

SNELHEIDSVERANDERING EN VERKEERSVEILIGHEID

R-74-5

Ir. F.C. Flury

Voorburg, 1974

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Inleiding

1. Snelheid en snelheidsverandering

1.1. Kinematica

1.1.1. Bewegingen van een stoffelijk punt

1.1.2. Bewegingen van starre lichamen

1.1.3. Bewegingen van een mechanisme

1.1.4. Bewegingen van flexibele systemen

1.1.5. Bewegingen van vloeibare media

1.2. Verkeerskunde

1.2.1. Voertuigbewegingen

1.2.2. Relatieve bewegingen van verkeersdeelnemers

1.2.3. Verkeersbewegingen van een verzameling voertuigen

1.3. Snelheidsverandering

2. Beïnvloeding van de snelheid en snelheidsverandering

2.1. Crash-maatregelen

2.2. Pre-crash-maatregelen

2.3. Snelheidsregels

2.3.1. Snelheidsbepalingen

3. Beleidsanalyse met betrekking tot snelheidsbeperkingen

3.1. Kosten en baten van snelheidsbeperkingen

3.2. Beslissingsmodel

Referenties

Afbeeldingen en tabellen

INLEIDING

Het meest kenmerkende aspect van het verkeersgebeuren is beweging van een groot aantal verkeerseenheden met uiteenlopende bewegingskenmerken, die betrekkelijk onafhankelijk van elkaar opereren.

Coördinatie tussen de bewegingen van de afzonderlijke verkeersdeelnemers vindt op beperkte schaal plaats via een verzameling gedragsregels en een aantal verkeersregelingssystemen. Het oogmerk van deze coördinatie is om conflictsituaties tussen verkeersdeelnemers te vermijden of op te lossen door hun bewegingen op elkaar af te stemmen.

Het ligt voor de hand om de verkeersonveiligheid voor een belangrijk deel toe te schrijven aan het falen van deze coördinatie. De ongevallenstatistiek ondersteunt deze hypothese. Het merendeel van de verkeersongevallen is meerzijdig: botsingen waarin twee of meer verkeersdeelnemers betrokken zijn. Het ligt eveneens voor de hand om vooral tekortkomingen in de coördinatie van snelheden een belangrijke rol toe te kennen, zowel met betrekking tot het ontstaan van ongevallen als met betrekking tot de ernst daarvan.

Het blijkt eenvoudiger deze hypothesen theoretisch te ondersteunen, dan de betreffende theorieën empirisch te bevestigen.

In het dagelijks leven zijn we zodanig vertrouwd met beweging, met snelheid en snelheidsveranderingen, dat men zou kunnen menen dat deze begrippen nauwelijks nadere toelichting behoeven.

In de praktijk, zowel van de verkeerskunde als van de mechanica, met name kinematica, worden zoveel definities gehanteerd, die ook vaak wezenlijk verschillen, dat het wel nuttig is daar wat meer over te zeggen. Ook op het begrip snelheidsverandering moet nader ingegaan worden, in het bijzonder omdat het met betrekking tot de verkeersveiligheid nodig is dit begrip ruim te interpreteren, namelijk zowel in de zin van variatie als van differentiatie. Vervolgens wordt aandacht besteed aan maatregelen ter beïnvloeding van snelheden en snelheidsveranderingen met het oogmerk de verkeersveiligheid te beïnvloeden.

Voorts zal worden ingegaan op de effectiviteit van deze maatregelen met betrekking tot het gestelde doel en op de neveneffecten.

Tenslotte volgt een beleidsanalyse waarbij de onderscheiden effecten in een beslissingsproces tegen elkaar worden afgewogen.

1. SNELHEID EN SNELHEIDSVERANDERING

In de kinematica zowel als in de verkeerskunde worden snelheden in het algemeen gedefinieerd in termen van verplaatsingen per tijdseenheid. Er wordt onderscheid gemaakt in translaties en rotaties, in positieveranderingen en standveranderingen.

1.1. Kinematica

De kinematica is het onderdeel van de mechanica dat betrekking heeft op de bestudering van relaties tussen bewegingen en veranderingen in de bewegingstoestand, zonder deze in verband te brengen met hun oorzaken (krachten, momenten en daarvan afgeleide grootheden).

Uiteraard geeft men zich wel rekenschap van de effecten die door de genoemde oorzaken worden teweeg gebracht, want deze moeten kinematisch beschreven worden. De kinematica verklaart deze effecten echter niet.

1.1.1. Bewegingen van een stoffelijk punt

Bij veel mechanische problemen wordt de beschouwde hoeveelheid materie geconcentreerd gedacht in zijn zwaartepunt, waarbij de massa onveranderd blijft. Een dergelijke mathematische idealisering wordt een stoffelijk punt genoemd. Een dergelijk vereenvoudigd model van lichamen met eindige afmetingen mag worden toegepast, indien het effect van de rotaties van het lichaam ten opzichte van zijn zwaartepunt op de bewegingen waarin we geïnteresseerd zijn, verwaarloosbaar is.

