

VEILIGHEID IN DE VERSCHILLENDE WIJZEN VAN TRANSPORT; SAMENHANG,  
DIVERSITEIT EN OVERDRAAGBAARHEID

Lezing Symposium "Toekomstig transport, Veiligheid voorzien?",  
georganiseerd door het Genootschap van Veiligheidswetenschap en de  
Vakgroep Veiligheidskunde van de TU Delft,  
Delft, 21 mei 1991

R-91-12

Drs. M.J. Koornstra

Leidschendam, 1991

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



VEILIGHEID IN DE VERSCHILLENDE WIJZEN VAN TRANSPORT; SAMENHANG,  
DIVERSITEIT EN OVERDRAAGBAARHEID

Het analyseren van de (on)veiligheid in een transportsysteem is afhankelijk van de opvatting over het begrip onveiligheid en de mogelijkheden om de kenmerken die daarin een rol spelen betrouwbaar te operationaliseren. Afhankelijk van die opvatting en operationalisering noemt men een transportsysteem veilig of onveilig, veiliger dan vroeger of veiliger dan een ander transportsysteem. Met name in de operationalisering en de daarop gebaseerde analyses van de (on)veiligheid van transportsystemen, blijkt het wegtransport nogal te verschillen van de overige systemen voor transport over rail, door de lucht of over water. In de moderne opvattingen over het begrip (on)veiligheid, wanneer men die afstandelijk en formeel analytisch beschouwt, bestaat echter een grote mate van overeenstemming.

1. Conceptuele samenhang

De tegenwoordig meest voorkomende opvatting, zowel voor wegverkeer als voor treinverkeer, luchtverkeer en scheepvaart, beschouwt onveiligheid als de uitkomst van faalkansen maal blootstelling aan mogelijkheden tot falen in het transportsysteem. Kans en blootstelling worden uiteraard gedefinieerd voor een bepaalde duur en een bepaald deel van een transportsysteem. Het transportsysteem is dan mathematisch te vergelijken met een kansspel (Hauer, 1982), waarin de kansen op negatieve uitkomsten overkomen met transportrisico's, het aantal keren dat men speelt komt overeen met mate van expositie aan gebeurtenissen met gevaar of mate van deelname aan het transportsysteem en eventueel kan men de waarde van negatieve speluitkomsten vergelijken met de ernst van een ongeval. In een simpel-kruis-of-munt spel geldt:

verwacht aantal kruis = kans op kruis x aantal worpen

en analoog voor het transportsysteem:

ONVEILIGHEID = RISICO X EXPOSITIE

Deze eenvoudige vergelijking kan gecompliceerd worden door het kruis-of-munt spel te vervangen door een complexer kansspel met meer dan twee uit-

komsten (bijv. het aantal keren trekken van een kaart = expositie) en met verschillende waarden per uitkomst (bijv. hartenaas = dodelijk ongeval; overige azen en heren = ongeval met ziekenhuisopnamen; vrouwen, boeren en tieners = ongeval met gewonden; etc.). In deze opvatting van onveiligheid kan men het transportrisico schatten door waargenomen aantallen ongevallen te delen door gemeten waarden voor expositie. Voor de interpretatie moet men dan wel rekening houden met het toevalsproces dat deze aantallen en metingen beïnvloedt.

Deze opvatting van (on)veiligheid van een transportsysteem is vanuit verschillende gezichtspunten zeer vruchtbaar gebleken voor analyses van de veiligheid in alle transportsystemen, hoewel de uitwerking ervan voor het wegverkeer tot nu toe nogal verschilt van de overige transportsystemen, zoals verderop zal blijken. We zullen deze gezichtspunten nader te beschrijven, zodat het nut van deze opvatting en de eruit voortkomende methoden en verschillende mogelijkheden voor veiligheidsanalyse en de risico's voor diverse wijzen van transport zichtbaar worden.

## 2. Toevalseffecten: samenhang en verschil

De beschreven opvatting impliceert als eerste gezichtspunt dat het aantal geobserveerde ongevallen of doden in een periode geen karakteristiek kenmerk van het transportsysteem is. De karakteristieke veiligheidskenmerken van een transportsysteem worden veeleer gevormd door risico als kanswaarden en expositie als frequentie of duur van deelname aan een transportwijze en de daaruit resulterende, te verwachten verdeling van aantallen. Een geobserveerd aantal vormt slechts één realisatie daarvan met een bepaalde kans; het aantal zou door het onderliggend toevalsproces ook een ander, niet al te zeer verschillend aantal kunnen zijn geweest. Op theoretische gronden mag men aannemen dat de kansverdeling van deze aantallen een spreiding zullen vertonen die groter of gelijk is aan de spreiding van een zogenaamd Poisson-proces. Het belang van deze ontleding in kans, toevalsverdeling en expositie wordt aardig geïllustreerd door het volgende realistische voorbeeld.

