

STATE OF THE ART RAPPORT "VERKEERSSTROOMMODELLEN"

Deel II. Macroscopische verkeersstroomkenmerken

R-77-40

Ir. H. Botma

Voorburg, oktober 1977

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

## INHOUD

### Samenvatting

### Symbolen en afkortingen

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.     | <u>Inleiding</u>   | 1  |
| 2.     | <u>Definitie grootheden en begrippen</u>   | 3  |
| 2.1.   | Intensiteit  | 3  |
| 2.2.   | Dichtheid  | 4  |
| 2.3.   | Gemiddelde snelheid  | 4  |
| 2.4.   | Relatie tussen intensiteit, dichtheid en gemiddelde<br>snelheid                      | 5  |
| 2.5.   | Homogeen en stationair   | 7  |
| 2.6.   | Prestatie en reistijd  | 8  |
| 2.7.   | Definities van intensiteit, dichtheid en gemiddelde<br>snelheid voor weg-tijd gebied | 10 |
| 2.8.   | Doorstroming   | 11 |
| 2.9.   | "Kinetische energie"   | 11 |
| 2.10.  | Voertuigequivalentie   | 12 |
| 2.11.  | Bezettingsgraad  | 12 |
| 2.12.  | Terminologie   | 13 |
| 3.     | <u>Macroscopische verkeersstroomkenmerken en kwaliteiten<br/>verkeer</u>             | 14 |
| 3.1.   | Inleiding  | 14 |
| 3.2.   | Relatie met veiligheid   | 14 |
| 3.2.1. | Intensiteit  | 14 |
| 3.2.2. | Verkeerssamenstelling  | 16 |
| 3.2.3. | Dichtheid  | 16 |
| 3.2.4. | Gemiddelde snelheid  | 17 |
| 3.2.5. | Afwikkelingsniveau   | 17 |
| 3.3.   | Maatregelen geïndiceerd door de relatie tussen on-<br>veiligheid en intensiteit      | 19 |
| 3.4.   | Relatie met afwikkeling  | 21 |

Tabellen en Afbeeldingen

Literatuur

Appendix: Samenvatting van onderzoeken naar de relatie tussen  
uurintensiteit en onveiligheid

Nederland

Bondsrepubliek Duitsland

Verenigde Staten van Noord-Amerika

Tabellen en afbeeldingen

Literatuur

## SAMENVATTING

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

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

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

## SYMBOLLEN EN AFKORTINGEN

|               |                                       |
|---------------|---------------------------------------|
| A.N.          | afwikkelingsniveau                    |
| $b_L$         | bezettingsgraad in plaats             |
| $b_M$         | bezettingsgraad in tijd               |
| d             | voertuiglengte                        |
| $E_{kin}$     | kinetische energie                    |
| $f_L$         | locale kansdichtheid snelheden        |
| $f_M$         | momentane kansdichtheid snelheden     |
| $F_L$         | locale snelheidsverdeling             |
| $F_M$         | momentane snelheidsverdeling          |
| k             | dichtheid                             |
| K             | prestatie                             |
| lim           | limiet                                |
| m             | aantal voertuigen in wegvak           |
| n             | aantal voertuigen in tijdsinterval    |
| O.Q.          | ongevallenquotiënt                    |
| p             | passeertijd                           |
| p.a.e.        | personenauto-eenheid                  |
| P             | kans                                  |
| q             | intensiteit                           |
| R             | reistijd                              |
| t             | tijd                                  |
| T             | lengte tijdsinterval                  |
| v             | snelheid                              |
| $\bar{v}_L$   | locale gemiddelde snelheid            |
| $\tilde{v}_L$ | locale harmonisch gemiddelde snelheid |
| $\bar{v}_M$   | momentane gemiddelde snelheid         |
| x             | plaats                                |
| X             | lengte wegvak                         |
| $\sigma^2$    | variantie                             |

Bij definities wordt het identiteitssymbool  $\equiv$  gebruikt

## 1. INLEIDING

Een netwerk van wegen is opgebouwd uit aders en kruispunten. Zoals reeds in Deel I van het State of the art rapport is gesteld, zullen voornamelijk verkeersstromen op aders beschouwd worden.

Belangrijke kenmerken van het verkeer op een ader zijn de hoeveelheid voertuigen en hun snelheden. Men kan de hoeveelheid voertuigen karakteriseren door de intensiteit, het aantal voertuigen dat per tijdseenheid een wegdoorsnede passeert, en door de dichtheid, het aantal voertuigen dat per weglengte-eenheid aanwezig is. De snelheden kunnen gekarakteriseerd worden door de gemiddelde snelheid waarbij het van belang is hoe en over welke groep voertuigen men middelt. De drie kenmerken intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid vormen de basis bij macroscopische beschouwingen van een verkeersstroom. Naast verschillende definities voor deze drie zullen kenmerken die er sterk mee samenhangen, zoals prestatie, reistijd en doorstroming, behandeld worden.

Praktisch heeft men voor het bepalen van de kenmerken intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid eindige weglengtes of tijdsintervallen nodig. Voor theoretische beschouwingen is het nuttig de beschikking te hebben over definities van deze kenmerken voor een weglengte en tijdsinterval van afmeting nul, d.w.z. voor een plaats en een moment. Dit kan gedefinieerd worden als men het verkeer beschouwt als de realisatie van een proces waarin het toeval een rol speelt. Aan de andere kant kunnen intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid ook gedefinieerd worden voor een weg-tijd gebied. Zodoende heeft men de beschikking gekregen over drie met elkaar samenhangende definities; welke de voorkeur verdient is afhankelijk van het gebruik.

De drie basiskenmerken zijn niet onafhankelijk, maar sterk gekoppeld door de relatie intensiteit is dichtheid maal gemiddelde snelheid. Deze relatie geldt echter niet voor alle definities exact. Is dat wel het geval dan bepalen dus twee van de drie kenmerken de derde.

Relaties tussen twee van de drie basiskenmerken, die gelden als de verkeersstroom in evenwicht is, en die voortvloeien uit de aard van processen in de verkeersstroom, staan bekend onder de naam basisdiagrammen. Ze komen in Deel III van dit State of the art rapport aan de orde. Dynamische relaties, die het verloop in plaats en tijd beschrijven, worden in Deel IV behandeld.

Zoals reeds in Deel I gesteld is het doel van dit State of the art rapport onder meer na te gaan wat er bekend is over de relaties tussen kenmerken en bepaalde kwaliteitsaspecten van de verkeersstroom.

De kwaliteit van een verkeersstroom wordt in meerdere of mindere mate beïnvloed door vele factoren, te verdelen in: wegkenmerken, bestuurderskenmerken, omstandigheden, vaste voertuigkenmerken en variabele voertuigkenmerken. De laatste factor wordt op macroscopisch niveau gekarakteriseerd door intensiteit, dichtheid enz. Nagegaan zal worden wat er bekend is over de relaties tussen deze kenmerken en de kwaliteiten van de verkeersstroom waaronder de veiligheid, gegeven de andere factoren.

## 2. DEFINITIE GROOTHEDEN EN BEGRIPPEN

### 2.1. Intensiteit

Het aantal voertuigen dat per tijdseenheid een wegdoorsnede passeert wordt intensiteit genoemd. Onder het passeren van een voertuig moet worden verstaan het passeren van een bepaald punt van het voertuig bv. voorkant of "eerste as".

De intensiteit kan betrekking hebben op de totale wegdoorsnede of een deel daarvan (rijbaan of rijstrook) en op verkeer in één of beide richtingen.

De tijdseenheid die bij de intensiteit gebruikt wordt ligt niet vast; gebruikt worden o.a. etmaal, uur, minuut en seconde. Daarnaast is van belang de tijdsduur waarin een intensiteit bepaald wordt. Tijdseenheid en tijdsduur zijn niet noodzakelijk aan elkaar gelijk; de intensiteit gemeten in een etmaal kan opgegeven worden in aantal voertuigen per seconde (vtg/s), al is dit niet gebruikelijk. Het voordeel van de eenheid vtg/s is dat men geattendeerd wordt op het belang van de tijdsduur.

Voor theoretische beschouwingen is het van belang over een intensiteitsbegrip te beschikken dat betrekking heeft op een tijdsduur nul. Het zou wenselijk zijn voor de twee intensiteitsbegrippen, betrekking hebbend op een eindige tijdsduur en een tijdsduur nul, verschillende woorden te gebruiken. Ze worden in het Nederlandse arsenaal van verkeerskundige begrippen echter niet onderscheiden, zodat ze hier beide met intensiteit aangeduid zullen worden (zie ook par. 2.9., Terminologie).

Voor het definiëren van een intensiteit voor een tijdsduur nul is het nodig te veronderstellen dat het passeren van voertuigen ten dele door toeval bepaald wordt, m.a.w. het aantal voertuigen dat een wegdoorsnede in een zekere tijd passeert is een stochastische variabele. Noem  $n(x, t, t+T)$  het aantal voertuigen dat wegdoorsnede  $x$  passeert in het tijdsinterval  $(t, t+T)$ . De limiet van  $n$  voor  $T$  gaat naar nul ( $T \rightarrow 0$ ) is niet gedefinieerd, echter wel de limiet van de kans dat  $n$  groter of gelijk 1 is. Zo wordt de intensiteit voor tijdsduur nul gedefinieerd als:



$$q(x, t) \equiv \lim_{T \rightarrow 0} P \left[ n(x, t, t+T) = 1 \right] / T \quad (2.1)$$

met  $P [ \dots ]$  is kans dat gebeurtenis ..... optreedt.

In plaats van de gebeurtenis  $n \geq 1$  is  $n=1$  genomen, omdat  $P(n \geq 2)$  verwaarloosd kan worden. Ter verduidelijking kan nog gezegd worden dat de kans dat een voertuig wegdoorsnede  $x$  passeert in het tijdsinterval  $(t, t+\Delta t)$  gelijk is aan  $q(x, t)\Delta t$ .

## 2.2. Dichtheid

Het aantal voertuigen dat per eenheid van weglengte op een zeker tijdstip aanwezig is wordt dichtheid genoemd. Onder de aanwezigheid van een voertuig moet worden verstaan de aanwezigheid van een bepaald punt van het voertuig.

Evenals de intensiteit kan de dichtheid betrekking hebben op de totale weg, een rijbaan of een rijstrook.

Gebruikelijke eenheden voor de dichtheid zijn vtg/km en vtg/m.

De laatste eenheid heeft als voordeel dat men geattendeerd wordt op het onderscheid tussen de gebruikte eenheid en de weglengte waarover een dichtheid bepaald wordt.

Geheel analoog aan de intensiteit kan men een dichtheid definiëren voor een weglengte nul. Noem  $m(x, x+X, t)$  het aantal voertuigen op het wegvak  $(x, x+X)$  ten tijde  $t$ . Dan wordt de dichtheid  $k$  voor weglengte nul gedefinieerd als:

$$k(x, t) \equiv \lim_{X \rightarrow 0} P \left[ m(x, x+X, t) = 1 \right] / X \quad (2.2)$$

## 2.3. Gemiddelde snelheid

De gemiddelde snelheid kan op verschillende manieren gedefinieerd worden; zowel de manier van middelen als de groep voertuigen waarover gemiddeld wordt is van belang.

Beschouw de snelheden  $v_i$  van de  $n$  voertuigen die wegdoorsnede  $x$  passeren in tijdsinterval  $(t, t+T)$ . Het gemiddelde van deze snelheden wordt de lokale gemiddelde snelheid genoemd, in formule:

$$\bar{v}_L \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (2.3)$$

Het is een gewoon of rekenkundig gemiddelde van lokale snelheden. Verondersteld wordt dat de snelheden stochastische variabelen zijn met een verdelingsfunctie  $F_L(v; x, t, t+T) = P[v_i \leq v]$  en dat  $F_L$  ook betekenis heeft als  $T$  naar nul nadert. De lokale snelheidsverdeling wordt gedefinieerd als:

$$F_L(v; x, t) \equiv \lim_{T \rightarrow 0} F_L(v; x, t, t+T) \quad (2.4)$$

Beschouw vervolgens de snelheden  $v_j$  van de  $m$  voertuigen die in wegvak  $(x, x+X)$  ten tijde  $t$  aanwezig zijn. Het gemiddelde van deze snelheden wordt de momentane gemiddelde snelheid genoemd, in formule:

$$\bar{v}_M \equiv \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m v_j \quad (2.5)$$

Het is een gemiddelde van momentane snelheden, die verondersteld worden een verdelingsfunctie  $F_M(v; x, x+X, t)$  te hebben, met betekenis als  $X$  naar nul nadert. De momentane snelheidsverdeling wordt gedefinieerd als:

$$F_M(v; x, t) \equiv \lim_{X \rightarrow 0} F_M(v; x, x+X, t) \quad (2.6)$$

Verondersteld wordt dat naast de lokale en momentane snelheidsverdeling ook de overeenkomstige kansdichtheden bestaan, resp.  $f_L(v; x, t)$  en  $f_M(v; x, t)$ .

#### 2.4. Relatie tussen intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid

Met behulp van de behandelde definities kan een relatie tussen in-

tensiteit, dichtheid, locale en momentane kansdichtheden van de snelheid afgeleid worden.

De kans op een voertuig met snelheid tussen  $v$  en  $v+\Delta v$  ter plaatse  $x$  in het tijdsinterval  $(t, t+\Delta t)$  is

$$q(x, t) \Delta t f_L(v; x, t) \Delta v \quad (\text{zie Afbeelding 1}).$$

De kans op een voertuig met snelheid tussen  $v$  en  $v+\Delta v$  op het wegvak  $(x, x+\Delta x)$  ten tijde  $t+\Delta t$  is

$$k(x, t+\Delta t) \Delta x f_M(v; x, t+\Delta t) \Delta v.$$

Voor  $\Delta x = v \Delta t$  zijn beide kansen aan elkaar gelijk. Laat in de gelijkheid  $\Delta t$  naar nul naderen, dan volgt:

$$q(x, t) f_L(v; x, t) = v k(x, t) f_M(v; x, t) \quad (2.7)$$

Uit (2.7) kunnen afgeleid worden (gemakshalve is de afhankelijkheid van  $x$  en  $t$  weggelaten):

$$q = k \bar{v}_M \quad (2.8)$$

$$q = k \tilde{v}_L \quad (2.9)$$

$$\bar{v}_L = \bar{v}_M + \sigma_M^2 / \bar{v}_M \quad (2.10)$$

waarin

$$\bar{v}_M \equiv \int v f_M(v) dv = (\text{gewoon}) \text{ gemiddelde momentane snelheden}$$

$$\bar{v}_L \equiv \int v f_L(v) dv = (\text{gewoon}) \text{ gemiddelde locale snelheden}$$

$$\tilde{v}_L \equiv 1 / \int \frac{1}{v} f_L(v) dv = \text{harmonisch gemiddelde locale snelheden}$$

$$\sigma_M^2 \equiv \int (v - \bar{v}_M)^2 f_M(v) dv = \text{variantie momentane snelheden.}$$

Relaties (2.8) en (2.9) zijn vormen van de bekende identiteit intensiteit = dichtheid maal gemiddelde snelheid. Bij locale metingen wordt nog al eens  $q = k \bar{v}_L$  gebruikt, hetgeen in theorie niet juist is. De fout die dan gemaakt wordt kan in principe met (2.10) bepaald worden. Eenvoudiger is het de fout te vermijden door (2.9) te gebruiken.

De beschouwingen in par. 2.1 t/m 2.4 zijn voor een deel ontleend aan Leutzbach (1972); een goede behandeling van de relaties tussen locale en momentane grootheden wordt gegeven door Breiman (1974).

### 2.5. Homogeen en stationair

De in het voorgaande behandelde definities en relaties gaan over theoretische grootheden die niet waargenomen kunnen worden. Voor de bepaling van intensiteiten, dichtheden en gemiddelde snelheden zijn eindige wegvakken en tijdsintervallen nodig. Belangrijk wordt dan in hoeverre de grootheden als functie van plaats en tijd constant zijn.

Beschouw een grootheid  $z$  die een functie is van plaats en tijd.  $z$  wordt homogeen genoemd als  $z$  onafhankelijk is van de plaats, dus als

$$z(x, t) = z(t).$$

$z$  wordt stationair genoemd als  $z$  onafhankelijk is van de tijd, dus als

$$z(x, t) = z(x).$$

De begrippen laten zich illustreren met voertuigbanen waarbij tevens blijkt dat er situaties zijn waarbij het ene verkeersstroomkenmerk wel stationair of homogeen is en het andere niet.

In Afbeelding 2 is een aantal sterk geschematiseerde voertuigbanen geschetst. De weg verandert ter plaatse  $x_0$ . Alle voertuigen veranderen bij het passeren van  $x_0$  hun snelheid onmiddellijk, zodat hun onderling tijdsverschil (volgtijd) constant blijft en hun onderlinge afstand verandert. Binnen wegvak  $X$  en tijdsinterval  $T$  is nu de intensiteit  $q$  stationair en homogeen, want

$$q(x_1, t_1) = q(x_1, t_2) = q(x_2, t_1)$$

en de dichtheid  $k$  is stationair en niet homogeen, want

$$k(x_1, t_1) = k(x_1, t_2) \neq k(x_2, t_1).$$

Voor de gemiddelde snelheid  $\bar{v}$  geldt noodzakelijk hetzelfde als voor de dichtheid, omdat  $q = k \bar{v}$ .

