

RELEVANTIE VAN ONDERZOEKSMETHODEN EN THEORIEVORMING VOOR BELEID

Bijdrage symposium "Sociale Verkeerskunde", Groningen - Haren,
27-29 november 1974.

In: Michon, J.A. & Van der Molen, H.H. (eds.). Sociale Verkeers-
kunde, Verslag van het symposium, gehouden in november 1974 te
Groningen, blz. 120 t/m 125. Koninklijke Nederlandse Toeristen-
bond ANWB ('s-Gravenhage, 1977).

R-74-21

Drs. M.J. Koornstra (Rijksuniversiteit Leiden en SWOV, Voorburg)
Voorburg, 1974

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Relevantie van onderzoeksmethoden en theorievorming voor beleid

In onze samenleving van vandaag met een vrij hoog technologische vormgeving van ons handelen is beleidsvorming op basis van wetenschappelijke analyse noodzakelijk. Het zou echter een misverstand zijn om technologische vormgeving van ons handelen, waarvan het moderne verkeer een zeer treffend voorbeeld is, te reduceren tot technologie zonder het menselijk handelen. Juist daar waar de technologische vormgeving van dat handelen leidt tot nadelige gevolgen (verkeersonveiligheid is weer een treffend voorbeeld) komt de relevantie van het menselijke gedrag des te meer op de voorgrond. De technologische vormgeving om de nadelige gevolgen te reduceren wordt dan een functie van het menselijk gedrag en niet meer een verdere doorvoering van de technologische perfectie op zich.

Probleemdefiniëring

De beleidsbepalers (politici en regeringsverantwoordelijken) zien zich geconfronteerd met zo'n nadelig technologisch gevolg^{*)} en de vraag aan de wetenschappelijke onderzoeker is veelal niet verder gespecificeerd dan de vraag naar de reductie, zo mogelijk de opheffing van het nadelig gevolg. De onderzoeker staat dan voor de taak de vraag te vertalen in diverse aspecten die relevant geacht worden voor de beantwoording van de desbetreffende vraag. Deze vertaling in relevante variabelen is afhankelijk van de bestaande kennis en de inzichten van de onderzoeker. Naarmate die bestaande kennis geringer is, zijn in deze de eigen inzichten van de onderzoeker meer bepalend. Op het terrein van de verkeersveiligheid is veelal die bestaande kennis niet zodanig dat zonder verder onderzoek een bevredigend antwoord kan worden gegeven. De probleemdefiniëring is door die gebrekkige bestaande kennis echter afhankelijk van de onderzoeker en als geen verdere voorzorgsmaatregelen genomen worden zal het onderzoek een antwoord opleveren dat evenzeer onderzoeker bepaald is. Een terugkoppeling van de probleemvertaling in relevant geachte variabelen naar de beleidsinstantie is daarom een voorwaarde

*) In een anticiperend beleid zouden deze gedeeltelijk kunnen worden voorkomen

voor beleidsrelevant onderzoek. De uiteindelijke probleemvertaling in relevante variabelen is, naast de terugkoppeling van de beleidsinstantie niet alleen afhankelijk van inhoudelijk bestaande kennis, maar evenzeer van de bestaande kennis omtrent onderzoeksmethodologie. Immers de definiëring van het te onderzoeken probleem in variabelen en relaties tussen variabelen waarvoor de mogelijke meetbaarheid en analysetechnieken onbekend zijn, is op korte termijn bezien beleidsirrelevant. De inbreng van de δ -wetenschappen in verkeersveiligheidsonderzoek is daarom niet alleen noodzakelijk, omdat verkeersonveiligheid een gevolg is van een technologische vormgeving van menselijk handelen, maar wellicht veel meer onontbeerlijk omdat in de δ -wetenschappen het meten (Krantz et al., 1972) en de analyse van complexe multivariabele relaties zonder sterke assumpties (Shepard et al., 1972) veel verder is gevorderd.

Bestaande kennis

Als eenmaal een, in relevante variabelen vertaald, probleem is gegeven, is in feite door de afhankelijkheid van die vertaling van bestaande kennis en onderzoeksmethodologie ook al aangegeven of verder onderzoek noodzakelijk is of dat, eventueel na verrichting van enkele metingen, een beleidsrelevant antwoord zonder verder onderzoek mogelijk is. Bestaande kennis kunnen we onderscheiden in verbaal-qualitatieve theorieën en in axiomatisch-mathematische theorieën. Of de bestaande kennis een zodanige relevantie en gevalideerde status bezit dat vanuit deze kennis een antwoord kan worden geformuleerd, dat de toets de kritiek kan doorstaan is natuurlijk de cruciale vraag. Hoewel waarschijnlijk vele maatregelen op verbaal-qualitatieve deeltheorieën van nogal primitieve aard zullen worden gebaseerd, is het echter zeer de vraag of deze fundering inderdaad verantwoord is. Zelfs zonder deze verbale theorieën, als deeltheorieën, zelf aan te vechten, is het de vraag of binnen een groter kader geen strijdige deeltheorieën van soortgelijk primitief niveau mogelijk en aannemelijk zijn.

Bijvoorbeeld kan de aannemelijke primitief causale theorie dat snelheidsvermindering tenminste ernstige ongevallen reduceert, worden bestreden met de eveneens aannemelijke theorie, dat onder gelijke ver-

keersprestatie snelheidsvermindering leidt tot grotere dichtheid, die weer quadratisch vermeerdering geeft van het aantal ongevallen waarvan het, weliswaar proportioneel lagere, aantal ernstige ongevallen absoluut gezien hoger zou kunnen zijn dan het aantal ernstige ongevallen bij hogere snelheid. Dit voorbeeld illustreert hoe een mathematische theorie over dichtheid, snelheid, ongevals-frequentie en ernst van ongevallen, indien deze bestond wel eenduidig antwoord zou hebben kunnen geven over het effect van snelheidsreductie zonder verder onderzoek. Het zal duidelijk zijn dat indien een relevante gevalideerde mathematische theorie voorhanden is, een vrij goed en snel te formuleren beleidsrelevant antwoord te geven valt. Het ontwikkelen van mathematische theorieën is echter iets dat nauwelijks wordt bevorderd door beleidsvoorbereidende instanties.

Onderzoeksmethodologie

Bij gebrek aan voorhanden kennis op het verkeersveiligheidsterrein moet men zich derhalve richten op verder onderzoek; dergelijk onderzoek draagt dan noodzakelijk een exploratief karakter. Beschikt men wel over enige kennis, zoals de genoemde kwalitatieve verbale theorieën, dan zal veelal nog nader onderzoek noodzakelijk zijn om te toetsen of de uitspraken (c.q. voor te stellen maatregelen) in de gegeven situatie inderdaad het veronderstelde waarheidskarakter (c.q. feitelijk effect) hebben. In dat geval heeft het onderzoek een hypothese toetsend karakter. In figuur 1 is door middel van een systeendiagram de differentiatie in bestaande kennis naar verbale en mathematische theorieën en de differentiatie van onderzoeksmethodologie naar exploratief en toetsend onderzoek en nog te bespreken relaties aangegeven. Vanuit het gezichtspunt van de onderzoeker doen zich dan drie vormen van onderzoek voor, nl.: exploratief onderzoek, hypothese toetsend onderzoek en mathematisch-theoretisch onderzoek.