De bewegingen van een stoffelijk punt in de ruimte kunnen volledig beschreven worden met de plaatscoördinaten ten opzichte van een drieassig stelsel als functie van de tijd. De snelheidscomponenten van het stoffelijk punt ten opzichte van het assenstelsel worden dan gevonden als veranderingen van de plaatscoördinaten per tijdseenheid. Indien een eindig tijdsinterval wordt gekozen dan vinden we op deze wijze de gemiddelde snelheid over het beschouwde tijdsinterval (en over de beschouwde verplaatsing).

Laten we het tijdsinterval kleiner worden en tenslotte tot nul naderen, waarbij ook de verplaatsing tot nul nadert, dan vinden we als resultaat van deze limietovergang de snelheid op het beschouwde tijdstip (en dus ook op de beschouwde plaats).

In cartesische coördinaten kunnen de bewegingen in de volgende set vergelijkingen worden weergegeven:

Bewegingsvergelijkingen:

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1)$$

Snelheid over een tijdsinterval: t_1, t_2 :

$$\bar{v}_x = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1}, \quad \bar{v}_y = \frac{y(t_2) - y(t_1)}{t_2 - t_1}, \quad \bar{v}_z = \frac{z(t_2) - z(t_1)}{t_2 - t_1} \quad (2a)$$

Snelheid op een tijdstip t :

$$v_x(t) = \frac{dx}{dt}, \quad v_y(t) = \frac{dy}{dt}, \quad v_z(t) = \frac{dz}{dt} \quad (2b)$$

Versnelling op een tijdstip t :

$$a_x(t) = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_y(t) = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad a_z(t) = \frac{d^2z}{dt^2} \quad (3)$$

Bewegingen die zich volledig in een plat vlak afspelen kunnen met behulp van twee vergelijkingen worden beschreven.

Bewegingen op een rechte lijn kunnen volledig weergegeven worden in één bewegingsvergelijking.

Indien de invloed van de massaspreiding op de bewegingen niet te verwaarlozen is, kan de beschouwde materie in principe steeds worden opgevat als een stelsel van stoffelijke punten.

Dit is niet steeds de meest eenvoudige manier. Voor een aantal standaard gevallen zijn andere methoden ontwikkeld.

1.1.2. Bewegingen van starre lichamen

De bewegingen van een star lichaam kunnen steeds beschreven wor-

den door middel van twee groepen bewegingsvergelijkingen, nl.:

1. De bewegingen van het zwaartepunt. De vergelijkingen daarvoor zijn identiek met de bewegingsvergelijkingen voor een stoffelijk punt.

2. De bewegingen van het lichaam om zijn zwaartepunt. Dit zijn rotatievergelijkingen. De hoekverdraaiingen ten opzichte van de coördinaatassen zijn functies van de tijd:

$$\varphi_x = \varphi_x(t), \quad \varphi_y = \varphi_y(t), \quad \varphi_z = \varphi_z(t) \quad (4)$$

De hoeksnelheden zijn:

$$\omega_x(t) = \frac{d\varphi_x}{dt}, \quad \omega_y(t) = \frac{d\varphi_y}{dt}, \quad \omega_z(t) = \frac{d\varphi_z}{dt} \quad (5)$$

De hoekversnellingen zijn:

$$\psi_x(t) = \frac{d^2\varphi_x}{dt^2}, \quad \psi_y(t) = \frac{d^2\varphi_y}{dt^2}, \quad \psi_z(t) = \frac{d^2\varphi_z}{dt^2} \quad (6)$$

De bewegingen van een willekeurig punt van het lichaam kunnen berekend worden uit de beweging van het zwaartepunt, de bewegingen rond het zwaartepunt en zijn positie ten opzichte van het zwaartepunt.

1.1.3. Bewegingen van een mechanisme

Onder een mechanisme wordt verstaan een stelsel van starre componenten, die zodanig onderling verbonden zijn, dat nog één of meer relatieve bewegingen van de componenten ten opzichte van elkaar mogelijk zijn. De beschrijving van deze relatieve bewegingen vergt evenzovele extra bewegingsvergelijkingen. Het is niet mogelijk daar voor een praktische algemeen toepasbare regel aan te geven. Een veel gebruikte verbinding tussen starre componenten is het scharnier. In dit geval zijn relatieve bewegingen van componenten te beschrijven met de scharnierhoek als functie van de tijd.

1.1.4. Bewegingen van flexibele systemen

Alle materie is in zekere mate vervormbaar. Starre lichamen en mechanismen samengesteld uit starre componenten zijn dus ook in feite modelmatige vereenvoudigingen van de realiteit die niet steeds verantwoord zijn. Bewegingen van flexibele systemen kunnen gewoonlijk beschreven worden door de bewegingen van het als star opgevatte systeem samen te stellen met de bewegingen die met vervorming samenhangen. Streng formeel geredeneerd is het aantal vervormingsmogelijkheden oneindig groot en zouden dus voor de volledige beschrijving daarvan oneindig veel vervormingsvergelijkingen vereist zijn. Meestal zijn er één of enkele vervormingsmodi waarvan het effect overheerst, zodat met een beperkt aantal vervormingsvergelijkingen volstaan kan worden.