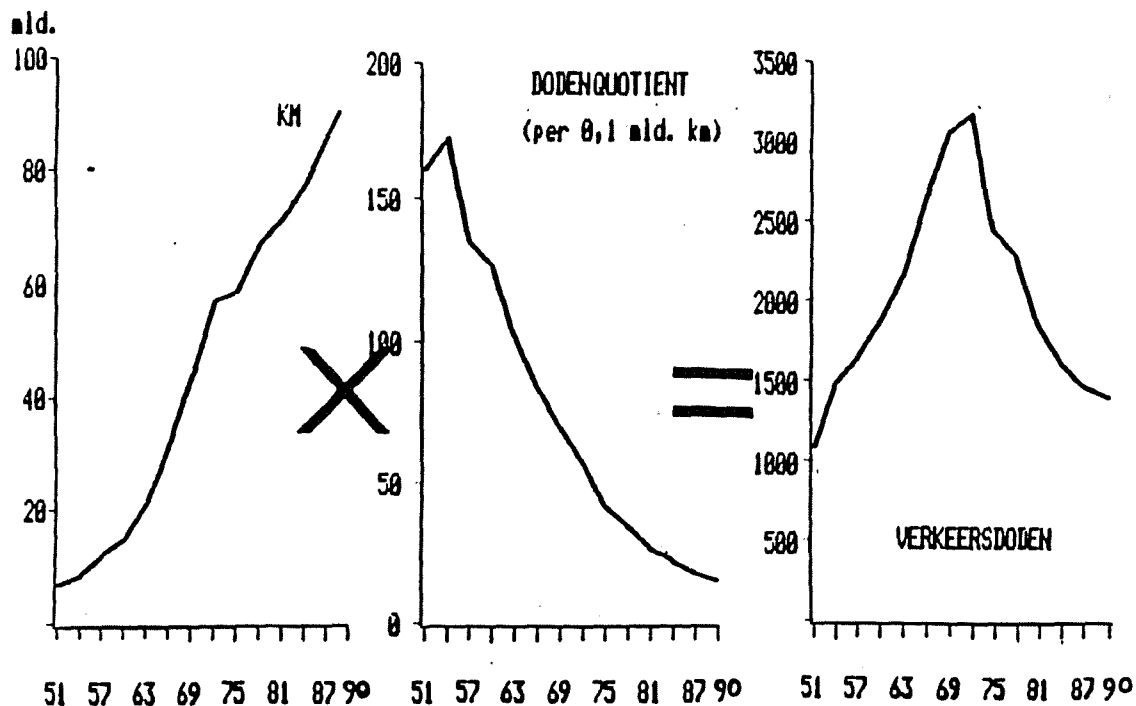
Als het "ware gemiddeld te verwachten" aantal wegverkeersdoden per jaar in Nederland bijvoorbeeld 1450 is, geldt dat geobserveerde aantallen die tussen 1374 en 1526 (d.w.z. 1450 plus of min twee maal de wortel van 1450) liggen niet significant verschillen, terwijl toch het hoogste getal 11%

meer is dan het laagste. Het is dan ook nauwelijks mogelijk in Nederland van een maatregel met minder dan 10% effect op dodelijke ongevallen het effect na één jaar aan te tonen. Beleid en politiek terzake van de wegverkeersveiligheid zouden zich derhalve ook veel minder op deze korte-termijnveranderingen moeten richten. In Tabel 1 zijn de aantallen verkeersdoden in Nederland vanaf 1985 vermeld.

Jaar	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Aantal	1438	1528	1485	1366	1456	1376

Tabel 1. Verkeersdoden in Nederland 1985 t/m 1990

Gezien de zojuist aangegeven toevalselementen zou dit inhouden dat deze aantallen niet wezenlijk behoeven te verschillen. In de gegeven opvatting betekent dit echter wel dat van toename van expositie en van risico elkaar ongeveer in evenwicht hebben gehouden. Aangezien de jaarlijkse verkeers- toename in de gegeven periode circa 5% is geweest moet de risicodaling per jaar ook circa 5% zijn geweest. In Figuur 1 wordt een langere tijd- reeks getoond van de aantallen doden in het Nederlandse wegverkeer sinds 1950 en de ontleding in verkeersgroei en risicodaling.



Figuur 1. Ontwikkeling van de aantallen verkeersdoden als het produkt van verkeersgroei en risico sinds 1950.

Deze figuur laat zien dat de piek van ruim 3200 verkeersdoden rond 1972 in de ontwikkeling van het aantal verkeersdoden sinds 1950 geen nadere verklaring behoeft. Een dergelijke piek ontstaat altijd uit een regelmatige evolutie van verkeer en een regelmatig afnemend verkeersrisico; zodra het percentage groei kleiner wordt dan het percentage risicodaling daalt het aantal als produkt. Dezelfde regelmatig dalende risicocurve bij groei van transport ziet men overigens ook bij de andere wijzen van transport. Deze en meer geavanceerde technieken voor tijdserie-analyse (multivariate tijdreeksanalyse van aantallen van ongevallen en de ontwikkelingen van verkeerstoename als een analyse van de ontwikkelingen van exposities en risico's, al of niet met interventies) zijn voor de wegveiligheid effectieve analysemethoden gebleken (Harvey & Durbin, 1986; Ernst & Brühning, 1990; Wegman et al., 1990).