Exploratief onderzoek

Bij gebrek aan kennis voor beantwoording van bepaalde beleidsvragen komt men tot exploratief onderzoek. Een voorbeeld van een dergelijke

situatie is de vraag naar de oorzaken van de relatief hoge onveiligheid in de Beemster en wellicht algemener in poldergebieden. Bij een dergelijke vraag is het tasten in het duister. Men zal zich zelfs moeten afvragen of de vraagstelling wel juist is; bv. is inderdaad de Beemster relatief onveilig. Een retrospectief vergelijkend onderzoek met andere gelijksoortige gebieden lijkt eerst noodzakelijk. Een dergelijk vergelijkend onderzoek draagt een quasi-toetsend karakter van het "ex-post facto" design type (zie Campbell en Stanley, 1963). Brainstorming en informatieverzameling ter plaatse kan een inzicht leveren in de relevante aspecten aan het probleem. Afhankelijk van de nadere specificatie van relevante variabelen, zal men dan overgaan tot een inventarisatie van de relevante gegevens. Afhankelijk van de aard van het meetniveau van de karakterisering van de onderlinge relaties tussen variabelen zal, met het oog op de probleemstelling en de mogelijk te verkrijgen informatie voor relevante antwoorden, een bepaalde data-analysetechniek worden gehanteerd. Een analyse per variabele of per paar van variabelen zonder simultane beschouwing van alle relaties tussen variabelen zal in dergelijke complexe vraagstellingen leiden tot een onjuiste, of tenminste sterk onvolledige informatieverschaffing, die nauwelijks tot effectieve maatregelen aanleiding zal kunnen zijn. Een weliswaar nog niet zo oude, maar toch reeds klassiek te noemen soort analyse techniek als standaard multivariate analyse (Anderson, 1958; Morrison, 1967), zelfs als exploratieve techniek zonder het statistisch toetsend karakter (v.d. Geer, 1971), vereist lineaire relaties en een meetniveau van de gegevens op intervallschaal. In het verkeersveiligheidsonderzoek van het type dat we hier bespreken, zijn de gegevens veelal van diverse meetniveau's, zoals categorische data (bv. nat, droog), rangorde data (bv. kwaliteitsniveau van de wegverharding) en metrische gegevens (bv. leeftijd bestuurder); tevens is de aanname van lineaire samenhang voor zover gedefinieerd voor dergelijke data veelal niet te rechtvaardigen (bv. kromlijnige samenhang). Moderne ontwikkelingen in de multivariabele analysetechnieken, die relevant zijn voor verkeersveiligheidsonderzoek van dit type gaan in twee richtingen. Ten eerste: men analyseert een mixture van variabelen van verschillend meetniveau door zodanige schaalwaarde toekenning aan categorieën (voor geordende categorieën met behoud van de rangorde) dat, tesamen met ge-

wichten voor metrische variabelen, de op te sporen lineaire of door polynomen beschreven, verbanden worden gemaximaliseerd (de Leeuw, 1973). Ten tweede: men reduceert alle data tot rangorde niveau (d.w.z. categorische data tot binaire variabelen en metrische variabelen tot geordende interval categorieën) en analyseert de samenhang op basis van invariantie onder monotoon stijgende of dalende transformatie van relaties (Shepard et al., 1972). Een voorbeeld van verkeersveiligheids-onderzoek op basis van het eerste alternatief treft men aan in een analyse van het differentieel effect van autogordels op de afloop van een ongeval (Edelman en van Kampen, 1974). In dit onderzoek worden frequentie van verwondingen (metrisch) naar plaats (categorisch) en ernst (rangorde) geanalyseerd op basis van maximale discrimineerbaarheid tussen het type gedragen gordel en het niet dragen van een gordel (categorisch criterium). Een voorbeeld van de tweede soort analyse wordt geïllustreerd in figuur 2 en betreft een deelanalyse uit het onderzoek naar de onveiligheid in de Beemster (SWOV, 1974). Eerst is een analyse van de criterium variabelen gemaakt, in dit geval het aantal ongevallen en het schadepercentage, het letselpercentage en het percentage dodelijke ongevallen op kruispunten en T-aansluitingen in de Beemster gedurende 1968-1972.

De analyse techniek, te weten multidimensionele schaalanalyse, representeert de variabelen als punten in een ruimte van zo laag mogelijke dimensionaliteit zodanig dat de afstand tussen de punten kleiner is naarmate de samenhangsindex (in dit geval rangcorrelatie) groter is. Door de inverse variabelen (lager aantal ongevallen, lager percentage schade, letsel en dodelijke ongevallen) door middel van reflectie van de rangcorrelatie eveneens te representeren, ontstond een goed fittende twee dimensionele criteriumruimte met als punten de ongevalsvariabelen en hun tegendeel. Vervolgens zijn de weg- en verkeerskenmerken op- en op wegvakken aansluitend op kruisingen en T-aansluitingen met behulp van een analoge techniek, nl. zogenaamde ongeconditioneerde externe ontvouwing (Green en Rao, 1972; Young, 1973) in de ruimte van de criterium variabelen geplaatst.

Deze verkeers- en wegkenmerken zijn eveneens als punten weergegeven en wel zodanig dat de afstand tot een criteriumpunt kleiner is naarmate de rangcorrelatie met desbetreffende criteriumvariabele groter

is. Door de middenlijn tussen hoog en laag percentage schadepunten en de middenlijn tussen hoog en laag percentage dodelijke ongevallen aan te brengen, verdeelt men de ruimte in vier sectoren, gekenmerkt door respectievelijk (in klokrichting) lichte ongevallen, weinig ongevallen, ernstige ongevallen en veel ongevallen. In tegenstelling tot de verwachting gaan veel bomen gepaard met minder ongevallen. De mogelijke determinanten van veel schade-ongevallen zijn hoge intensiteiten en veel obstakels. Ernstige ongevallen gaan vooral samen met zichtbelemmeringen en aanwezigheid van uitritten, terwijl de mate van voorkomen van deze ernstige ongevallen vooral samenhangt met de mate van aanwezigheid van langzaam verkeer. Kruisingen kenmerken zich door ernstige ongevallen en T-aansluitingen door lichte ongevallen (Analoge analyse voor de ongevallen op de aansluitende wegvakken in plaats van op kruisingen en T-aansluitingen zelf geven t.a.v. dit laatste aspect juist het omgekeerde beeld).