In Afbeelding 3 is geschetst wat er zou kunnen gebeuren als de omstandigheden voor het hele wegvak gelijktijdig veranderen op tijdstip  $t_0$ . De voertuigen veranderen onmiddellijk hun snelheid, waardoor de onderlinge afstand constant blijft en het onderling tijdsverschil verandert. Nu is de dichtheid homogeen en stationair en zijn intensiteit en gemiddelde snelheid homogeen en niet stationair.

Met behulp van de ingevoerde begrippen kan de situatie bij het meten van verkeersstroomkenmerken als volgt omschreven worden. Neem bv. het bepalen van de intensiteit; daarvoor is een eindig tijdsinterval nodig en men moet tevens veronderstellen dat gedurende het tijdsinterval de intensiteit constant is, m.a.w. men kan alleen een stationaire intensiteit bepalen. Is de intensiteit niet constant geweest dan levert de bepaling de gemiddelde intensiteit over het tijdsinterval, maar over hoe het gemiddelde tot stand gekomen is weet men niets. Men kan de onzekerheid verminderen door met zulke kleine tijdsintervallen te werken dat de veronderstelling van een constante intensiteit gedurende de tijdsintervallen wel aanvaardbaar is. Dan worden echter de steekproef-fluctuaties groter. Een oplossing voor deze problematiek kan gevonden worden in het gebruik van toetsen, waarbij men de intensiteiten gemeten in bv. een minuut, of zelfs de passagemomenten van de voertuigen, analyseert; zie Breiman et al (1969) en Breiman en Lawrence (1973).

## 2.6. Prestatie en reistijd

De in het voorgaande gedefinieerde begrippen intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid hadden betrekking op een wegdoorsnede en tijdvak of wegvak en tijdstip of wegdoorsnede en tijdstip. Er kunnen ook verkeersstroomkenmerken gedefinieerd worden ook die betrekking hebben op een wegvak en een tijdvak.

Beschouw de in Afbeelding 4 geschetste voertuigbanen voor het weg-tijdgebied  $0 < x < X$ ,  $0 < t < T$ .

Noem  $x_i$  het gedeelte van  $X$  dat voertuig  $i$  aflegt in het tijdsinterval  $0 < t < T$  en  $t_i$  het gedeelte van  $T$  dat voertuig  $i$  gebruikt in wegvak  $0 < x < X$ . De prestatie  $K$  en de reistijd  $R$  van de voertuigen in het beschouwde weg-tijdgebied worden nu als volgt gedefinieerd:

$$K \equiv \sum x_i \quad R \equiv \sum t_i \quad (2.11)$$

met sommatie over alle voertuigbanen binnen het gebied.

De prestatie wordt meestal uitgedrukt in voertuigkilometers, de reistijd in voertuiguren.

Voor bepaling van prestatie en reistijd zijn niet de volledige voertuigbanen nodig, maar slechts de plaatsen en tijdstippen bij aankomst in en vertrek uit het beschouwde gebied. Identificatie van de voertuigen kan dus ook achterwege blijven. Aangetoond kan namelijk worden dat geldt (zie Afbeelding 5):

$$K = nvX - \sum_{j=1}^{mb} xa_j + \sum_{i=1}^{me} xv_i \quad (2.12)$$

$$R = meT - \sum_{j=1}^{na} ta_j + \sum_{i=1}^{nv} tv_i \quad (2.13)$$

Hierin zijn:  $na$  en  $nv$  de aantallen voertuigen die in de periode  $0-T$  resp. aankomen in, en vertrekken uit, wegvak  $0-X$ ;  $mb$  en  $me$  de aantallen voertuigen op het wegvak, resp. bij begin en eind van de periode  $0-T$ ;  $ta_j$  en  $tv_i$  de aankomst-, resp. vertrektijd; en  $xa_j$  en  $xv_i$  de positie, resp. ten tijde  $0$  en  $T$ .

Uit de formules blijkt ook nog dat men slechts gegevens van drie van de vier zijden van het beschouwde gebied nodig heeft, een gevolg van het feit dat het aantal voertuigen behouden blijft, d.w.z.  $mb + na = nv + me$

Op een ader voor twee-richtingsverkeer gelden dezelfde formules voor de afzonderlijke richtingen, mits het uitgesloten is dat de voertuigen binnen het gebied van richting omkeren.

2.7. Definities van intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid voor weg-tijd gebied

Met behulp van de in par. 2.6. gedefinieerde prestatie en reistijd zijn intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid op zinvolle wijze te definiëren voor een weg-tijd gebied; zie Edie (1965):

$$q \equiv \sum x_i / (XT) \quad k \equiv \sum t_i / (XT) \quad \bar{v} \equiv \sum x_i / \sum t_i \quad (2.14)$$

In dit geval geldt dus per definitie  $q = k\bar{v}$ .

De definities zijn in overeenstemming met die voor een tijdsinterval op een wegdoorsnede en voor een wegvak op een tijdstip. Als men de limiet neemt in (2.14) voor  $X \rightarrow 0$  volgt:

$$q = n/T \quad k = \sum 1/v_i / T \quad \bar{v} = n / \sum 1/v_i \quad (2.15)$$

met  $n =$  aantal vtg. dat in  $T$  passeert. Voor de limiet  $T \rightarrow 0$  in (2.14) ontstaat:

$$q = \sum v_i / X \quad k = m/X \quad \bar{v} = \sum v_i / m \quad (2.16)$$

met  $m =$  aantal voertuigen dat zich op  $X$  bevindt.

Omgekeerd ontstaat de intensiteit voor het weg-tijd gebied door middeling van de "gewone" intensiteit over de weg, nl.

$$\frac{1}{X} \int_0^T q(x, t, t+T) dx = \frac{1}{XT} \int_0^T n(x, t, t+T) dx = \sum x_i / (XT) \quad (2.17)$$

Evenzo ontstaat de dichtheid voor het weg-tijd gebied als men de "gewone" dichtheid middelt over de tijd.

$$\frac{1}{T} \int_0^X k(x, x+X, t) dt = \frac{1}{XT} \int_0^X m(x, x+X, t) dt = \sum t_i / (XT) \quad (2.18)$$

De definities zijn ook geldig voor een willekeurig gevormd gebied in het weg-tijd gebied, bv. voor het gebied dat in beslag genomen wordt door een bepaalde groep voertuigen gedurende een zekere tijd.

Brilon (1973) heeft intensiteiten en dichtheden lokaal (dus volgens formule 2.15) en voor een weg-tijd gebied (volgens formule 2.14) geobserveerd op een landelijke<sup>1)</sup> tweestrooksweg. Hij vond een redelijke overeenstemming, wat te verwachten was, omdat het wegvak homogeen en de verkeersstroom voor wat betreft de macroscopische kenmerken vermoedelijk homogeen en stationair was.

## 2.8. Doorstroming

Behalve de betekenis van de term doorstroming in algemene kwalitatieve zin (vlot verkeer, geen stremmingen e.d.) bestaat er een meer specifiek begrip doorstroming, nl. de afgeleide naar de tijd van de prestatie; in formule:

$$K'(t) \equiv dK/dt \equiv \frac{d}{dt} \sum x_i \quad (2.19)$$

Eenvoudig valt af te leiden dat geldt  $K'(t) = \sum v_i(t) = m\bar{v}_M$ ; in woorden: de doorstroming is de som van de momentane snelheden van alle  $m$  voertuigen die ten tijde  $t$  op het beschouwde wegvak aanwezig zijn. De doorstroming is dus groter naarmate er meer voertuigen aanwezig zijn en naarmate ze sneller rijden.

## 2.9. "Kinetische energie"

Bij sommige beschouwingen wordt het begrip "kinetische energie" van een verkeersstroom gebruikt. Voor een weglengte  $X$  waarop een verkeersstroom aanwezig is met dichtheid  $k$  en momentane gemiddelde snelheid  $\bar{v}_M$  wordt deze gelijk gesteld aan:

$$E_{\text{kin}} \equiv kX\bar{v}_M^2 \quad (2.20)$$

1) landelijk betekent hier buiten de bebouwde kom



Bij vergelijking met het begrip kinetische energie in de fysica, voor een lichaam met massa  $m$  en snelheid  $v$  gelijk aan  $\frac{1}{2}mv^2$ , blijken de massa en de factor  $\frac{1}{2}$  te zijn vervallen. Bovendien is het nog zo dat men in feite het gemiddelde van de kwadraten van de momentane snelheden zou moeten nemen in plaats van het kwadraat van het gemiddelde.

## 2.10. Voertuigequivalentie

Niet alle voertuigen zijn gelijkwaardig voor wat betreft afmetingen en capaciteiten als bv. maximum snelheid en remvertraging. Dit heeft geleid tot een indeling in voertuigcategorieën, personenauto's, vrachtauto's, bussen enz. Bij het beschrijven van een verkeersstroom kan men de grootheden per voertuigcategorie beschouwen. Ter wille van beknoptheid en hanteerbaarheid is het echter vaak gewenst de voertuigen om te rekenen in een gemeenschappelijke eenheid. Omdat personenauto's vrijwel altijd de meerderheid vormen in een verkeersstroom is als eenheid de personenauto-eenheid (p.a.e.) ingevoerd. De omrekeningsfactoren zijn echter in het algemeen niet constant. Ze kunnen afhankelijk zijn van de grootte die men beschouwt, van eigenschappen van de weg als helling en lengte van de helling enz.

## 2.11. Bezettingsgraad<sup>z</sup>

Naast de grootheden intensiteit en dichtheid, die meestal gebruikt worden ter karakterisering van de hoeveelheid verkeer, bestaan de zgn. bezettingsgraden in tijd en plaats waarin de voertuiglengten een rol spelen. De bezettingsgraad in tijd is vermoedelijk in gebruik gekomen omdat het een grootte is die met moderne apparatuur gemakkelijk te meten is. De bezettingsgraad in plaats wordt zelden beschouwd en is, evenals de

---

<sup>z</sup>Niet te verwarren met de begrippen bezetting en bezettingsgraad die betrekking hebben op het aantal inzittenden van een voertuig.

dichtheid, moeilijk te meten.

De bezettingsgraad in tijd  $b_L$  is de fractie van een tijdsinterval  $T$  dat zich boven een wegdoorsnede een voertuig bevindt, in formule:

$$b_L \equiv b(x, t, t+T) \equiv \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n p_i = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n d_i / v_i \quad (2.19)$$

met  $p_i$  = passeertijd,  $d_i$  = voertuiglengte en  $v_i$  = snelheid.

$b_L$  heeft betrekking op een plaats  $x$  en een tijdsinterval  $T$ , het is een locale grootheid.

De bezettingsgraad in plaats  $b_M$  is de fractie van een weglengte  $X$  waar boven zich een voertuig bevindt, in formule:

$$b_M \equiv b(x, x+X, t) = \frac{1}{X} \sum_{j=1}^m d_j \quad (2.20)$$

$b_M$  heeft betrekking op een wegvak  $X$  en een tijdstip  $t$ , het is een momentane grootheid.

Af te leiden valt dat  $b_L = b_M$  als alle voertuigen even lang zijn en intensiteit en dichtheid homogeen en stationair zijn in het beschouwde wegvak en tijdsinterval. Zijn niet alle voertuigen even lang dan geldt de gelijkheid als per klasse voertuigen met dezelfde lengte, intensiteit en dichtheid homogeen en stationair zijn.

## 2.12. Terminologie

Er bestaat een Nederlands normblad over de nomenclatuur van het wegverkeer (NNI, 1970). De grootheden die in het voorgaande zijn ingevoerd stemmen vrijwel overeen met die uit NEN 3391, behalve de verkeersdichtheid die er in omschreven wordt als het aantal verkeerseenheden dat zich op een gegeven ogenblik op een oppervlakte-eenheid van een weg bevindt. Van belang zijn verder de Duitse, Amerikaanse en Britse benamingen van de ingevoerde grootheden.

Opgemerkt moet worden dat er op dit gebied weinig eenheid bestaat; de waarde van het overzicht, dat in Tabel 1 gegeven wordt, is dan ook beperkt.

### 3. MACROSCOPISCHE VERKEERSSTROOMKENMERKEN EN KWALITEITEN VERKEER

#### 3.1. Inleiding

De vraag is of er relaties gelegd kunnen worden tussen de gepresenteerde verkeersstroomkenmerken, afzonderlijk of in combinatie, met kwaliteiten van het verkeer, gegeven de wegkenmerken en bij constante of een normale variatie vertonende omstandigheden, bestuurders- en vaste voertuigkenmerken. De kwaliteit van het verkeer kan vanuit diverse invalshoeken beschouwd worden. Voor de deelnemers zijn van belang:

- veiligheid
- afwikkeling (vlotheid, reistijd, doorstroming)
- exploitatiekosten van het voertuig
- comfort

Voor de omgeving spelen een rol:

- geluidshinder
- luchtvervuiling
- visuele hinder

Wellicht ten overvloede wordt opgemerkt dat de diverse punten niet onafhankelijk zijn. In het volgende zullen alleen de factoren veiligheid en afwikkeling aan de orde komen, de overige vallen met uitzondering van comfort buiten het kader van dit rapport.

#### 3.2. Relatie met veiligheid

In plaats van de veiligheid is het handiger de onveiligheid te beschouwen, die echter nog op diverse manieren gepresenteerd kan worden; zie SWOV (1974). In dit geval lijkt het aantal ongevallen per prestatie de juiste maat, eventueel nog aangevuld met gegevens over de ernst.

##### 3.2.1. Intensiteit

Literatuuronderzoek heeft het volgende opgeleverd:

- A) Op autosnelwegen en aangrenzende categorieën zijn er redelijk sterke aanwijzingen voor het bestaan van een U-vormige relatie

tussen het ongevallenquotiënt (O.Q.) en de uurintensiteit betrokken op de capaciteit, aan te duiden met benuttingsgraad B; zie Afbeelding 6. De overeenstemming tussen de diverse onderzoeken is kwalitatief, kwantitatief treden grote verschillen op.

De "linkertak van de U" is gevonden in 7 onderzoeken: 4 x in West-Duitsland op autosnelwegen, Pfundt (1969), Leutzbach et al (1970), Brilon (1972) en Behrendt & Kloss (1970); 2 x in de Verenigde Staten op "hoofdaders", Gwynn (1966) en Gwynn & Baker (1970); 1 x in Nederland op autosnelwegen, Hilgers (1975). De "rechtertak" is gevonden in 5 onderzoeken, nl. Leutzbach et al, Brilon, Behrendt & Kloss, Gwynn en Hilgers.

Er is echter ook een Westduits onderzoek dat juist een relatief lager O.Q. bij hoge B vindt (Pfundt, 1969).

In het onderzoek van Brilon (1972) wordt ook de ernst van de ongevallen beschouwd die in een bedrag wordt uitgedrukt. Ook het "ongevalskostenquotiënt" blijkt U-vormig met de intensiteit te verlopen.

De rechtertak is ook gevonden bij regen in Nederlands onderzoek op autosnelwegen (Oppe, 1977).

B) Op enkelbaanswegen is de relatie tussen onveiligheid en intensiteit nog vrijwel niet onderzocht.

Brilon (1972) vindt op tweestrookswegen buiten de bebouwde kom wederom een U-vormige relatie tussen ongevallenquotiënt en uurintensiteit. In dit geval blijkt echter dat het "ongevalskostenquotiënt" uitsluitend daalt met toenemende intensiteit, waaruit volgt dat ongevallen bij hoge intensiteit op dit type weg relatief gunstig aflopen.

In het reeds genoemde Nederlandse onderzoek bij regen blijkt op enkelbaans-, voornamelijk tweestrooks-, wegen het ongevallenquotiënt toe te nemen met de intensiteit (Oppe, 1977).

In de Appendix worden meer gegevens van de onderzoeken behandeld.

Hier nog de volgende opmerkingen:

- De relatie tussen O.Q. en globale intensiteiten als gemiddelde etmaalintensiteit e.d. is buiten beschouwing gebleven.
- Het beschouwde O.Q. heeft vrijwel steeds betrekking op alle (geregistreerde) ongevallen ongeacht de afloop.

- Men kan zich afvragen of de uurintensiteit, meestal waargenomen op één doorsnede van het beschouwde wegvak, wel voldoende representatief is voor de toestand van de verkeersstroom.
- In elk geval is de intensiteit geen goede maatstaf voor de toestand van de verkeersstroom als er stremmingen optreden. Dit is eenvoudig in te zien als men bedenkt dat een kleine intensiteit zowel kan voorkomen bij een verkeersstroom met een geringe dichtheid en een hoge snelheid, als bij een verkeersstroom met een grote dichtheid en een lage snelheid.
- Het valt op dat vrijwel geen aandacht wordt besteed aan de toevalsfluctuaties in het aantal (geregistreerde) ongevallen die met weinig extra moeite in betrouwbaarheidsintervallen zijn te vertalen.

### 3.2.2. Verkeerssamenstelling

Deze kan beschouwd worden als een detaillering van de intensiteit. Het vermoeden bestaat dat menging van verschillende voertuigtypen, ook bij snelverkeer, ongunstig is voor de veiligheid. Dit schijnt te worden bevestigd door een nog niet gepubliceerd onderzoek van Ernst et al (z.j.), genoemd in Lenz (1972). Het ongevallenquotiënt is groter naarmate, bij dezelfde totale intensiteit, de fractie vrachtverkeer groter is.

