de rijstroken, de straal van de bogen, het ontwerp van de vluchtstrook en de effenheid van het wegoppervlak van belang vinden. De verkeerskundige die verantwoordelijk is voor de bewegingen van alle voertuigen en voetgangers zal vooral letten op de intensiteit, de snelheid en de dichtheid van het verkeer. De politicus zal ook rekening willen houden met de reactie van de bevolking en wel in het bijzonder met de groep van de bevolking die hem gekozen heeft. De econoom is vooral geïnteresseerd in de kosten: het kapitaal dat in de wegenbouw geïnvesteerd wordt en het profijt dat dit ook voor de niet-weggebruiker oplevert.

In het volgende zal de kwaliteit van het verkeer zoals de automobilist die beoordeelt, oftewel de service die de automobilist geboden wordt, besproken worden. Eerst zal nagegaan worden op grond van welke criteria de doorsnee automobilist het verkeer beoordeelt. Indien een automobilist langs twee verschillende wegen zijn doel kan bereiken, kiest hij voor de weg met de kortste ritduur. Als de mate waarin hij moet versnellen en vertragen en opletten bij route A veel groter is dan bij route B, kiest hij, zelfs indien de duur van de rit via route B enigszins langer is, voor route B; Michaels (1960) en Heimbach (1963). De automobilist is zich tijdens de rit niet bewust van de intensiteit op de weg waar hij op rijdt. Wel realiseert hij zich zijn snelheid, de dichtheid en het rijcomfort. Verder mag aangenomen worden dat hij liefst zo weinig mogelijk kosten maakt en dat hij vóór verkeersveiligheid is. Teneinde de kwaliteit van de verkeerstroom - vanuit het standpunt van de automobilist - te beoordelen, zou men met het volgende rekening willen houden:

1. Snelheid en ritduur. Men beschouwt niet alleen de snelheid tijdens de rit, maar ook de tijd die de hele rit, waarbij men zich over wegvakken die dikwijls van verschillende kwaliteit zijn verplaatst, duurt.
2. Verkeersonderbrekingen en beperkingen. Men beschouwt o.a. het aantal malen dat men per kilometer moet stoppen, het oponthoud en de grootte en de frequentie van de versnellingen die men, als men met de verkeersstroom meerijdt, ondergaat.
3. Vrijheid om te manoeuvreren. Welke vrijheid om te manoeuvreren heeft men? Of, met andere woorden: in welke mate kan men zijn weg en zijn momentane snelheid bepalen als men zijn kruissnelheid wil handhaven?
4. Veiligheid. Men beschouwt niet alleen het aantal ongevallen dat optreedt, maar men beschouwt ook potentiële gevaren.
5. Het rijcomfort oftewel het gemak waarmee men rijdt. Men beschouwt in hoeverre de vorm en de toestand van de weg en verder de verkeers- toestand het rijcomfort beïnvloeden.
6. De onkosten. Hoeveel kost een rit? Men beschouwt niet alleen het brandstofverbruik, maar ook de slijtage van de auto.

Een automobilist beoordeelt een rit met zijn voertuig minstens op grond van de volgende 4 factoren: ritduur, onkosten, veiligheid en rijcomfort. Afhankelijk van het doel van zijn rit zal hij echter bij de beoordeling aan verschillende factoren prioriteit geven. Iemand die bijvoorbeeld op tijd voor een belangrijke afspraak moet zijn en een beetje aan de late kant is, zal de meeste waarde hechten aan een minimale ritduur. Een student die weinig geld maar wél een auto bezit, zal vooral op de kosten letten en voor een huisvader die zondags 's middags een ritje met zijn gezin maakt zijn vooral het rijcomfort en de verkeersveiligheid van belang. In de aan Platt (1963) ontleende Tabel 1 is de prioriteit - deze wordt aangegeven door een nummer - die een automobilist aan een bepaalde factor toekent, als functie van het doel van de rit aangegeven. Hierbij moet opgemerkt worden dat niet alle getallen in de tabel afkomstig zijn van onderzoeken.

Doel van de rit	Ritduur	Onkosten	Veiligheid	Rijcomfort
Naar en van het werk	1	3	4	2
Recreatie	2	4	3	1
Winkelen	3	1	2	4
Zakelijk	1	2	3	4
Naar en van school	3	4	1	2

Tabel 1.

Blijkbaar wordt het verkeer per automobilist - iedere automobilist heeft immers zijn eigen prioriteiten - en per rit - de prioriteiten van een automobilist veranderen als het doel van zijn rit verandert - beoordeeld.

Het is duidelijk dat het moeilijk is om van de kwaliteit van het verkeer te spreken. In dit verslag is er van uitgegaan dat de factoren ritduur, onkosten, veiligheid en rijcomfort - de volgorde is een maat, althans daar gaat het merendeel der onderzoekers van uit, voor de prioriteit - de gemiddelde waarde van de wensen van de automobilisten vertegenwoordigen. De verkeersparameters en methoden, om de individuele voertuigbewegingen te kenmerken, zullen op grond hiervan beoordeeld worden.

1.2. Invloed van de verkeersdrukke en de toestand van de weg op de voertuigbewegingen

Het rijgedrag van een automobilist die op een goede weg zonder veel verkeer rijdt verandert als het verkeer op die weg zeer druk wordt. Hetzelfde geldt voor een bestuurder die op een weg, die in zeer goede staat verkeert, rijdt en zich daarna over een weg met een oneffen wegdek en/of zeer scherpe bogen gaat verplaatsen.

In Tabel 2 is een overzicht van deze veranderingen gegeven.

Een "doorsnee" automobilist die op een goede weg zonder veel verkeer rijdt	Dezelfde automobilist die op een goede weg die bijna maximaal belast is, of op een weg met zeer scherpe bogen en/of een oneffen wegdek rijdt
<hr/>	
heeft snelheid, v.	zijn snelheid is lager dan v.
versnelt en vertraagt soms enigszins	de frequentie en de grootte van de versnellingen en vertragingen nemen toe*
loopt kans op een ongeval	het ongevalsrisico is groter
verbruikt brandstof en veroorzaakt slijtage aan de auto	het brandstofverbruik en de slijtage nemen toe*
moet zich enigszins inspannen	moet zich meer inspannen
veroorzaakt verkeerslawaaï en luchtverontreiniging	veroorzaakt grotere hoeveelheden verkeerslawaaï en luchtverontreiniging

(* zie Brouwer, 1975)

Tabel 2.

Verder zijn er vrij sterke aanwijzingen dat op wegen van hoge categorie bij hoge belasting en/of congestie de onveiligheid toeneemt. Dit gaat samen met een toename van de grootte en de frequentie van de versnellingen die een voertuig op een dergelijke weg ondervindt. Zo vermeldt Beukers (1974) dat op wegvakken van Nederlandse autosnelwegen met in het maatgevende spitsuur afwikkelingsniveau E of

F (bijna-congestie of congestie) het aantal ongevallen per 10^6 voertuigkm ca. 2 maal groter is t.o.v. wegvakken met afwikkelingsniveau A of B.

Ook Silyanow (1973) vond een hoger aantal ongevallen per voertuigkm bij hoge intensiteit, echter tevens een verhoogd risico bij lage intensiteiten. In hoeverre dit laatste verklaard kan worden blijft hier buiten beschouwing. Wel blijkt uit het laatste dat de algemene trend meer verkeer (men gaat er van uit dat de toename van het verkeer die van de wegenbouw overtreft) leidt tot slechtere kwaliteit in het algemeen, hoewel niet altijd voor alle kwaliteitsaspecten, wel opgaat.

2. VERKEERSPARAMETERS EN METHODEN OM DE VOERTUIGBEWEGINGEN EN DE KWALITEIT VAN HET VERKEER TE KENMERKEN

2.1. Parameters waarbij men een tijdvak beschouwt

2.1.1. Overzicht

Meetmethoden

Met een stopwatch of een ander eenvoudig uurwerk meet men het tijdvak gedurende welke een auto zich over een bepaald wegvak verplaatst. Men doet dit wel door buiten de auto het nummerbord te noteren en vervolgens de tijdstippen waarop het voertuig bepaalde punten langs de weg passeert, te bepalen. Een andere methode is om in een auto het tijdvak, waarin dit voertuig over het wegvak rijdt, te bepalen. Opgemerkt kan worden dat deze metingen op eenvoudige wijze en met een minimum aan apparatuur zijn uit te voeren.

Opsomming van de parameters

1. Ritduur
2. Rijtijd
3. Ritduur per afstand
4. Oponthoud

2.1.2. Ritduur

Definitie

De ritduur is het tijdvak waarin het voertuig zich van het beginpunt naar het eindpunt van de rit verplaatst. Vertragingen en dus ook de tijd dat het voertuig stil staat, worden meegerekend.

Metten

1. Door het maken van proefritten. Men rijdt het traject met een gewone personenauto volgens de "floating car" methode en men registreert de tijd dat men onderweg was. De bestuurder heeft dan de opdracht om met de verkeerstroom mee te rijden en uitsluitend nadat hij zelf ingehaald is, een andere auto in te halen.

2. Door het registreren van nummerborden. Men noteert of fotografeert het nummerbord en de tijdstippen waarop de auto het begin- en eindpunt van het traject dat men beschouwt, passeert.
3. Door het afnemen van een interview. Men vraagt de automobilist die een bepaald traject dagelijks aflegt, bijvoorbeeld als hij van huis naar zijn werk gaat, om zijn ritduur op te nemen.

Toepassingen

1. Men gebruikt deze parameter om 2 verschillende routes te vergelijken. Welke route is het snelst?
2. Men gebruikt deze parameter ook wel om de invloed die veranderingen aan de weg - bijvoorbeeld verbredingen, verbetering van bogen, ander wegdek, of een verandering in de coördinatie van de verkeerslichten - op het rijgedrag hebben vast te stellen.

Evaluatie

De kwaliteit van het verkeer wordt zoals gezegd beoordeeld op grond van de ritduur, de onkosten, de verkeersveiligheid en de inspanningen t.g.v. het chaufferen.

De ritduur geeft alleen informatie omtrent de duur van de rit en niet ten aanzien van de onkosten, de verkeersveiligheid en de inspanningen van de bestuurder.

De waarde van deze verkeersparameter is op zeer eenvoudige wijze en met eenvoudige middelen te bepalen.

Literatuur

Berry & Green (1949), Berry (1952), Kennedy et al. (1966), Sandys & Schlaefli (z.j.), Walker (1957), Institute of Traffic Engineers (1964).

2.1.3. Rijtijd

Definitie

De rijtijd is de tijd dat het voertuig rijdt. Deze parameter, t_r , schrijft men in een algebraïsche vorm:

$$t_r = T - \sum_{i=1}^n d_i$$

waarin: t_r = de rijtijd; T = de totale ritduur; d_i = de tijd die men bij de i -de stop stil stond, en n het aantal malen dat men stopt. Het is de ritduur min de tijd dat de auto stilstond.

Metten

Deze parameter is op eenvoudige wijze en goedkope wijze te bepalen:

1. De meetmethode waarbij slechts één persoon de waarnemingen verricht. Deze rijdt de auto en drukt op een stopwatch als de auto stopt en ook als hij weer wegrijdt. Na afloop van de rit kan men de totale "gestopte tijd" en ook de ritduur op de stopwatch aflezen.
2. Meten met 2 personen: De bestuurder registreert de gehele ritduur; degene die meerijdt registreert de duur, de frequentie en het waarom van het stilstaan.
3. Men maakt gebruik van een snelheidsmeter die de snelheid als functie van de tijd registreert. Uit de waarnemingen vindt men niet alleen de tijd dat het voertuig stil stond, maar eveneens de tijdvakken gedurende welke het voertuig met een snelheid lager dan de gewenste, reed.