Dit voorbeeld moge illustreren hoe relevante informatie door middel van simultane analyse van variabelen met verschillend meetniveau onder zeer zwakke assumpties kan worden verkregen. Juist deze zwakke assumpties met simultane analyse maakt de robuustheid van de resultaten vrij groot. Voor zover het dan ook conclusies binnen het onderzoekgebied betreft, zijn deze wellicht zeer verantwoord; het is echter nauwelijks mogelijk om dergelijke resultaten te generaliseren buiten het kader van de condities van het onderzoek. Eveneens is over de mate van zekerheid van de conclusies niets te zeggen. Dergelijke in acht te nemen beperkingen zijn nu eenmaal inherent aan inferenties op basis van exploratief onderzoek. Beleidsbeslissingen op basis van dit soort onderzoek raken het terrein van de theorie van beslissen onder subjectieve waarschijnlijkheden van consequenties (zie Vlek, 1973; Fishburn, 1970).

Toetsend onderzoek

Over de analytische en technische aspecten van toetsend onderzoek kan men kort zijn, deze zijn hopelijk voldoende bekend en beschreven in de statistische literatuur (zie bv. Rao, 1965; Kendall en Stuart, 1961-1966; Brownlee, 1965; Winer, 1971; Lancaster, 1969).

Noodzakelijke voorwaarde voor dit type onderzoek is de formulering van relevante hypothesen in termen van parameters van een statisch analyse model voor een bepaalde onderzoekopzet. In tegenstelling tot een mathematische theorie zijn deze parameters geen grootheden in een inhoudelijke theorie, maar grootheden in het statistische toetsingsmodel, dat geheel onafhankelijk van de inhoudelijke theorie kan worden geformuleerd. Uiteraard zal de keuze van het statistische toetsingsmodel veel mede afhangen van de bruikbaarheid voor een bepaald onderzoekgebied en tevens mede bepaald zijn door het mogelijke meetniveau van de te verzamelen data. In tegenstelling tot exploratief onderzoek is de optimaliteit van de data analyse niet afhankelijk van de data-verzameling, maar worden de data verzameld en geanalyseerd volgens een optimaal geachte onderzoekopzet.

De analyse in toetsend onderzoek vraagt niet alleen dat men a-priori hypothesen formuleert en data verzamelt volgens de eisen van de onderzoekopzet, maar dat men ook sterke aannamen doet over de waarschijnlijkheidsverdelingen (bv. normaal verdeling), meetfouttheorie, steekproeffouten en functionele vormen van effecten (bv. lineaire modellen). Recentere uitbreiding van dit soort onderzoekanalyse vormt multivariate variantie analyse (Jones, 1966) waarin meerdere criteriumvariabelen simultaan worden geanalyseerd. Afgezien van de, vaak unrealistische, sterke assumpties ligt de grootste beperking van dit soort onderzoek in de eisen van de onderzoekopzet zelf. Daar waar experimenteel condities kunnen worden gevarieerd of constant gehouden en het aantal relevante condities beperkt is, zoals in de fysische wetenschappen, zijn toetsende analyse technieken van groot nut. In verkeersveiligheids-onderzoek, betreffende natuurwetenschappelijke deelproblemen (zoals bv. remeigenschappen van banden op nat wegdek - Dijks, 1974), bewijst een dergelijke onderzoekopzet en analyse dan ook goede diensten.

In situaties waar het aantal relevante condities zeer groot is en niet eenvoudig te variëren of constant te houden door experimentele beïnvloeding, zoals in verkeersveiligheids-onderzoek waarin de menselijke factor is betrokken, staat men voor de keuze om ofwel

a. buiten het feitelijke onderzoeksveld een beperkt experimenteel onderzoek te arrangeren omtrent de werking van een deel der condities onder vaste overige condities, ofwel om

b. a-selectie randomisatie toe te passen over een experimentele en controlegroep in het onderzoeksveld zelf.

In het eerste geval verkrijgt men dan veelal hoogst betrouwbare conclusies onder condities waarvan onbekend is in hoeverre zij van invloed zijn buiten de experimentele situatie, zodat op basis daarvan nauwelijks beleidsrelevante maatregelen te formuleren zijn.

In het tweede geval van randomisatie over controle en experimentele groepen in het veld, zonder voldoende beheersing van de relevante condities, loopt men het gevaar dat het onderzoek te niet wordt gedaan door, voor het experiment storende, maar maatschappelijk vaak hoogst relevante, veranderende factoren. Een voorbeeld hiervan is het door de SWOV uitgevoerde onderzoek naar het effect van snelheidslimieten (SWOV, 1971). In deze gevallen zijn de onderzoekseisen voortkomend uit de statistische verantwoorde analyse en onderzoeksopzet, zodanig dat verlies aan beleidsrelevantie inherent geacht kan worden aan de toepassing van deze methoden op complexe veldafhankelijke problematiek. Nog dramatischer worden de beperkingen van deze vigerende typen van toetsend onderzoek als men de analyse wil toepassen op de meting van werkelijke reductie van ongevallen met dodelijke afloop ten gevolge van te nemen maatregelen. Uitgaande van een Poisson verdeling voor de te verwachten ongevals aantallen zou men zelfs indien geen storende invloeden optreden in een simpele voor- en nastudie met een experimentele en controleconditie, voor de toetsing van een effect van 5% reductie in ongevallen in het gunstigste geval ($p = .05$ eenzijdig) meer dan 7200 ongevallen met dodelijke afloop moeten betrekken in het totale onderzoek (zie bv. Appendix B, OECD, 1972).

Ontwikkelingen ter liberalisatie van de onderzoeksopzet met behoud van de inferentiemogelijkheden, zij het onder complicerende factoren, vindt men in zogenoemde "unbalanced" onderzoeksopzetten (Searle, 1971), terwijl de ontwikkeling van de zogenaamde generaliseerbaarheidstheorie (Cronbach et al., 1972) het mogelijk maken om systematisch te onderzoeken in hoeverre resultaten generaliseerbaar zijn over variërende omstandigheden.

De meest bruikbare ontwikkelingen in toetsende methodologie voor beleidsrelevant verkeersveiligheidsonderzoek, dat zich buiten het kader

van natuurwetenschappelijke vraagstelling alleen begeeft, zonder dat de beleidsrelevantie behoeft te worden ingeperkt, vindt men echter in zogenaamde quasi-experimentele onderzoeksmethoden (Campbell, 1963) en in multivariate structuuranalyse van in de tijd opéévolgende en simultaan optredende variabelen (Jöreskog, 1970). Dit type onderzoek treft men echter nog nauwelijks aan (zie voor een uitzondering Koornstra, 1971) op het terrein van verkeersveiligheidsonderzoek.

Mathematisch-theoretisch onderzoek

Mathematisch-theoretisch onderzoek verschilt van exploratief onderzoek omdat het vooropgestelde theorieën toetst, maar verschilt eveneens van toegepast statistisch toetsend onderzoek omdat de opgestelde hypothesen mathematische expressies zijn, afgeleid uit of identiek met de axioma's van de theorie, terwijl de toetsingsmethode van de theoriegebonden parameters uit de theorie zelf volgt. De toetsing is trouwens niet afgestemd op een eventueel toe te passen resultaat, maar zuiver en alleen om axioma's in de theorie te verifiëren en eventueel te wijzigen, om op deze wijze een goede mathematische afbeelding te verkrijgen van de realiteit.