In rail-, lucht- en watertransport observeert men veel kleinere aantallen ongevallen, waardoor tengevolge van het toevalsproces, zelfs voor maatregelen met effecten van tientallen procenten geen empirische mogelijkheid bestaat om die effecten aan te tonen. Het zal derhalve duidelijk zijn dat men met evaluatie van maatregelen in die sectoren helemaal niets kan beginnen met Nederlandse cijfers. Men zal voor dergelijke analyses cijfers uit werelddelen over verscheidene jaren moeten gebruiken of men kan zich minder op de achteraf te verrichten empirische schatting van aantallen richten. In het laatste geval vertaalt men de geschetste opvatting in a priori theoretische schattingen van risicokansen en gemeten of voorspelde exposities om daaruit de theoretisch te verwachten aantallen ongevallen en hun ernst te berekenen. Op deze berekende aantallen wordt dan het veiligheidsbeleid afgestemd. Zoals later nader zal worden toegelicht is deze laatste analytische benadering vooral in veiligheidsanalyses voor rail-, lucht- en watertransport gebruikelijk; dit in tegenstelling tot de meer frequentistische en empirische analyses in het onderzoek van de wegverkeersveiligheid.

### 3. Risicokansen: vergelijkbaarheid en verschil

De decompositie in risico en expositie maakt het mogelijk de risico's van verschillende wijzen van transport te vergelijken; immers als men overeenkomstige expositiematen kan bepalen zijn ook de risico's van de diverse transportsystemen vergelijkbaar. Dit is het tweede gezichtspunt van waar

uit de geven opvatting over onveiligheid zijn nut bewijst. In Tabel 2 staan enkele risicomaten voor een aantal transportsystemen.

Fataal risico per		Voertuigkm.	Persoonkm.	Persoonuur
wegverkeer	Ned.1)	$1.5 \times 10^{-8}$	$1.1 \times 10^{-8}$	$0.4 \times 10^{-6}$
treinverkeer	W.Eur.2)	$1.1 \times 10^{-9}$	$1.6 \times 10^{-10}$	$0.1 \times 10^{-7}$
zeecorridoors	Jap.3)	$0.6 \times 10^{-8}$	n.v.t.	n.v.t.
luchtverkeer	USA.4)	$0.7 \times 10^{-9}$	$0.4 \times 10^{-10}$	$0.2 \times 10^{-6}$

Tabel 2. Risico's per verkeerswijze in 1990 voor enkele expositiematen

- 1) Nederland 1990 (bron: SWOV,CBS)
- 2) Duitstalig gebied 1990 (bronnen: Schopf,1990; Zuber,1990)
- 3) Japanse zeecorridoors (bron: Hashimoto & Okushima, 1990), onder aanname van 1 fatale op 10 aanvaringsongevallen
- 4) USA 1990 (extrapolatie op basis van NTSB-publikaties)

Voor alle expositiematen blijkt dat het risico voor wegverkeer (N.B. het Nederlandse wegverkeer behoort met dat in de UK, USA en Zweden tot de veiligste ter wereld) groter is dan de risico's voor andere wijzen van transport. Risico's waarbij een transportdeelnemer zijn eigen risico niet kan beïnvloeden en waarbij fatale ongevallen doorgaans meer doden kennen, worden kennelijk ernstiger genomen, hoewel de som van de enkelvoudige verkeersdoden op de vrije weg veel groter is. Illustratief hiervoor zijn ook wegverkeersongevallen met meer dan één dode, zoals de mistongevallen bij Prinsenbeek en de Rijksstraatweg bij Wassenaar. Op de laatste weg vielen sinds 1970 ongeveer zeven verkeersdoden, maar eerst toen daar een paar jaar geleden in één ongeval zeven doden te betreuren waren kon de weg door Rijkswaterstaat gereconstrueerd worden. Hiervoor was van de gemeente Wassenaar instemming en een kapvergunning voor 35 bomen nodig, die niet eerder konden worden verkregen.

De aanbieder van een collectief transport moet aan strenge veiligheids-eisen voldoen, evenals de werkgever met betrekking tot de arbeidsomstandigheden van de werknemers. Deze eisen van onder andere de overheden zijn kennelijk strenger dan die welke de zelfde overheden zelf aanleggen bij de aanbidding van de weginfrastructuur. De aanbieder van collectief vervoer

heeft natuurlijk vanwege de werving van deelnemers aan dat vervoer zelf belang bij grotere veiligheid. Men kan zich echter afvragen of de overheden wel minder belang behoren te hechten aan een veilige weginfrastructuur. Waarom zou de éne dode een andere waarde vertegenwoordigen dan de andere? Ook macro-economisch kost verkeersonveiligheid op de weg zeer veel: in Nederland 7 miljard gulden per jaar en in de Europese Gemeenschap ruim 150 miljard gulden per jaar.