1.1.5. Bewegingen van vloeibare media

Hieronder worden zowel vloeistoffen als gassen verstaan. Evenals in het voorgenoemde geval zou ook hier een oneindig aantal bewegingsvergelijkingen vereist zijn. In de praktijk van de aero- en hydrodynamica blijkt echter het stromende medium opgevat te kunnen worden als een continuüm met bepaalde kwantificeerbare eigenschappen, waarbij bewegingen binnen het medium voornamelijk tot gevolg hebben dat identieke deeltjes van plaats verwisselen. Ook in dit geval zijn de belangrijkste bewegingen in een beperkt aantal vergelijkingen te beschrijven.

1.2. Verkeerskunde

Alle genoemde bewegingsmodellen en bewegingsvergelijkingen van de kinematica zijn terug te vinden of te plaatsen in diverse gebieden van de verkeerskunde, de verkeerstheorie, de voertuigtechniek of het verkeersveiligheidsonderzoek. Daarnaast zijn in de verkeerskunde een aantal karakteristieke grootheden ontwikkeld voor de beschrijving van de verkeersbewegingen, die overigens ten dele weer te herleiden zijn tot kinematische begrippen.

1.2.1. Voertuigbewegingen

Enige decennia terug concentreerde de verkeerstechniek zich vrijwel geheel op de voertuigtechniek met name de voertuigdynamica. Hoewel het zwaartepunt van de verkeerskunde verschoven is naar de afwikkeling van het verkeer bij hoge intensiteiten, blijven de bewegingen van het geïsoleerde voertuig ten opzichte van de vaste omgeving toch het basismateriaal vormen waaruit alle overige bewegingsrelaties kunnen worden opgebouwd.

De voertuigbewegingen spelen zich in normale bedrijfsomstandigheden overwegend af op het nagenoeg platte vlak, en kunnen volledig beschreven worden door vergelijkingen voor de voorwaartse en zijdelingse translatie van het zwaartepunt en de rotatie om de top-as door het zwaartepunt.

Wanneer slip- en driftbewegingen verwaarloosd mogen worden, zijn bij een gegeven stuuruitslag de rotatie om de top-as en de zijdelingse translatie volledig bepaald door de voorwaartse beweging. Op dezelfde wijze zijn de rotatiesnelheid en de laterale snelheid bepaald door de voorwaartse snelheid.

In dat geval kunnen we de voertuigbeweging opvatten als een lineaire beweging in een voorgeschreven baan die beschreven kan worden met één bewegingsvergelijking, die de positie van het voertuig in zijn baan als functie van de tijd weergeeft. In feite wordt het voertuig dan opgevat als stoffelijk punt. De bewegingsvergelijkingen die hiervoor gelden (indien $a = \text{constant}$) zijn:

$$V(t) = V(0) + a t \quad (7)$$

$$S(t) = S(0) + V(0) \cdot t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (8)$$

We kunnen de oorsprong van de baancoördinaat zonder bezwaar laten samenvallen met $S(0)$ waardoor vergelijking (8) nog iets vereenvoudigt.

Er zijn drie elementaire bewegingen te onderscheiden:

1. De eenparige beweging (versnelling $a = 0$)
2. De eenparig versnelde beweging vanuit stilstand ($V(0) = 0$,
 $a = \text{const.} > 0$)

3. De eenparig vertraagde beweging tot stilstand ($V(t) = 0$,
 $a = \text{const.} < 0$)

Deze elementaire bewegingen zijn grafisch weergegeven in Afbeelding 1. Bij de eenparig versnelde en vertraagde beweging is het mogelijk elk van de vier grootheden S , V , a en t uit te drukken in ieder willekeurig tweetal andere grootheden. Alle mogelijke combinaties zijn samengevat in Tabel 1.

1.2.2. Relatieve bewegingen van verkeersdeelnemers

Deze zijn af te leiden uit de bewegingen van beide betrokkenen ten opzichte van de vaste omgeving.

De relatieve bewegingen bepalen of er sprake is van een conflict-situatie (een botskoers) tussen de betrokkenen. Er zijn diverse theorieën over de wijze waarop de verkeersdeelnemers uit hun visuele informatie de benodigde kennis over de relatieve beweging verkrijgen. Daar wordt ook veel onderzoek naar verricht, met name ten behoeve van de verkeersveiligheid, maar veel vragen staan nog open.