Voor zover verkeersveiligheid gereduceerd wordt tot fysische problemen (zoals de lengte van de remweg bij diverse snelheden) zijn standaard fysisch-mathematische theorieën aanwezig of, indien het meer recent geformuleerde voor verkeer typische problematiek betreft ("traffic flow" problemen), in volle ontwikkeling.

Mathematische theorievorming voor verkeersveiligheid, waarin de gedragsmatige aspecten van de weggebruiker als parameters zijn verdisconteerd zijn nauwelijks ontwikkeld. Een recente ontwikkeling op dit terrein illustreert echter hoe zinvol en relevant dergelijke theorievorming voor het beleid kan zijn. Het betreft een axiomatisch-probabilistisch over expositie en ongevalsvatbaarheid voor collectieven van verkeersdeelnemers onder te specificeren condities. De axiomatische problematische vormgeving van deze theorie (Koornstra, 1973a) kan hier buiten beschouwing worden gelaten; de validiteit (Koornstra, 1973b) en de meest in het ooglopende beleidsrelevante aspecten (Koornstra, 1974) dienen nader aan de orde te komen om het belang van mathematische theorie-

vorming voor beleidsvoering te tonen. De basisexpressie van deze theorie is

$$E(x_{ijc}) = \alpha (p_{ic} e_{ic} e_{jc} + p_{jc} e_{ic} e_{jc}) \quad (1)$$

waar indexen (i) en (j) de aanduiding van twee klassen verkeersdeelnemers zijn, terwijl (c) de index is voor een bepaalde verkeersconditie (bv. dag of nacht, of kruispunten, of autosnelwegen). $E(x_{ijc})$ is het verwachte aantal ongevallen tussen klassen (i) en (j) in conditie (c); p is de ongevalsvatbaarheidsparameter, e de expositieparameter en α een ratioschaalfactor. Onder onafhankelijkheid van condities en klassen ontstaat een vereenvoudiging voor het aantal ongevallen tussen klassen over condities, door substitutie van

$$e_{ic} e_{jc} = e_i e_j a_c \quad (2)$$

$$\bar{p}_j = \frac{\sum_{c=1}^r a_c p_{jc}}{\sum_{c=1}^r a_c} \quad (3)$$

in de summatie over r elkaar uitsluitende condities

$$E(x_{ij}) = \sum_{c=1}^r E(x_{ijc}) = b(\bar{p}_i e_i e_j + \bar{p}_j e_i e_j) \quad (4)$$

waar b een onbekende constante is voor $b = \alpha / \sum_{c=1}^r a_c$, welke even goed in de ratioschaal van de \bar{p} of e-waarden kan worden geabsorbeerd. De verzameling van paargewijze ongevalsaantallen tussen m elkaar uitsluitende klassen van verkeersdeelnemers levert $\frac{1}{2}m(m+1)$ gegevens, terwijl (4) slechts $(2m-1)$ onbekenden kent.

Op grond van deze overdeterminatie voor voldoende grote m, kan men de parameters oplossen en het model toetsen op juistheid. Validatie onderzoek toont dat het model moet worden gemodificeerd voor een negatieve correlatie tussen expositie en ongevalsvatbaarheid binnen een klasse. Figuren 3, 4 en 5 tonen respectievelijk de parameters voor ongevalsvatbaarheid, expositie en de negatieve correlatie voor de analyse van de data van tabel 1, bestaande uit dodelijke ongevalsaantallen voor

mannelijke bestuurders van personenauto's gecategoriseerd naar leeftijd gedurende 1968 t/m 1970. De resultaten geven afgezien van de plausibele "face-validity" een bevredigende statistische acceptatie van het model voor deze data, waar inderdaad onafhankelijkheid tussen route en klasse en klassen onderling mag worden verwacht. Zoals (3) laat zien is de ongevalsvatbaarheid van een klasse (d.w.z. \bar{p}_j) evenzeer afhankelijk van de mate van voorkomen van verkeerscondities als van ongevalsvatbaarheid van een klasse in een bepaalde verkeersconditie. Analoog aan (3) zou men ook ongevalsvatbaarheid of liever gevaarlijkheid van een verkeersconditie kunnen definiëren als

$$\bar{p}_{.c} = \frac{\sum_{j=1}^m e_j p_{jc}}{\sum_{j=1}^m e_j} \quad (5)$$

Hier ziet men dat de gevaarlijkheid van een verkeersconditie beïnvloed kan worden door de expositie van klassen van verkeersdeelnemers. De totale ongevalsvatbaarheid valt te schrijven als

$$\bar{p}_{..} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{c=1}^r e_{jc} p_{jc}}{\sum_{j=1}^m \sum_{c=1}^r e_{jc}} \quad (6)$$

waaruit valt te concluderen dat ongevalsvatbaarheid te beïnvloeden is door conditionele veranderingen van exposities en ongevalsvatbaarheden van klassen van verkeersdeelnemers.

Een geheel nieuw en voor het beleid uiterst relevant aspect aan deze mathematisch geformuleerde theorie is dat men ook ongelijkheid van ongevalskansen tussen klassen van verkeersdeelnemers kan onderzoeken en quantificeren.

Op grond van psychometrische (Rash, 1968) en schaaltheoretische (Luce, 1959) argumenten kan men de afwijking van klasse (i) in conditie (c) op een onveiligheidsschaal (v) van de gemiddelde onveiligheid voor die conditie definiëren als

$$\bar{d}_{ic} = \ln(p_{ic}/\bar{p}_{.c}) = (v_{ic} - \bar{v}_{.c}) \quad (7)$$

Analoog aan (3), (5) en (6) kan men de varianties in onveiligheid voor respectievelijk groepen (8); condities (9) en totaal (10) definiëren als

$$s^2_{j.} = \sum_{c=1}^r a_c \bar{d}^2_{jc} / \sum_{c=1}^r a_c \quad (8)$$

$$s^2_{.c} = \sum_{j=1}^m e_j \bar{d}^2_{jc} / \sum_{j=1}^m e_j \quad (9)$$

$$s^2_{..} = \sum_{j=1}^m \sum_{c=1}^r e_{jc} \bar{d}^2_{jc} / \sum_{j=1}^m \sum_{c=1}^r e_{jc} \quad (10)$$

welke eveneens door expositie van verkeersdeelnemers en mate van aanwezigheid van verkeerscondities kan worden beïnvloed.