Toepassingen

Deze parameter leent zich goed voor het onderzoeken van verkeersstromen waarin veel gestopt wordt. Deze vindt men in de regel op wegen die overbelast zijn en die bevinden zich heel vaak in steden en verstedelijkte gebieden. Verder op wegen waarin ophaalbruggen of spoorwegovergangen voorkomen.

Hij wordt eveneens gebruikt bij het maken van economische studies om de kosten die wachttijden met zich meebrengen te bepalen. Hierbij beschouwt men niet alleen het tijdverlies van de automobilist, maar ook de verliezen die bedrijven lijden als ze moeilijker bereikbaar worden en de economische gevolgen van de toename van het ongevalsrisico als het verkeer zeer druk wordt.

Evaluatie

De waarde van deze parameter is op goedkope en eenvoudige wijze te bepalen.

Het aantal malen dat men moet stoppen komt in deze parameter tot uitdrukking. Verkeersomstandigheden waarbij dit plaats vindt - druk verkeer - gaan samen met een toename van de onkosten - brandstof en slijtage - het ongevalsrisico en de inspanningen van de automobilist. Bij genoemde verkeersomstandigheden is de waarde van deze parameter een maat voor de kwaliteit van het verkeer. (We gingen er immers van uit dat deze bepaald wordt door de ritduur, de onkosten, het ongevalsrisico en de inspanningen van de automobilist t.g.v. het chaufferen.)

Literatuur

Gibbons & Proctor (1954), Haley & Hall (1963).

2.1.4. Ritduur per afstand

Definitie

De ritduur per afstand (in het Engels "overall travel rate") is het tijdvak waarin een voertuig een bepaalde afstand - bijvoorbeeld 1 kilometer - aflegt.

Het is dus het omgekeerde van de gemiddelde waarde van de snelheid over die afstand.

Metten

Als de afstand gedefinieerd is, zijn deze metingen hetzelfde als die genoemd onder ritduur.

Toepassingen

Deze parameter heeft bijna dezelfde toepassingsmogelijkheden als de ritduur. Men heeft nu dus de informatie per eenheid van afstand, dus bijvoorbeeld per kilometer. Hij wordt o.a. gebruikt voor:

1. Het bepalen van de meest efficiënte route in een netwerk van straten.
2. Het vinden van de beste route van huis naar werk en vice versa.
3. Bij het bepalen van de plaats waar een grossier zijn warenhuis aanlegt.

Evaluatie

Deze verkeersparameter is met weinig middelen - een horloge en een personenauto - te bepalen. Bij de bepaling van de kwaliteit van de verkeersstroom komt alleen het aspect ritduur ter sprake. De afstand waarover men dit aspect wil beschouwen kan men echter vrij kiezen. Men verkrijgt via deze parameter geen informatie omtrent de onkosten, de verkeersveiligheid en de inspanningen van de automobilist ten gevolge van het chaufferen. Het is wel mogelijk om aan de hand van deze parameter de kwaliteit van 2 verkeersstromen, althans het aspect ritduur van die kwaliteit, te vergelijken. Voor dit doel wordt deze parameter veel gebruikt.

2.1.5. Oponthoud

Definitie

Oponthoud (in het Engels "delay") is de tijd gedurende welke de verkeersdeelnemer in zijn voortgang gehinderd wordt door elementen waarover hij zelf geen controle heeft. Het oponthoud wordt uitgedrukt in seconde of uren per voertuig.

Betekenis

Aangezien er bij het wegverkeer dikwijls oponthoud optreedt en dit ongewenste gevolgen heeft - economische, psychologische - is het van belang om het kwantitatief te kunnen bepalen.

Men onderscheidt 2 soorten oponthoud.

1. Vast oponthoud: dit ontstaat door de invloed van vaste kenmerken, zoals verkeerslichten of stopborden langs de weg. Dit soort vertraging treedt zowel bij grote als bij kleine verkeersdrukke op.

2. Operationeel oponthoud: dit ontstaat door het verkeer, dus doordat voertuigen elkaar in hun bewegingen belemmeren. Ze komt tot uitdrukking in het verschil in ritduur indien men een traject bij grote en bij kleine verkeersdrukke aflegt. Andere voorbeelden zijn: oponthoud door afslaande of parkerende voertuigen en oponthoud ten gevolge van opstoppingen op overbelaste wegen.

Meten

1. Iemand met een stopwatch bevindt zich in een personenauto. Het oponthoud vindt men door de perioden dat de auto stopt, of langzamer moet rijden dan hij zou wensen ten gevolge van vast of operationeel oponthoud, te registreren. Soms bevindt zich een verkeersanalysator in het voertuig; hiermee kan men ook de reden van de vertraging op eenvoudige wijze registreren.

Deze meetmethode kan onder alle omstandigheden toegepast worden; hij wordt echter vooral in het stadsverkeer toegepast.

2. Door middel van 2 of meer detectoren op de weg; zie Kell (1963), Shaw & Michael (1968) en Ashworth (1969). Men kan hiervoor detectoren die door middel van ultrasone trillingen werken, maar ook magnetische lusdetectoren, pneumatische detectoren, of optische detectoren gebruiken.

Eerst meet men de ritduur van detector tot detector als er geen congestie is en vervolgens doet men dit weer als er wél congestie is. Het oponthoud is het verschil in uitkomst tussen de eerste en de tweede meting. Deze methode wordt veel toegepast op snelwegen waar congestie optreedt.

3. Door middel van televisieopnamen; zie Goolsby (1971). Van sommige delen van snelwegen en knooppunten worden in de V.S. van Noord-amerika voortdurend televisieopnamen gemaakt. Door afwisseld naar het televisiescherm en een uurwerk te kijken kan men het tijdvak waarin een voertuig een bepaalde afstand aflegt, bepalen. Zodoende kan men dus ook, althans indien dit optreedt, het oponthoud bepalen. Deze meetmethode wordt bij voorkeur toegepast als er oponthoud ten gevolge van een ongeval of een defecte auto optreedt.

4. Met behulp van een fototoestel dat intermitterend opnamen maakt en zich op een vast punt boven de weg bevindt. Men fotografeert het verkeer op de weg. Bij het analyseren van de foto's gaat men na hoe lang de auto achter een vrachtwagen, die met een lagere snelheid dan de gebruikelijke snelheid van de personenauto's op deze weg rijdt, "gevangen zit" alvorens deze ingehaald kan worden. De snelheid van de personenauto die door de vrachtauto vertraagd werd, werd in deze auto geregistreerd; zie Gordon (1970).

Door middel van de opnamen van de camera op een vast punt boven de

weg vindt men het tijdvak dat de personenauto zich achter de vrachtwagen bevond; het oponthoud berekent men door gedurende dit tijdvak het verschil tussen de gewenste snelheid en de feitelijke snelheid van de vertraagde personenauto te berekenen. Met deze meetmethode zijn nauwkeuriger resultaten te behalen dan met televisieopnamen.

Evaluatie

Oponthoud is een veel gebruikte verkeersparameter die ook met eenvoudige middelen te bepalen is. Dit geldt uiteraard in het bijzonder voor het oponthoud van een voertuig dat stil staat. De waarde van deze parameter houdt direct verband met de ritduur; hij hangt echter ook samen met de onkosten en de mate waarin de automobilist zich irriteert en dit laatste hangt weer samen met de mate waarin hij zich inspant. Als het oponthoud groot is, is de kwaliteit van de verkeersstroom slecht.

Literatuur

HRB (1965), Schaefli (1970), Institute of Traffic Engineers (1965).

2.2. Parameters en methoden waarbij men de snelheid van het voertuig beschouwt

2.2.1. Overzicht

Beschouwing

De kwaliteit van het verkeer wordt zoals gezegd bepaald door de ritduur, de onkosten, de verkeersveiligheid en de inspanningen van de automobilist ten gevolge van het autorijden.

Indien men de snelheid en meer nog indien men de gemiddelde snelheid van een auto kent, kan men een uitspraak doen omtrent de ritduur. De onkosten, de verkeersveiligheid en de inspanningen van de automobilist blijven echter buiten beschouwing. Indien men tevens de grootte en de frequentie van de snelheidsveranderingen kent, is er wel een verband met de laatstgenoemde factoren. De onkosten, met

name het brandstofverbruik en de slijtage, het ongevalsrisico en de inspanningen van de automobilist nemen toe als de snelheidsveranderingen groter en veelvuldiger worden.

Meetmethoden

A. Het bepalen van het ruimtelijk gemiddelde van de snelheid

Methode

Men deelt de afgelegde weg door het tijdvak waarin het voertuig dat weggedeelte aflegde.

Wijze van meten

1. Met een filmcamera of fototoestel dat intermitterend foto's maakt - bijvoorbeeld om de 0,1 seconde - maakt men opnamen van auto's die markeringen op de weg - bijvoorbeeld witte strepen - waarvan men de onderlinge afstand kent, passeren. Het tijdvak waarin het voertuig de afstand tussen 2 markeringen aflegt, bepaalt men met een uurwerk.
2. Met wegdetectoren - pneumatische of elektrische - optische of magnetische lusdetectoren die zich op, resp. onder de weg bevinden en waarvan de onderlinge afstand bekend is. Met behulp van deze detectoren bepaalt men het tijdvak waarin het voertuig een bepaalde afstand aflegt.

B. Het bepalen van de snelheid op een bepaald punt, de zogenaamde puntsnelheid

1. Met een voertuig waarin zich een snelheidsmeter bevindt waarmee de snelheid continu als functie van de tijd gemeten kan worden.
2. Met radargolven of ultrasone luchttrillingen.

Overzicht van de parameters en methoden waarbij men de snelheid van het voertuig beschouwt

1. De gemiddelde ritsnelheid
2. De ontwerpsnelheid
3. De gemiddelde ontwerpsnelheid
4. De kruissnelheid
5. De momentane snelheid
6. De snelheidsruis
7. De standaarddeviatie van de snelheidsruis
8. Histogrammen

2.2.2. Gemiddelde ritsnelheid

Definitie

De gemiddelde ritsnelheid is het quotiënt van de afstand die bij één rit wordt afgelegd en de ritduur. Het oponthoud tijdens de rit wordt meegerekend.

Metten

Zie par. 2.2.1. onder meetmethoden, punt A: het meten van het ruimtelijk gemiddelde van de snelheid.

Toepassingen

Men gebruikt deze parameter indien men informatie omtrent de ritduur wil hebben. Er volgen enkele voorbeelden.

1. Om 2 verschillende routes te vergelijken. Welke is het snelst?
2. Om de invloed van veranderingen aan de weg - bijvoorbeeld verbredingen, andere belijning, verbeteringen van de bogen - op het rijgedrag na te gaan. Dit zijn de zogenaamde "before and after studies".

Evaluatie

Deze parameter geeft informatie omtrent de ritduur en dit is voor het merendeel der weggebruikers de meest belangrijke factor bij de beoordeling van de kwaliteit van het verkeer. Hij geeft geen informatie omtrent de onkosten, het ongevalsrisico en de mate waarin de bestuurder zich moet inspannen. De waarde van deze parameter kan op eenvoudige en goedkope wijze bepaald worden.

Literatuur

Berry (1952), Cribbins et al. (1961), Sawhill (1952), Walker (1957).

2.2.3. Ontwerpsnelheid

Definitie

De ontwerpsnelheid (in het Engels "design speed") is de grootst mogelijke snelheid waarmee men nog veilig over een bepaald gedeelte

van de weg kan rijden. Men gaat er van uit de snelheid niet door de aanwezigheid van medeweggebruikers beïnvloed wordt.

Metten

Dit doet men in de regel met een testauto waarin zich een goede snelheidsmeter bevindt en die bestuurd wordt door een automobilist met een rijgedrag dat representatief is voor dat van de doorsnee automobilist.