### 3.2.3. Dichtheid

Bij gebruik van één kenmerk is de dichtheid een betere karakterisering van de verkeersstroomtoestand dan de intensiteit. Dit komt omdat, in veel gevallen, uit de dichtheid wel de intensiteit volgt maar het omgekeerde niet geldt (zie ook Deel III). Omdat de dichtheid moeilijk observeerbaar is wordt dit kenmerk niet veel gebruikt, onderzoek naar de relatie met onveiligheid is niet bekend. Mogelijk is de bezettingsgraad in tijd, die wel eenvoudig observeerbaar is, een geschikt alternatief voor de dichtheid.

#### 3.2.4. Gemiddelde snelheid

Het vermoeden dat dit kenmerk op zich in nauwe relatie tot het ongevallenquotiënt staat is ondanks veel onderzoek niet in algemene zin bevestigd. Relevanter is in dit verband de snelheidsverdeling, die in Deel V aan de orde komt.

#### 3.2.5. Afwikkelingsniveau

Intensiteit (uurwaarde en hoogste 5 min. waarde binnen het uur) en kruissnelheid (snelheid die bij gunstig weer onder de optredende verkeersomstandigheden nog juist op veilige wijze kan worden onderhouden) plus nog correcties voor wegkenmerken en verkeerssamenstelling bepalen het zgn. afwikkelingsniveau; zie HRB (1965) of Beukers (1967) en Stuur & Van de Hoef (1969) waaraan de Afbeeldingen 7 en 8 ontleend zijn. Een hoger afwikkelingsniveau (verder aan te duiden met A.N.) moet een kwalitatief beter verkeer representeren, dus wellicht ook een grotere veiligheid. In Nederland is door R.W.S./D.V.K. voor autosnelwegen en enkelbaans 2-strookswegen de relatie tussen A.N. en ongevallenquotiënt O.Q. onderzocht.

Intensiteit en kruissnelheid variëren in de tijd, dus ook het A.N. Als representatief voor een jaar wordt het A.N. van het maatgevende spitsuur genomen en dit laatste is gedefinieerd als "het spitsuur met een verkeersintensiteit, die gedurende 30 tot 50 spitsuren in het betreffende jaar wordt overschreden en waarvoor voorts geldt dat er relatief veel spitsuren in dat jaar zijn met slechts weinig lagere verkeersintensiteiten" (citaat RWS/DVK, 1973).

De twee hoogste A.N.'s A en B en de twee laagste E en F worden samengenomen (vanaf 1975 worden E en F afzonderlijk beschouwd).

A) Resultaat autosnelwegen\*

De resultaten van vijf jaren zijn weergegeven in Tabel 2. Het blijkt dat het totale ongevallenquotiënt in de loop der jaren is gedaald, wat mogelijk voor een deel een gevolg is van een verminderde registratie van ongevallen. De afhankelijkheid van het ongevallenquotiënt van het afwikkelingsniveau verloopt elk jaar ongeveer op dezelfde wijze. Dit blijkt nog wat duidelijker als het O.Q. bij een zeker A.N. gedeeld wordt door het totale O.Q. van het betreffende jaar; zie Tabel 3.

Voor wat betreft de afloop van de ongevallen wordt met betrekking tot de gegevens van 1970 opgemerkt dat het O.Q. voor de ernstige ongevallen (dodelijk of met ernstig lichamelijk letsel) bij A.N. E of F ca. 20% hoger is dan bij A.N. C maar dat dit effect, gezien de geringe aantallen ongevallen, niet significant is.

De conclusie is dat voor autosnelwegen een dalend afwikkelingsniveau samengaat met een stijgend ongevallenquotiënt.

B) Resultaat enkelbaans 2-strookswegen\*

De resultaten van drie jaren zijn weergegeven in Tabel 4. Bij dit wegtype is de invloed van het afwikkelingsniveau op het ongevallenquotiënt nogal verschillend voor de diverse jaren. Niet de hoogste A.N.'s A en B zijn het veiligst maar A.N. C, terwijl in 1973 en 1975 resp. A.N. E of F en A.N. F nog iets veiliger zijn.

De voorlopige conclusie is dat de relatie tussen afwikkelingsniveau en ongevallenquotiënt op enkelbaans 2-strookswegen verschilt van die op autosnelwegen en nog minder duidelijk is. Wel is het al vrij zeker dat de twee hoogste afwikkelingsniveau's niet het veiligst zijn.

---

\*Resultaten ontleend aan RWS/DVK (1972, 1973, 1975, 1976) en Beukers (1974).

Opmerkingen:

- De gegevens zijn afkomstig van rijkswegen buiten de bebouwde kom;
- Het A.N. heeft betrekking op de wegvakken tussen de kruisingen;
- Binnen de categorie enkelbaans 2-strookswegen is nog relatief veel variatie mogelijk, bv. al of niet vrijliggende fietspaden;
- De telpunten op het autosnelwegennet maken voor wat betreft het verkeersstroomkenmerk een onderzoek naar de relatie tussen uurintensiteit of uur A.N. en ongevallen goed mogelijk, zoals ook uit Hilgers (1975) blijkt.

3.3. Maatregelen geïndiceerd door de relatie tussen onveiligheid en intensiteit

Het gegeven dat voor bepaalde typen wegen - autosnelwegen en aangrenzende categorieën - het ongevallenquotiënt (O.Q.) als functie van de benuttingsgraad (B) (uurintensiteit betrokken op de capaciteit) U-vormig verloopt kan diverse maatregelen indiceren.

I Bij lage benuttingsgraad.

A) Voorkomen dat lage B optreedt.

Vermindering capaciteit in stille uren door afsluiten van rijstroken (eenvoudig realiseerbaar bij wegen voorzien van rijstrooksignalering) of wegen (bij parallelroutes).

B) Samengaan van lage B en hoog O.Q. doorbreken.

Verbetering van:

- wegkenmerken als belijning, markering, verlichting;
- voertuigkenmerken, m.n. signalering van bewegingstoestand;
- verkeerskenmerken, m.n. snelheid (maximum, minimum, afhankelijk van wegdek- en weerscondities).

Dit in de veronderstelling dat de ongevallen ontstaan door het niet goed kunnen volgen van de weg, het niet goed en tijdig kunnen waarnemen van afwijkende bewegingstoestanden van andere voertuigen en de grote variatie in snelheidskeuze, zowel bij goede als slechte wegdek- en weerscondities.

Opm. Een lage B kan grotendeels samengaan met andere factoren die de onveiligheid vergroten, in het bijzonder duisternis en alcoholgebruik.



## II Bij hoge benuttingsgraad.

### A) Voorkomen dat hoge B optreedt

- maatregelen op "hoger dan manoeuvre-niveau" (zie het schema bij Asmussen, 1972)

- . ruimtelijke ordening die spitsverkeer vermindert
  - . werktijdspreiding
  - . bevordering openbaar vervoer en "car-pooling" in woonwerk verkeer
  - . uitbreiding aantal rijstroken
- maatregelen op manoeuvre-niveau
- . routegeleiding
  - . toeritdosering

Opm. Toeritdosering, al of niet in combinatie met routegeleiding, betekent in feite een verplaatsing van de hoge benuttingsgraad naar toeritten en/of aansluitende wegen van een lagere categorie met een meestal lager snelheidsniveau. Daarmee wordt voorspelbaarheid voor de weggebruiker van de plaats van de congestie verhoogd en wellicht tevens de congestie op zich minder gevaarlijk vanwege het lagere snelheidsniveau. Anderzijds is het algemene O.Q. op een weg van een lagere categorie hoger zodat het totale effect op de veiligheid zorgvuldig onderzocht moet worden.

Onderzoek in de V.S. naar het effect van toeritdosering op de veiligheid valt meestal positief uit; Everall (1972). Als voorwaarden voor succes worden genoemd: alternatieve route en voldoende opstelruimte bij de toerit beschikbaar en een geschikt oorsprongbestemmingspatroon.

### B) Samengaan van hoge B en hoog O.Q. doorbreken.

Dit is een van de doelstellingen van de in opkomst zijnde verkeerssignaleringsystemen, die echter ook bij niet hoge B een nuttige functie kunnen hebben.

De doelstelling valt uiteen in drie delen:

- beter benutten wegcapaciteit
- verminderen aantal primaire ongevallen
- verminderen aantal secundaire ongevallen (de ongevallen die optreden n.a.v. de primaire).

De middelen die hiertoe gebruikt kunnen worden zijn:

- regeling rijstrookgebruik
- regeling snelheid
- waarschuwingen voor bijzondere gebeurtenissen

- voorkomen stremmingen op hoofdaders t.g.v. congestie op afritten (off-ramp control)

- geleiding van het invoegen (moving merge).

Een uitgebreid signaleringssysteem zal tevens de onder IIA genoemde routegeleiding en toeritdosering omvatten en de sturing zal behalve van de verkeerstoestand ook van weg- en weerscondities afhangen.

#### Opmerkingen.

- De relatie tussen B en O.Q. is slechts een van de factoren die een rol spelen bij de indicatie van maatregelen.

- Behalve het O.Q. is ook de afloop van de ongevallen van belang.

- Verlaging van het O.Q. bij hoge B lijkt effectiever dan bij lage B voor wat betreft het totale O.Q. en het totale aantal ongevallen, echter of dit werkelijk zo is wordt bepaald door de verdeling van de intensiteit over de tijd en de kwantitatieve vorm van de relatie.

- Uiteindelijk zou de totale kosten-baten van maatregelen beschouwd moeten worden.

- Over het effect van signaleringssystemen op de veiligheid is, afgezien van het onderdeel toeritdosering, nog weinig bekend.

- Een overzicht van de ontwikkelingen op het gebied van signaleringssystemen in diverse landen is gegeven door Oei (1976).

#### 3.4. Relatie met afwikkeling

De relatie tussen de behandelde macroscopische verkeersstroomkenmerken en grootheden die met de afwikkeling samenhangen als prestatie, reistijd, doorstroming, afwikkelingsniveau is zeer direct omdat de laatste gedefinieerd worden met behulp van de eerste.

#### 4. SLOTBESCHOUWING

Voor beschrijving en onderzoek van verkeersstromen is er behoefte aan een goed gedefinieerd en samenhangend stelsel van grondbegrippen. Het blijkt dat bij de macroscopische verkeersstroomkenmerken intensiteit, dichtheid en gemiddelde snelheid nog verschillende mogelijkheden bestaan, ze kunnen betrekking hebben op een doorsnede en een tijdstip, een doorsnede en een periode, een wegvak en een tijdstip, een wegvak en een periode. De definities vormen een consistent geheel. De bekende relatie intensiteit = dichtheid x gemiddelde snelheid geldt zonder meer bij de definities voor doorsnede en tijdstip en wegvak en periode, in de andere gevallen is de voorwaarde stationair en homogeen voldoende.

De relatie tussen macroscopische verkeersstroomkenmerken en de algemene kwaliteit van de verkeersstroom is geoperationaliseerd met een stelsel van afwikkelingsniveau's. De relatie met de afzonderlijke aspecten van de kwaliteit is echter slechts ten dele bekend. Zo zullen bij het hoogste afwikkelingsniveau de reistijden en het comfort wellicht optimaal zijn, maar dit hoeft niet voor de onveiligheid (uitgedrukt in aantal ongevallen per afgelegde afstand) te gelden.

Onderzoek van de relatie tussen het ongevallenquotiënt en de uurintensiteit of het representatieve afwikkelingsniveau op autosnelwegen en aangrenzende categorieën heeft aanwijzingen opgeleverd voor een U-vormig verband dat in deze kwalitatieve vorm diverse maatregelen kan indiceren. Gewenst lijkt het verband tussen ongevallenquotiënt en uurintensiteit (of uur bezettingsgraad en nog beter afwikkelingsniveau per uur) met grotere betrouwbaarheid en voor alle wegtypen die regelmatig flink belast worden vast te stellen. Op het Nederlandse autosnelwegennet is dit onderzoek voor wat betreft het verzamelen van de verkeerskenmerken goed mogelijk door gebruik te maken van de geïnstalleerde apparatuur, terwijl de ongevallenregistratie ook voldoende informatie omtrent locatie en tijdstip omvat.

## TABELLEN

### Nr. Bijschrift

- 1 Terminologie.
- 2 Relatie ongevallenquotiënt en afwikkelingsniveau op autosnelwegen. Bron: RWS/DVK (1972, 1973, 1975, 1976) en Beukers (1974).
- 3 Relatie relatief ongevallenquotiënt en afwikkelingsniveau op autosnelwegen. Bron: RWS/DVK (1972, 1973, 1975, 1976) en Beukers (1974).
- 4 Relatie ongevallenquotiënt en afwikkelingsniveau op enkelbaans 2-strookswegen. Bron: RWS/DVK (1973, 1975, 1976).

## AFBEELDINGEN

### Nr. Bijschrift

- 1 Relatie tussen intensiteit, dichtheid en kansdichtheden van de snelheid.
- 2 Stationairiteit en homogeniteit van verkeersstroomkenmerken bij een locale verandering van de verkeersstroom.
- 3 Stationairiteit en homogeniteit van verkeersstroomkenmerken bij een momentane verandering van de verkeersstroom.
- 4 Definitie van prestatie en reistijd.
- 5 Bepaling van prestatie en reistijd uit randgegevens.
- 6 Relatie tussen benuttingsgraad en ongevallenquotiënt.
- 7 Afwikkelingsniveau's. De vermelde grenswaarden gelden voor een rijstrook van een 2 x 2 strooks autosnelweg. Bron: Beukers (1967).
- 8 Afwikkelingsniveau's op tweestrookswegen met een ononderbroken verkeersstroom in beide richtingen onder ideale omstandigheden. Bron: Stuur & Van de Hoef (1969).

| Symbool     | Nederlands                            | Duits   | Amerikaans  | Brits         |
|-------------|---------------------------------------|---|---|---------------|
| q           | intensiteit                           | Stärke $T \neq 0$<br>Intensität<br>$T \rightarrow 0$    | volume $T \gg 1h$<br>rate of flow<br>$T < 1h$           | flow          |
| k           | dichtheid                             | Dichte $X \neq 0$<br>Konzentration<br>$X \rightarrow 0$ | density $X \gg 1$ mile<br>concentration<br>$X < 1$ mile | concentration |
| $b_L$       | bezettings-<br>graad in tijd          | Belegungs-<br>grad                                      | occupancy   |               |
| $b_M$       | bezettings-<br>graad in plaats        |   |   |               |
| $\bar{v}_L$ | gemiddelde lo-<br>cale snelheid       | Mittelwert<br>lokale Ge-<br>schwindigkei-<br>ten        | time mean speed<br>or average spot<br>speed             |               |
| $\bar{v}_M$ | gemiddelde mo-<br>mentane<br>snelheid | Mittelwert<br>momentane<br>Geschwindig-<br>keiten       | space mean speed*                                       |               |
|             | homogeen                              | stationär über<br>Weg                                   | homogeneous   |               |
|             | stationair                            | stationär über<br>Zeit                                  | stationary, steady, time-homo-<br>geneous               |               |

\*Een andere betekenis van space mean speed is de gemiddelde snelheid van een bepaalde groep voertuigen gebaseerd op hun gemiddelde trajectnsnelheid over een bepaald wegvak (trajectnsnelheid is lengte wegvak gedeeld door benodigde tijd inclusief stoptijd). Deze betekenis gaat over in de hier gebruikte als men het beschouwde tijdsinterval naar nul laat naderen.

Tabel 1. Terminologie

Bron: NNI (1970), Leutzbach (1972), Mura & Kumm (1972), TEC (z.j.), Haynes (1965), HRB (1965).

|                                    |        | 1970 | 1971 | 1972  | 1973  | 1975  |
|------------------------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|
| weglengte (km)                     |        | 963  | 1019 | 1238  | 1354  | 1426  |
| prestatie (10 <sup>6</sup> vtg.km) |        | 7772 | 8814 | 10463 | 11305 | 11862 |
| aantal ongevallen                  |        | 6827 | 6071 | 6240  | 6234  | 5656  |
| O.Q. totaal                        |        | 0,88 | 0,69 | 0,60  | 0,55  | 0,48  |
| O.Q.<br>bij<br>A.N.                | A of B | 0,67 | 0,53 | 0,44  | 0,42  | 0,35  |
|                                    | C      | 1,00 | 0,75 | 0,54  | 0,55  | 0,42  |
|                                    | D      | 1,08 | 0,88 | 0,73  | 0,62  | 0,41  |
|                                    | E      | 1,33 | 0,98 | 0,91  | 0,80  | 0,62  |
|                                    | F      |      |      |       |       | 0,89  |

Tabel 2. Relatie ongevallenquotiënt O.Q. en afwikkelingsniveau A.N. op autosnelwegen.