Het zodanig veranderen van verkeerscondities en zodanige remmen en bevorderen van exposities van bepaalde klassen verkeersdeelnemers dat onveiligheid en ongelijkheid van onveiligheid beiden worden geminimaliseerd, wordt mogelijk door systematisch ongevalsantallen te verzamelen en te analyseren zoals aangegeven in tabellen 2 en 3. De relevante beleidsmaatregelen waarvoor de gepresenteerde mathematische theorie relevant is, kan men onderscheiden in vier typen, te weten:

- Type I : aanleg, opheffing, vervanging of verandering van verkeersvormgeving (verandering a_c).
- Type II : verbod, gebod, reductie of bevordering van verkeersdeelneming van bepaalde verkeersklassen (verandering e_j).
- Type III: verbod, gebod, reductie of bevordering van verkeersdeelneming van bepaalde verkeersklassen voor bepaalde verkeerscondities (verandering e_{jc}).
- Type IV : reductie van ongevalsvatbaarheid van bepaalde verkeersklassen in bepaalde verkeerscondities (verlaging p_{jc}).

Afgezien van het vierde type, dat hier buiten beschouwing wordt gelaten, zal het directe effect van type I, II en III worden bepaald door zodanige reallocaties van exposities en verkeersvoorzieningen, dat

onder stijgende of gelijkblijvende totaal expositie die exposities worden verlaagd die corresponderen met een hoge ongevalsvatbaarheid en ongelijkheid en omgekeerd (expositieverhoging bij corresponderende lage ongevalsvatbaarheden en ongelijkheid).

Analytische optimale oplossingen met behulp van de matrices uit tabel 2 en 3 onder bepaalde voorwaarden zijn bekend (zie Koornstra, 1974).

Aangezien door de feitelijke negatieve correlatie tussen expositie en ongevalsvatbaarheid verandering van expositie ook de ongevalsvatbaarheid zelf zal kunnen beïnvloeden, zal eerst nader worden ingegaan op deze correlatie. De meest aannemelijke verklaring van deze negatieve correlatie is een functionele relatie waarin ongevalsvatbaarheid wordt opgevat als een functie van expositie. Naarmate men meer ervaring (expositie) opdoet als verkeersdeelnemer leert men zich minder ongevalsvatbaar te gedragen. Dit verband zou men als een afplattende leercurve kunnen beschrijven en is een correlatie per individu over de tijd; kortweg accumulatie-correlatie te noemen. Als gevolg van verschillen in geaccumuleerde expositie zal er tevens een negatieve correlatie tussen expositie en ongevalsvatbaarheid in een bepaalde observatieperiode bestaan; de zgn. binnengroeps- ofwel intra-class of intra-correlatie genoemd. Hiervan zijn de correlaties in figuur 5 een voorbeeld.

Waar individuele verschillen correleren, zullen ook verschillen tussen groepen kunnen correleren. Van deze negatieve tussengroepsrelatie, ook wel aangeduid met inter-class of inter-correlatie, vormt het omgekeerde verloop van de curven in figuur 3 en 4 een voorbeeld. Naast deze drie vormen van methodisch te onderscheiden correlaties, dient men nog een zgn. negatieve interactie-correlatie, die als on-eigenlijke correlatie moet worden gezien, te onderscheiden, nl.: een negatieve relatie van ongevalsvatbaarheid van een klasse (i) met expositie voor andere klasse (j).

Met name als de klasse-indeling gepaard gaat met andersoortige vervoermiddelen of ander, a-priori herkenbaar, verkeersgedrag mag men deze interactie veronderstellen. Ook deze interactie-correlatie kan men zien als een functioneel verband, door de accumulerende ervaring met andersoortige verkeersdeelnemers. Anderzijds kan men deze interactie

ook verklaren uit de aanname, dat bij lage exposities van andersoortige verkeersdeelnemers, het rijgedrag minder is afgestemd op die deelnemers en deze derhalve conditioneel een relatief hogere ongevalsvatbaarheid van frequenter voorkomende verkeersdeelnemers geven voor minder frequent voorkomende andersoortige verkeersdeelnemers. Mutatis mutandis geldt uiteraard hetzelfde t.a.v. verkeerscondities.

De relevantie van deze functioneel veronderstelde accumulerende en interactieve correlatie voor type I, II en III maatregelen is groot. Bevordering van exposities van verkeersdeelnemerclassen en toename van verkeerscondities met lage corresponderende ongevalsvatbaarheden, geeft door accumulerende en interactieve invloed een nog lagere ongevalsvatbaarheid en dus sterkere veiligheidsbevordering. Reductie van expositie van verkeersdeelnemerclassen en afname van verkeerscondities met hoge corresponderende ongevalsvatbaarheden, geeft daarentegen door accumulerende en interactieve invloed een stijging van ongevalsvatbaarheid en dus een mindere veiligheidsbijdrage dan op basis van (3), (5) en (6) zou worden verwacht.

De conclusie is duidelijk, indien men exposities of aanwezigheid van verkeerssituaties reduceert vanwege hoge ongevalsvatbaarheid of onveiligheid, doet men er beter aan deze geheel tot nul te reduceren. Hetgeen globaal aangeduid categorisatie en standaardisatie van verkeersvormgevingen impliceert. Anderzijds zal op grond van accumulatieve en interactieve effecten op reductie in onveiligheid en ongelijkheid, het aan te bevelen zijn om voor categorieën waar exposities van verkeersdeelnemerclassen niet tot nul reduceerbaar zijn en waar bepaalde verkeersvormgevingen blijven toegestaan, deze exposities voor elke verkeersdeelnemerclassen en aanwezigheid van verkeersvormgevingstype maximaal op te voeren in tijd en ruimte. Kortom homogenisering binnen gespecificeerde categorieën.

Afgezien van deze meer algemene deductieve beleidsrelevantie van de geformuleerde mathematische theorie, levert het model een onderzoekstechniek om het effect van een bepaalde maatregel in een bepaalde verkeersconditie te analyseren aan de hand van ongevalsantallen tussen

klassen verkeersdeelnemers in de periode voor en na de maatregel. Niet alleen is geen controlesituatie nodig, maar kan ook ongevalsvatbaarheid onafhankelijk van zich wijzigende exposities worden gemeten. Uiterst relevant lijkt het ook om het effect van de maatregel te kunnen specificeren voor de diverse klassen van verkeersdeelnemers en het effect op de bijdrage aan de ongelijkheid tussen klassen te kunnen quantificeren. Vooral in het licht van acties tegen deze ongelijkheid, zoals "stop de kindermoord" lijkt de analyse van deze ongelijkheid uiterst relevant voor beleidsinstanties.

Met deze uitgebreide illustratie van een mathematische theorievorming zij aangetoond dat verkeersveiligheidsbeleid wellicht zeer gebaat is bij een verdere ontwikkeling van mathematisch-theoretisch fundamenteel verkeersveiligheidsonderzoek; met name om toekomstige beleidsvragen snel en effectief te kunnen beantwoorden.

Nawoord

Het feit dat de meest belovende methodieken (exploratief: kanonische analyse van categorische data en multidimensionele schaalanalyse; toetsend: multivariate structuuranalyse; mathematisch-theoretische: modelvorming op basis van conjunctieve meettheorie (Krantz en Tversky, 1971)), allen ontwikkeld zijn in de sociale wetenschappen, maar nog nauwelijks zijn toegepast op het terrein van verkeersveiligheid, rechtvaardigd de verwachting van een uiterst relevante inbreng op dit terrein van de sociaal-wetenschappelijk, methodisch geschoolde onderzoeker. Door de gestelde beperkingen in dit kader is een relevante ontwikkeling in de onderzoeksmethodologie nl. de systeemtheoretische benadering, niet aan de orde gekomen. Men zij verwezen naar de literatuur van complexe systemen (Mesarović et al., 1970) die met name voor rijtaakanalyse van nut kan zijn.