Toepassingen

Op grond van een gekozen ontwerpsnelheid worden de vorm en afmetingen van bepaalde elementen van de weg, zoals bijvoorbeeld bogen, de breedte van de rijstroken, het stijgingspercentage van een helling, bepaald.

De capaciteit van de weg wordt mede door deze snelheid bepaald; door het gebruik van deze verkeersparameter is men beter in staat om de wegen op een wijze die ook economisch te verantwoorden is, te bouwen.

Evaluatie

Met behulp van deze parameter kan men de kwaliteit van het verkeer die bij een bepaalde wegconstructie zal voorkomen, voorspellen.

De invloed van eventuele medeweggebruikers neemt men niet in aanmerking. Men beschouwt vooral het element ritduur van de kwaliteit van het verkeer. Indien men de eis stelt dat de ontwerpsnelheid voor alle elementen van de weg hetzelfde moet zijn, zal dit een gunstige invloed hebben op de onkosten, de verkeersveiligheid en de mate waarin de automobilisten zich moeten inspannen als ze over deze weg rijden.

Literatuur

AASHO (1957) en (1965).

2.2.4. Gemiddelde ontwerpsnelheid

Definitie

De gemiddelde ontwerpsnelheid (in het Engels "average highway speed") is het gewogen gemiddelde van ontwerpsnelheden over een aantal aaneensluitende wegvakken die ieder een eigen ontwerpsnelheid hebben. Men gaat er van uit dat er geen medeweggebruikers zijn die de snelheid beïnvloeden.

Metten

Dit doet men bijna altijd met een meetauto waarin de snelheid geregistreerd wordt. Bij een dergelijke meting laat men een automobilist, waarvan men weet dat hij met dezelfde snelheid rijdt en ook dezelfde risico's neemt als de doorsnee automobilist, over de te onderzoeken weg of het te onderzoeken weggedeelte rijden. Men geeft hem dan de opdracht om met de maximale snelheid waarbij hij toch nog veilig rijdt, te rijden.

Toepassingen

De gemiddelde ontwerpsnelheid wordt zowel bij verkeersonderzoekingen als bij het maken van economische analyses gebruikt. De capaciteit van de weg hangt nl. samen met de ontwerpsnelheid. Men zal deze verkeersparameter vooral willen gebruiken op wegen waarin scherpe bogen, nauwe bruggen, of hellingen voorkomen en ook op wegen waar de zichtlengte gering is.

In Nederland kan men hem bijvoorbeeld gebruiken bij snelheids- en capaciteitsbepalingen van wegen die zich op dijken, bijvoorbeeld rivierdijken waarin veel bogen voorkomen, bevinden.

Evaluatie

De gemiddelde ontwerpsnelheid is de gemiddelde waarde van de snelheid over een aantal wegdekken waarop de maximaal mogelijke snelheid verschillend is. De ontwerpsnelheid is de maximaal mogelijke snelheid op het slechtste stuk van de weg en deze zal in de meeste gevallen kleiner zijn dan de gemiddelde ontwerpsnelheid. Indien men geïnteresseerd is in de gemiddelde snelheid over een bepaald wegvak

geeft de laatstgenoemde parameter meer informatie. Deze parameter wordt gebruikt bij het bepalen van de capaciteit van de weg. In het Nederlandse normblad over de nomenclatuur van het wegverkeer (NNI, 1970) wordt de capaciteit van een weg als volgt gedefinieerd: het maximale aantal verkeerseenheden dat een bepaald wegvak met een redelijke zekerheid kan verwerken in een bepaalde tijd onder de heersende omstandigheden ten aanzien van de weg en het verkeer. Verder geeft de waarde van deze parameter dus informatie omtrent de ritduur bij weinig verkeer, maar niet omtrent de kosten, het ongevalsrisico en de mate waarin de bestuurder zich ten gevolge van het autorijden moet inspannen.

2.2.5. Kruissnelheid

Definitie

De kruissnelheid (in het Engels "operating speed") is de grootste waarde van de gemiddelde ritsnelheid waarmee men zich bij gunstige weersomstandigheden en bij de heersende verkeerstoestand, zonder de verkeersveiligheid uit het oog te verliezen, over een bepaald weggedeelte kan verplaatsen.

Metten

Men doet dit meestal met een auto waarin de snelheid geregistreerd wordt.

Zie ook par. 2.2.1. onder meetmethoden punt A: het bepalen van het ruimtelijk gemiddelde van de snelheid.

Toepassingen

Men gebruikt deze parameter o.a. om de invloed van wegkenmerken op het rijgedrag na te gaan. Men onderzoekt bijvoorbeeld de invloed van bogen, de breedte van de rijstroken, de doorsnede van de weg, de zichtbaarheid van de belijning of die van de vorm en afmetingen van toe- en afritten van snelwegen. Ook gaat men er de invloed van de verkeersstroomtoestand op het rijgedrag mee na, dus bijvoorbeeld de invloed van de dichtheid, of die van de richting waarin de voertuigen zich bewegen.

Evaluatie

De kruissnelheid is lager dan of, in het uiterste geval - nl. als er geen verkeer is - gelijk aan de ontwerpsnelheid. Hij is eenvoudig te meten en bij verschillende onderzoeken is gebleken dat de invloed die veranderingen van wegkenmerken op het rijgedrag hebben er mee gedetecteerd kunnen worden; zie HRB (1965), Taragin & Hopkins (1960), Powers & Michael (1961), Treadway & Oppenlander (1967). Deze parameter geeft, omdat het een gemiddelde snelheid is, uitsluitend informatie omtrent het aspect ritduur van de kwaliteit van de verkeersstroom. Hij geeft dus geen informatie omtrent de kosten, het ongevalsrisico en de inspanningen van de automobilist t.g.v. het chaufferen.

Literatuur

Wingerd (1968).

2.2.6. Momentane snelheid

Definitie

De momentane snelheid (in het Engels "spot speed") is de snelheid die een voertuig op een bepaald tijdstip of op een bepaald punt van de weg heeft.

Metten

Dit doet men met een snelheidsmeter die zich in iedere auto bevindt; soms wordt deze snelheid als functie van de tijd of als functie van de afgelegde afstand direct op papier, op een ponsband of een magneetband geregistreerd. Bij metingen buiten de auto maakt een veelal gebruik van radar of ultrasone trillingen.

Toepassingen

Men vindt hem op de snelheidsmeters in bijna alle auto's en eveneens op verkeersborden die de maximaal toelaatbare snelheid aangeven. De politie bepaalt deze snelheid veelal om het naleven van de snelheidsbeperkingen af te dwingen.

Evaluatie

Het is de meest gebruikte verkeersparameter. Hij wordt uiteraard vooral gebruikt door de bestuurders van personenauto's. Hij wordt niet alleen toegepast om informatie omtrent de ritduur te verkrijgen, maar hij dient ook de verkeersveiligheid, nl. bij het aangeven van een maximumsnelheid voor slechte wegvakken of scherpe bogen, die bij het berijden met hoge snelheid gevaar opleveren. Als de momentane snelheid hoog wordt, stijgen ook de kosten, met name het brandstofverbruik. Hij geeft geen directe informatie omtrent de mate waarin men zich bij het autorijden moet inspannen.

Literatuur

Oppenlander (1966).

2.2.7. Snelheidsruis

Definitie

De standaarddeviatie van de momentane snelheid, $v(t)$, noemt men de snelheidsruis.

$$\sigma_v = \left[\frac{1}{T} \int_0^T \{v(t) - \bar{v}\}^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

waarin: T = het tijdvak dat men beschouwt; $v(t)$ = de snelheid v van het voertuig op het tijdstip t ; en \bar{v} = de gemiddelde waarde van de snelheid over het tijdvak T .

Betekenis

Het is een maat voor de grootte van de afwijkingen van de gemiddelde snelheid tijdens de rit. Indien de weg van zodanige kwaliteit is dat tijdens de rit de gemiddelde snelheid globaal op een zeker niveau blijft, zal in sommige gevallen de grootte van deze parameter ook een maat zijn voor de frequentie van de snelheidsveranderingen; dit laatste geldt bijvoorbeeld bij snelheidsveranderingen ten gevolge van interacties van personenauto's op snelwegen.

De waarde is o.a. afhankelijk van de bestuurder (hij zal bijvoorbeeld groot zijn op een weg met rechte stukken en scherpe bogen), de verkeersomstandigheden (als het verkeer bijvoorbeeld drukker wordt, zal hij toenemen) de coördinatie van de verkeerslichten, de weersgesteldheid en het voertuig.

Metten en berekenen

Het meten van de momentane snelheid werd reeds in par. 2.2.6. beschreven. Het berekenen van de standaarddeviatie doet men bij voorkeur met een computer.

Toepassingen

Met deze parameter kan men in bepaalde gevallen, nl. als het aantal snelheidsveranderingen niet zeer gering is, de kwaliteit van het verkeer bepalen. Dit gaat het best op wegen waar frequent grote snelheidsveranderingen optreden. Hij is ook te gebruiken om veranderingen in het rijgedrag, bijvoorbeeld ten gevolge van een reconstructie aan de weg, te onderzoeken.

Evaluatie

Met deze parameter kan men goed ritten waarbij veel snelheidsveranderingen optreden, dus bijvoorbeeld ritten in verkeer waarin congestie optreedt, of ritten over secundaire wegen van minder goede kwaliteit, kenmerken. Deze parameter vertoont overeenkomst met versnellingsruis. Aangezien een snelheid eenvoudiger te meten is dan een versnelling, is hij gemakkelijker te bepalen. De waarde van deze grootte is niet een maat voor de ritduur. Indien de snelheidsveranderingen frequent zijn is hij wèl een maat voor de onkosten, het ongevalsrisico (zie Brouwer, 1975) en de inspanningen van de bestuurder.

Literatuur

Torres (1970).

2.2.8. De standaarddeviatie van de snelheidsruis

Definitie

Het is de standaarddeviatie van de snelheidsruis, $s(\sigma_v)$, van de snelheidsruis. Deze wordt benaderd met de formule:

$$s(\sigma_v) = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\sigma_{v_i} - \bar{\sigma}_{v_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

waarin: n = het aantal ritten dat men beschouwt en σ_{v_i} de snelheidsruis tijdens de rit i .

Betekenis

De snelheidsruis heeft, zelfs als een bestuurder opeenvolgende ritten over eenzelfde traject maakt, niet bij iedere rit dezelfde waarde. De waarde van de standaarddeviatie van de snelheidsruis is een maat voor de variatie in de snelheidsruis.

Metten

Zie onder snelheidsruis in par. 2.2.7.

Toepassingen

Men kan er het verschil in "snelheidsgedrag" bij een bestuurder die verschillende ritten over eenzelfde traject maakt, mee onderzoeken. Bij een rit die met zeer grote en kleine snelheden gereden wordt, zal de snelheidsruis groter zijn dan bij een rit die met bijna uniforme snelheid gemaakt wordt. Genoemde standaarddeviatie is dus een maat voor deze verschillen en men kan haar dus gebruiken om deze te kwantificeren.

Evaluatie

Men kan er verschillen in rijgedrag, die bij één bestuurder die ritten over eenzelfde traject maakt, mee onderzoeken. Uiteraard zou men dit proces - dus het bepalen van de standaarddeviatie over verschillende ritten - ook bij andere verkeersparameters kunnen toepassen.

Literatuur

Helly & Baker (1967), Torres (1969).

2.2.9. Histogrammen van snelheid

Definitie

Langs de horizontale as zet men de momentane snelheid en langs de verticale as de tijdvakken gedurende welke het voertuig een bepaal-

de snelheid had, of het percentage van de totale ritduur dat hij deze snelheid bezat.

Betekenis

In een oogopslag ziet men welke snelheden en gedurende welke gedeelten van de tijd bepaalde snelheden voorkwamen. Een auto die betrekkelijk weinig van snelheid verandert zal bijvoorbeeld een snelheidsverdeling hebben zoals in Afbeelding 1 (b). In Afbeelding 1 (a) ziet men de snelheidsverdeling bij ritten met grotere snelheidsverschillen.