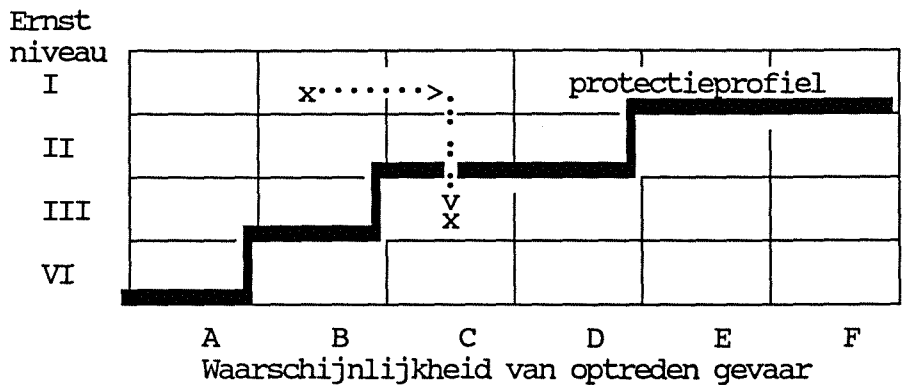
De analyse van de onveiligheid als produkt van risico en expositie laat aldus voor de diverse transportwijzen verschillen in risiconiveaus en verschillen in aard van risico's zien en maakt het mogelijk verschillen in de rationele benadering van veiligheidsvraagstukken te beschrijven.

#### 4. Optimalisering: overeenkomsten

Als derde gezichtspunt kan men vanuit de gegeven overeenkomst van opvatting over veiligheid voor diverse wijzen van transport trachten de strategieën van veiligheidsoptimalisering in de diverse wijzen van transport te vergelijken. Deze strategieën blijken min of meer identiek. De wijze van analyse van gegevens die ten grondslag liggen aan de optimalisering is wel verschillend, maar daarover komen wij nog spreken.

Als men typen ongevallen beschouwt kan men onderscheid maken tussen frequentie van voorkomen van condities voor deze typen (expositie aan condities), de faalkans in die condities (conditionele risico's) en de ernst van de consequenties van falen in die condities (de negatieve waarde van ongevallen). Op basis van een dergelijke ontleding kan getracht worden de veiligheid van een transportsysteem te optimaliseren. Dit geldt gelijkelijk voor alle transportsystemen en is feitelijk ook de basis voor het capaciteits- en veiligheidsmanagement van al deze systemen. Men kan daarbij enerzijds gevaarniveaus onderscheiden als resultaat van categorieën van frequentie maal faalkans en anderzijds niveau's voor ernst van consequenties aanbrengen. Afhankelijk van deze niveaus kunnen acceptabele protectiegrenzen in het transportsysteem worden ingebouwd. Schematisch is dat in navolging van Zuber (1990) in een profiel in Figuur 2 weer gegeven.





Figuur 2. Protectie profiel afhankelijk van condities.

In dit profiel zijn de niveaus van ernst aan gegeven als I (catastrofaal), II, III en VI (verwaarloosbaar), terwijl de waarschijnlijkheidsniveaus van gevaren oplopen van F (niet mogelijk omdat frequentie of kans tot nul zijn teruggebracht) tot A (hoogst waarschijnlijk optredend). Hoe meer linksboven een gevaar is gelokaliseerd hoe serieuzer dat gevaar moet worden bestreden, gezien de frequentie van voorkomen en de ernst van dat gevaar. Door maatregelen te nemen kan men gevaren van hogere niveaus terug brengen tot lagere niveaus (bijvoorbeeld zoals aangegeven in Figuur 2 van I,B naar III,C). Sommige maatregelen brengen consequenties van ongevallen alleen terug tot niveaus van lagere ernst (bijvoorbeeld gordeldraagplicht in autoverkeer), andere maatregelen verlagen slechts de waarschijnlijkheid van gevaar of brengen deze terug tot niet meer mogelijk (bijvoorbeeld ongelijkvloerse kruisingen maken botsingen tussen kruisend verkeer onmogelijk), weer andere maatregelen kunnen op beide dimensies effect hebben (bijvoorbeeld het plaatsen van verkeerslichten waardoor ernstige flankbotsingen af- en minder ernstige kop-staartbotsingen in aantal toenemen of het plaatsen van een middenberm waardoor ernstige botsingen met verkeer in tegengestelde richting wordt vervangen door botsingen met geleiderail en verkeer in de zelfde richting). Het systematisch bepalen van gevaarwaarschijnlijkheid en ernst van consequenties om vervolgens voor de meest ongewenste uitkomsten maatregelen te nemen, komt op overeenkomstige wijze voor in risico-analyses voor alle wijzen van transport. Deze strategie is de zelfde in de optimalisering van de veiligheid in alle transportsystemen. Voorbeelden ervan in het wegverkeer zijn reeds gegeven. Een excellent voorbeeld van de zelfde strategie in het railvervoer is het snelle railtransit-systeem in Zurich dat in 1990 in gebruik is genomen (Zuber, 1990; Röttinger, 1989). Voor de veiligheid van de scheepvaart in zeewater