Referenties

Anderson, T.W. (1958). An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. John Wiley. N.Y.

Brownlee, K.A. (1965). Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering (2nd edition). John Wiley. N.Y.

Campbell, D.T. (1963). From Description to Experimentation: Interpreting Trends or Quasi-Experiments. In: Problems in Measuring Change. C.W. Harris (Ed.). Univ. Wisconsin Press. Madison.

Campbell, D.T.; Stanley, J.C. (1963). Experimental and Quasi Experimental Designs for Research on Teaching. In: Handbook of Research on Teaching. N.L. Gage (Ed.). Rand McNally and Co. Chicago.

Cronbach, L.J.; Gleser, G.C.; Nanda, H. and Rajaratnam, N. (1972). The dependability of behavioural measurements: theory of generalizability for scores and profiles. John Wiley. N.Y.

Dijks, A. (1974). A multi-factor examination of wet skid resistance of car tires. SAE/DOT International Automobile Tire Conference. Toronto. SAE 741106.

Edelman, A.; van Kampen, L.T.B. (1974). Practical and medical aspects of the use of car seatbelts. Arts en Auto, 19, p.: 1556-1559.

Fishburn, P.C. (1970). Utility Theory for decision making. J. Wiley, N.Y.

Geer, J.P. v.d. (1971). Introduction to Multivariate Analysis for the Social Sciences. Freeman. N.Y.

Green, P.E.; Rao, V. (1972). Applied multidimensional scaling. Holt, Rinehart and Winston. N.Y.

- Jones, L.V. (1966). Analysis of variance in its multivariate developments. In: Handbook of Multivariate Experimental Psychology. R.B. Cattell (Ed.): Rand McNally. N.Y.
- Jöreskog, K.G. (1970). A General Method for the Analysis of Covariance Structures. *Biometrika*, 57, p.: 239-251.
- Kendall, M.G.; Stuart, A. (1961-1966). The advanced Theory of Statistics. Volume I, II, III. Hafner. N.Y.
- Koornstra, M.J. (1971). Multi-facet Changes over Time in Safety Campaigns: Its Measurement and causal Inference. Paper read at the International Conference on Road Safety Campaigns. Organized by OECD in Rome.
- Koornstra, M.J. (1973a). A model for estimation of collective Exposure and Proneness from Accident Data. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 5, p.: 157-173.
- Koornstra, M.J. (1973b). Empirical Results on the Exposure-Proneness Model. *Accident Analysis and Prevention*, Volume 5, p.: 175-189.
- Koornstra, M.J. (1974). Prolegomena van een verkeersveiligheidstheorie betreffende expositie en ongevalsvatbaarheid. SWOV, Voorburg.
- Krantz, D.H.; Luce, R.D.; Suppes, P.; Tversky, A. (1972). Foundations of Measurement. Volume I: Additive and Polynomial Representations. Academic Press. N.Y.
- Krantz, D.H.; Tversky, A. (1971). Conjoint Measurement Analysis of Composition Rules in Psychology. *Psych. Rev.*, 78, p.: 151-169.
- Lancaster, H.O. (1969). The Chi-squared Distribution. John Wiley. N.Y.
- Leeuw, J. de (1973). Canonical Analysis of Categorical Data. Psychological Institute. University of Leiden.

Luce, R.D. (1959). Individual Choice Behaviour. John Wiley. N.Y.

Mesarović, M.D.; Macko, D.; Takahara, Y. (1970). Theory of Hierarchical, Multilevel, Systems. Academic Press. N.Y.

Morrison, D.F. (1967). Multivariate Statistical Methods. McGraw-Hill, N.Y.

Shepard, R.N.; Romney, S.B.; Nerlove, A.K. (Eds.) (1972). Multidimensional Scaling: Theory and Applications in the Behavioural Sciences. Vol. I; Theory. Vol. II: Applications. Seminar Press. N.Y.

OECD (1972). Speed Limits outside Built-up Areas. A report of OECD Road Research Group. Paris.

Rasch, G. (1968). An item analysis which takes individual differences into account. Brit. Journ. Math. Stat. Psychol., 19, p.: 49-57.

Rao, G.R. (1965). Linear Statistical Inference and its Applications. J. Wiley. N.Y.

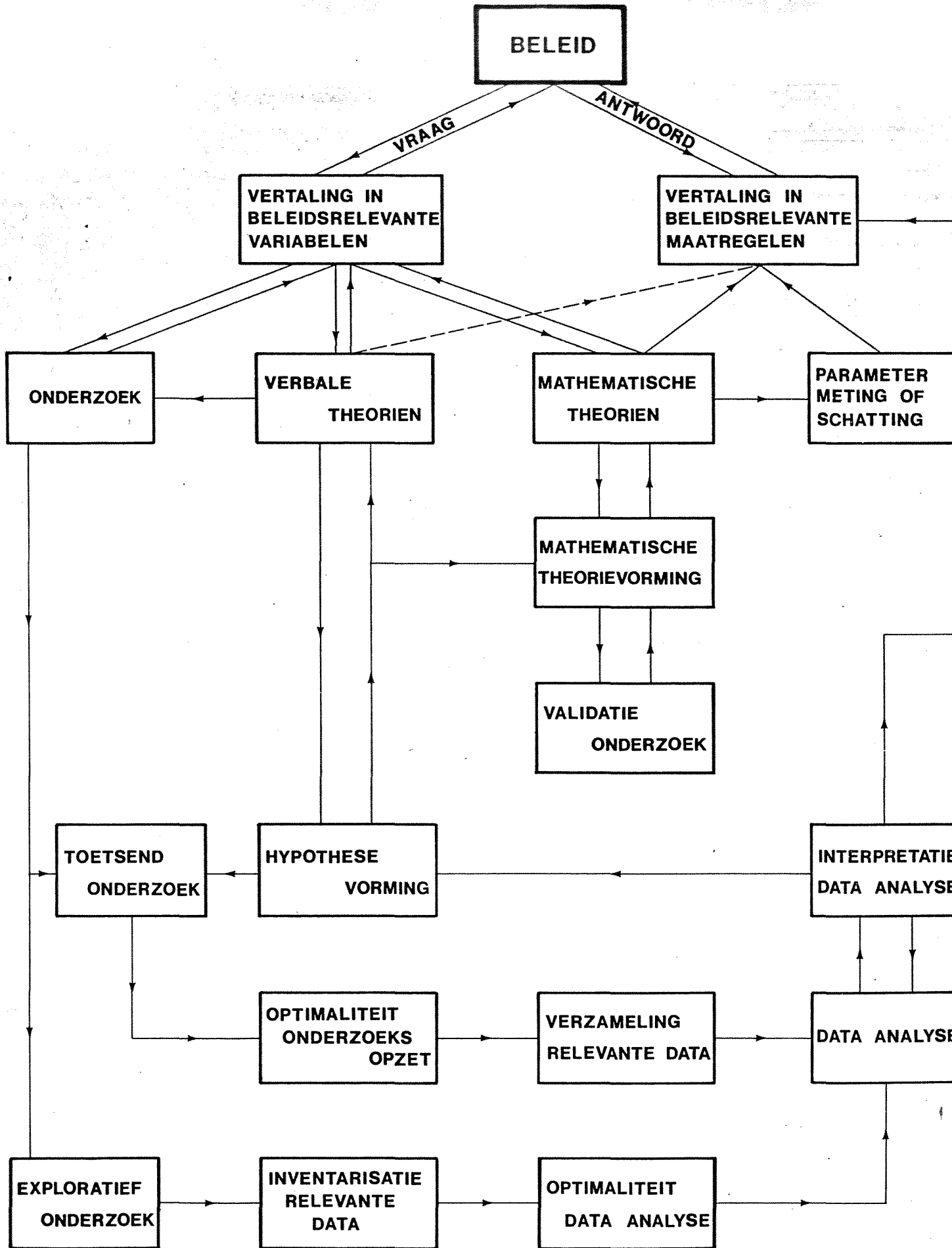
Searle, S.R. (1971). Linear Models. J. Wiley. N.Y.