Toepassingen

Deze methode werd toegepast door Torres (1970) om het rijgedrag van een auto die op een snelweg rijdt te kenmerken; het gaat uiteraard ook voor ritten door steden of op secundaire wegen. Men kan er op eenvoudige wijze de invloed van de dichtheid - zie Afbeelding 1 - of de intensiteit op de verdeling van de snelheden mee nagaan.

Ook kan men er de veranderingen in het snelheidspatroon ten gevolge van een reconstructie van de weg, of ten gevolge van een veranderde coördinatie van de verkeerslichten, mee gewaar worden.

Evaluatie

Dit histogram geeft informatie omtrent de snelheden die tijdens de rit voorkwamen, dus omtrent de ritduur. Het geeft ook informatie - zij het indirect - omtrent de grootte van de snelheidsveranderingen. De frequentie waarmee het voertuig van snelheid verandert kan men er niet zonder meer uit opmaken. In relatief veel gevallen in de praktijk van het wegverkeer zal een toename van de spreiding van de snelheden samengaan met een toename van de frequentie van de snelheidsveranderingen; dit geldt bijvoorbeeld voor voertuigen die op een snelweg rijden als de intensiteit toeneemt.

2.2.10. Het vermogensdichtheidsspectrum van de snelheid

Deze wordt op dezelfde wijze gedefinieerd als het vermogensdichtheidsspectrum van de versnelling - zie par. 2.3.10. De momentane versnelling $a(t)$ wordt dan echter vervangen door de momentane snelheid

v(t). De hogere frequenties zijn in dit spectrum minder veelvuldig vertegenwoordigd dan in het spectrum van de versnelling.

2.3. Parameters en methoden waarbij men de versnelling van het voertuig beschouwt

2.3.1. Overzicht

Beschouwing

De kwaliteit van het verkeer wordt bepaald door de ritduur, de onkosten, het ongevalsrisico en de inspanningen van de automobilist ten gevolge van het chaufferen. Het meten van de versnellingen, in de rijrichting, die een voertuig ondergaat, geeft informatie omtrent de grootte en de frequentie van de snelheidsveranderingen. Indien een auto veel en grote versnellingen en vertragingen ondergaat, zijn in bijna alle gevallen ook de onkosten (slijtage, benzineverbruik) (Torres, 1970)), het ongevalsrisico (Helly & Baker, 1967) en de mate waarin de bestuurder zich bij het autorijden moet inspannen, groot. Indien men uitsluitend het versnellingspatroon van een auto kent, kan men geen uitspraken omtrent de ritduur doen.

Meetmethoden

- a. Directe bepalingen met een versnellingsmeter die zich in een testauto bevindt.
- b. Bepalingen uit "snelheids - tijd - grafieken" die men met een testauto, waarin zich een snelheidsmeter die de snelheid registreert bevindt, meet.
- c. Zonder testauto. Op de weg maakt men markeringen of plaatst men detectoren op bepaalde gelijke afstanden. Vervolgens meet men de tijdstippen waarop de auto deze markeringen passeert. In het geval van de markeringen maakt men met regelmatige tussentijden - bijvoorbeeld iedere 0,1 seconde - foto's, of filmt men het verkeer dat er overheen rijdt. Op deze wijze kan men de snelheid en de versnelling van grotere aantallen voertuigen bepalen.

Overzicht van de parameters en methoden waarbij men de versnelling van het voertuig beschouwt

1. De versnellingsruis
2. De parameter van Helly
3. De kwaliteitsfactor
4. De service index
5. De inspanningsparameter
6. Het getal van Greenshields
7. Energieveranderingsruis
8. Histogrammen van versnelling
9. Het vermogensdichtheidsspectrum van de versnelling

2.3.2. Versnellingsruis

Definitie

De versnellingsruis is de standaarddeviatie, σ_a , van de versnelling als functie van de tijd, $a(t)$, die een voertuig ondergaat.

$$\sigma_a = \left[\frac{1}{T} \int_0^T \{a(t) - \bar{a}\}^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

waarin: T = het tijdvak dat men beschouwt; en \bar{a} = de gemiddelde waarde van de versnelling over het tijdvak T .

Voor een niet zeer korte rit is de gemiddelde waarde van de versnelling over het tijdvak T te verwaarlozen. In dat geval geldt:

$$\sigma_a = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) \cdot dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

Betekenis

De waarde van de versnellingsruis is een maat voor de grootte en zoals uit uitgebreide onderzoeken bij uiteenlopende verkeersomstandigheden blijkt, ook bijna altijd voor de frequentie van de snelheidsveranderingen tijdens de rit. Uit onderzoeken bleek dat een rit waarbij de versnellingsruis groot is correspondeert met grote kosten - brandstofverbruik, slijtage aan het voertuig - een groot ongevalsrisico en een grote mate van inspanning van de bestuurder ten gevolge van het chaufferen, zie Brouwer (1974).

Toepassingen

Deze parameter wordt veel gebruikt om de aard van een verkeersstroom te bepalen. Een grote waarde van de versnellingsruis correspondeert met een slechte kwaliteit van de verkeersstroom. De waarde van deze parameter is o.a. afhankelijk van de automobilist, het type auto, de vorm en afmetingen van de weg, de verkeersomstandigheden en tenminste als ze er zijn, de coördinatie van de verkeerslichten. Versnellingsruis leent zich goed om de invloed van bovengenoemde factoren op de verkeersstroom na te gaan. Verder kan hij goed gebruikt worden om het verkeer "door te lichten", zodat ongewenste verkeerssituaties in een vroeg stadium gedetecteerd kunnen worden.

Evaluatie

Het is een veel gebruikte verkeersparameter. Omdat hij bij veel onderzoeken gebruikt werd, is er betrekkelijk veel over de implicaties van een verkeersstroomtoestand met een hoge versnellingsruis bekend. Om deze reden verdient het gebruik van deze parameter in veel gevallen de voorkeur boven dat van andere, minder bekende. De waarde van deze parameter is een maat voor de grootte en ook in veel gevallen, zoals uit onderzoeken bleek, voor de frequentie van de versnellingen die een voertuig ondergaat. Hij geeft geen informatie omtrent de ritduur. Een rit met een bepaalde versnellingsruis kan dus zowel met hoge als lage snelheid gemaakt zijn.

Literatuur

Brouwer (1975), Capelle (1966), Drew et al. (1967), Greenshields (1958), Helly & Baker (1967), Jones & Potts (1962), Montroll (1959), Rowan (1967), Torres (1970 en 1971).

2.3.3. De parameter van Helly

Definitie

De parameter van Helly, G , is het quotiënt van de versnellingsruis σ_a , en de gemiddelde waarde van de snelheid tijdens de rit, \bar{v} . Dus in formule: $G = \sigma_a / \bar{v}$.

Meten

Zie bij versnellingsruis, par. 2.3.2. en gemiddelde ritsnelheid, par. 2.2.2.

Toepassingen

Hij wordt vooral gebruikt om het verkeer op drukke wegen, waar niet gecoördineerde verkeerslichten zich op korte onderlinge afstanden bevinden, te kenmerken.

Evaluatie

De informatie die men door middel van de parameter van Helly ontvangt is veelal hetzelfde als die van versnellingsruis. Onder bepaalde omstandigheden verdient echter het gebruik van de parameter van Helly de voorkeur.

Bij ritten door straten met niet gecoördineerde verkeerslichten op korte onderlinge afstand, zal een auto veel moeten stoppen. Ten gevolge van het stilstaan zal de versnellingsruis bij een dergelijke rit laag zijn. Een lage waarde van \bar{v}_a correspondeert onder deze omstandigheden met een verkeersstroom van slechte kwaliteit. Als de waarde van de versnellingsruis laag is, zou men juist een verkeersstroom met een goede kwaliteit verwachten. Omdat de gemiddelde snelheid bij zo'n rit laag is, zal de parameter van Helly - de gemiddelde snelheid, \bar{v} , staat bij deze grootte in de noemer - groot zijn. Een grote waarde van de parameter van Helly zal nu, geheel overeenkomstig de verwachtingen, gepaard gaan met een verkeersstroom van slechte kwaliteit.

Literatuur

Brouwer (1974), Helly & Baker (1967).

2.3.4. De kwaliteitsfactor

Definitie

De kwaliteitsfactor, Q , is het quotiënt van de gemiddelde snelheid tijdens de rit, \bar{v} , en het produkt van het aantal malen dat het voertuig van snelheid verandert en het gemiddelde van de absolute waarde van de versnellingen tijdens de rit.

$$Q = \bar{v} / \left[\sqrt{f \frac{1}{L} \int_0^L |a(x)| dx} \right]$$

waarin: f = het aantal malen dat het voertuig meer dan 2 mijl/h van snelheid verandert; L = de lengte van de rit, en $a(x)$ = de versnelling a als functie van de plaats x .

Greenshields, die deze parameter introduceerde, beschouwt de waarde van de kwaliteitsfactor per afgelegde mijl.

Metten

Dit doet men met een testauto, echter ook wel met een camera die zich op een vast punt boven de weg bevindt. Deze metingen werden reeds iets uitvoeriger in par. 2.3.2. beschreven.

Toepassingen

Deze parameter is in het verleden gebruikt - in de vijftiger jaren - om de kwaliteit van het verkeer in stadsstraten en op een weg op een brug over een rivier te kenmerken.

Evaluatie

De informatie die men door middel van deze parameter verkrijgt is ongeveer hetzelfde als die van de parameter van Helly. Hij vertoont veel overeenkomst met de inverse van de parameter van Helly. In de kwaliteitsfactor is, in tegenstelling tot de parameter van Helly, het aantal malen dat het voertuig van snelheid verandert, f , als functie van de afgelegde weg verwerkt. Het gemiddelde van de absolute waarde van de lokale versnelling is echter reeds een maat voor het aantal snelheidsveranderingen. Een auto die versnelt kan immers niet continu blijven versnellen, maar moet na betrekkelijk korte tijd weer vertragen, of stoppen met versnellen.

Literatuur

Greenshields (1955), Helly & Baker (1967).

2.3.5. De service-index

Definitie

Men tracht de service die de automobilist geboden wordt te kwantificeren door verschillende factoren die deze beïnvloeden in één ge-

tal te verwerken. De service-index wordt als volgt gedefinieerd:

service-index = (de kwaliteit van de verkeersstroom) plus (de voltooiing van de bestuurder gedeeld door zijn inspanning) minus (het ongenoegen van de bestuurder door oponthoud).

De kwaliteit in de eerste term is anders gedefinieerd dan die in de inleiding. Men beschouwt hier nl. alleen de manier waarop het verkeer stroomt, dus bijvoorbeeld snel, traag of onregelmatig, en neemt niet de invloed die dit op de automobilist heeft in aanmerking. De genoemde uitdrukking voor de service-index brengt men in verband met het rijgedrag van een voertuig-bestuurder combinatie. Zodoende vindt men:

$$\text{service-index} = C_2 \left[\frac{\bar{S}}{[(SCR+C_1)(GYR+0.1)]} \right] + C_3 \left[\frac{\bar{S}}{[SCR(SRR+ARR+2BAR)]} \right] - C_4 \left[\left(\frac{TT}{RT} \right)^3 - 1 \right]$$

waarin:

S = de gemiddelde ritsnelheid

SCR = de som van de absolute waarden van de versnellingen en vertragingen tijdens de rit of, de totale hoeveelheid snelheidsverandering - uitgedrukt in mph - per eenheid van rijtijd.

GYR = het aantal graden dat het voertuig per minuut van richting verandert.

SRR = het aantal malen dat het stuur per minuut wordt verdraaid.

ARR = het aantal malen per minuut dat het gaspedaal naar boven of beneden bewogen wordt.