1.2.3. Verkeersbewegingen van een verzameling voertuigen

De taak van de wegbeheerder is het verschaffen van faciliteiten om te voorzien in de verplaatsingsbehoefte van grote aantallen verkeersmiddelen. Hij is dan ook primair geïnteresseerd in het verkeersgedrag van zulke populaties. Belangrijke karakteristieken van het groepsgedrag zijn:

1. De intensiteit: het aantal voertuigen dat per tijdseenheid een bepaald punt van de weg passeert.
2. De dichtheid: het aantal voertuigen dat zich op een bepaald tijdstip in een wegvak bevindt.
3. De snelheidsverdelingen over de populatie: Hiervoor worden verschillende maten gehanteerd, nl.
 - a. de snelheden waarmee de verkeersdeelnemers een bepaald punt passeren;

b. de snelheden waarmee de verkeersdeelnemers op een bepaald moment rijden.

Van deze snelheidsverdelingen kunnen karakteristieken bepaald worden, zoals gemiddelde snelheid, snelheidsspreiding en 85%-snelheid.

Al deze grootheden bevatten een hoeveelheid informatie over de verkeersbewegingen van een verzameling voertuigen.

Een veel completer beeld van de verkeersbewegingen kan worden verkregen door deze grafisch weer te geven op analoge wijze als in Afbeelding 1 voor de elementaire voertuigbewegingen is gedaan. Op een langere rit zijn de voertuigbewegingen te beschouwen als een aaneenschakeling van de elementaire bewegingen.

In Afbeelding 2 is voor een verzameling voertuigen de positie als functie van de tijd grafisch (in trajectorieën) weergegeven. Een horizontale doorsnijding van de grafiek laat zien op welke tijdstippen de voertuigen een bepaald punt van de weg passeren. De helling van de trajectorieën bepaalt de snelheid en dus de snelheidsverdeling, het aantal voertuigen per tijdseenheid geeft de intensiteit.

Een verticale doorsnijding levert op analoge wijze de verkeersdichtheid, de voertuigposities op een bepaald tijdstip en de daarbij behorende snelheidsverdeling.

In Afbeelding 2 komen enkele trajectorieën voor die over een korte periode horizontaal lopen, met andere woorden: de betrokken voertuigen staan stil. Deze periode wordt door de wegbeheerder vaak niet meegerekend bij de bepaling van de gemiddelde snelheid.

Hij is geïnteresseerd in de snelheid waarmee gereden wordt: de rij-snelheid. De weggebruiker is geïnteresseerd in de tijd die hij nodig heeft om zijn bestemming te bereiken, dus in zijn reissnelheid. Voor de bepaling daarvan moet de periode van stilstand wel meegerekend worden.

1.3. Snelheidsverandering

Veranderingen in de bewegingstoestand kunnen worden onderscheiden in veranderingen in de grootte van de snelheid en veranderingen in de richting van de snelheid. Beide worden wel versnellingen

genoemd. Ter onderscheiding spreekt men van resp. tangentiële en centripetale versnellingen. Centripetale versnellingen treden met name op in horizontale bogen en kunnen een rol spelen bij slip-ongevallen.

Naast de tangentiële versnelling is er nóg een verandering van de snelheid per tijdseenheid van belang, nl. de jaarlijkse toename van de gereden snelheden als gevolg van vernieuwing van het voertuigenpark.

Naast de reeds genoemde snelheidsvariëaties naar plaats in de weg-richting kunnen zich ook verschillen in snelheidsgedrag per rijstrook voordoen.

In de Inleiding werd gesteld dat onder snelheidsverandering ook gerekend zou worden differentiatie in de snelheid (nl. over de populatie). Deze komt tot uitdrukking in de snelheidsverdeling. De snelheidsverdeling kan op zijn beurt weer naar tijd en plaats variëren.

2. BEINVLOEDING VAN DE SNELHEID EN SNELHEIDSVERANDERING

In feite is elke verkeersveiligheidsmaatregel die niet op de post-crashfase (medische hulp) betrekking heeft gericht op beïnvloeding van de bewegingstoestand.

2.1. Crash-maatregelen

Maatregelen die betrekking hebben op de crashfase gaan uit van de feitelijkheid van het verkeersongeval en zijn er op gericht schade en vooral letsel te beperken en zo mogelijk te voorkomen. Het middel daartoe is voor wat betreft letselpreventie het reduceren van de belastingen waaraan het lichaam tijdens de botsing onderworpen wordt. Deze belastingen hangen sterk samen met de snelheidsveranderingen die tijdens de botsing optreden en met de wijze waarop de belastingen die deze snelheidsveranderingen veroorzaken op het lichaam worden overgebracht.

Bij het schampen tegen bermbeveiligingsconstructies treden veel kleinere snelheidsveranderingen op dan bij frontale botsingen tegen tegenliggers of tegen obstakels (bomen en lichtmasten) die door de constructie worden afgeschermd.