SWOV (1974). Verkeersveiligheid in Plattelandsgebieden: Advies voor Verkeersveiligheidsmaatregelen in de Beemster. (Nog niet openbaar rapport). Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid. Voorburg.

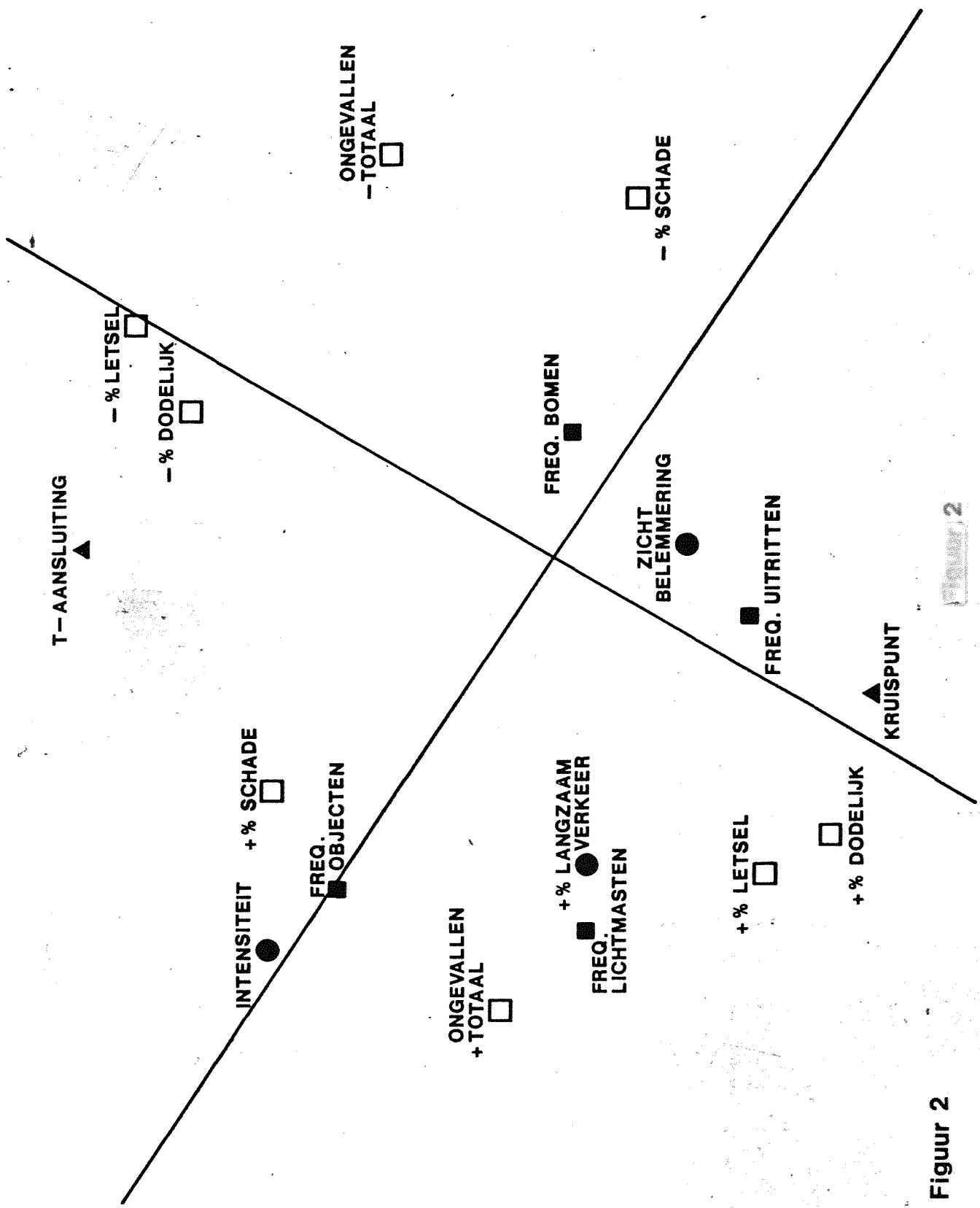
Vlek, C.A.J. (1973). Psychological studies in probability and decision making. Psychological Institute. University of Leiden.

Winer, B.J. (1971). Statistical Principles in Experimental Design (2nd ed.). McGraw-Hill. N.Y.

Young, F.W. (1973). Conjoint Scaling. Thurstone Psychom. Lab. Rep. no. 118. Univ. of North Carolina. Chapel Hill.