BAR = het aantal malen dat er per minuut op de rem getrapt wordt.

RT = de rijtijd.

TT = de ritduur.

C_1, C_2, C_3, C_4 = constanten respectievelijk 1, 2, 150 en 2.

Metten

Dit doet men met een auto waarin zich speciale apparatuur, een zogenaamde drivometer, bevindt. Met dit instrument legt men de verkeersgebeurtenissen, het aantal stuur- en gaspedaalomkeringen, het aantal malen dat er op de rem getrapt wordt en de tijd vast. De responsies van het voertuig - de snelheid, de versnelling, het aantal snelheidsveranderingen, worden eveneens met dit instrument geregistreerd.

Toepassingen

Hij kan gebruikt worden om weggedeelten waar de kwaliteit van het verkeer slecht, of niet goed is, op te sporen en nader te kenmerken. Hoewel deze parameter reeds in 1963 geïntroduceerd werd (Platt, 1963), werd hij tot nu toe niet veel gebruikt. Het instrument waarmee de gegevens verzameld werden, werd en wordt wél veel gebruikt.

Evaluatie

In deze parameter is zowel de snelheid als de grootte en frequentie van de snelheidsveranderingen verwerkt. De waarde van deze grootte zou dus een maat zijn voor de ritduur, de onkosten, het ongevalsrisico en de inspanningen van de bestuurder. Het zou de ideale verkeersparameter zijn. Helaas twijfelen veel deskundigen er aan of de service die de automobilist geboden wordt wel in een getal tot uitdrukking gebracht kan worden. Waarschijnlijk ook omdat het bepalen van de service-index veel werk met zich meebrengt, werd hij zoals gezegd tot nu toe niet veel gebruikt.

Literatuur

Greenshields (1965), Platt (1963).

2.3.6. Inspanningsparameter

Definitie

De inspanningsparameter, N_t , (in het Engels "driver effort") is het produkt van de snelheidsveranderingen, de richtingsveranderingen en de gemiddelde ritsnelheid.

$$N_t = (\Delta_s \times \Delta_t \times \Delta_\theta) / D \quad \text{waarin:}$$

Δ_s = de som van de absolute waarden van de snelheidsveranderingen tijdens de rit. (Men beschouwt uitsluitend snelheidsveranderingen die groter dan een bepaalde waarde, bijvoorbeeld 2 mph, zijn. De grootte van deze term is minimaal 1.)

Δ_θ = de som van de absolute waarden van de richtingsveranderingen tijdens de rit. (Men beschouwt uitsluitend richtingsveranderingen die groter dan een bepaalde minimale waarde, bijvoorbeeld 1 of 5 graden, zijn. De grootte van deze term is minimaal 1.)

Δ_t = de tijd die gebruikt werd om de afstand D af te leggen.

D = de afstand die gedurende de rit werd afgelegd.

Metten

Dit doet men met een auto waarin zich apparatuur bevindt om de snelheid en de hoekveranderingen als functie van de tijd te meten. De drivometer - zie bij service-index in par. 2.3.5. - leent zich hier goed toe.

Evaluatie

Bij deze parameter gaat men er van uit dat de inspanningen van de automobilist evenredig zijn met het aantal malen dat hij van snelheid en richting verandert. Indien dit op zou gaan zou de waarde van de inspanningsparameter inderdaad een graadmeter voor de inspanningen van de automobilist zijn.

Een automobilist zal echter in veel gevallen ook mentaal belast worden doordat hij verkeersindrukken in zich opneemt en beslissingen neemt, zonder dat de auto ten gevolge van die beslissingen van snelheid of richting verandert. Onder deze omstandigheden is de waarde van de inspanningsparameter geen goede graadmeter voor de inspanningen van de automobilist ten gevolge van het chaufferen.

De waarde van deze grootte is recht evenredig met het produkt van de som van de snelheidsveranderingen en de som van de richtingsveranderingen en omgekeerd evenredig met de gemiddelde waarde van de ritsnelheid. Indien hij groot is, zal de kwaliteit van het verkeer - uitgaande van de criteria ritduur, onkosten, veiligheid en inspanning van de bestuurder - slecht zijn.

Deze parameter wordt bepaald door de snelheidsveranderingen, de richtingsveranderingen en de gemiddelde ritsnelheid. Indien hij een bepaalde waarde heeft, weet men niet welke factor de meeste invloed had. Was het Δ_s , Δ_θ , of v ? De invloed die richtings- of snelheidsveranderingen op het rijcomfort, of het benzineverbruik hebben, zullen verschillend zijn. Door het invoeren van meer variabelen wordt het blijkbaar moeilijker om de juiste betekenis aan een bepaalde verkeersparameter toe te kennen.

Bij de verkeersparameter versnellingsruis - dit is de standaard-

deviatie van de versnellingen die een voertuig ondergaat - bestaat deze moeilijkheid niet. Bij de parameter van Helly - dit is de versnellingsruis gedeeld door de gemiddelde ritsnelheid - bestaat hij eveneens, maar in mindere mate. De service-index heeft dit bezwaar en waarschijnlijk nog in meerdere mate, eveneens.

Literatuur

Greenshields (1955, 1958, 1961, 1965, 1967 en 1969), Platt (1963).

2.3.7. Het getal van Greenshields

Definitie

Deze is hetzelfde als die van de inspanningsparameter. De formule voor het getal van Greenshields, G_N , luidt:

$$G_N = (t/d) \times \Delta_s \times \Delta_\theta$$

waarin: t = de tijd gedurende welke men op het wegdek reed; d = de lengte van het wegvak; Δ_s = de som van de absolute waarden van de snelheidsveranderingen; Δ_θ = de som van de absolute waarden van de richtingsveranderingen op het wegvak.

Opmerking

Aangezien deze parameter in feite dezelfde als de inspanningsparameter is, wordt voor verdere informatie over deze parameter naar par. 2.3.6. verwezen.

2.3.8. Energieveranderingsruis

Definitie

De energieveranderingsruis (in het Engels "energy change noise") is de standaarddeviatie, σ_e , van de veranderingen in kinetische energie die een auto tijdens het rijden over een weg ondergaat.

$$\sigma_e = \left[\frac{1}{T} \int_0^T [a(t) \cdot v(t) - \bar{a} \cdot \bar{v}]^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

waarin: T = het tijdvak gedurende welke men de parameter beschouwt;

$a(t)$ = de versnelling van het voertuig, a , op het tijdstip t ;
 $v(t)$ = de snelheid van het voertuig, v , op het tijdstip t ;
 $\overline{a.v}$ = de gemiddelde waarde van het produkt van snelheid en versnelling over het tijdvak T

Opmerking

Voor de kinetische energie, E , van een voertuig met massa m , en snelheid v , geldt: $E = \frac{1}{2}mv^2$. Voor de energieverandering als functie van de tijd, dE/dt , geldt: $dE/dt = m.v.dv/dt = m.v.a$. De verandering in de kinetische energie is dus recht evenredig met het produkt van snelheid en versnelling.

Metten

Dit doet men door middel van filmopnamen, zie Lee & Yu (1974). Het kan echter ook met een meetauto waarin de snelheid en de versnelling geregistreerd worden, of met detectoren.

Verdere informatie vindt men onder meetmethoden in par. 2.3.1. en onder het meten van momentane snelheid in par. 2.2.6.

Toepassingen

Deze parameter leent zich goed om voertuigen die met hoge snelheid rijden, dus bijvoorbeeld verkeer op snelwegen, te kenmerken.

Evaluatie

De waarde van deze grootte is een maat voor de grootte en in veel gevallen ook voor de frequentie van de verandering van de kinetische energie van een rijdende auto. Het is uiteraard een zeer goede maat voor het brandstofverbruik. Indien de energieveranderingsruis groot is, zal er bij een niet geringe snelheid veel versneld en vertraagd worden. In dat geval zal de ritduur niet groot zijn; de onkosten, het ongevalsrisico en de inspanningen van de bestuurder zullen wél groot zijn (Brouwer, 1974) en daarom zal de kwaliteit van de verkeersstroom niet goed zijn.

Indien er versnellingen en vertragingen bij grote snelheid optreden, komen deze, omdat de energieveranderingsruis de standaarddeviatie van het produkt van snelheid en versnelling is, meer in de

energieveranderingsruis dan in de versnellingsruis tot uitdrukking. Bij lage snelheden geldt natuurlijk juist het omgekeerde. Als een auto bijna met zijn maximale snelheid rijdt, is σ_e over het algemeen weer kleiner, omdat het versnellingsvermogen van de auto dan bijzonder klein is.

Literatuur

HRB (1964).

2.3.9. Histogrammen van versnelling

Definitie

Langs de horizontale as van een assenkruis zet men de momentane versnelling van het voertuig en langs de verticale as het tijdvak gedurende welke het voertuig een bepaalde versnelling had.

Langs de verticale as zet men ook wel het percentage van de totale ritduur dat een voertuig een bepaalde versnelling had uit.

Metten

Alle methoden die in par. 2.3.1. onder meetmethoden behandeld zijn - dus die met de meetauto, de detectoren en de fotografische opname-apparatuur - komen in aanmerking.

Toepassingen

Deze methode werd toegepast door Torres (1970) om het rijgedrag van een auto die op een snelweg rijdt te kenmerken; zie Afbeelding 2. Het histogram kan uiteraard ook gebruikt worden om het rijgedrag van auto's die op stadsstraten, of op secundaire wegen rijden te kenmerken. Men kan er op overzichtelijke wijze de invloed van de verkeersintensiteit op de versnellingsverdeling tijdens de rit mee kenmerken. Ook de invloed van de wijze waarop de verkeerslichten gecoördineerd zijn, of veranderingen in het versnellingspatroon ten gevolge van veranderingen aan de weg, kunnen er op aanschouwelijke wijze mee weergegeven worden.

Evaluatie

De grootte van de versnellingen en de tijdvakken gedurende welke deze voorkwamen kunnen op zeer overzichtelijke wijze in een dergelijke histogram weergegeven worden.

Bij een rit zonder grote versnellingen en vertragingen zal het histogram smaller zijn dan bij ritten waarbij dit wel het geval is. Zie Afbeelding 2. Indien het histogram breed is, zullen de afwijkingen van de gemiddelde versnelling groot zijn en zal dus ook de standaardafwijking van de versnelling of, met andere woorden, de versnellingsruis, groot zijn.

Uit dit histogram kan men geen conclusies trekken omtrent de snelheid en de ritduur.

De breedte van het histogram geeft alleen indirect informatie omtrent de frequentie waarmee versneld en vertraagd werd. Aangezien een auto een maximumsnelheid heeft, is een sterke versnelling uiteraard van beperkte duur.

Indien de grootte van de versnellingen en vertragingen toeneemt, zal in relatief veel gevallen ook het aantal malen dat er versneld en vertraagd wordt groter worden; dit geldt bijvoorbeeld voor verkeer op een snelweg als de intensiteit groter wordt. Onder deze omstandigheden zal het breder worden van het histogram gepaard gaan met een toename van de onkosten, het ongevalsrisico en de inspanningen van de bestuurder ten gevolge van het autorijden.

Literatuur

Brouwer (1974), Drew et al. (1967).

2.3.10. Het vermogensdichtheidsspectrum van de versnelling

Definitie

Het vermogensdichtheidsspectrum, $P(f)$, van de versnelling is de Fouriertransformatie van de autocovariantiefunctie, $C_a(\tau)$, van de versnelling als functie van de tijd $a(t)$. In formule:

$$P(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C_a(\tau) \exp(-2\pi i f \tau) d\tau$$

waarin: f = de frequentie; i = de wortel uit -1 .

De autocovariantiefunctie is gedefinieerd als:

$$C_a(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \left[(a(t) - \bar{a})(a(t+\tau) - \bar{a}) \right] dt$$

waarin: T = het tijdvak dat men beschouwt en a de gemiddelde waarde van de versnelling over het tijdvak.