De effectieve werking van de bermbeveiligingsconstructie wordt bepaald door het feit dat de voorwaartse beweging van het voertuig maar in geringe mate gereduceerd wordt. Alleen de laterale beweging, die een veel kleinere snelheid heeft, wordt afgeremd. Daarbij treden veel kleinere vertragingen en belastingen op voertuig en inzittenden op.

Het zal duidelijk zijn dat de puntstukken van bermbeveiligingsconstructies, zoals die op splitsingen van wegen voorkomen, om dezelfde reden een weinig effectieve beveiliging vormen. Immers bij botsingen daartegen wordt de voorwaartse beweging volledig of grotendeels tot staan gebracht.

Op dergelijke plaatsen verschijnen meer en meer tonnenconstructies. De werking daarvan is dat de remweg verlengd wordt. De consequenties daarvan zijn te berekenen met een van de vergelijkingen uit Tabel 1:

$$a = V^2/2 \cdot s \quad \text{m/sec}^2 \quad (9)$$

Het is gebruikelijk grote vertragingen uit te drukken in de versnelling van de vrije val g

$$g = 10 \text{ m/sec}^2$$

Het aantal g 's geeft aan de belasting op het lichaam in verhouding tot het eigen gewicht.

Voor een aantal botssnelheden en beschikbare remwegen zijn de daarbij optredende vertragingen samengevat in Tabel 2.

Een remweg van 1 m is gewoonlijk wel beschikbaar door vervormingen van obstakels en voertuig.

Zelfs bij de betrekkelijk geringe snelheid van 10 m/sec (36 km/h) is de vertraging 5 g voldoende voor een fatale afloop indien de botsing ongelukkig aankomt. Niettemin heeft men ook zonder gordel wel redelijke overlevingskansen. Met een goed gebruikte gordel is de kans op letsel gering, de kans op ernstig letsel vrijwel nihil.

Bij een botssnelheid van 20 m/sec (72 km/h) wordt de vertraging vier maal zo hoog: 20 g . Voor reële overlevingskansen heeft men dan een goede gordel hard nodig.

Bij een botssnelheid van 40 m/sec (144 km/h) helpt ook de gordel niet meer. Wellicht zal de airbag, die overigens ook zijn beperkingen heeft, bij vertragingen van 80 g nog een overlevingskans kunnen bieden.

Men moet hieruit niet lezen dat de gordel bij hoge snelheden geen bescherming biedt. Zelden wordt gebotst met de snelheid waarmee gereden werd. Bij kop/staartbotsingen is het snelheidsverschil en niet de absolute snelheid maatgevend, bovendien worden de snelheidsveranderingen over beide voertuigen verdeeld. In veel gevallen kan voor de botsing nog aanzienlijk afgeremd worden.

Uit Tabel 2 blijkt intussen, dat bij een remwegverlenging tot 4 m, bij een snelheid van 40 m/sec, de vertragingen afnemen tot 20 g , met overlevingskansen bij gebruik van goede gordels.

In alle gevallen moet voor een redelijke voorspelbaarheid van het effect de voorwaarde gesteld worden dat het passagierscompartiment intact blijft. Kooiconstructies zijn daarom een essentieel onderdeel van "safety car"-ontwerpen.

2.2. Pre-crashmaatregelen

Maatregelen die betrekking hebben op de pre-crashfase gaan uit van de bestaande bewegingspatronen in het verkeer en zijn er op gericht deze zodanig te beïnvloeden, dat conflictsituaties minder frequent voorkomen en/of gemakkelijker opgelost kunnen worden.

Een overzicht van pre-crashmaatregelen dat enige aanspraak op volledigheid zou kunnen maken, voert buiten het bestek van dit onderwerp. Hier zij dus volstaan met het aanduiden van enkele belangrijke categorieën.

1. Het scheiden van verkeerssoorten

- a. naar plaats: Categorisering van wegen;
- b. naar tijd : Verkeersregeling.

2. Het bevorderen van de waarneembaarheid en de interpreteerbaarheid van voor de rijtaak (meer algemeen de verkeerstaak) belangrijke informatie met overwegend visuele hulpmiddelen. Markering van weg en voertuigen. Uniformering van deze middelen, waardoor de beoordeling van de eigen bewegingstoestand en die van andere verkeersdeelnemers betrouwbaarder en nauwkeuriger wordt.

3. Het bevorderen van meer uniform verkeersgedrag door het vaststellen van gedragsregels. De belangrijkste categorieën daaronder zijn:

- a. Voorrangsregels. Naast de verkeersregeling dragen deze bij tot de scheiding van verkeerscategorieën naar tijd.
- b. Snelheidsregels. Daarmee worden overwegend twee effecten beoogd, nl. ten eerste een meer uniform snelheidsgedrag van de verkeersdeelnemers, waarvan een vermindering van het aantal conflictsituaties verwacht wordt, en ten tweede een lager algemeen snelheidsniveau, waarvan verwacht wordt dat bij eventuele ontsporingen ook de snelheid waarmee dan gebotst wordt op een lager niveau komt, met als gevolg een vermindering van de ernst van het ongeval.