Bron: RWS/DVK (1972, 1973, 1975, 1976) en Beukers (1974).

|          |        | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1975 | gem <sup>1)</sup> | S <sup>11)</sup> |
|----------|--------|------|------|------|------|------|-------------------|------------------|
| relatief | A of B | 0,76 | 0,77 | 0,74 | 0,76 | 0,74 | 0,75              | 0,02             |
| O.Q.     | C      | 1,14 | 1,09 | 0,90 | 1,00 | 0,87 | 1,00              | 0,12             |
| bij      | D      | 1,23 | 1,28 | 1,22 | 1,12 | 0,87 | 1,14              | 0,16             |
| A.N.     | E of F | 1,51 | 1,42 | 1,53 | 1,45 | 1,52 | 1,49              | 0,05             |

1) gemiddelde waarde

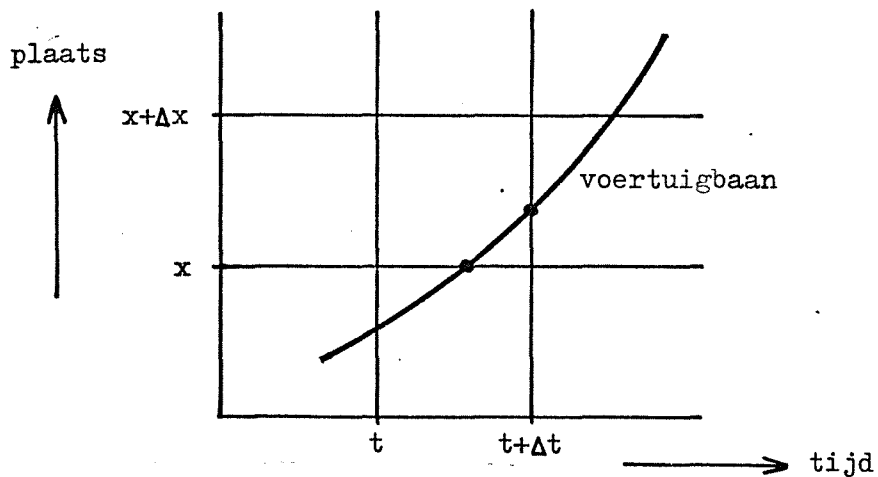
11) geschatte standaardafwijking

Tabel 3. Relatie relatief ongevallenquotiënt O.Q. en afwikkelingsniveau A.N. op autosnelwegen.

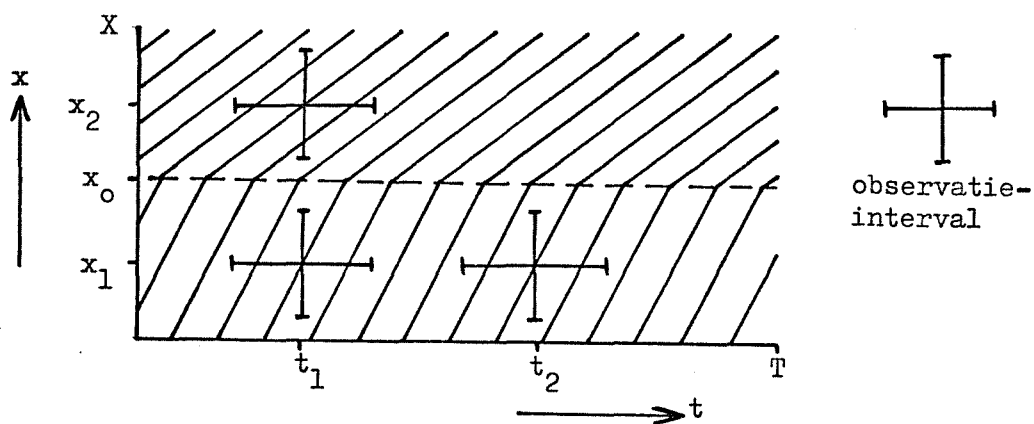
|                            |        | 1971 | 1973 | 1975 |
|----------------------------|--------|------|------|------|
| weglengte (km)             |        | 1884 | 1862 | 1929 |
| prestatie ( $10^6$ vtg.km) |        | 4960 | 4736 | 5153 |
| aantal ongevallen          |        | 9071 | 7568 | 6433 |
| O.Q. totaal                |        | 1,83 | 1,60 | 1,25 |
| O.Q.<br>bij<br>A.N.        | A of B | 1,87 | 1,92 | 1,49 |
|                            | C      | 1,65 | 1,54 | 1,13 |
|                            | D      | 1,84 | 1,63 | 1,54 |
|                            | E      | 1,94 | 1,40 | 1,49 |
|                            | F      |      |      | 1,11 |

Tabel 4. Relatie ongevallenquotiënt O.Q. en ontwikkelingsniveau A.N. op enkelbaans 2-strookswegen.

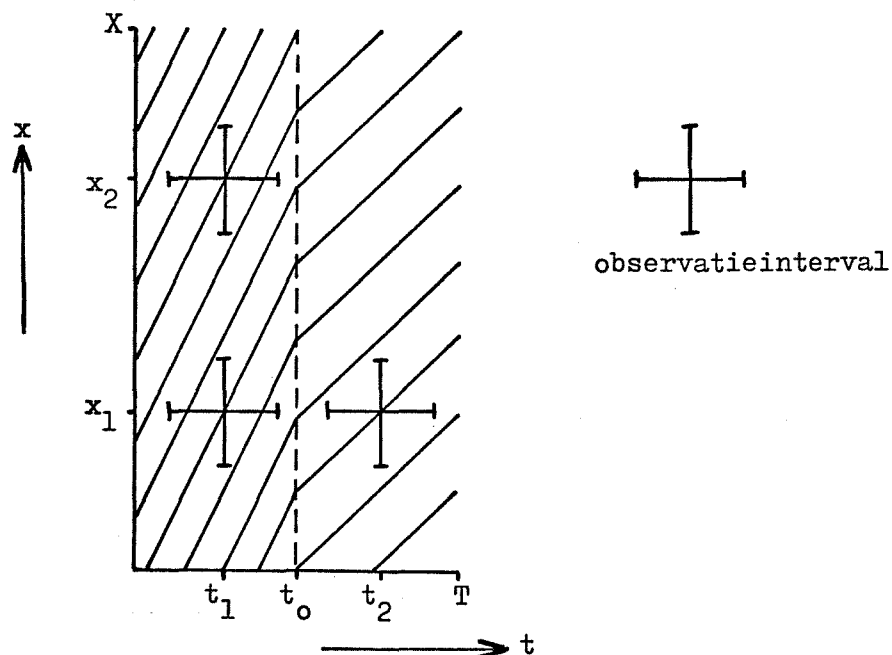
Bron: RWS/DVK (1972, 1973, 1975, 1976).



Afbeelding 1. Relatie tussen intensiteit, dichtheid en kansdichtheden van de snelheid.

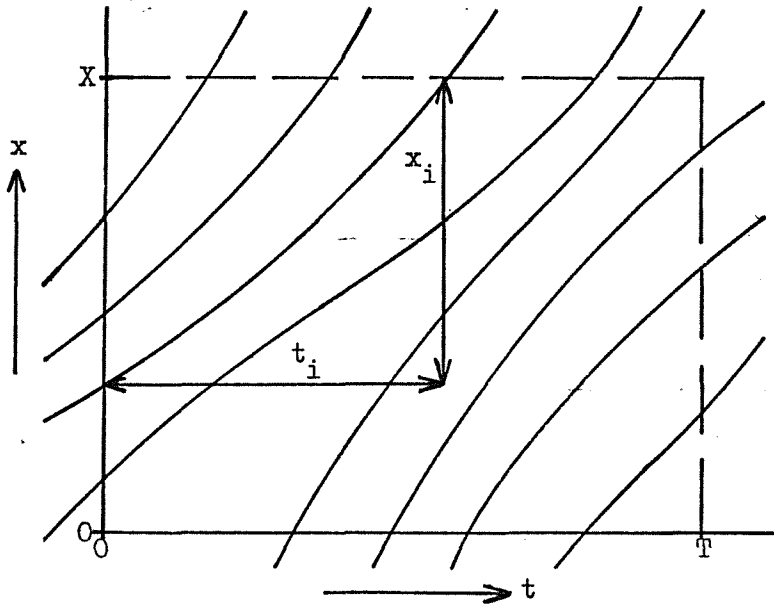


Afbeelding 2. Stationairiteit en homogeniteit van verkeersstroomkenmerken bij een lokale verandering van de verkeersstroom.

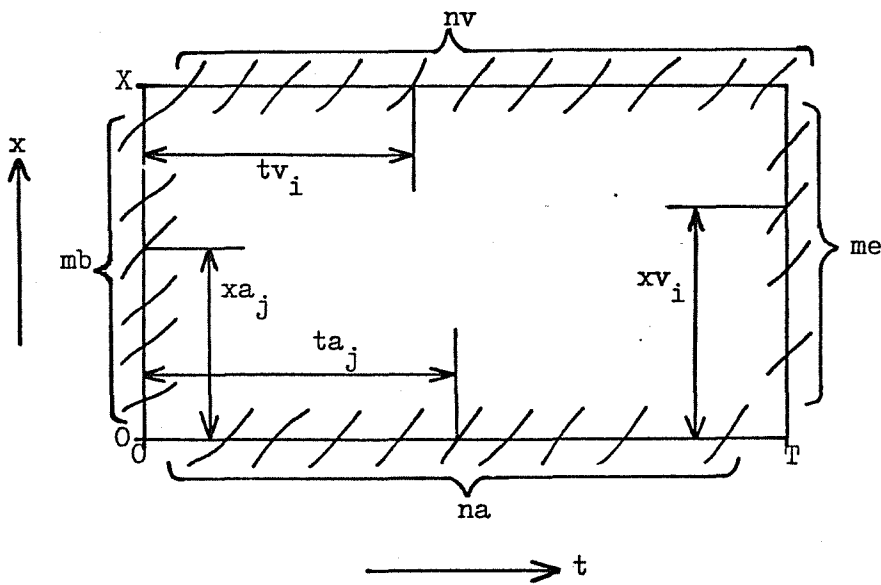


Afbeelding 3. Stationairiteit en homogeniteit van verkeersstroomkenmerken bij een momentane verandering van de verkeersstroom.

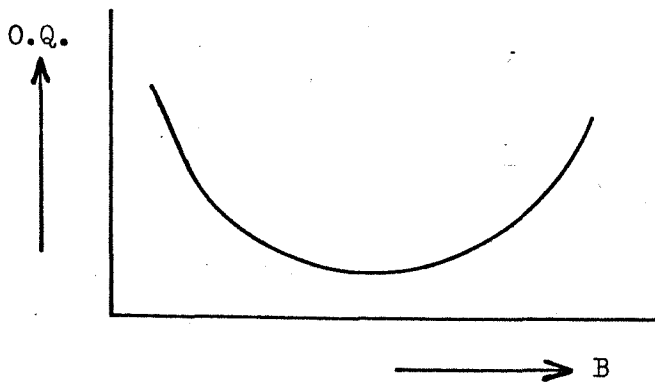




Afbeelding 4. Definitie van prestatie en reistijd.

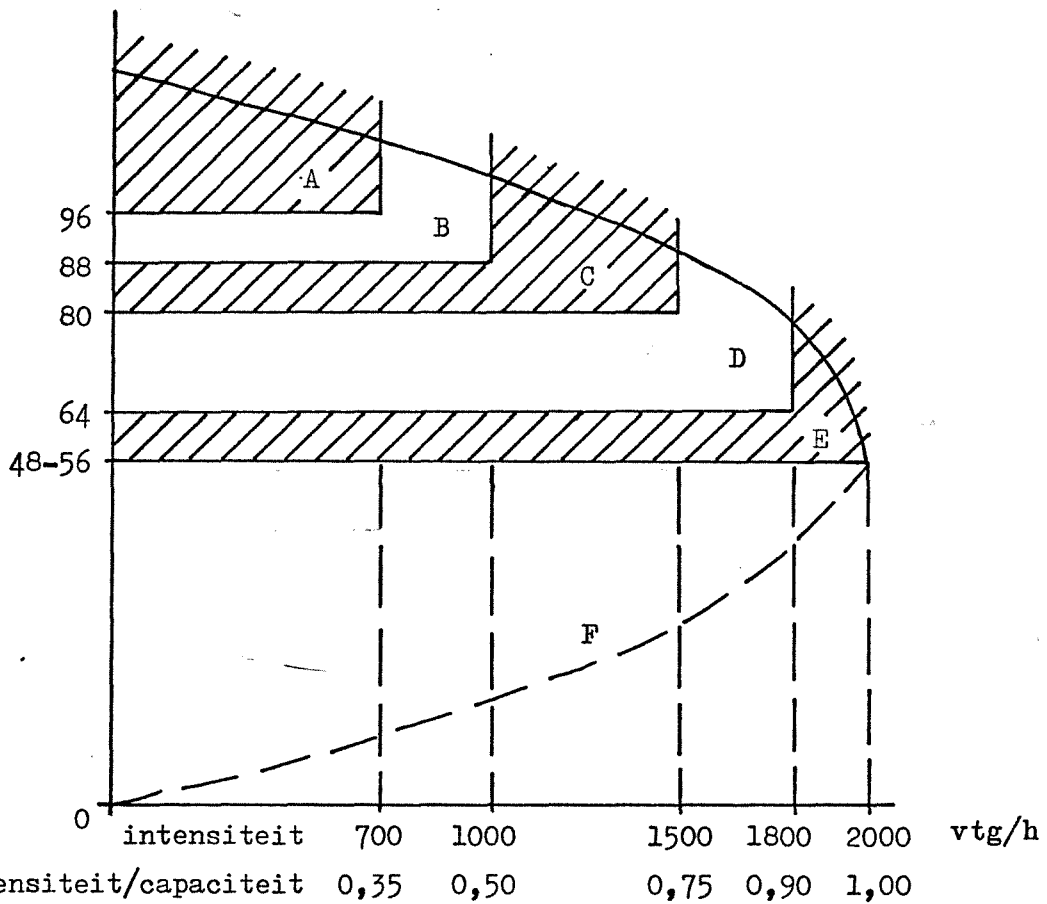


Afbeelding 5. Bepaling van prestatie en reistijd uit randgegevens.



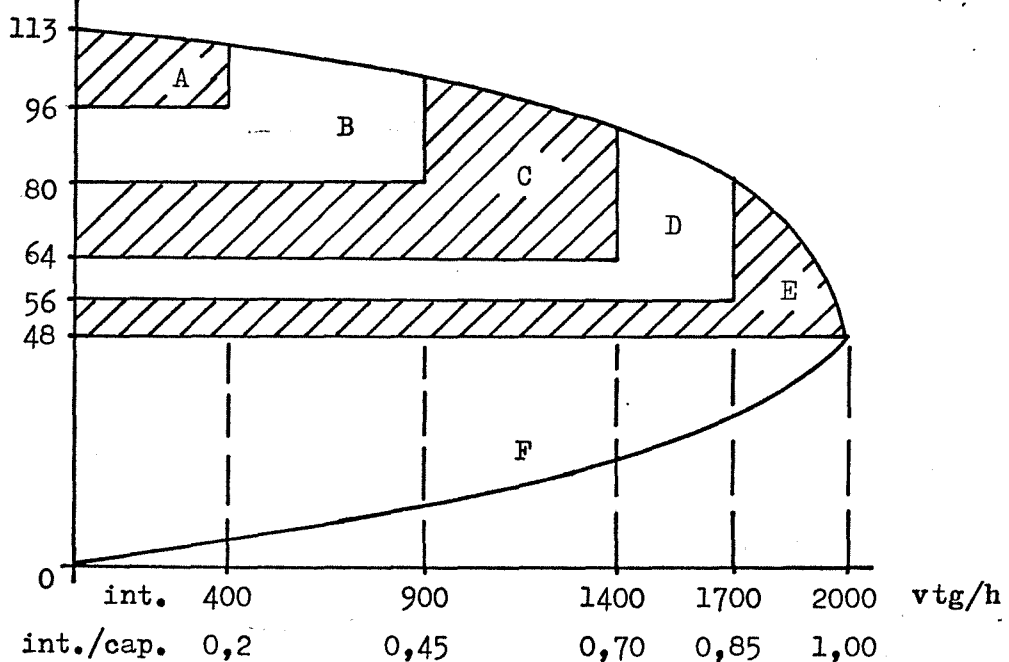
Afbeelding 6. Relatie tussen benuttingsgraad  $B$  en ongevallequotiënt  $O.Q.$

kruissnelheid km/h



**Afbeelding 7.** Afwikkelingsniveau's. De vermelde grenswaarden gelden voor een rijstrook van een 2 x 2 strooks autosnelweg. Bron: Beukers (1967).

kruissnelheid km/h



**Afbeelding 8.** Afwikkelingsniveau's op tweestrookswegen met een ononderbroken verkeersstroom in beide richtingen onder ideale omstandigheden. Bron: Stuur & Van de Hoef (1969).