Praktisch wordt $C_a(\tau)$ bepaald met dezelfde formule, waarbij de limiet wordt weggelaten.

Metten en berekenen

Men meet de momentane versnelling van een voertuig. Vervolgens berekent men, bij voorkeur met een computer, de autocorrelatiefunctie van de versnelling en hierna de fouriergetransformeerde van de genoemde autocorrelatiefunctie.

Het meten van versnellingen werd reeds in het overzicht en wel onder meetmethoden in par. 2.3.1. beschreven.

Toepassingen

Uit de vermogensdichtheidsspectra van de versnellingen die een voertuig in het wegverkeer ondergaat, kan men de frequentie waarmee het voertuig versnelt en vertraagt aflezen. De voertuigbewegingen worden o.a. door deze frequenties gekenmerkt. Bij een rit waarbij veelvuldig van snelheid veranderd wordt - dus een "onrustige rit" die bijvoorbeeld in een verkeersstroom van slechte kwaliteit plaats vindt - zullen ze hoger zijn dan bij een "rustige rit" waarbij men bijna steeds met dezelfde snelheid rijdt; zie Afbeelding 3.

Van de kennis omtrent de frequentie waarmee het voertuig versnelt en vertraagt kan men eveneens nuttig gebruik maken om bij het meten van versnellingen van auto's die aan het wegverkeer deelnemen, de onderlinge afstand van de detectoren, respectievelijk de wegmarkeringen, optimaal te kiezen.

Evaluatie

Door dit spectrum te bepalen krijgt men informatie omtrent de mate waarin een bepaald frequentiegebiedje vertegenwoordigd is in het versnellingspatroon. Het is dus ook een maat voor de amplitude van

de versnellingen die in dat frequentiegebiedje voorkomen. Bij ritten waarbij veelvuldig versneld en vertraagd wordt, zullen bijna altijd de onkosten, het ongevalsrisico en de inspanningen van de automobilist groot zijn. Omdat men uit dit spectrum genoemde veelvuldigheid kan aflezen, geeft het informatie omtrent deze factoren. De snelheid en dus ook de ritduur blijven bij deze methode geheel buiten beschouwing.

Literatuur

Brouwer (1974), Herman & Rothery (1969), Torres (1970).

2.4. Methoden waarbij men het optreden van bepaalde gebeurtenissen beschouwt en telt

2.4.1. Overzicht

1. Het wrijvingsconcept
2. Het aantal malen dat men van rijstrook wisselt.

2.4.2. Het wrijvingsconcept

Definitie

De invloed die een automobilist ten gevolge van wegkenmerken of medeweggebruikers ondervindt, brengt men met het rijgedrag en het ongevalsrisico in verband.

Men onderscheidt 4 soorten wrijving (in het Engels "friction"):

1. Wrijving bij kruispunten. Dit is het vertragend effect dat ontstaat ten gevolge van potentiële of werkelijke verkeersconflicten op kruispunten of bij het samengaan van 2 verkeersstromen. Deze wrijving ontstaat dus doordat de ene verkeersstroom de andere kruist.
2. Marginale wrijving. Dit is het vertragend effect dat door interferentie met voorwerpen langs de weg aan de kant van de weg ontstaat. Dus bijvoorbeeld door lichtmasten of bomen langs de weg.
3. Mediumistische wrijving. Dit is het vertragend effect dat ontstaat door het verkeer dat zich in tegengestelde richting beweegt.
4. Inwendige wrijving. Dit is het vertragend effect dat ontstaat

door wederzijdse beïnvloeding van voertuigen die in dezelfde richting rijden. Vertraging door afslaande voertuigen wordt hier niet bij gerekend. Genoemde wrijving ontstaat doordat auto's verschillende snelheden en afmetingen hebben.

Metten

Om het verband tussen de wrijving en de factoren die de kwaliteit van het verkeer bepalen - ritduur, onkosten, ongevalsrisico en de inspanning van de automobilist - te onderzoeken, heeft men de volgende procedure toegepast:

De wegen die men wil onderzoeken, deelt men in vakken met lengten van 400 tot 1200 meter. Deze worden zodanig gekozen dat de vorm, de toestand van het wegdek en enkele andere fysieke eigenschappen en ook de verkeersstoestand over hun gehele lengte uniform zijn. Men gaat eveneens het aantal zijstraten en het aantal verkeerslichten per wegvak na. Hierna deelt men de wegvakken in vakken met lichte, matige en zware marginale, respectievelijk mediumistische, of kruispunswrijving, in.

Vervolgens maakt men met een testauto proefritten over deze wegvakken. Bij deze ritten wordt de ritduur per mijl, het benzineverbruik en de snelheid geregistreerd. Ook onderzoekt men het aantal ongevallen dat in de afgelopen jaren op deze wegvakken plaats vond. Ten slotte gaat men het verband tussen de verschillende typen wrijving enerzijds en de ritduur per afstand, de onkosten en het aantal ongevallen dat op de weg plaats vindt anderzijds, na.

Toepassingen

Met deze methode gaat men de invloed die de vorm en afmetingen van de weg en de interacties tussen de voertuigen op de kwaliteit van het verkeer hebben, na. Waarschijnlijk vooral omdat het een zeer bewerkelijke methode is, werd zij niet veel toegepast. Dit neemt niet weg dat het, vooral op plaatsen waar de interacties groot zijn, bijvoorbeeld bij verkeer in stadsstraten of op drukke kruispunten, een interessante methode is om de kwaliteit van het verkeer te onderzoeken.

Evaluatie

Uit uitgebreide onderzoeken (May, 1959) bleek dat op wegvakken waar de wrijving gering is, de ritduur, het brandstofverbruik, het ongevalsrisico en de mate waarin de bestuurder zich moet inspannen kleiner zijn dan op wegen waar de wrijving groot is. Het bleek dat de kruispuntswrijving de grootste en de marginale wrijving de kleinste invloed op de bovengenoemde factoren heeft.

Blijkbaar is het wrijvingsconcept een goede methode om de kwaliteit van het verkeer te bepalen. Een moeilijkheid bij deze methode is echter het vinden van een objectieve maat om de "hoeveelheid wrijving" nauwkeurig vast te leggen.

Literatuur

Berry (1952).

2.4.3. Het aantal malen dat men van rijstrook wisselt

Definitie

Het aantal malen dat een automobilist, die op een weg rijdt met eenrichtingsverkeer die uit meerdere rijstroken bestaat, van rijstrook wisselt.

Metten

Men telt het gedurende de rit. Indien het verkeer gefilmd wordt, is het mogelijk om aan de hand van een film die vanuit een vliegtuig, of een vast punt boven de weg wordt opgenomen, later, op een zelfgekozen tijdstip, te tellen.

Toepassingen

Het van rijstrook wisselen brengt gevaren en extra inspanningen met zich mee. Een automobilist kan het verkeer achter hem niet goed overzien en zijn zintuigen stellen hem niet in staat om snelheden van auto's onder dergelijke omstandigheden nauwkeurig te schatten.

Het aantal malen dat een automobilist van rijstrook wisselt zou men in relatie kunnen brengen met de verkeersveiligheid op de (snel)weg.

Evaluatie

Het zou een eenvoudige en goedkope methode kunnen zijn om informatie te verkrijgen omtrent de verkeersveiligheid en de mate waarin een automobilist die over een snelweg rijdt zich moet inspannen. Het is opmerkelijk dat op plaatsen waar veel van rijstrook gewisseld wordt, dus bijvoorbeeld voor afritten en bij toeritten van snelwegen en ook op weefgebieden van klaverbladen, relatief - men relateert aan het ongevalsrisico op de snelweg in het algemeen - zeer veel ongevallen plaats vinden.

Het aantal strookwisselingen is afhankelijk van de verkeersintensiteit en de snelheidsverdeling van de auto's op de weg die men beschouwt. Het wisselen zal toenemen als de intensiteit groter en de snelheidsverdeling van de voertuigen op de (snel)weg breder wordt. Bij zeer grote verkeersintensiteiten en bij congestie zal het aantal strookwisselingen weer gering zijn.

Hoewel het onderzoeken van strookwisselingen momenteel in de belangstelling staat, is er nog niet veel onderzoek op dit gebied verricht.

Literatuur

Munjal & Hsu (1973), Pahl (1973).

3. BESLUIT

3.1. Beschouwing

In dit verslag werd een aantal verkeersparameters en methoden om de individuele voertuigbewegingen te kenmerken gedefinieerd, ook werd de wijze waarop ze bepaald kunnen worden beschreven. Alleen de in de literatuur genoemde parameters werden behandeld, hoewel wel getracht werd om de open plekken op te vullen. De kwaliteit van het verkeer wordt door het merendeel der onderzoekers beoordeeld op grond van de criteria: ritduur, onkosten - brandstofverbruik en slijtage -, ongevalsrisico en de mate waarin de bestuurder zich bij het autorijden moet inspannen; in deze opsomming is de volgorde een maat voor de prioriteit die het merendeel der weggebruikers aan deze factoren toekent. Volledigheidshalve dient wel vermeld te worden dat de beoordelingsverschillen bij weggebruikers zeer groot zijn; het is dus niet zo dat iedere weggebruiker aan genoemde factoren dezelfde prioriteit verleent.

Aan de hand van genoemde criteria onderzoekt men, voor iedere parameter en methode afzonderlijk, in hoeverre de kwaliteit van het verkeer er mee gekenmerkt kan worden.

De parameters zijn ingedeeld in groepen. Bij de parameters van de eerste groep beschouwt men steeds een tijdvak, bij de parameters en methoden van de tweede groep de snelheid van het voertuig en bij die van de derde groep hun versnelling, hoewel men bij sommige parameters van deze groep tevens de hoekveranderingen, de gemiddelde snelheid en eenvoudige aspecten van de voertuigbediening in aanmerking neemt.

De parameters van de eerste groep geven vooral informatie omtrent de ritduur. In enkele parameters "verwerkt" men echter ook het aantal malen en de tijdvakken dat er gestopt wordt. In dat geval is de waarde van deze parameter ook een maat voor de irritatie en het ongenoegen tijdens de rit.

De parameters en methoden waarbij men de snelheid van het voertuig beschouwt geven eveneens informatie omtrent de ritduur. Omdat men tevens de snelheid kent, heeft men nu toch meer informatie omtrent de toestand van het verkeer. Bij enkele parameters van deze groep neemt men ook de snelheidsveranderingen in aanmerking. De informatie die men zodoende verkrijgt, is in veel gevallen hetzelfde als die men bij het meten van de versnelling verkrijgt.

Aangezien een toename van de grootte en frequentie van de versnelingen van een voertuig in het wegverkeer correspondeert met een toename van de onkosten - brandstofverbruik, slijtage -, het ongevalsrisico en de mate waarin de bestuurder zich moet inspannen, geven de waarden van deze parameters en de methoden van deze groep informatie omtrent de grootte van laatstgenoemde factoren; zie May (1959), Gibbons & Proctor (1954) en Brouwer (1975). Deze parameters en methoden houden verband met de wijze waarop het voertuig bediend wordt. Immers, indien de versnellingen frequent en groot zijn, zal er veel geschakeld - dit geldt uiteraard niet voor auto's met automatische versnellingsbakken - geremd en op de gaspedaal getrapt worden.

Tenslotte worden twee methoden waarbij men het optreden van bepaalde gebeurtenissen telt - wrijvingsconcept en het aantal malen dat men van rijstrook wisselt - genoemd. In principe zouden deze verband houden met alle aspecten die de kwaliteit van het verkeer bepalen. Om dit verband exact te bepalen zal echter nog veel onderzoek verricht moeten worden.