Hoewel in feite alle genoemde categorieën maatregelen bedoeld zijn om de verkeersbewegingen en dus ook de snelheden te beïnvloeden, zijn de snelheidsregels het meest direkt gericht op snelheidsbeïnvloeding en past een verdere uitwerking daarvan het meest in het kader van het behandelde onderwerp.

2.3. Snelheidsregels

De algemene gedragsregel in het verkeer, dat men andere weggebruikers niet meer dan noodzakelijk mag hinderen en het verkeer niet in gevaar mag brengen, heeft in veel situaties consequenties voor de snelheid waarmee men zich verplaatst. Het rijden met de maximaal toegestane snelheid van 50 km/h voor de bebouwde kom is op tal van plaatsen binnen de bebouwde kom niet verantwoord. Op andere plaatsen zouden best hogere snelheden toegestaan kunnen worden, hetgeen soms gebeurt.

Een tweede algemene gedragsregel kan als een uitwerking met betrekking tot de snelheid worden opgevat, nl. de regel dat men zijn snelheid aan die van het overige verkeer dient aan te passen.

2.3.1. Snelheidsbeperkingen

Naast deze kwalitatieve gedragsregels is er een grote verscheidenheid aan kwantitatieve gedragsregels met betrekking tot de verplaatsingssnelheid, die in het algemeen als snelheidsbeperkingen worden aangeduid.

Ze kunnen verplichtend of adviserend zijn. Ze kunnen een bovengrens en/of een ondergrens aangeven.

Ze kunnen op een aantal snelheidsniveaus gesteld worden.

Ze kunnen in een algemene gedragsregel of ter plaatse door borden zijn aangegeven.

Ze kunnen het volle etmaal of bepaalde uren (door onderborden aangegeven) van kracht zijn.

Een uitgebreid overzicht van soorten snelheidsbeperkingen is gegeven in het rapport "Snelheidslimieten" (SWOV, 1971).

Hoewel onderzoek naar het effect van snelheidsbeperkingen gewoonlijk slechts op één of enkele van de mogelijke varianten betrekking heeft, worden toch uitspraken veelal gedaan in de vorm: "Snelheidsbeperkingen zijn (wel of niet) nuttig gebleken voor de verkeersveiligheid" zonder vermelding van de beperkingen in het onderzoek.

Komen dergelijke uitspraken voor in de conclusies van een onderzoekverslag dan heeft dat ernstige bezwaren, ook indien de beperkingen en de condities waaronder de uitspraak geldt wel in het rapport zijn verzameld. Andere onderzoekers zullen zich bij bestudering van het rapport wel van de geldende beperkingen op de hoogte stellen. Beleidsmensen hebben daar veelal de tijd niet voor, en varen dan blind op conclusies die niet op hun situatie van toepassing zijn. Grote voorzichtigheid in het trekken van conclusies is toch ook voor de onderzoeker geboden. Er zijn veel voetangels, klemmen en valkuilen, zoals blijkt uit de navolgende praktijkvoorbeelden.

1. Na invoering van snelheidsbeperkingen (door borden aangegeven) op een aantal wegen in Frankrijk werd een daling van de gereden snelheden gemeten en trad op de betrokken wegen een vermindering van het aantal ongevallen op. Beide effecten waren significant. Na verloop van tijd werd een derde effect geconstateerd, een eveneens significante vermindering van de verkeersintensiteit op de betreffende wegen. Verder onderzoek wees uit dat nogal wat verkeer was uitgeweken naar alternatieve routes zonder beperkingen. Het vermoeden ligt voor de hand, al werd dat niet aangetoond, dat dat vooral snelle rijders betrof, die door de maatregel gehinderd werden.

De vermindering van de intensiteit was voldoende om de vermindering van het aantal ongevallen te verklaren.

2. Onderzoek naar het effect van verkeersmaatregelen wordt bemoeilijkt door het feit dat het vrijwel onmogelijk is om een voldoende groot aantal paren gelijkwaardige wegen te vinden binnen bepaalde grenzen van nauwkeurigheid, om te kunnen volstaan met een vergelijkend onderzoek over een onderzoek- en een controlegroep

van wegen. Anderzijds is het bij een voor- en nastudie op een groep onderzoekswegen niet goed mogelijk trendmatige veranderingen in de onderzoekvariabelen te scheiden van het effect van maatregelen.

In het Nederlandse onderzoek "Snelheidslimieten" (SWOV, 1971) werd daarom een voor- en nastudie op een onderzoek- en een controlegroep verricht om door de maatregel veroorzaakte effecten te kunnen scheiden van trendmatige veranderingen.

Omstreeks de tijd dat de snelheidsbeperkingen op de onderzoekswegen van kracht werden, werd de beperkte ongevallenregistratie in Nederland ingevoerd.