## LITERATUUR

- Asmussen, E. Transportation research in general and travellers decision making in particular as a tool for transportation management. In: OECD Symposium Road user perception and decision making. OECD, Rome, 1972.
- Behrendt, J. & Kloss, H. Stauuntersuchungen als Beitrag zur Verkehrsplanung und -lenkung. Strasse und Autobahn 21 (1970) 7 (juli): 269-274.
- Beukers, B. Vormgeving van ongelijkvloerse kruispunten. In: Ongelijkvloerse kruispunten in auto(snel)wegen. Prae-adviezen Congresdag 1967. Vereniging Het Nederlandsche Wegcongres, 's-Gravenhage, 1967.
- Beukers, B. Verkeersbeïnvloeding op autosnelwegen. In: Inter-traffic 74 "Beheerst Verkeer". Definitief programma; Teksten Lezingen. RAI, Amsterdam, 1974.
- Breiman, L., Gafarian, A.V., Lichtenstein, R., Murthy, V.K. An experimental analysis of single-lane time head-ways in freely flowing traffic. In: Leutzbach, W (ed). Beiträge zur Theorie des Verkehrsflusses. Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1969.
- Breiman, L. & Lawrence, R.L. Time scales, fluctuations and constant flow periods in uni-directional traffic. Transportation Research 7 (1973) 1: 77-105.
- Breiman, L. A relationship between space and time distributions in homogeneous traffic flow and its applications. Transportation Research 8 (1974) 1: 39-44.
- Brilon, W. Relationship between accident rates and hourly traffic volumes on German highways. In: Road Accident Seminars, London, 1972.
- Brilon, W. Der Zusammenhang zwischen räumlichtzeitlichen Kennwerten des Verkehrsablaufs und lokal ermittelten Parametern. Institut für Verkehrswesen, Karlsruhe, 1973.
- Edie, L.C. Discussion of traffic stream measurements and definitions. In: Almond, J. (ed). Proc. II International symposium on the theory of road traffic flow. OECD, Paris, 1965.
- Ernst, Brühning, Pfafferott. Untersuchungen über den Einfluss der Verkehrszusammensetzung auf das Unfallgeschehen. Bundesanstalt für Strassenwesen (Niet gepubliceerd).
- Everall, P.F. Urban freeway surveillance and control. The state of the art. Federal Highway Administration, Washington, 1972.

- Gwynn, D.W. Relationship of accident rates and accident involvements with hourly volumes. New Jersey State Highway Department, Trenton, 1966.
- Gwynn, D.W. & Baker, W.T. Relationship of accident rates with hourly traffic volumes. Traffic Engineering 40 (1970) 5 (feb.): 42-44+47.
- Haynes, J.J. Some considerations of vehicular density on urban freeways. In: Highway Research Record 99. Highway Research Board, Washington, 1965.
- HRB. Highway Capacity Manual. Special Report 87. Highway Research Board, Washington, 1965.
- HRB. Measures of the quality of traffic service, Special Report 130. Highway Research Board, Washington, 1972.
- Hilgers, C.J. Methode voor het analyseren van autosnelweg-ongevallen. Verkeerskunde 26 (1975) 10 (okt.): 502-508.
- Lenz, K.H. Einfluss von Lastkraftwagen auf den Verkehrsablauf. In: Strassenbautagung Stuttgart, 1972. Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen, Köln, 1973.
- Leutzbach, W., Siegener, W., Wiedemann, R. Über den Zusammenhang zwischen Verkehrsunfällen und Verkehrsbelastung auf einem deutschen Autobahnabschnitt. Accident Analysis and Prevention 2 (1970) 2: 93-102.
- Leutzbach, W. Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses. Springer, Berlin, 1972.
- Mura, S. & Kumm, W. Ein System zur aktuellen Verkehrsdatenerfassung an Bundesautobahnen. Strassenverkehrstechnik 15 (1971) 3 (mei/juni): 69-72.
- NNI. Nomenclatuur van het verkeer (wegverkeer). Normblad NEN 3391. Nederlands Normalisatie-Instituut, Rijswijk, 1970.
- Oei, H.L. Informatiesystemen in het wegverkeer. Verkeerskunde 27 (1976) 5 (mei): 252-255.
- Oppe, S. Multiplicatieve analysemodellen. Beschrijving en toepassing bij de analyse van ongevalratio's als functie van verkeersintensiteit en stroefheid van het wegdek. SWOV, Voorburg, 1977.
- Pfundt, K. Vergleichende Unfalluntersuchungen auf Landstrassen. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 82. Bundesminister

für Verkehr. Köln, 1969.

- RWS/DVK. Afwikkelingsniveau's 1971 en ongevallenfrequenties 1970 op de rijkswegen. Nota 72-03. Rijkswaterstaat. Dienst Verkeerskunde, Den Haag, 1972.

- RWS/DVK. Afwikkelingsniveau's 1972 en ongevallenfrequenties 1971 op de rijkswegen. Nota 73-11. Rijkswaterstaat. Dienst Verkeerskunde, Den Haag, 1973.

- RWS/DVK. Ongevallenfrequenties en black spots op de rijkswegen in 1972 en 1973. Nota 75-10. Rijkswaterstaat. Dienst Verkeerskunde, Den Haag, 1975.

- RWS/DVK. Ongevallenfrequenties en black spots op de rijkswegen in 1975. Nota 76-10. Rijkswaterstaat. Dienst Verkeerskunde, Den Haag, 1976.

- Stuur, J.R.E. & Hoef, H.A. van de. Normen voor de classificatie van de verkeersafwikkeling op tweestrookswegen met een ononderbroken verkeersstroom. Wegen 43 (1969) 4 (april): 109-123.

- SWOV. Bouwstenen voor het Beleidsplan Verkeersveiligheid. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Voorburg, 1974.

- TEC. Vocabulary of traffic engineering terms. Traffic Engineering and Control. z.j.

SAMENVATTING VAN ONDERZOEKEN NAAR DE RELATIE TUSSEN UURINTENSITEIT  
EN ONVEILIGHEID

APPENDIX

bij

State of the art report "VERKEERSSTROOMMODELLEN"

Deel II. Macroscopische verkeersstroomkenmerken

Ir. H. Botma

Voorburg, oktober 1977

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

NEDERLAND

- Relatie uurintensiteit en ongevallenquotiënt op autosnelwegen

De relaties zijn gebaseerd op gegevens die door Hilgers (1975) in verband met een andere analyse zijn gepubliceerd. Van twee wegvakken van autosnelwegen zijn intensiteiten en aantallen ongevallen beschikbaar. Omdat de lengte van de wegvakken niet vermeld wordt is de absolute waarde van het ongevallenquotiënt niet te bepalen, echter het gaat hier alleen om het verloop als functie van de intensiteit.

Zie voor de resultaten Tabel A1 en Afbeelding A1.

Het blijkt dat voor wegvak I de relatie U-vormig is en voor wegvak II de stijgende tak ontbreekt.

Opgemerkt moet worden dat de intensiteit in dit geval slechts bekend was voor de totale wegdoorsnede en gedeeld is door het aantal rijstroken, wat de resultaten vertekend kan hebben.

In Afbeelding A1 zijn behalve de ongevallenquotiënten zelf ook de waarden plus en min een maal de standaardafwijking aangegeven. In de veronderstelling dat de aantallen ongevallen Poisson verdeeld zijn is de standaardafwijking te schatten met de wortel uit het aantal ongevallen gedeeld door de prestatie.

- Relatie uurintensiteit en onveiligheid bij regen.

De gegevens zijn ontleend aan Oppe (1977). Onder de weersomstandigheid regen is het verband tussen wegdekstroefheid, intensiteit en onveiligheid onderzocht voor gegevens uit 1965 en 1966. Gegeven de stroefheid levert dit dus informatie over de relatie tussen intensiteit en onveiligheid.

Beschouwd zijn twee soorten wegen: type I, de autosnelwegen en type II, bestaande uit overige primaire rijkswegen, voornamelijk wegen met één rijbaan, twee rijstroken en gelijkvloerse kruisingen.

De onveiligheid is gekarakteriseerd door het ongevallenquotiënt. Voor de intensiteit is de uurwaarde genomen; voor wegtype I per rijrichting ingedeeld in 20 klassen met de grenzen 0, (100), 1900,  $\infty$  en voor wegtype II voor beide richtingen samen in 15 klassen met de grenzen 0, (200), 2800,  $\infty$ .

Voor autosnelwegen blijkt er tussen het effect van intensiteit en stroefheid op het ongevallenquotiënt geen interactie te bestaan. Het effect van de intensiteit is weergegeven in Afbeelding A2. Behalve de puntschatting is ook het interval van minus tot plus een maal de geschatte standaardafwijking aangegeven. Het blijkt dat het ongevallenquotiënt stijgt met toenemende intensiteit.

Voor wegtype II blijkt er wel interactie te bestaan tussen het effect van de intensiteit en de stroefheid op het ongevallenquotiënt, waarvan de aard nog onduidelijk is. Volstaan is met het weergeven van de resultaten (zie Afbeelding A3) voor de meest voorkomende stroefheidsklassen, die bij het onderzoek 75% van de wegen besloegen en in 1970 79% van de Rijkswegen (SSW, 1973). Ook in dit geval blijkt een toenemende intensiteit samen te gaan met een hoger ongevallenquotiënt, zij het minder duidelijk dan op autosnelwegen.

Deze resultaten zouden bruikbaar kunnen zijn bij het ontwerp van signaleringssystemen die afhankelijk van weers- en wegdekstandigheden en intensiteit bv. snelheden adviseren.



BONDSREPUBLIC LIJK DUITSLAND

- Relatie uurintensiteit en ongevallenquotiënt

Van vier onderzoeken op autosnelwegen zijn gegevens beschikbaar.

. Pfundt (1969)

3 wegvakken van 2x2 autosnelwegen zonder verlichting;  
1591 ongevallen in de jaren 62, 63, 64 gescheiden naar dag en nacht.

. Leutzbach et al (1970)

Vrijwel recht wegvak van 2x2 autosnelweg ter lengte van 23½ km;  
ongevallen in de jaren 62-65, alleen bij dag en normaal weer  
(toegelicht met geen ijzel); resultaten alleen van 64-65.

. Brilon (1972)

Onderzoek met als doel o.a. controle van resultaten van Leutzbach,  
dus verondersteld mag worden dat de meeste factoren gelijk ge-  
kozen zijn. Wegvak van (2x2) autosnelweg; ongevallen van 66-69,  
alleen bij dag.

• Behrendt (1970)

Wegvak van 2x2 autosnelweg van 34 km; 1343 ongevallen van 64-66.  
Niet bekend of het om etmaal of daggegevens gaat.

Voor alle vier onderzoeken geldt:

- De ongevallen worden verdeeld in diverse typen. De indeling is, ook in theorie, niet duidelijk en de juiste toepassing lijkt dubieus, reden waarom dit punt hier verder buiten beschouwing blijft.
- Op de onvolledigheid van de ongevallenregistratie en de veranderingen daarin wordt alleen door Pfundt ingegaan; hij gebruikt ongevallen met per betrokkene meer materiële schade dan DM 500 of letsel.
- De intensiteit wordt gemeten in aantal assenparen per rijbaan en uur. Leutzbach et al en Brilon vermelden bij hun resultaten echter het aantal voertuigen zonder op de benodigde omrekening in te gaan, reden te veronderstellen dat deze in feite niet uitgevoerd is.

## Resultaten

Zie de Afbeeldingen A4 t/m A8.

Er is een redelijke kwalitatieve overeenkomst tussen de resultaten met uitzondering van de door Pfundt gevonden relatie overdag. Opmerkelijk is dat hieraan noch door Pfundt, noch door Leutzbach et al en Brilon aandacht wordt besteed. Dat het O.Q. bij nacht bij hoge intensiteit zeer groot is zou verklaard kunnen worden met het feit dat dit relatief zeldzaam voorkomt en dat 's nachts de bewegingstoestand van andere voertuigen moeilijker te schatten is.

Voor een kwantitatieve vergelijking van de resultaten is eerst het minimale O.Q. beschouwd.

| Onderzoek     | Minimale O.Q. | Intensiteit |
|---------------|---------------|-------------|
| Pfundt-dag    | .75           | 800-1200    |
| Leutzbach-dag | .94           | 750-1200    |
| Brilon-dag    | .5            | 1200-1800   |
| Bundesanstalt |               | 800-1000    |
| Pfundt-nacht  | .9            | 800-1200    |

Vervolgens is genormeerd op het minimale O.Q. van Brilon (meest recente onderzoek) zodat het verloop globaal vergeleken kan worden; zie Afbeelding A8.

## Conclusie

Deze onderzoeken leveren vrij sterke aanwijzingen op dat op 2x2 autosnelwegen het ongevallenquotiënt als functie van de uurintensiteit U-vormig verloopt.

Brilon (1972) beschouwt behalve het aantal ongevallen ook de afloop. Hierbij wordt aan het aantal slachtoffers met ernstig letsel (inclusief de doden) en licht letsel een bedrag toegekend, wat wordt opgeteld bij de geschatte materiële schade. Het blijkt dat het zo bepaalde "ongevalskostenquotiënt" ook U-vormig met de uurintensiteit verloopt; zie Afbeelding A9.

Op rurale enkelbaanswegen met twee rijstroken zijn slechts de resultaten van een onderzoek beschikbaar. Brilon (1972) vindt in dit geval dat er een U-vormige relatie tussen het ongevallenquotiënt en de uurintensiteit bestaat, echter het ongevalskostenquotiënt daalt met toenemende intensiteit (zie Afbeelding A 10). Hieruit volgt dat de ongevallen op dit type weg bij hoge intensiteit relatief minder ernstig zijn.

VERENIGDE STATEN

- Relatie uurintensiteit en ongevallequotiënt

Van twee onderzoeken zijn gegevens beschikbaar.

. Gwynn (1966)

Wegvak van ca. 6 km; 2x2 strooks en voor 15% 2x3; geen verkeerslichten, gelijkvloerse kruisingen en vluchtstroken; voor 70% gescheiden rijbanen, snelheidslimieten van 40-50 mph; gemiddelde etmaalintensiteit ca. 64000 voertuigen; 5 jaar (59-63) met 1305 ongevallen waarbij 2718 vtg. betrokken; 551 ongevallen met persoonlijk letsel waarbij 861 gewonden; intensiteit per richting. Zie de Afbeeldingen A11 en A12 voor de resultaten.

- Gwynn & Baker (1970)

Wegvak van ca. 5 km; 2x3 strooks; vermoedelijk gescheiden rijbanen; snelheidslimiet van 50 mph; gemiddelde etmaalintensiteit ca. 48000 vtg; 5 jaar (61-65) met 943 ongevallen; intensiteit per richting. Uitsplitsing van de analyse naar dag en nacht, weekend (= vrijdag 12 h tot maandag 12h) en werkweek. Zie de Afbeeldingen A13 en A14 voor de resultaten.

Bij Gwynn (1966) verloopt het totale ongevallequotiënt U-vormig met de uurintensiteit. Het minimum van ca. 200 ongevallen per  $10^8$  vtg. mijl ( $=1\frac{1}{4}$  ongeval per  $10^6$  vtg. km) treedt op voor intensiteiten van 1000-1800 vtg/uur. Bij het letselongevallequotiënt is het verloop vlakker en de U-vorm minder duidelijk of zelfs afwezig.

Bij Gwynn & Baker (1970) treedt alleen voor intensiteiten kleiner dan 550 vtg/h een relatief hoge onveiligheid op, verder is het verloop vlak op een niveau van ca. 2 ongevallen per  $10^6$  vtg. km. Het ontbreken van de grotere onveiligheid bij hoge intensiteiten is niet strijdig met Gwynn (1966) omdat de maximale intensiteit die beschouwd wordt van 3250 vtg. per 3 rijstroken correspondeert met ca. 2200 vtg. per 2 rijstroken bij Gwynn (1966). Verder is het opvallend dat op deze weg het ongevallequotiënt bij dag voor vrijwel alle intensiteiten groter is dan bij nacht.

Gezien het grillige verloop van de diverse curves is het ongeval-  
lenbestand te gering of de indeling in klassen te fijn. Bij  
Gwynn (1966) zijn de cijfers waaruit de afbeeldingen zijn afge-  
leid beschikbaar. Met behulp hiervan is het verloop van het  
ongevallenquotiënt en het letselongevallenquotiënt opnieuw be-  
paald, waarbij beide richtingen gecombineerd zijn. Bovendien  
zijn de klassen tweemaal zo breed genomen en is de standaardaf-  
wijking van de quotiënten geschat. Het resultaat is weergegeven  
in de Afbeeldingen A15 en A16, die een duidelijker beeld geven  
dan de oorspronkelijke.

## TABELLEN

### Nr.    Bijschrift

- 1      Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit op twee wegvakken van Nederlandse autosnelwegen. Bron: Hilgers (1975).

## AFBEELDINGEN

### Nr.    Bijschrift

- 1      Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit op twee wegvakken van Nederlandse autosnelwegen. Bron: Hilgers (1975).
- 2      Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit op autosnelwegen bij regen. Bron: Oppe (1977).
- 3      Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit op wegtype II bij regen. Bron: Oppe (1977).
- 4      Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Pfundt (1969).
- 5      Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Leutzbach et al (1970).
- 6      Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Brilon (1972).
- 7      Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Behrendt & Kloss (1970).
- 8      Vergelijking van resultaten van het onderzoek naar het ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit op autosnelwegen.
- 9      Ongevalskostenquotiënt als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Brilon (1972).
- 10     Ongevallenquotiënt en ongevalskostenquotiënt als functie van de intensiteit op enkelbaans 2-strookswegen. Bron: Brilon (1972).
- 11     Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit. Bron: Gwynn (1966).

Nr.    Bijschrift

- 12    Letselongevallenquotiënt als functie van de intensiteit.  
Bron: Gwynn (1966).
- 13    Ongevallenquotiënt bij dag en nacht als functie van de  
intensiteit. Bron: Gwynn & Baker (1970).
- 14    Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit. Bron:  
Gwynn & Baker (1970).
- 15    Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit. Bron:  
Gwynn (1966).
- 16    Letselongevallenquotiënt als functie van de intensiteit.  
Bron: Gwynn (1966).