Algemeen geldt dat hoe meer gedetailleerd het kenmerk van de individuele voertuigbeweging is, waarop de parameter gebaseerd is, hoe meer inspanning nodig is voor het meten, registreren en verwerken; vergelijk bijvoorbeeld de ritduur, de snelheidsruis en de versnellingsruis. Verder is er nog een belangrijke tweedeling aan te brengen, nl. die waarbij gebruik gemaakt wordt van proefvoertuigen en proefpersonen en die waarbij men willekeurige verkeersdeelnemers observeert. In het eerste geval blijft het altijd de vraag of de proefpersoon wel representatief is en zich normaal gedraagt; anderzijds

is het meten, ook van gedetailleerde kenmerken, relatief eenvoudig. In het tweede geval zijn er minder problemen met de validiteit van de methode, echter bij gedetailleerde kenmerken is het meten of zeer kostbaar en soms zelfs niet mogelijk.

3.2. Overzicht van de parameters en methodes om de voertuigbewegingen te kenmerken en in verband te brengen met de kwaliteit van het verkeer

1. Ritduur
2. Rijtijd
3. Ritduur per afstand
4. Oponthoud
5. Gemiddelde ritsnelheid
6. Ontwerpsnelheid
7. Gemiddelde ontwerpsnelheid
8. Kruissnelheid
9. Momentane snelheid
10. Snelheidsruis
11. De standaarddeviatie van de snelheidsruis
12. Histogrammen van snelheid
13. Versnellingsruis
14. De parameter van Helly
15. De kwaliteitsfactor
16. De service-index
17. De inspanningsparameter
18. Het getal van Greenshields
19. Energieveranderingsruis
20. Histogrammen van versnelling
21. Het vermogensdichtheidsspectrum van de versnelling
22. Het wrijvingsconcept
23. Het aantal malen dat men van rijstrook wisselt.

AFBEELDINGEN

Afbeelding 1. Histogrammen van de snelheid, gemiddeld over drie ritten, bij twee verkeersstroomtoestanden. Bij a) is de dichtheid 252 vtg/mijl en bij b) 74,4 vtg/mijl op een vierstrooks rijbaan van een autosnelweg.

Bron: Torres (1970).

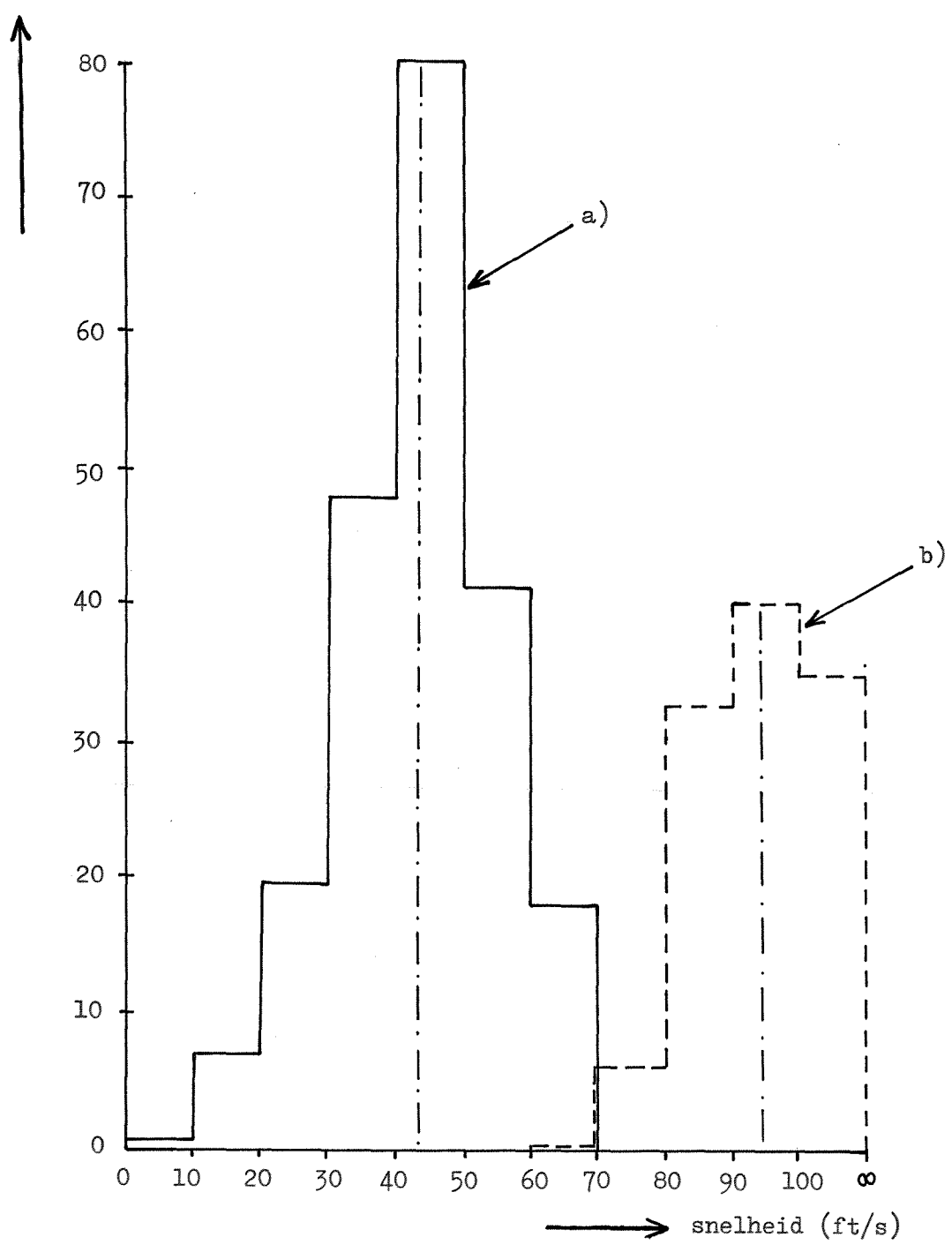
Afbeelding 2. Histogram van de versnelling, gemiddeld over drie ritten, bij grote verkeersdrukke op een autosnelweg.

Bron: Torres (1970).

Afbeelding 3. Vermogensdichtheidsspectra van twee ritten bij verschillende verkeersstroomtoestanden, gekenmerkt door hoge en lage dichtheid. (N.B. De verticale schaal is in beide gevallen verschillend)

Bron: Torres (1970).

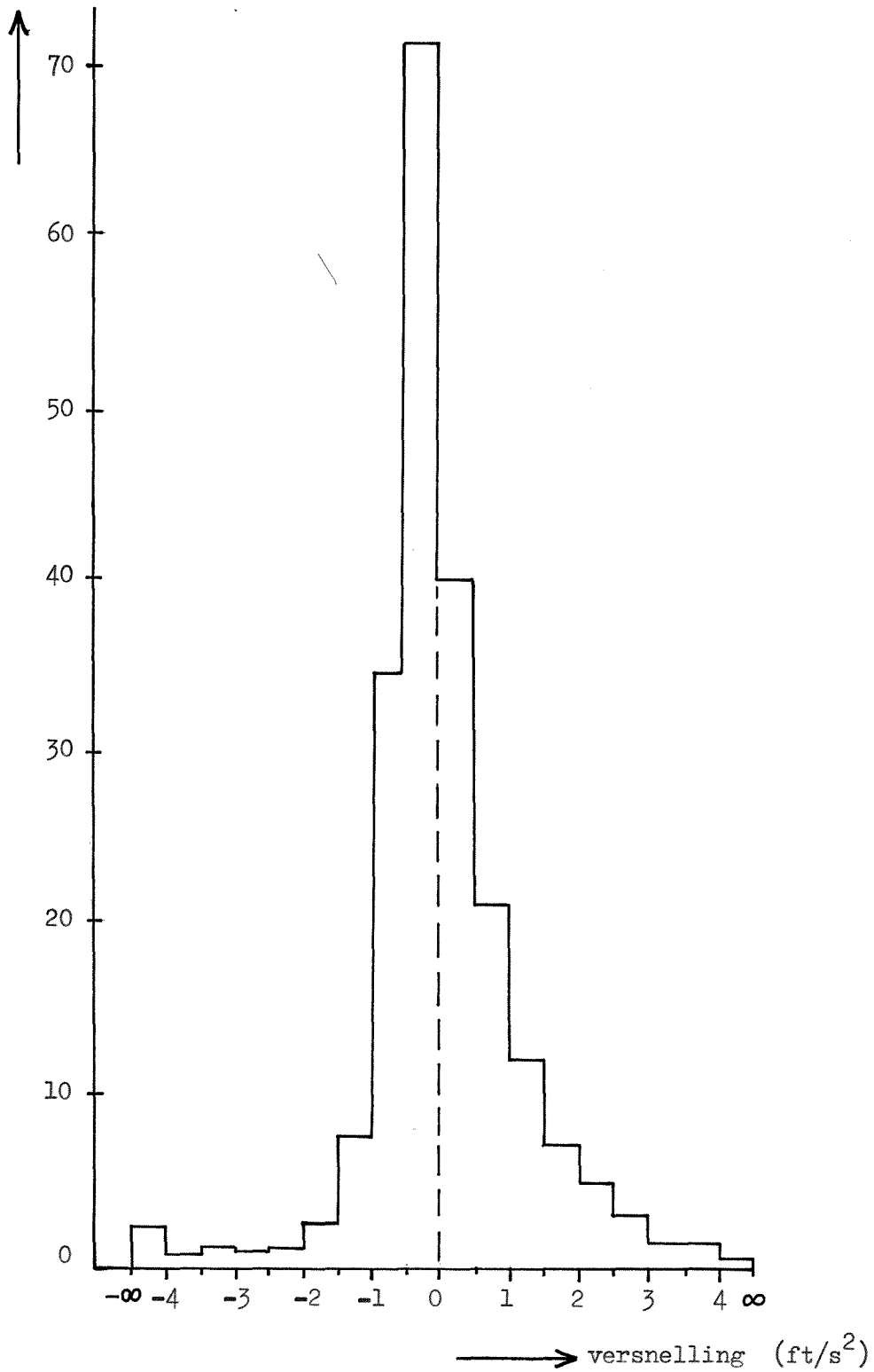
gemiddeld aantal seconden per rit



Afbeelding 1. Histogrammen van de snelheid, gemiddeld over drie ritten, bij twee verkeersstroomtoestanden. Bij a) is de dichtheid 252 vtg/mijl en bij b) 74,4 vtg/mijl op een vierstrooks rijbaan van een autosnelweg.