Omdat een belangrijke vermindering van het aantal geregistreerde ongevallen te verwachten was, werd overwogen om het onderzoek te staken. Er was echter geen reden om aan te nemen dat de beperkte ongevallenregistratie op onderzoek- en controlewegen een verschillend effect zou hebben.

Op grond van de veronderstelling dat het effect van de beperkte registratie te zamen met trendmatige effecten gescheiden zou kunnen worden van het effect van de snelheidsbeperkingen, werd het onderzoek voortgezet.

Een analyse van de ongevallengegevens leidde tot de conclusie dat na correctie voor de in de controlegroep gesignaleerde effecten, een significante vermindering van het aantal ongevallen in de onderzoekgroep overbleef.

Een soortgelijke analyse van snelheidsmetingen gaf bij de onderzoekgroep eveneens een significante vermindering van geregistreerde snelheden ten opzichte van de controlegroep te zien. Deze leek echter te klein om de ongevallenreductie te verklaren. Daarom werd de veronderstelling dat onderzoek- en controlewegen door de beperkte ongevallenregistratie gelijkelijk beïnvloed zouden worden, nader onderzocht. Daartoe werd vergeleken het effect van de beperkte registratie op de gemeenten waar de onderzoekswegen doorliepen, tegenover de gemeenten die de controlewegen passeerden. Bij de onderzoekgemeenten bleek dit effect zoveel groter dan bij controlegemeenten, dat dit een voldoende verklaring bood voor de geconstateerde relatief grote ongevallenvermindering op de onderzoekswegen.

Er was dus geen significant resteffect dat aan de snelheidsbeperking kon worden toegeschreven.

3. In Denemarken werden per 1 juli 1953 de tot dan toe geldende snelheidsbeperkingen voor personenauto's afgeschaft. In de jaren daarna trad een forse stijging op in de aantal letselongevallen en fatale ongevallen.

Op het 10de OTA-congres, Rotterdam, 1970, is daarover gerapporteerd (Niels O. Jørgensen, 1970). De Danish Council of Road Safety Research bleek overtuigd te zijn van een oorzakelijk verband. Daar lijkt ook wel aanleiding toe te zijn als men bijv. let op het jaarlijkse aantal fatale ongevallen in de voorafgaande drie jaar (1953 inbegrepen) en de volgende drie jaar (zie Afbeelding 3). De sprong bedraagt ca. 30%.

Bekijkt men een langere tijdreeks, bijv. fatale ongevallen over de jaren 1947 t/m 1967, waarvan Jørgensen N.B. een grafiek geeft, dan is twijfel gerechtvaardigd of de sprong van 1953 wel zoveel te betekenen heeft in de totale ontwikkeling. Een eenvoudige regressie-analyse kan daarover uitsluitsel geven. Afbeelding 4 toont de resultaten.

Behalve de regressielijn zijn ook de 90%- en de 95%-betrouwbaarheidsgrenzen aangegeven. Slechts één punt blijkt buiten de 90%-grenzen te vallen en nog wel aan de onderzijde. 1958 was blijkbaar relatief een gunstig jaar. 1954 deelt de tweede en derde plaats met 1963, omstreeks de 85%-betrouwbaarheidsgrenzen.

Jørgensen vermeldt ook de afschaffing van importbeperking op motorvoertuigen in 1953 en het sterk toenemende gebruik van de bromfiets als argumenten waarmee tegenstanders van snelheidslimieten de sprong van 1954 verklaren. Uit Deense statistieken blijkt inderdaad een zeer forse groei van het aantal voertuigen van verschillende categorieën, in het bijzonder van bromfietsen, maar ook van motorrijwielen en motorvoertuigen. Dit impliceert voor elk van deze categorieën gedurende enige jaren een sterke stijging van het percentage onervaren verkeersdeelnemers op het betreffende voertuig. Het sterkst spreekt dit bij de bromfietsen (zie Tabel 3). In de periode van 1953 tot 1955 treden twee op eenvol-

gende verdubbelingen van het aantal bromfietsen op. De samenhang tussen onervarenheid en ongevalsvatbaarheid is genoegzaam bekend, ook uit Nederlands onderzoek, en met name voor wat betreft bromfietsers, om daaraan de forse stijging van het aantal ongevallen per duizend voertuigen te kunnen toeschrijven.

Na verrekening van deze effecten in de ongevallensprong van 1954 kunnen eventuele restanten gevoegelijk aan toevalspreiding worden toegeschreven.

Valt uit geen van de drie genoemde onderzoeken af te leiden dat snelheidsbeperkingen bevordelijk zijn voor de verkeersveiligheid, men mag er ook niet uit concluderen dat de verkeersveiligheid geen baat zou vinden bij snelheidsregels die worden nageleefd. Deze voorwaarde lijkt essentieel om een verandering in de ongevallenkans te mogen verwachten. Voor zover bekend was het effect van de maatregel op het snelheidsgedrag gering.