corridors is de Japanse studie van Hashimoto & Okushima (1990) een recent voorbeeld. Een gelijksoortige studie in het luchtverkeer is de strategie en risico-analyse van Busch et al. (1980). De onderliggende strategische aanpak en uitgangspunten voor analyse is voor de diverse transportsystemen het zelfde, maar de feitelijke gegevens voor de analyse zijn verschillend van aard. In het wegverkeer is de analyse veelal gebaseerd op feitelijke analyse van ongevallengegevens achteraf, terwijl voor de andere transportwijzen de risico-analyse veel meer op a priori waarschijnlijkheden van gevaar en ernst van consequenties berust. De optimalisering en veiligheidstrategie is in het wegverkeer daardoor curatief van aard en in de overige transportsectoren preventief van aard. Dit maakt een wereld van verschil uit.

##### 5. A posteriori en a priori analyse: het grote verschil

Afgezien van geaggregeerde totaalanalyses van risico's zoals gegeven in par. 3 komt men in het optimaliseren van onderdelen van het rail-, lucht- en watertransport niet ver met de statische analyse van feitelijke ongevallen, daarvoor worden de kleine aantallen te zeer gedomineerd door het toeval. Kanafani (1986) stelt dan ook dat een verschil van de feitelijke 5 fatale vliegtuigongevallen in de USA in 1979 en een verondersteld aantal van 26 niet veel zegt over de aanvaardbaarheid van risico's. Het eerste aantal resulteert in  $1.7 \times 10^{-9}$  fatale ongevallen per vliegtuigmijl en een dodenratio van  $0.125 \times 10^{-9}$  per passagiermijl en het tweede ruim 5 maal hogere aantal in  $1.0 \times 10^{-8}$  fatale ongevallen per vliegtuigmijl en  $0.65 \times 10^{-9}$  doden per passagiermijl. Van dergelijke risicokansen zegt Kanafani (1986, p. 405-406) terecht: "It is unlikely that these numbers by themselves would convey a significant different level of safety.... Realistically, while the public and systemplanners may be satisfied with the actual figures for 1979, as indeed they seem to be, it is very unlikely that anyone would tolerate a fatal airline crash every two weeks". Te lucht, te water en per rail wordt de veiligheid van een transportsysteem pas als veilig beschouwd als er slechts "ongelukken" gebeuren die veroorzaakt worden door tot nu toe onbekende en in het gegevenssysteem onvermijdbare factoren. De veiligheidsanalyse en optimaliseringstrategie is in die sectoren gericht op het elimineren van voorzienbare en vermijdbare, d.w.z. niet door natuurrampen veroorzaakte, ongevallen. De opvatting van ongevallen als combinatie van risico en expositie leidt er in die sectoren toe

dat men gegeven de voorziene expositiefactoren de mogelijke risicokansen theoretisch vooraf berekend en door maatregelen vooraf deze kansen of expositiefrequentie tot nul tracht terug te brengen. In de genoemde analyses van Röttinger (1989) voor railtransport, van Hashimoto & Okushima (1990) voor zeetransport en van Busch et al. (1980) voor luchttransport verricht men zulke analyses door theoretisch kansverdelingen voor voorkomende afwijkingen van de ideale gang van zaken te berekenen. Kansverdelingen van die afwijkingen hebben altijd betrekking op de mate van aanwezigheid van te grote relatieve verschillen in snelheden van voertuigen met de zelfde richting in elkaars nabijheid of van verschillend gerichte snelheden van voertuigen in elkaars nabijheid. De maatregelen in het systeem betreffen de eliminatie van dergelijke situaties. Afhankelijk van de waarschijnlijkheidsgrenzen en ernst van consequenties van zulke mogelijke afwijkende situaties wordt het transportsysteem aangepast tot dat het systeem met aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid met de bestaande kennis "fail safe" is. Als er dan nog "ongelukken" gebeuren wordt via diepte-onderzoek gezocht naar de keten van kansfactoren die zulke ongevallen veroorzaken. Vervolgens wordt op grond van de nieuwe additionele kennis het systeem opnieuw aangepast. Het transportsysteem wordt aldus intrinsiek veilig ontworpen of inherent veilig gemaakt. De gevolgen van mogelijk menselijk falen dat dan nog kan resteren worden daarbij via terugkoppelingmechanismen en automatische mechanische en elektronische voorzieningen eveneens nagenoeg geheel geëlimineerd. Het systeem kenmerkt zich door een "sustainable safety" of in Nederlandse termen van het derde Meerjarenplan Verkeersveiligheid als "duurzaam veilig systeem".