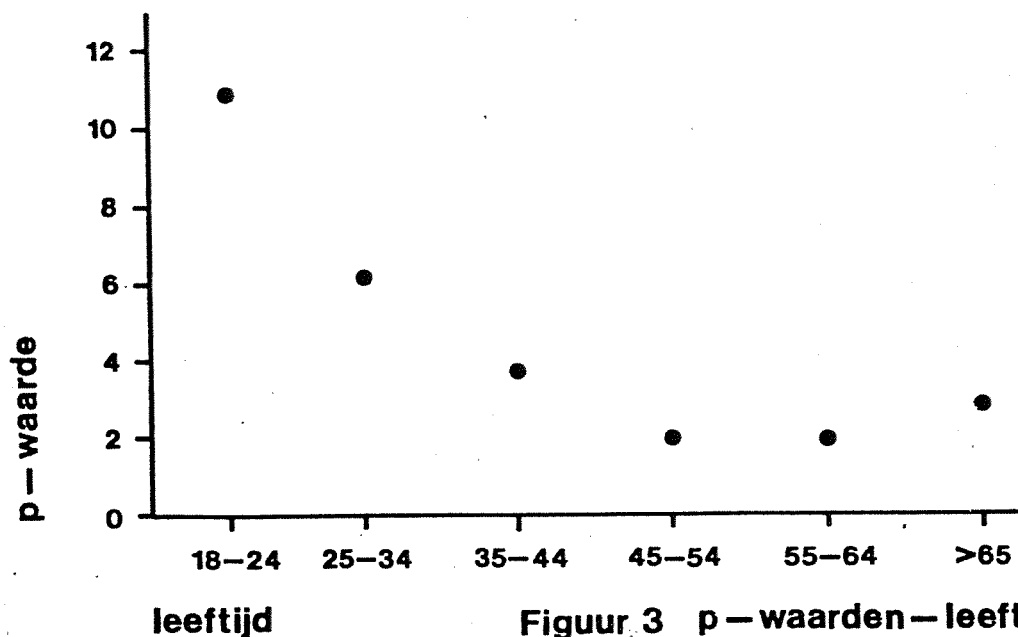


Figuur.1

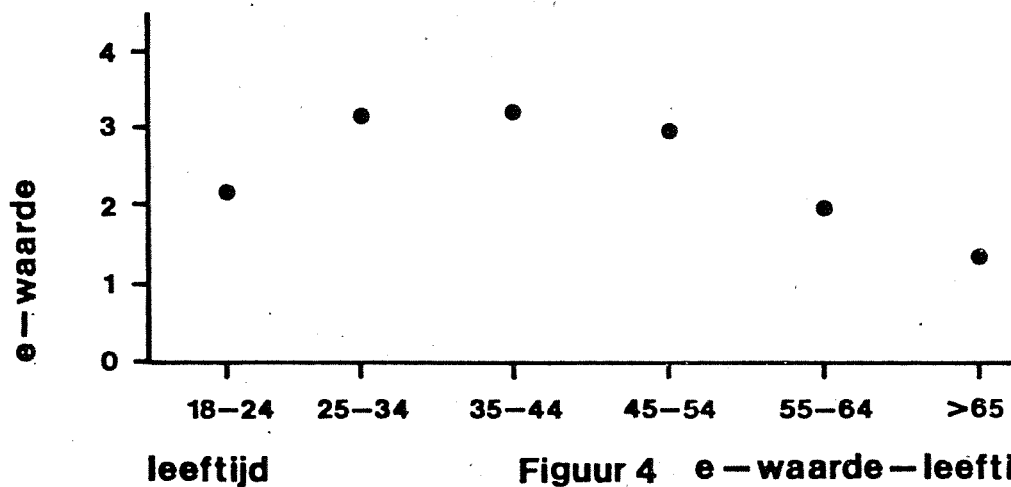


Figuur 2

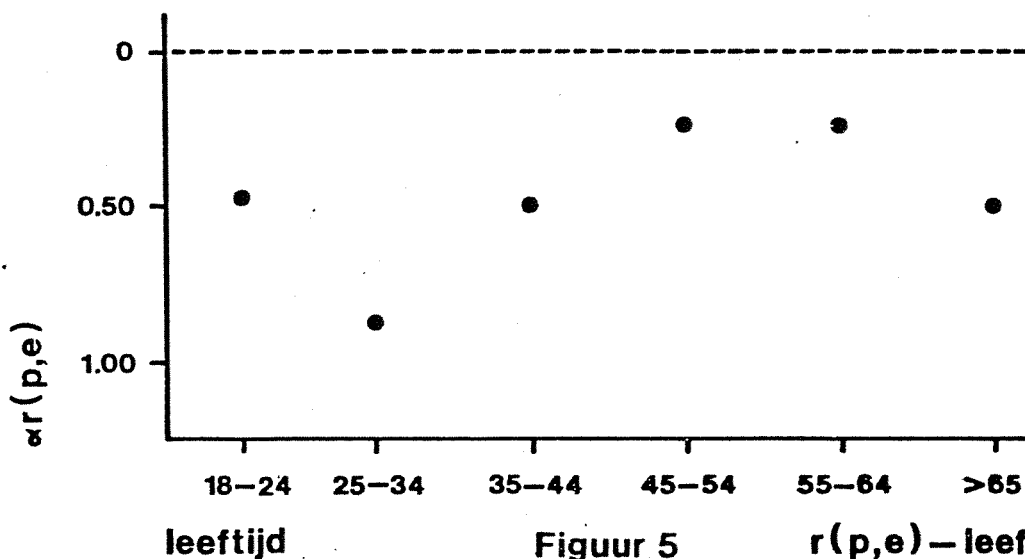
RELATIES WEG- EN VERKEERSKENMERKEN EN ONGEVALSKENMERKEN OP KRUISPUNTEN BEEMSTER



Figuur 3 p-waarden-leeftijd



Figuur 4 e-waarde-leeftijd



Figuur 5 $r(p,e)$ -leeftijd

18-24	52					
25-34	83	41				
35-44	71	46	20			
45-54	42	60	37	17		
55-64	31	36	22	19	7	
>65	21	22	18	13	3	1
LEEFTIJD KLASSEN	18-24	25-34	35-44	45-54	55-64	>65

Tabel 1 DODELIJKE ONGEVALLEN 1968-1970
MANNELIJKE BESTUURDERS

e \ a		condities						$\bar{p}_{.j}$
		a_1	a_2	.....	a_c	.....	a_r	
groepen	e_1	p_{11}	p_{12}	.....	p_{1c}	.....	p_{1r}	$\bar{p}_{.1}$
	e_2	p_{21}$	.....	.....	.....	.....	.....	\bar{p}_{.2}$

	e_j	p_{j1}	.....	.....	p_{jc}	.....	p_{jr}	$\bar{p}_{.j}$

	e_m	p_{m1}	.....	.....	p_{mc}	.....	p_{mr}	$\bar{p}_{.m}$
$\bar{p}_{.c}$	$\bar{p}_{.1}$	$\bar{p}_{.2}$	.....	$\bar{p}_{.c}$	.....	$\bar{p}_{.r}$	$\bar{p}_{..}$	

Tabel 2 P-TABEL

e \ a		condities						$s^2_{.j}$
		a_1	a_2	.....	a_c	.....	a_r	
groepen	e_1	\bar{d}_{11}	\bar{d}_{12}	.....	\bar{d}_{1c}	.....	\bar{d}_{1r}	$s^2_{.1}$
	e_2	\bar{d}_{21}	.....	.....	.....	.....	.....	.....

	e_j	\bar{d}_{j1}	.....	.....	\bar{d}_{jc}	.....	\bar{d}_{jr}	$s^2_{.j}$

	e_m	\bar{d}_{m1}	.....	.....	\bar{d}_{mc}	.....	\bar{d}_{mr}	$s^2_{.m}$
$s^2_{.c}$	$s^2_{.1}$	$s^2_{.2}$	.....	$s^2_{.c}$	.....	$s^2_{.r}$	$s^2_{..}$	

Tabel 3 D-TABEL