## WEGVAK I

| Intensiteit | Aantal<br>ongevallen | Prestatie | 0.Q. | 0.Q. $\pm$ st. afw. |
|-------------|----------------------|-----------|------|---------------------|
| 0 - 2       | 119                  | 8025      | 1,48 | 1,35 - 1,62         |
| 2 - 4       | 43                   | 3987      | 1,08 | 0,91 - 1,24         |
| 4 - 6       | 161                  | 21955     | 0,73 | 0,68 - 0,79         |
| 6 - 8       | 242                  | 21280     | 1,14 | 1,06 - 1,21         |
| 8 - 10      | 123                  | 9477      | 1,30 | 1,18 - 1,41         |
| 10 - 12     | 84                   | 3729      | 2,25 | 2,01 - 2,50         |
| 12 - 14     | 8                    | 299       | 2,68 | 1,73 - 3,62         |
| totaal      | 780                  | 68752     | 1,13 | 1,09 - 1,18         |

## WEGVAK II

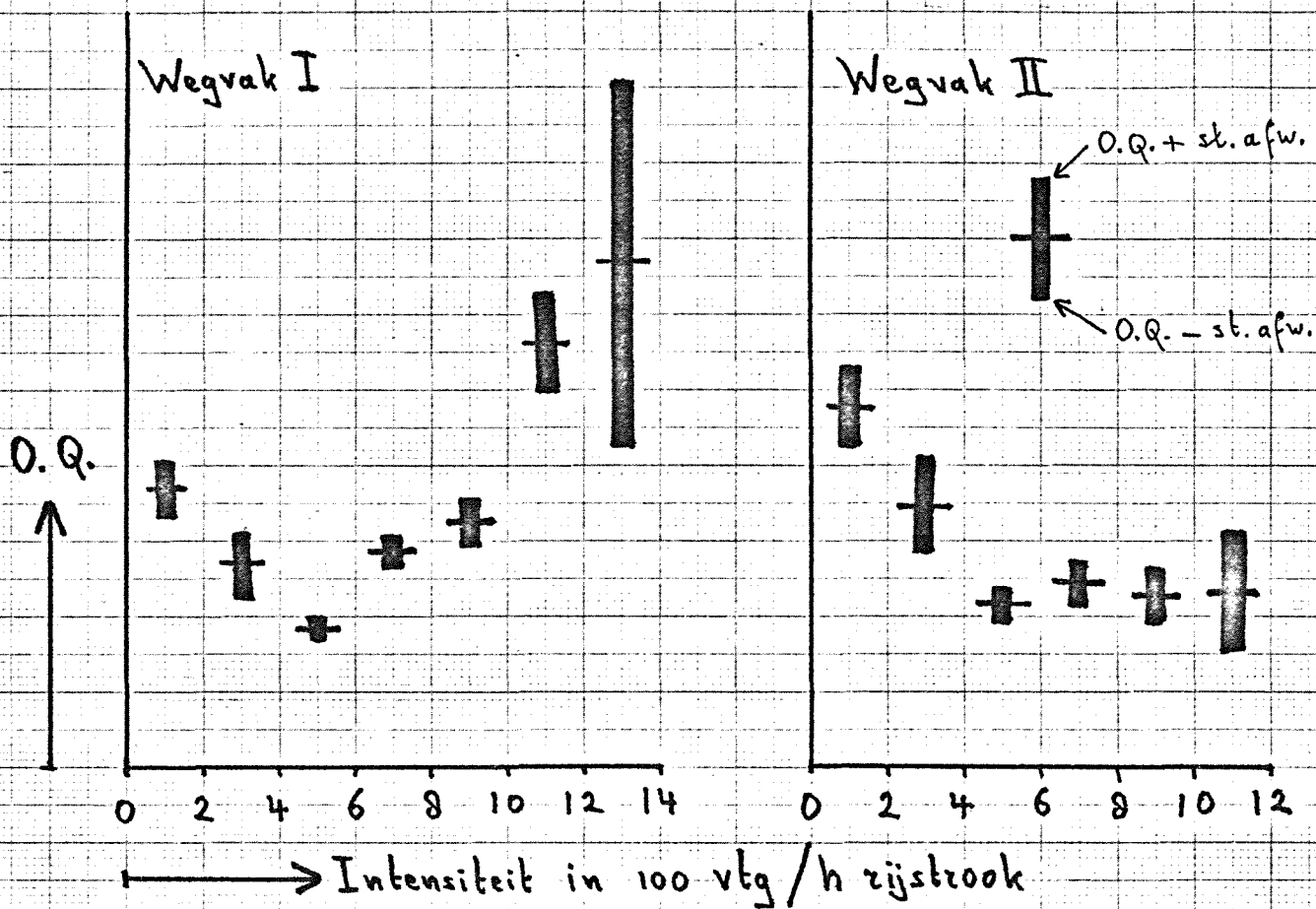
| Intensiteit | Aantal<br>ongevallen | Prestatie | 0.Q. | 0.Q. $\pm$ st. afw. |
|-------------|----------------------|-----------|------|---------------------|
| 0 - 2       | 80                   | 8384      | 0,95 | 0,85 - 1,06         |
| 2 - 4       | 30                   | 4320      | 0,69 | 0,57 - 0,82         |
| 4 - 6       | 102                  | 23945     | 0,43 | 0,38 - 0,47         |
| 6 - 8       | 84                   | 17276     | 0,49 | 0,43 - 0,54         |
| 8 - 10      | 43                   | 9576      | 0,45 | 0,38 - 0,52         |
| 10 - 12     | 9                    | 1936      | 0,46 | 0,31 - 0,62         |
| totaal      | 348                  | 65437     | 0,53 | 0,50 - 0,56         |

N.B. Schaal van prestatie en dus ook van 0.Q. onbekend.  
Intensiteit in honderdtallen voertuigen per rijstrook.

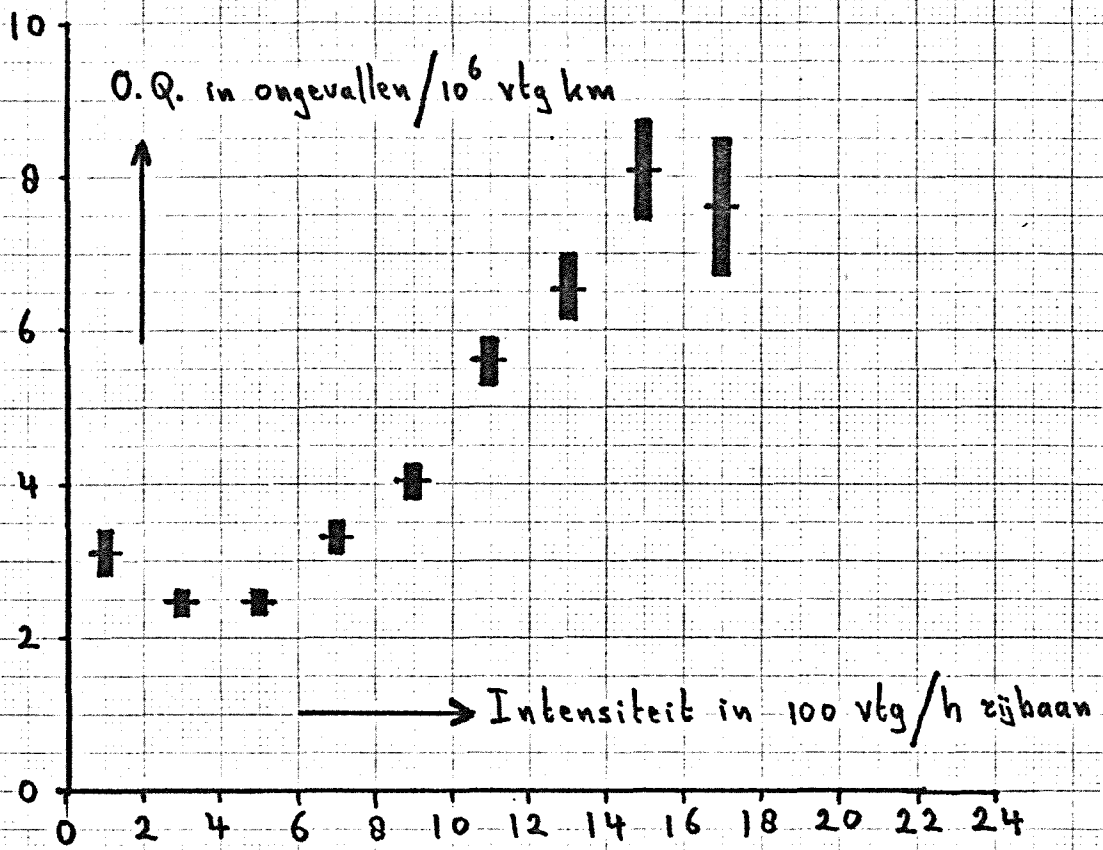
Tabel A1. Ongevallenquotiënt als functie van de intensiteit  
op twee wegvakken van Nederlandse autosnelwegen.

Bron: Hilgers (1975).

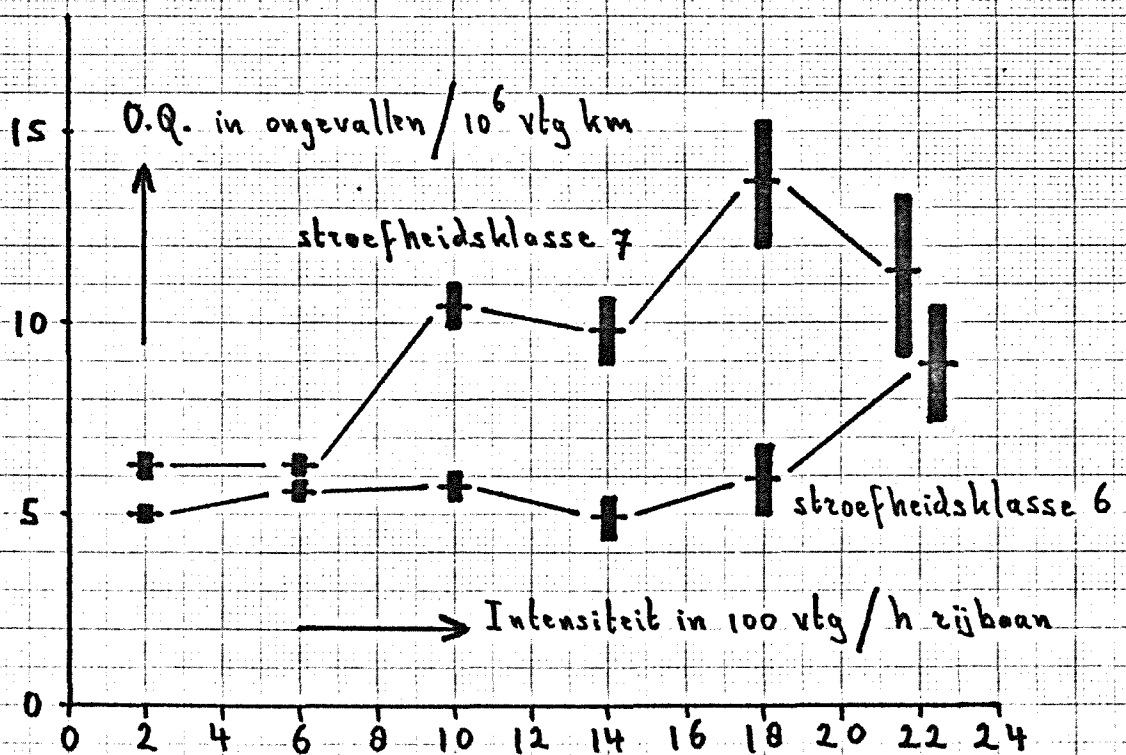




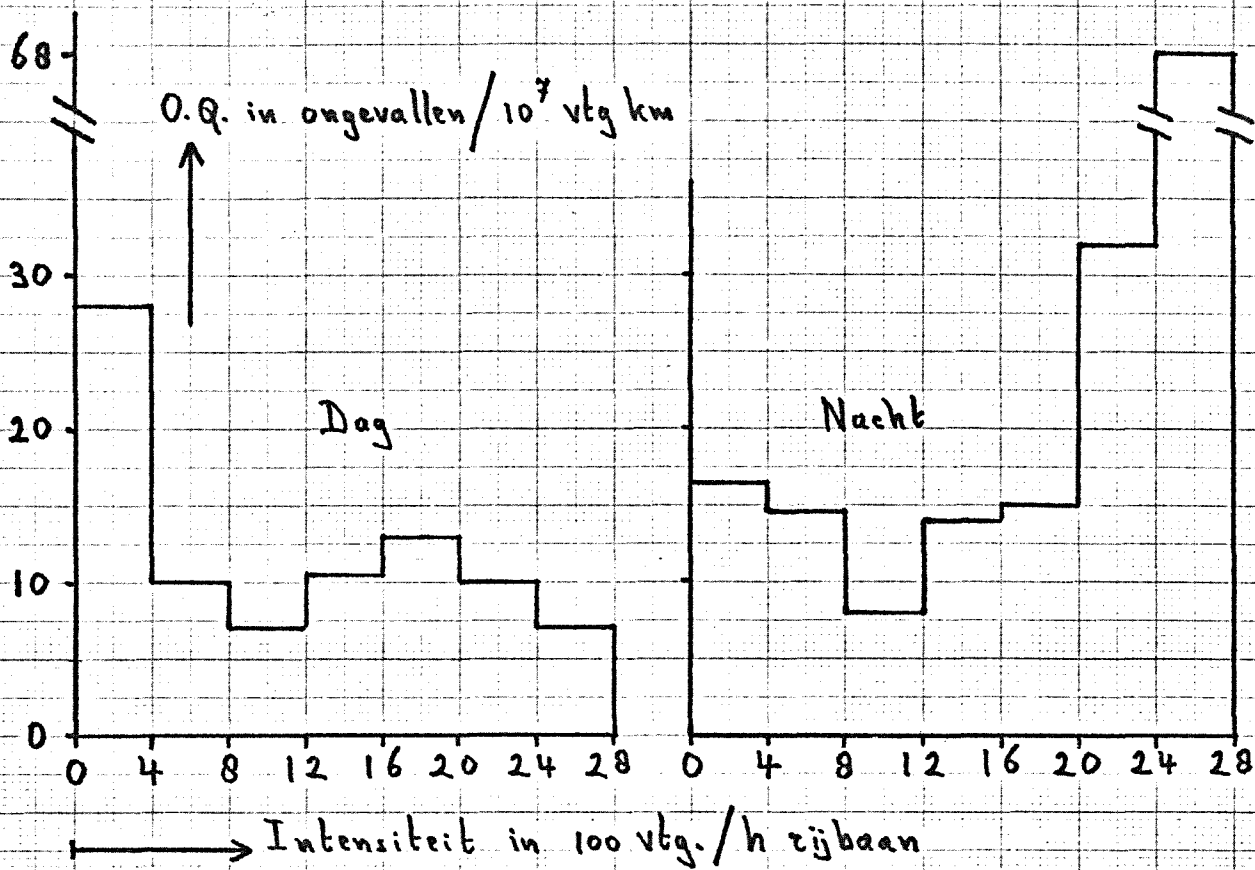
Afbeelding A1. Ongevallenquotiënt O.Q. als functie van de intensiteit op twee wegvakken van Nederlandse autosnelwegen. Bron: Hilgers (1975)



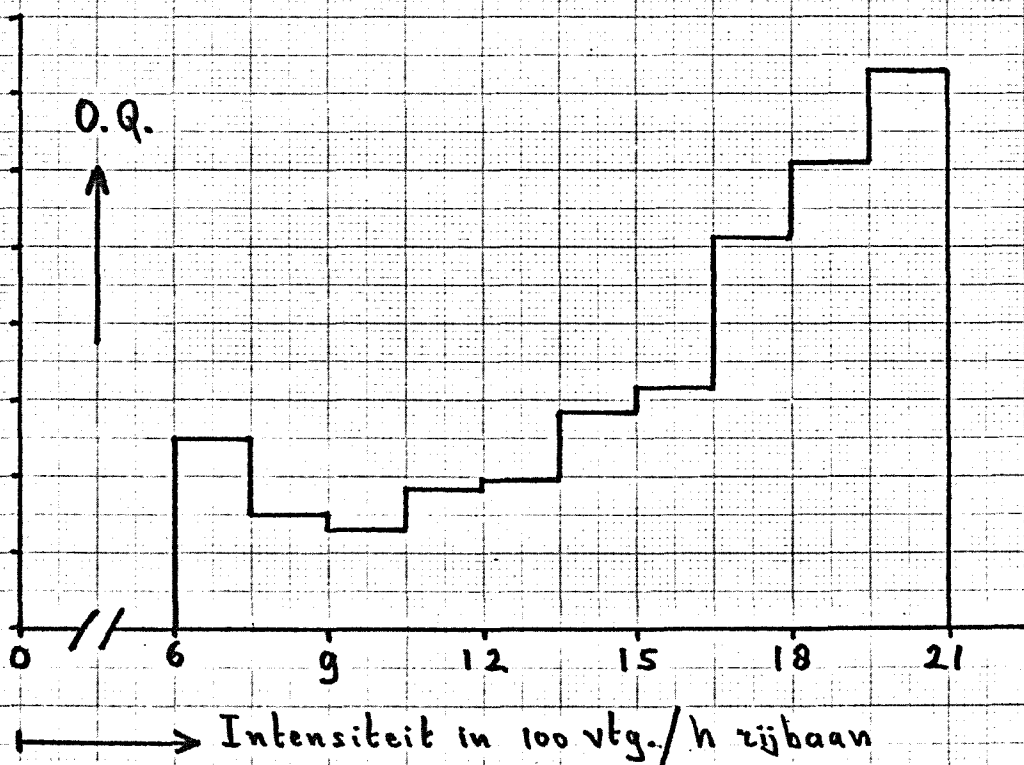
Afbeelding A2. Ongevallenquotiënt O.Q. als functie van de intensiteit op autosnelwegen bij regen. Bron: Oppe (1977)