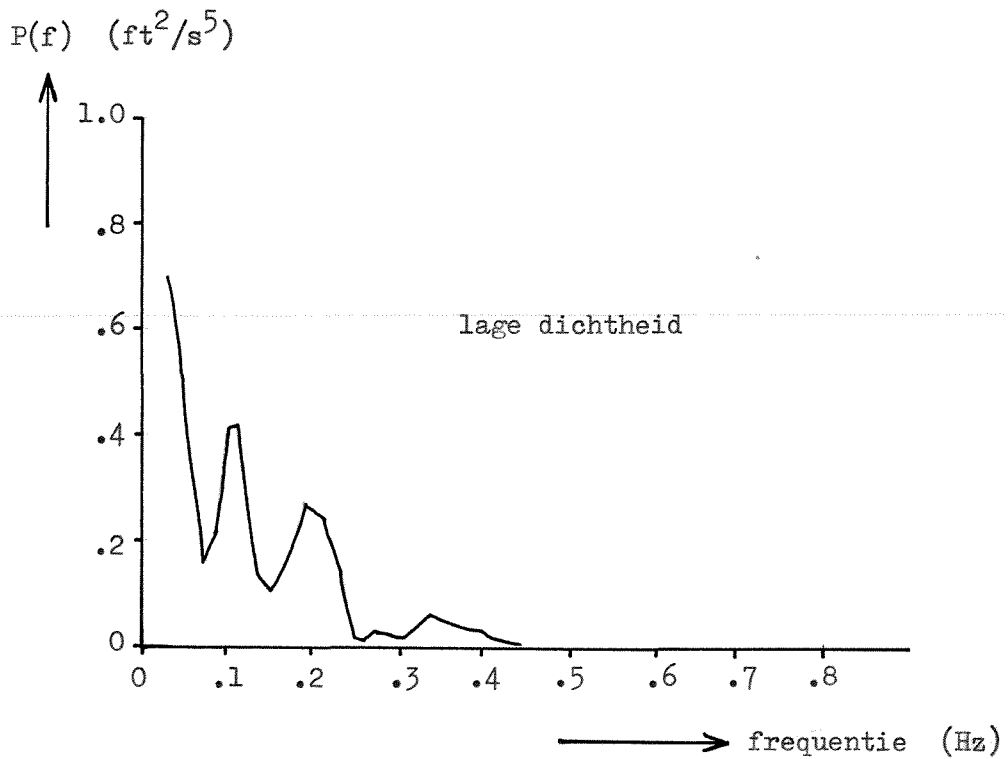
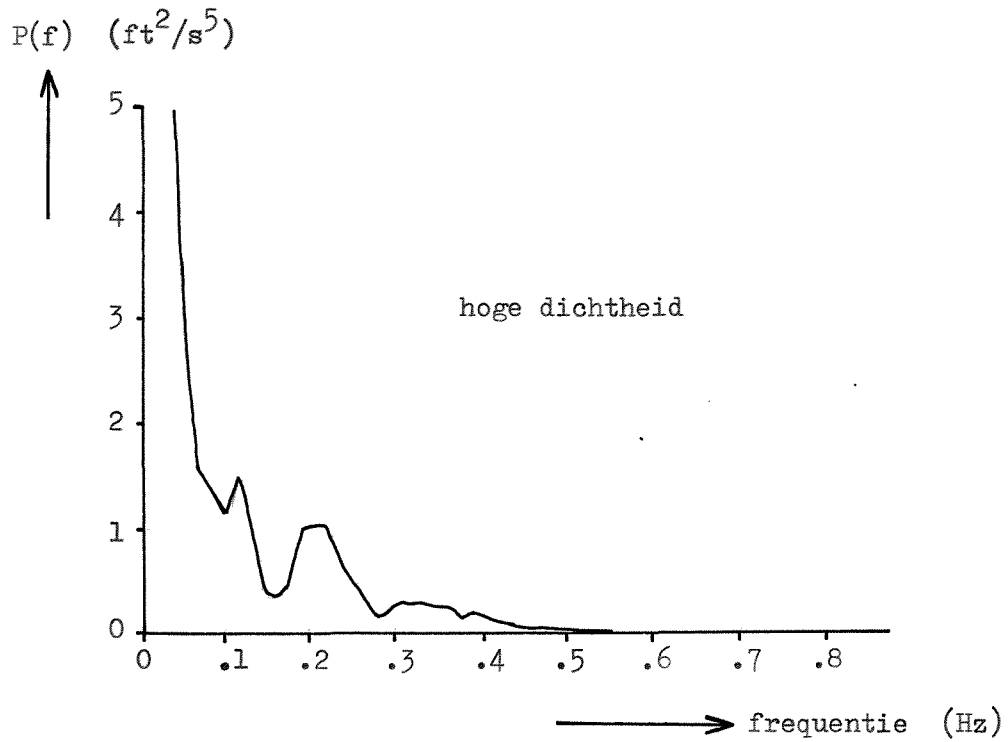
Bron: Torres (1970).

gemiddeld aantal seconden per rit



Afbeelding 2. Histogram van de versnelling, gemiddeld over drie ritten, bij grote verkeersdrukke op een autosnelweg.

Bron: Torres (1970).



Afbeelding 3. Vermogensdichtheidsspectra van twee ritten bij verschillende verkeersstroomtoestanden, gekenmerkt door hoge en lage dichtheid. (N.B. De verticale schaal is in beide gevallen verschillend)

Bron: Torres (1970).

LITERATUUROVERZICHT

AASHO. A policy on arterial highways in urban areas. American Association of State Highway Officials, Washington, 1957.

AASHO. A policy on geometric design of rural highways. American Association of State Highway Officials, Washington, 1957.

Ashworth, R. Effect of lane closure on traffic delay. Traffic Engineering & Control 11 (1969) 8 (dec.): 373-375.

Berry, D.S. & Green, F.H. Techniques for measuring overall speeds in urban areas. In: Proc. Highway Research Board 29 (1949): 311-318.

Berry, D.S. Evaluation of techniques for determining overall travel time. In: Proc. Highway Research Board 31 (1952): 429-440.

Beukers, B. Verkeersbeïnvloeding op autosnelwegen. In: Intertraffic '74 "Beheerst Verkeer". Definitief programma; Teksten Lezingen. RAI, Amsterdam, 1974.

Brouwer, C. Versnellingsruis in stadsverkeer. Verkeerstechniek 25 (1974) 8: 438-443.

Brouwer, C. Versnellingsruis en de kwaliteit van de verkeersstroom. Verkeerskunde 26 (1975) 1: 8-15.

Capelle, D.G. An investigation of acceleration noise as a measure of freeway level of service. Texas A and M University, 1966 (niet gepubliceerd).

Cribbins, P.D., Horn, J.W., Blackburn, J.D., Vick, C.E. Jr. Development and use of maximum-car technique for measuring travel time. Highway Research Board Bulletin 303 (1961): 94-102.

Drew, D.R., Dudek, C.L., Keese, Ch.J. Freeway level of service as described by an energy-acceleration noise model. Highway Research Record 162: 30-85. Highway Research Board, Washington, 1967.

Gibbons, J.W. & Proctor, A. Economic costs of traffic congestion. Highway Research Board Bulletin 86 (1954): 1-25.

Goolsby, M.E. Influence of incidents on freeway quality of service. Highway Research Record 349. Highway Research Board, Washington, 1971.

Gordon, D.A. Driver interactions and delays in freeway traffic. Highway Research Record 336. Highway Research Board, Washington, 1970.

Greenshields, B.D. Quality of traffic transmission. In: Proc. Highway Research Board 34 (1955): 508-522.

Greenshields, B.D. Traffic accidents and the quality of traffic transmission. Highway Research Board Bulletin 208 (1958): 145.

Greenshields, B.D. The quality of traffic flow. In: Quality and theory of traffic flow. Bureau of Highway Traffic, Yale University, 1961.

Greenshields, B.D. Drivometer determining quality of traffic flow for engineers. Traffic Engineering 35 (1965) (nov.).

Greenshields, B.D. Measurement of the quality of traffic performance. District of Columbia, Department of Highways and Traffic, 1967.

Greenshields, B.D. The measurement of highway traffic performance. Traffic Engineering 39 (1969) (april).

HRB. An introduction to traffic flow theory. Special Report 79. Highway Research Board, Washington, 1964.

HRB. Highway capacity manual. Special Report 87. Highway Research Board, Washington, 1965.

Haley, C., Hall, E., Johnson, A. Travel time - a measure of service and a criterion for improvement priorities. Highway Research Record 35 (1-17). Highway Research Board, Washington, 1963.

Heimbach, C.L. Effective distance of urban highway travel for supermarket shopping trips. University of Michigan, 1963 (dissertation).

Helly, W. & Baker, W. Acceleration noise in a congested signalized environment. In: Edie, L.C. et al. (ed.) Vehicular Traffic Science. Proc. III Int. Symp. on the theory of traffic flow. Elsevier, New York, 1967.

Herman, R. & Rothery, R. Frequency and amplitude dependence of disturbances in a traffic stream. In: Leutzbach, W. & Baron, P. (ed.) Beiträge zur Theorie des Verkehrsflusses. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik 86. Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1969.

Institute of Traffic Engineers. Manual of traffic engineering studies. 3th edition. Washington, 1964.

Institute of Traffic Engineers. Traffic engineering handbook. 3th edition. Washington, 1965.

Jones, T.R. & Potts, R.B. The measurement of acceleration noise, a traffic parameter. Operations Research 10 (1962): 745-763.

Kell, J. Results of computer simulation studies as related to traffic signal operation. Proc. Institute of traffic engineers, 1963.

Kennedy, N. et al. Fundamentals of traffic engineering. 6th edition. Institute of Transportation and Traffic Engineering. Univ. of California, Berkeley, 1966.

Lee, J. & Yu, J.C. Energy change noise: a measure of the quality of freeway traffic. *Traffic Engineering* 44 (1974) (feb.).

May, A.D. Jr. A friction concept of traffic flow. In: *Proc. Highway Research Board* 38 (1959).

Michaels, R.M. Tension responses of drivers generated on urban streets. *Highway Research Board Bulletin* 271 (1960): 29-44.

Montroll, E.W. Acceleration noise and clustering tendency of vehicular traffic. In: Herman, R. (ed.). *Theory of traffic flow. Proc. Symp. on the theory of traffic flow.* Elsevier, Amsterdam, 1961,

Munjal, P.K. & Hsu, Y.S. Characteristics of freeway traffic and of freeway lane-changing behaviour. *Highway Research Record* 453. Highway Research Board, Washington, 1973.

NNI. Nomenclatuur van het verkeer (wegverkeer). Normblad NEN 3391. Nederlands Normalisatie Instituut, Rijswijk, 1970.

Oppenlander, J.C. Variables influencing spot-speeds characteristics. *Special Report* 89. Highway Research Board, Washington, 1966.

Pahl, J.P. Lane-change frequencies in freeway traffic flow. *Highway Research Record* 409. Highway Research Board, Washington, 1973.

Platt, F.N. A proposed index for the level of traffic service. *Traffic Engineering* 33 (1963) (nov.).

Powers, L.D. & Michaels, H.L. Effects on speeds and accidents of improved delineation at three hazardous locations. *Highway Research Board Bulletin* 303 (1961): 10-24.

Sandys, R.C. & Schaepli, J.L. Display of a measured traffic network (DMTN). Final report of project IRO 812531-75. Stanford Research Institute, Menlo Park, Cal., z.j.

Sawhill, R.B. Travel time techniques on a two-lane rural highway. Institute of Traffic Engineering. Univ. of California, Berkeley, 1952.

Schaepli, J.L. Dynamic simulation and data display for street traffic control. Stanford Research Institute, Menlo Park, Cal., 1970.

Shaw, H. & Michael, H. Evaluation of delay and accidents at intersections to warrant construction of a median lane. Highway Research Record 257 (17-33). Highway Research Board, Washington, 1968.

Sylianow, V.V. Comparison of the pattern of accident rates on roads of different countries. Traffic Engineering & Control 14 (1973) jan.: 432-435.

Rowan, N. Acceleration noise as a measure of traffic service on major streets. Texas A and M University, 1966 (niet gepubliceerd).

Taragin, A. & Hopkins, R.C. A traffic analyser: its development and application. In: Public Roads 31 (1960) 5 (Dec.) 120-124.

Torres, J.F. Acceleration noise, power spectra, and other statistics derived from instrumental vehicle measurements under freeway driving conditions. Highway Research Record 308. Highway Research Board, Washington, 1970.

Torres, J.F. Objective measurement of driver-vehicle effort under field conditions and some relationships. In: Papers of Int. Symp. on psychological aspects of driver behaviour. SWOV, Voorburg, 1971.

Treadway, T.B. & Oppenlander, J.C. Statistical modeling of travel speeds and delays on high-volume highways. Highway Research Record 199 (1-18). Highway Research Board, Washington, 1967.

Walker, W.P. Speed and travel time measurement in urban areas.
Highway Research Board Bulletin 156 (1957): 27-44.

Wingerd, N.C. Minimum speed limits on freeways. Highway Research
Record 244. Highway Research Board, Washington, 1968.