Dit staat in schril contrast met de veiligheidstrategie in het wegverkeer. Het wegtransport is niet a priori "fail safe" ontworpen, maar is evolutioneel gegroeid uit de mechanisering van het koetstransport. Bovendien wordt de veiligheidsanalyse in het wegtransport in meerderheid niet gebaseerd op a priori overwegingen van dingen die fout kunnen gaan, maar op post factum statistische analyse van ongevallen die hebben plaatsgevonden. Een schrijvend voorbeeld daarvan is de officiële beleidsprioriteit voor de AVOC-subsidiering. Als er op een eenmaal aangelegd kruispunt een zeker aantal doden zijn gevallen verkrijgt men subsidie voor een veiligere reconstructie van dat kruispunt. Verplichtende richtlijnen of regelgeving voor de wegbeheerder over hoe een kruispunt van te voren, gegeven de togedachte verkeersfuncties of bij veranderende verkeersfuncties door bijvoorbeeld

wijzigingen in een streekplan, moet worden ingericht of aangepast, zijn er niet. Evenmin bestaat er zo iets als een verkeersveiligheidsinspectie of een veiligheidseffectrapportage om te bezien waaraan de wegbeheerder zou moeten voldoen. De enige regelgeving in het wegverkeer vindt men in het RVV, dat naast ordening voor de vlotte doorstroming de verantwoordelijkheid voor de veiligheid op de weg uitsluitend legt bij de verkeersdeelnemer.

Diepte-onderzoeken naar de oorzaken van ongevallen in het wegverkeer komen wel voor, maar hebben geen aansluiting met een veiligheidstrategie. Bovendien belicht dergelijk diepgaand onderzoek slechts per ongeval één unieke keten van de schier oneindige hoeveelheid van mogelijke ketens van factoren die ongevallen in het wegverkeer veroorzaken. Diepte-onderzoeken hebben daardoor een ambivalente status en vertonen daardoor eveneens een ongunstige kosteneffectiviteit (zie OECD, 1988; Raadsadvies RvV, 1991).

## 6. Overdraagbaarheid

Vanouds hebben de diverse transportsectoren kennis overdragen over de veiligheid in hun systemen, vooral als deze kennis berust op gemeenschappelijke toeleverende wetenschapsgebieden, zoals "human factor research" (zie bijv. Baise & Miller, 1978; Hale & Glendon, 1987) en "crashworthiness" van voertuigen en biomechanica van menselijke lichamen in botsingen (zie bijv. Garret & Kidd, 1969). Gezien het in de voorgaande paragraaf beschreven verschil in analysetechnieken en de in par. 3 berekende geaggregeerde verschillen in risiconiveau tussen enerzijds de veiligheid van het wegtransport en de anderzijds de overige transportsectoren, zal het geen verbazing wekken als geconstateerd moet worden dat men voor de optimalisering van de veiligheid in deze overige transportsectoren weinig kan leren van het transport op de weg. Daarvoor is de stand van zaken de veiligheid betreffende in deze overige transportsectoren (en andere sectoren zoals bijvoorbeeld de arbeidsomstandigheden) veel te goed. Tevens is door het kleine aantal ernstige ongevallen het nut van een statistische achterafanalyse, zoals in het wegverkeer, veel te veel gering; deze wordt dan immers te zeer gedomineerd door toevalsprocessen. In die sectoren is diepte-onderzoek van ongevallen naar nog onbekende combinaties van factoren vruchtbaar, omdat reeds nagenoeg alle bekende faalcombinaties vooraf zijn geëlimineerd. In het wegtransport is diepgaand onderzoek van ongevallen juist door de aanwezigheid van schier onmogelijk veel combinaties van

faalfactoren evenzeer niet effectief. Een a priori analyse van het wegtransportsysteem, waarin de niet verwaarloosbare waarschijnlijkheid van optredende combinatie van faalmogelijkheden worden geëlimineerd, lijkt veel zinvoller.

De vraag kan gesteld worden hoe zo'n a priori veilig wegtransport er zou kunnen uitzien en of dat realistisch is om na te streven. Net als in de overige transportsystemen zal daar waar de verkeersfunctie en niet de verblijfsfunctie van de weg voorop staat moeten worden voorkomen dat verkeerswijzen met te zeer verschillende of ongelijk gerichte snelheden niet in elkaars nabijheid kunnen komen. Hoe goed ook voorbereid op deelname in een verkeerssysteem, het menselijk handelen is nimmer foutloos te maken. Daarom zal een transportsysteem dat niet voldoet aan de eliminatie van te zeer verschillende snelheden tussen nabij verkerende verkeersdeelnemers en ongelijk gerichte snelheden van verkeersdeelnemers in elkaars nabijheid altijd een onaanvaardbaar aantal ernstige ongevallen vertonen als de snelheden zelf niet laag zijn. Tabel 3 laat zien dat bestaande wegen zowel voor wegverkeer met lage snelheden als voor wegverkeer met relatief lage spreiding van snelheden en gelijke richting reeds lagere letselrisico's tonen.

Wegtype	Max. km/uur	Menging snel/langz.	Kruisend en tegen verk.	Aantal letselongevallen/ miljoen motorvoertuigkm.
woonerf/				
woonstraat	30	ja	ja	0,04
woonstraat	50	ja	ja	0,80
verkeersader	50	ja/nee	ja	1,20
verkeersader	80	ja/nee	ja	1,40
wegen met				
gesl. verkl.	80	nee	ja	0,30
autowegen	100	nee	ja/nee	0,11
autosnelweg	100/120	nee	nee	0,07

Tabel 3. Letselrisico's voor wegtypen met verschillen in maximum snelheid, menging en richtingen van verkeer in Nederland.