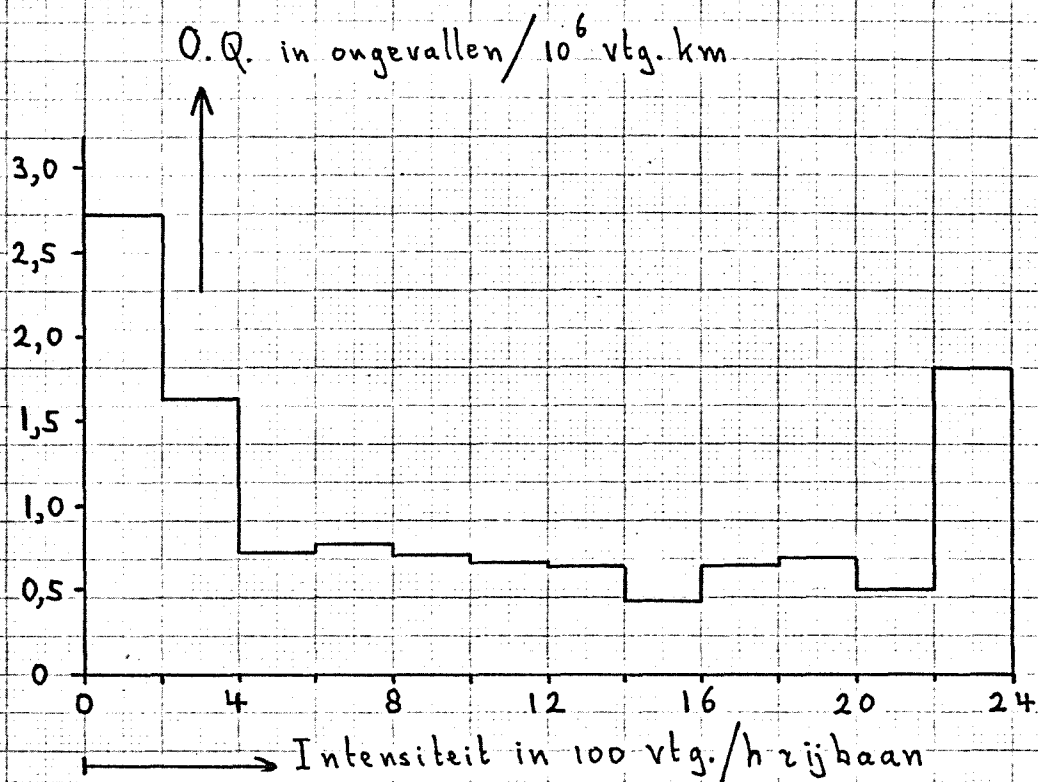
Afbeelding A3. Ongevallenquotiënt O.Q. als functie van de intensiteit op wegtype II bij regen. Bron: Oppe (1977)



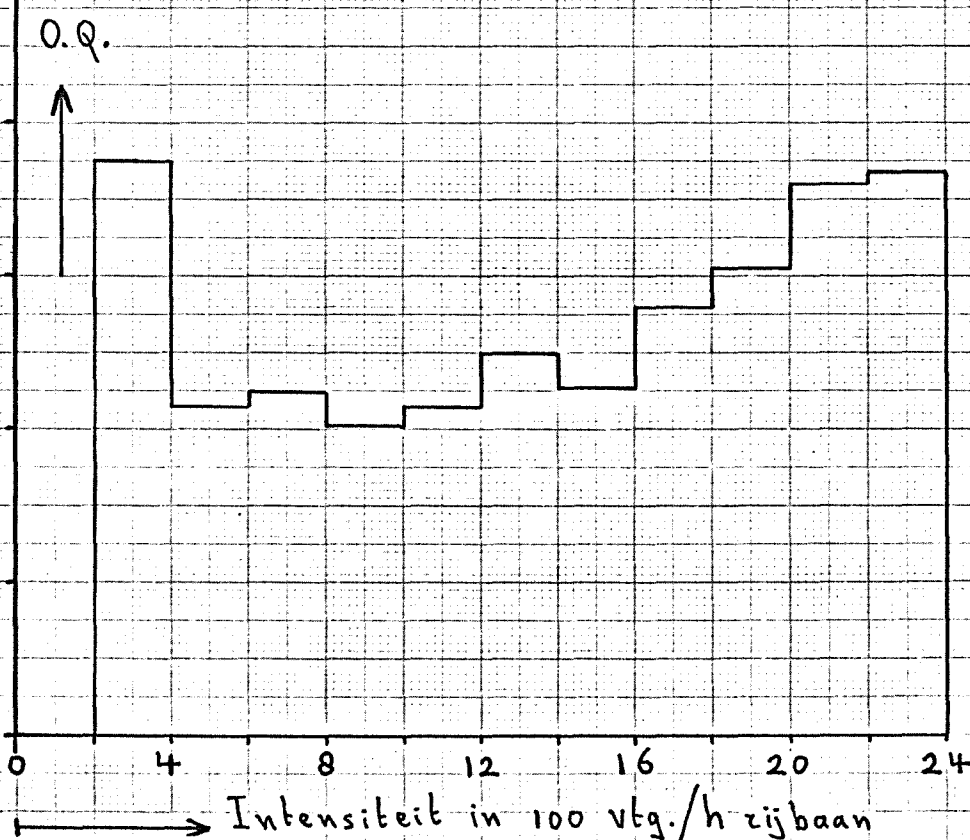
Afbeelding A4. Ongevallenquotiënt O.Q. als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Pfundt (1969).



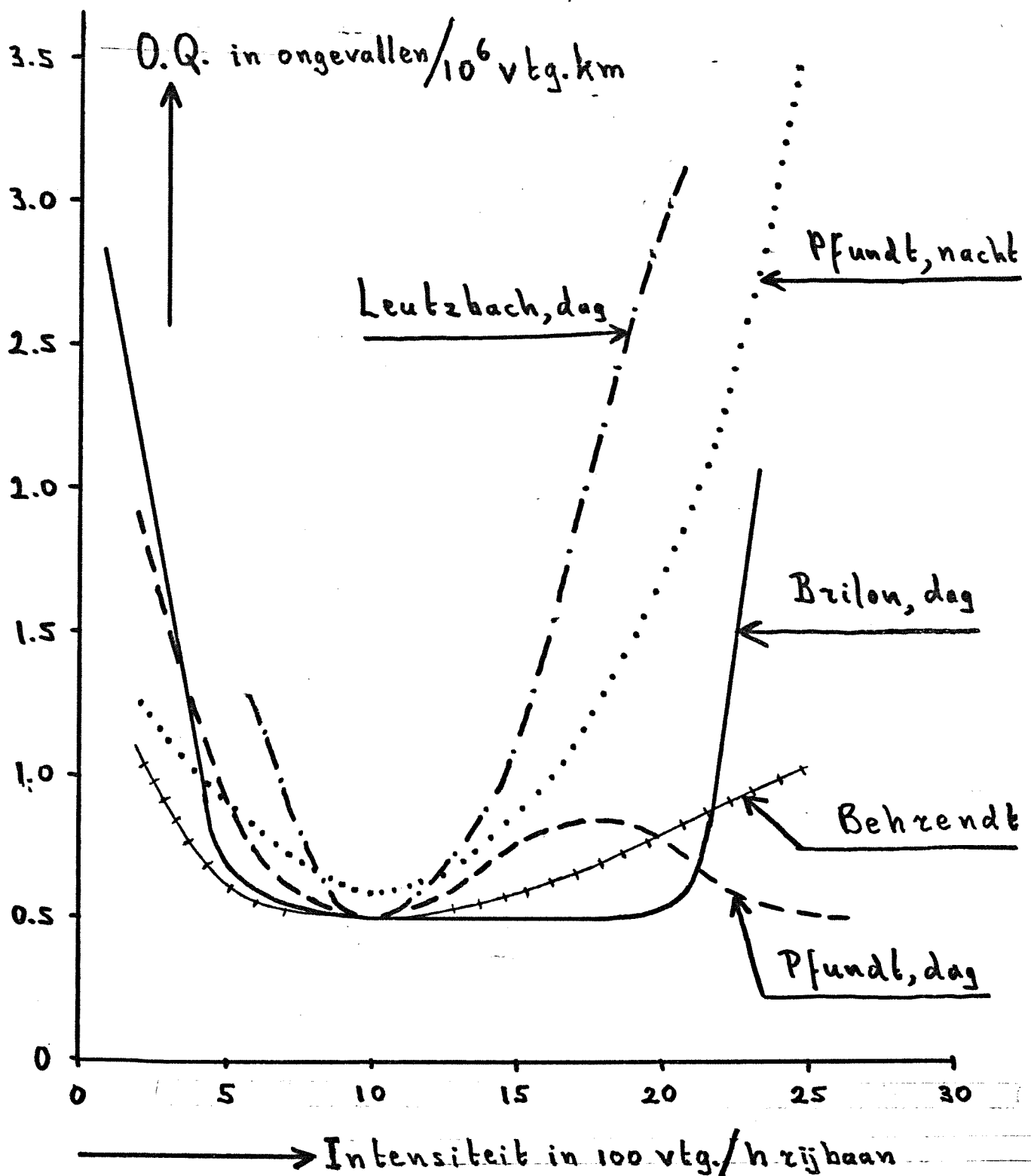
Afbeelding A5. Ongevallenquotiënt O.Q. als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Leutzkacht et al (1970).



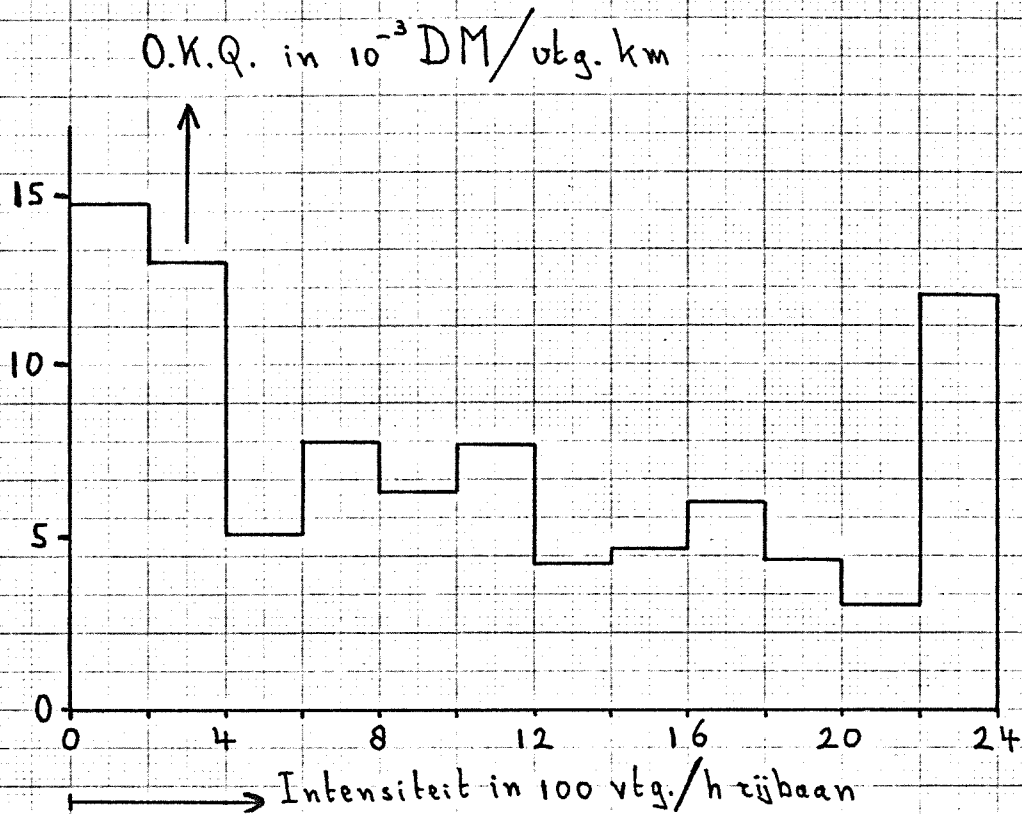
Afbeelding A6. Ongevallenquotient O.Q. als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Brilon (1972)



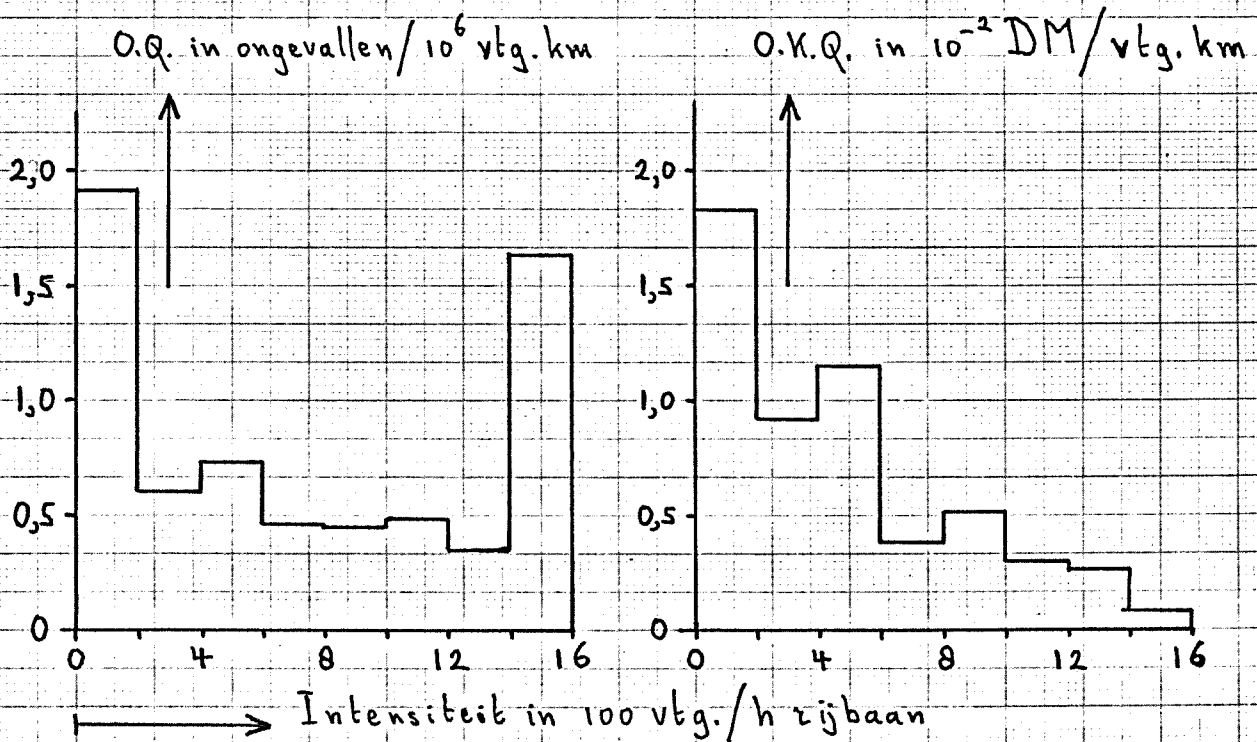
Afbeelding A7. Ongevallenquotient O.Q. als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Behrendt & Kloss (1970)



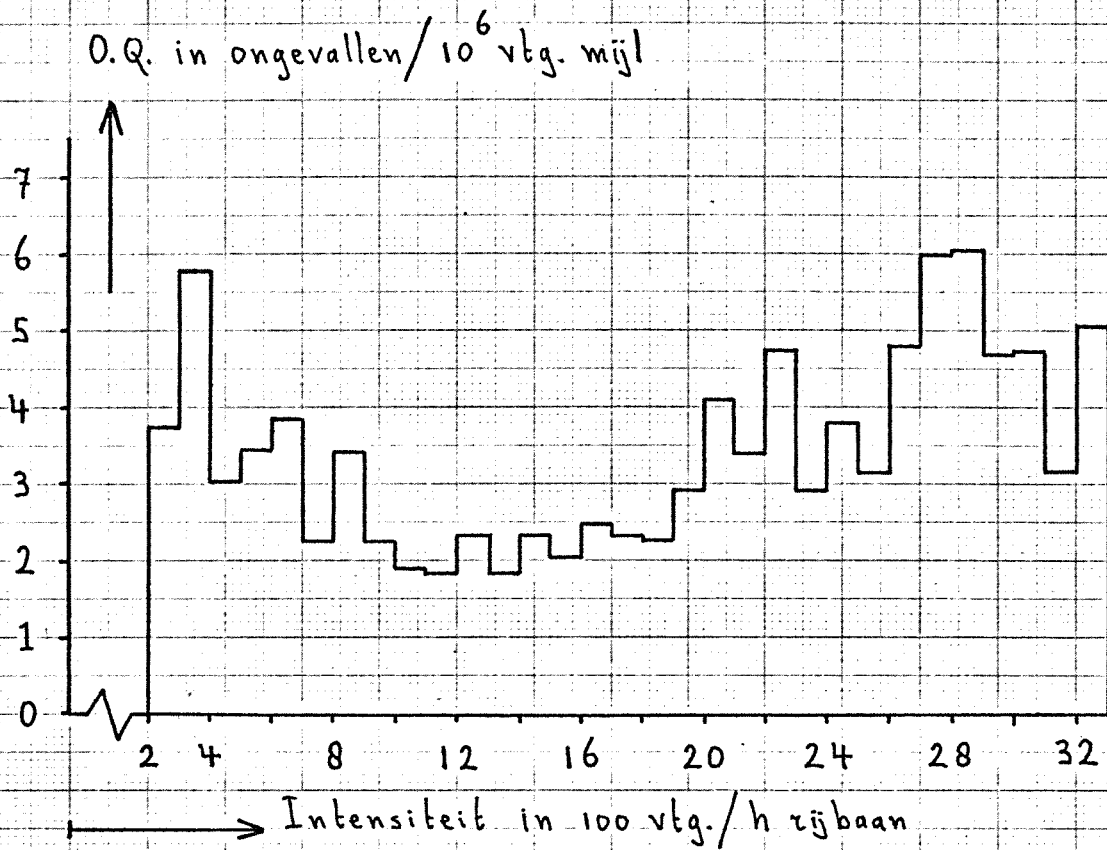
Afbeelding A8. Vergelijking van resultaten van het onderzoek naar het ongevalquotiënt O.Q. als functie van de intensiteit op autosnelwegen.