In de Nederlandse woonerven en goed ingerichte 30 km/uur-gebieden, waar de verblijfsfunctie domineert, ligt het fatale verkeersrisico per afgelegde kilometer (inclusief fietsers en voetgangers) op de waarde van  $1.3 \times 10^{-9}$  en komt daarmee in de buurt van de waarde voor de andere transportsystemen (zie Tabel 2). De snelheden zijn daar doorgaans inderdaad lager dan 30 km/uur en door het snelheidsreducerend incidentgedrag leveren de verschillen in snelheden en richtingen zelden ernstige ongevallen op. Op autosnelwegen is de spreiding in snelheden aanmerkelijk kleiner dan op andere verkeerswegen en is verkeer met anders gerichte snelheden geëlimineerd. Hier is het fatale verkeersrisico  $2.3 \times 10^{-9}$  per afgelegde kilometer en aanvullende elektronische middelen tot begrenzing van de snelheidsverschillen kan dat nog aanmerkelijk verbeteren. Tussen woonerf en autosnelweg is het risico veelvoudig hoger. Op de 80 km/uur-verkeerswegen buiten de bebouwde kom waar de snelheidsverschillen, de menging, het kruisend verkeer en tegenliggers in aanmerking nemend, het grootst zijn en de snelheden van auto's ook hoog zijn, is het fatale risico het hoogst.

Op wegen waar de verplaatsingsfunctie voorop staat moeten verschillen in richtingen en snelheden tussen deelnemers a priori door de infrastructuur worden voorkomen om een intrinsiek veilig wegtransport te verkrijgen. Dit betekent geen menging van langzaam en snelverkeer op wegen met een dominante verkeersfunctie, maar ook geen stilstaand verkeer en geen richtingsverschillen, zoals bij geregeld of ongeregeld kruispuntverkeer en bij tegenliggers, op deze verkeerswegen. Als ongelijkvloerse kruisingen niet realiseerbaar zijn, dan zouden gelijkvloerse kruisingen altijd moeten bestaan uit invoegend en uitwevend verkeer dat via links-voorrang rotondes of invoegende T-aansluitingen zich mengt met gelijk gerichte verkeersstromen. De rotondes met voorrang in plaats van kruisingen, zo heeft onderzoek aangetoond, hebben tengevolge van de snelheidsreductie op de rotonde en de meer gelijkgerichte bewegingen een reductie van ernstige ongevallen tot gevolg dat kan oplopen tot 90%. Woongebieden zouden via verkeersaders met fysiek gescheiden banen voor tegenverkeer en dergelijke rotondes en via invoegende T-aansluitingen vanuit woonstraten ontsloten kunnen worden. Als het aantal rotondes beperkt is en op redelijke afstand liggen kan de snelheid op deze ontsluitingswegen zelfs veilig hoger zijn dan 50 km/uur.

Deze verkeersaders zouden geen menging van snel- en langzaam verkeer mogen kennen en voorzien moeten zijn van fly-overs of tunneltjes voor fiets- en wijkverbindend voetgangersverkeer. Indien de 30 km/uur-woongebieden zouden worden uitgebreid tot gebieden van maximaal 4 km doorsnee, heeft men ook per auto nooit meer dan 4 minuten nodig om op een ontsluitende verkeersader te komen. Als tevens de boven geschetste structuur van de verkeersaders ook zou gelden voor 80 km/uur-wegen die aansluiting geven op autosnelwegen, zou de verkeersonveiligheid wel tot 10% van het huidige niveau kunnen worden teruggebracht.

Een dergelijke hiërarchie van typen wegen met uniform uitgevoerde aansluitingen binnen de typen en tussen het ene type naar het andere, zou gekenmerkt zijn door maximaal vier typen. Te weten: autosnelwegen, verkeersaders (80 km/uur-verkeerswegen en stedelijke ontsluitingswegen), wegen met 30 km/uur met verblijfsgebied infrastructuur en mogelijk als vierde type een nader te ontwerpen veilig soort buiten-bebouwde-kom wegen met lage intensiteit en erfontsluitingsfuncties voor landbouwgebieden en dergelijke.

Het kenmerk van een dergelijk veilig wegennet is dat ontmoetingen van verkeersdeelnemers met hoge snelheidsverschillen en/of grote richtingsverschillen met hoge snelheden a priori uitgesloten is. Het is daardoor een intrinsiek of duurzaam veilig netwerk van wegen. Indien over een periode van 30 jaar wegen slechts zouden mogen worden onderhouden en veranderd of aangelegd conform een dergelijke typologie en toewijzing van functies, zouden de beschikbare middelen van overheden (centraal het Rijkswegenfonds en regionale en gemeentelijke middelen) voor reconstructief onderhoud en aanleg van wegen voldoende zijn om die veilige infrastructuur tot stand te brengen. Dit vergt wel dat wegbeheerders bij aanleg en reconstructief onderhoud en bij verandering van functies van wegen verplicht worden om te voorzien in een bepaalde voorgeschreven infrastructuur, die correspondeert met de toegedachte of veranderde of feitelijke verkeersfunctie. Bij alternatieven voor nieuwe wegen en bij reconstructief onderhoud zou een veiligheidseffectrapportage voor een verantwoorde besluitvorming verplicht moeten zijn. Ook bij herziening van streek- en bestemmingsplannen zouden de functies van wegen en de vereiste aanpassing van die wegen voor een veilige functievervulling expliciet aan de orde moeten komen in de goedkeuringsprocedure. Een toezicht houdende veiligheidsinspectie voor het wegbeheer