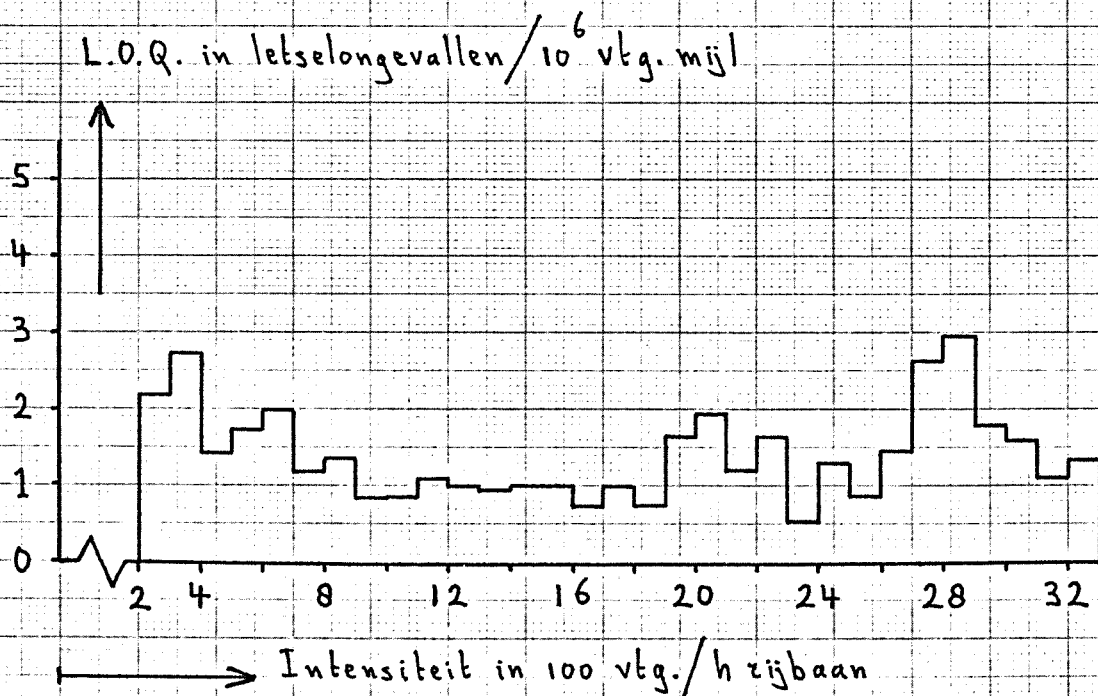
Afbeelding A9. Ongevalkostenquotiënt O.K.Q. als functie van de intensiteit op autosnelwegen. Bron: Brilon (1972)



Afbeelding A10. Ongevallequotiënt O.Q. en ongevalkostenquotiënt O.K.Q. als functie van de intensiteit op enkelbaans 2-strooks-wegen. Bron: Brilon (1972)

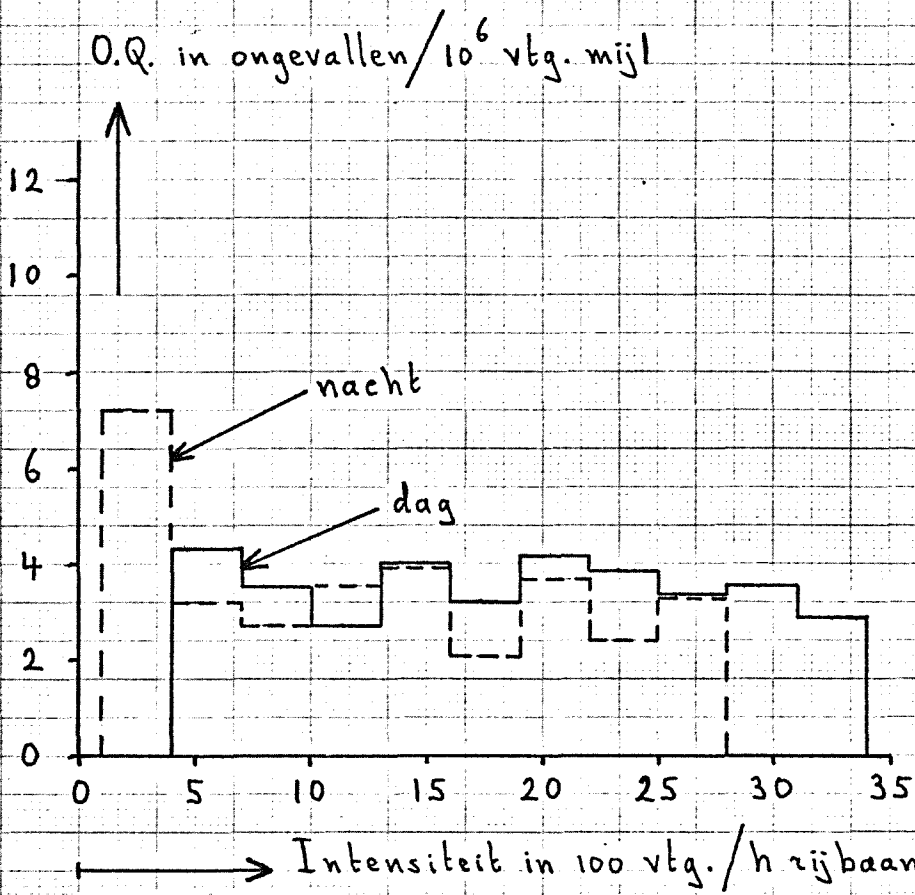


Afbeelding A11. Ongevallenquotiënt O.Q. als functie van de intensiteit. Bron: Gwynn (1966)



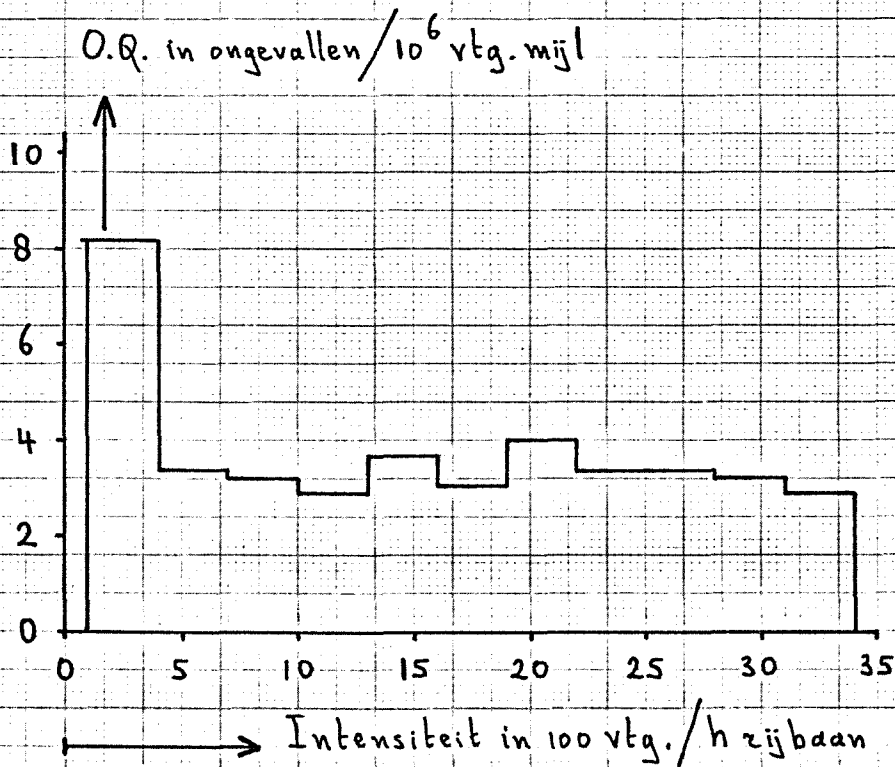
Afbeelding A12. Letselongevallenquotiënt L.O.Q. als functie van de intensiteit. Bron: Gwynn (1966)





Afbeelding A13. Ongevallenquotiënt O.Q. bij dag

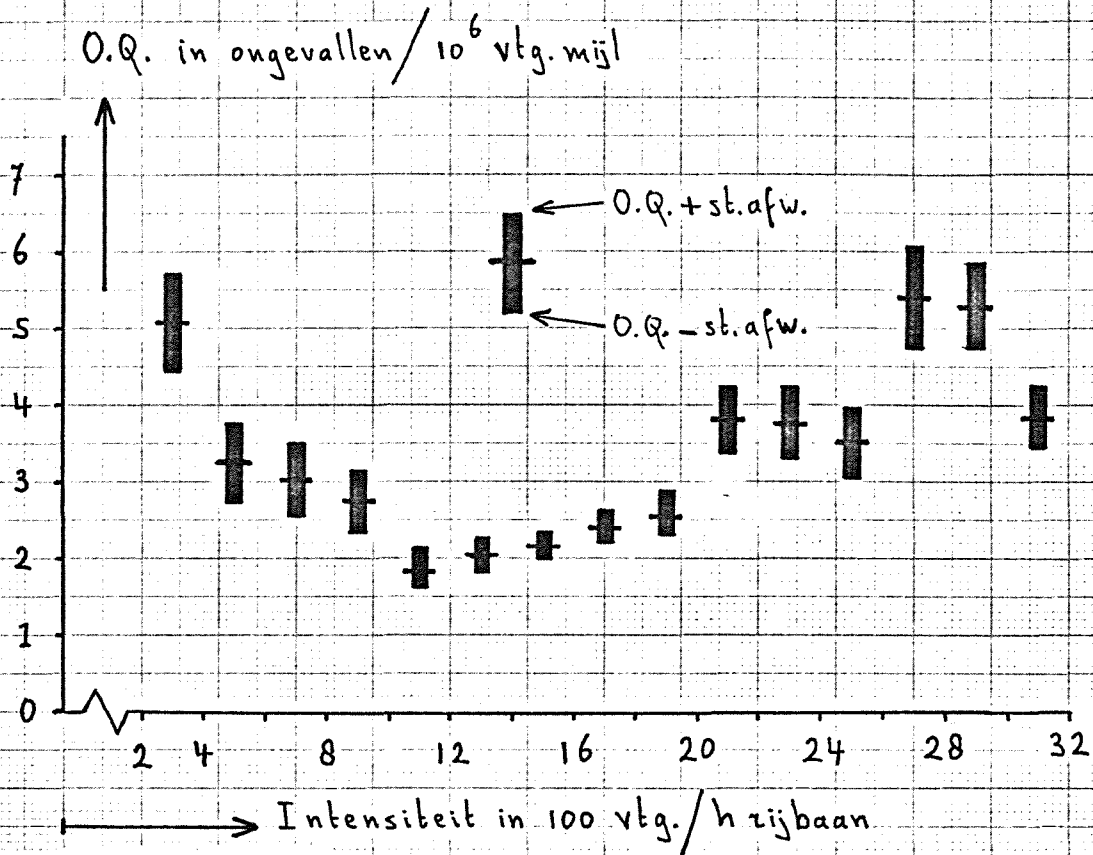
en nacht als functie van de intensiteit. Bron: Ewynn & Baker (1970)



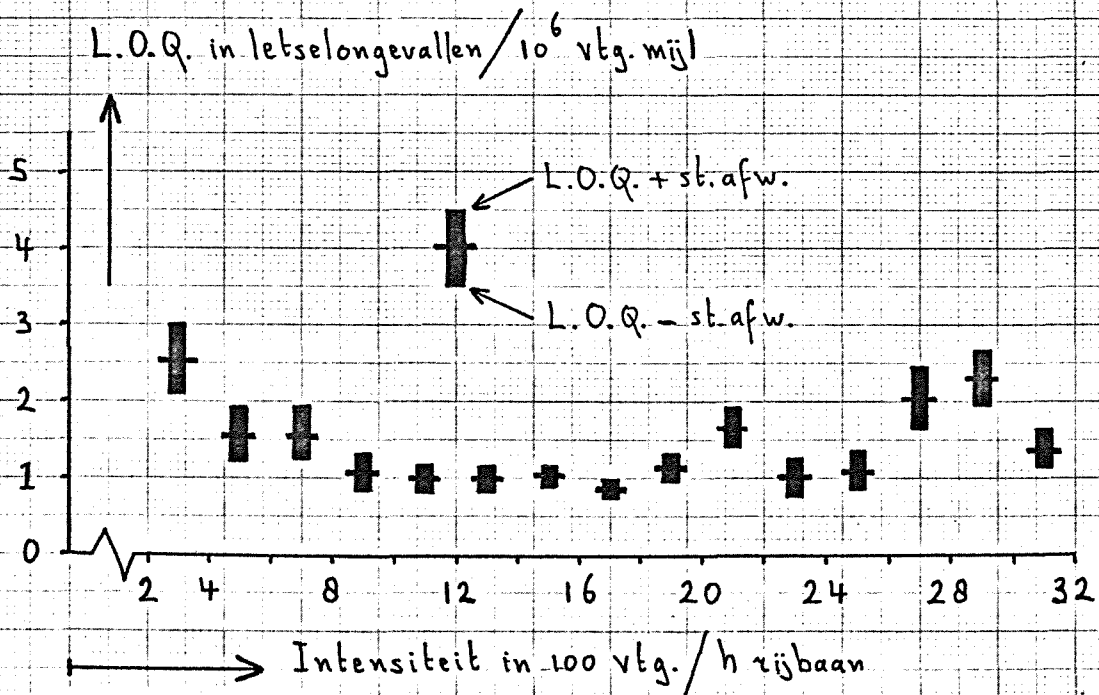
Afbeelding A14. Ongevallenquotiënt O.Q. als functie

van de intensiteit. Bron: Ewynn & Baker (1970)





Afbeelding A15. Ongevallenquotiënt O.Q. als functie van de intensiteit. Bron: Gwynn (1966)



Afbeelding A16. Letselongevallenquotiënt L.O.Q. als functie van de intensiteit. Bron: Gwynn (1966)

## LITERATUUR

- Behrendt, J. & Kloss, H. Stauuntersuchungen als Beitrag zur Verkehrsplanung und -lenkung. Strasse und Autobahn 21 (1970) 7 (juli): 269-274.
- Brilon, W. Relationship between accident rates and hourly traffic volumes on German highways. In: Road Accident Seminars, London, 1972.
- Gwynn, D.W. Relationship of accident rates and accident involvements with hourly volumes. New Jersey State Highway Department, Trenton, 1966.
- Gwynn, D.W. & Baker, W.T. Relationship of accident rates with hourly traffic volumes. Traffic Engineering 40 (1970) 5 (feb.): 42-44+47.
- Hilgers, C.J. Methode voor het analyseren van autosnelwegongevallen. Verkeerskunde 26 (1975) 10 (okt.): 502-508.
- Leutzbach, W., Siegener, W., Wiedemann, R. Über den Zusammenhang zwischen Verkehrsunfällen und Verkehrsbelastung auf einem deutschen Autobahnabschnitt. Accident Analysis and Prevention 2 (1970) 2: 93-102.
- Oppe, S. Multiplicatieve analysemodellen. Beschrijving en toepassing bij de analyse van ongevalratio's als functie van verkeersintensiteit en stroefheid van het wegdek. SWOV, Voorburg, 1977.
- Pfundt, K. Vergleichende Unfalluntersuchungen auf Landstrassen. Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 82. Bundesminister für Verkehr, Bonn, 1969.
- SSW. Rationeel wegbeheer. Verslag van de openbare jaarvergadering gehouden op 30 oktober 1973. Stichting Studiecentrum Wegenbouw, Arnhem, 1973.