zal daarbij, evenals in milieubehoud, de arbeidsveiligheid en in andere transportsectoren, niet gemist kunnen worden.

Een veiligheidstrategie gericht op het a priori elimineren van niet te verwaarlozen gevaarmogelijkheden zou het wegtransport moeten overnemen van de overige transportsectoren om even veilig als die transportsectoren te worden. Dat is niet alleen een zaak van zulke onderzoekanalyses, maar vooral van een andere veiligheidstrategie en een ander veiligheidsbeleid. In het MPV-3 dat zojuist is gepubliceerd wordt het begrip duurzame veiligheid als een nieuwe visie op een preventieve veiligheid van het wegverkeer gepresenteerd. Een a priori veilig wegverkeer vergt echter meer dan woorden. Het vergt een langdurig over vele jaren volgehouden inspanning, zeer hoge investeringen en een regelgeving die ook decentrale overheden en alle wegbeheerders bindt. De huidige 200 miljoen per jaar voor verkeersveiligheid kan dat niet bewerkstelligen; een anders geconditioneerde besteding van de miljarden van het Rijkswegenfonds en de decentrale middelen voor wegonderhoud en aanleg van wegen zal dat in de loop van enkele tientalle jaren wel mogelijk kunnen maken. Alleen al de jaarlijkse 7 miljard gulden aan schade door verkeersonveiligheid in Nederland rechtvaardigen ook economisch zo'n andere aanwending van bestaande middelen.

Onopgemerkt wellicht hebben we, 90 jaar na de eerste verkeersdode door gemotoriseerd verkeer in Nederland, in het pinksterweekend van 1991, de 100 duizendste verkeersdode moeten registreren; over weer 90 jaar mogen er niet nog eens 100 duizend meer zijn. In het geschetste duurzaam veilig wegverkeer kan dat ook intrinsiek niet meer zo zijn; daarom moeten we er, lerend van de veiligheid in de systemen voor lucht,- water- en railtransport, nu aan gaan werken.



LITERATUUR

- Baise, E.J. & Miller, J.M. (Eds.) (1978). People on the move. Proc. of the Human Factors Society, 22nd meeting. Univ. of Michigan, Detroit.
- Ernst, G. & Brühning, E. (1990). Fünf Jahre danach: Wirksamkeit der "Gurtanlegpflicht für Pkw-Insassen ab 1.8.1984" Eine zeitreihe-analytische Untersuchung. Zeitsch. f. Verkehrss., 36.
- Kanafani, A. (1986). The analysis of hazards and the hazards of analysis: Reflections on Air Traffic Safety Management. Accid. Anal. & Prev. 18 : 403-416.
- Kidd, E.A. & Garret, J.W. (Eds.) (1969). Proc. of the Collision Investigation Methodology Symposium. Cornell Aeronautical Lab., Buffalo, New York.
- Hale, A.R. & Glendon, A.I. (1987). Individual behaviour in the control of danger. Elsevier, Amsterdam.
- Hauer, E. (1982). Traffic conflicts and exposure. Accid. Anal. & Prev. 14 : 352-362.
- Harvey, A.C. & Durbin, J. (1986). The effect of seat belt legislation on British road casualties; A case study in structural time series modelling. J. Royal Stat. Soc., 149, Part A.
- Hashimoto, A. & Okushima, T. (1990). Evaluating marine traffic safety at channels. Accid. Anal. & Prev. 22 : 421-442.
- OECD (1988). Road accidents: On-site investigations. OECD, Paris.
- Raadsadvies (1991). Ongevallen en oorzaken. Raad voor de Verkeersveiligheid, 's-Gravenhage.
- Röttinger, R. (1989). Zur Bewertung der Wirkung sicherheitsorientierter Massnahmen im Eisenbahnbetrieb. Schriftenreihe des IVT Nr. 78, Zürich.
- Schopf, J.M. (1989). Bahn oder Strasse - Verkehrssicherheit im Vergleich. Beiträge zur Verkehrsplanung : 145-170. Tech. Univ. Wien.
- Wegman, F.C.M.; Bos, J.M.J. & Bijleveld, F. (1990). Schattingen over de effecten van toegenomen gordelgebruik op de aantallen verkeersdoden. R-90-31. SWOV, Leidschendam.
- Zuber, P. (1990). The safety of the Rapid Transit System in Zürich. J. Occup. Accid. 13 : 157-163.