Bij het Nederlandse onderzoek werd op één van de onderzoekwegen gedurende drie maanden intensieve politiecontrole uitgeoefend gedurende acht uur per dag.

Het effect daarvan is weergegeven in Afbeelding 5. Dit deelonderzoek duurde te kort en omvatte een te gering weggedeelte om een effect op de verkeersveiligheid te kunnen constateren. De onderzoeksperiode heeft niet lang genoeg geduurd om de kracht, die enforcement maximaal kan opbrengen, te kunnen bepalen. De omvang van het deelonderzoek is te beperkt om tot algemeen geldende conclusies te komen. De verkregen aanwijzingen zijn echter duidelijk genoeg om een nader onderzoek te verlangen.

Een ander aspect dat bij het Nederlandse onderzoek naar voren kwam, was de grote verscheidenheid in de snelheidsverdelingen die geconstateerd werd op verschillende wegen van het zelfde type. Het gevolg daarvan zou zijn dat een algemene snelheidsbeperking op de ene weg slechts enkele procenten der passerende weggebruikers zou treffen, en op een andere weg tweederden of meer. Hieruit werd afgeleid dat snelheidsbeperkingen afgestemd zouden moeten worden op de bestaande situatie op de betreffende weg en deel zouden moeten uitmaken van een pakket van maatregelen, gericht op categorisering van de wegen.

3. BELEIDSANALYSE MET BETREKKING TOT SNELHEIDSBEPERKINGEN

Beleidsoverwegingen ten aanzien van maatregelen komen in principe neer op de vraag: "Worden de kosten gerechtvaardigd door de opbrengst?". Bij maatregelen gericht op de bevordering van de verkeersveiligheid, dus ook bij snelheidsbeperkingen bestaat die opbrengst uit een vermindering van aantal en ernst van ongevallen. Een besparing derhalve aan materiële schade, lichamelijk letsel en mensenlevens.

Zolang de materiële besparingen de kosten overtreffen, levert dit nog weinig beleidsproblemen op. Dit is wel het geval zodra de kosten hoger worden dan de besparing aan materiële schade. Dan rijst de vraag welke waarde moet worden toegekend aan het voorkómen van lichamelijk letsel en vervolgens wat de waarde van een mensenleven is. Het is uiteraard wel mogelijk de kosten te bepalen van eerste hulp, ambulance, ziekenhuisverpleging, revalidatie, verlies aan arbeidsdagen, enz. Het is ook wel mogelijk om een mensenleven economisch te waarderen, bijv. op basis van zijn restproduktie en zijn restconsumptie.

Velen zijn echter van mening dat de waarde van een mensenleven niet in de eerste plaats en zeker niet uitsluitend bepaald wordt door zijn bijdrage in het arbeidsproces.

Ook zijn de meeste mensen het er over eens dat het voorkómen van pijn, verdriet en angst, grote inspanningen en aanzienlijke financiële offers waard is.

Het grote probleem ligt in de overgang van dit kwalitatieve naar een kwantitatief oordeel. Dit laatste hangt samen met ethische normen, levensbeschouwing, etc., en kan variëren met de historische situatie waarin men verkeert.

Het beslissen over een afzonderlijke maatregel waarvan de materiële baten de kosten niet dekken, is niet mogelijk zonder een dergelijke kwantificering. Indien niet bewust een kwantitatief oordeel over de immateriële baten wordt bepaald, dan bevat de beslissing over de maatregel toch impliciet tenminste een bijdrag tot het kwantitatieve oordeel.

Veel beslissingen betreffen niet een afzonderlijke maatregel maar de besteding van een budget met een bepaald soort bestemming, bijv.

verkeersveiligheid. In dat geval behoeven de immateriële baten niet in geld gewaardeerd te worden. Het is voldoende als ze naar een eigen schaal kwantitatief bepaald kunnen worden. Het beleidsdoel is dan zodanige maatregelen te kiezen dat uit het beschikbare budget een maximale opbrengst op de immateriële batenschaal verkregen wordt. Het beleid op een hoger niveau, namelijk de toewijzing van budgetten voor verschillende bestemmingen, behoeft wel een kwantitatief waardeoordeel met betrekking tot immateriële baten, of voorzover een dergelijk waardeoordeel ontbreekt, impliceert elke beslissing weer een bijdrage tot de oordeelsvorming.

Het beslissen over het al-of-niet toepassen van snelheidsbeperkingen heeft het karakter van een beslissing over een afzonderlijke maatregel. De snelheidsbeperking kan ook opgevat worden als één van de vele alternatieven die men van het beschikbare budget realiseren kan. Tenslotte kunnen allerlei varianten van snelheidsbeperkende maatregelen onderling vergeleken worden, om de varianten met gunstigste verhouding tussen immateriële opbrengsten en kosten te bepalen.

3.1. Kosten en baten van snelheidsbeperkingen

Het doel van een snelheidsbeperking aan de bovenzijde van de snelheidsverdeling, is om de hoogste snelheden waarmee gereden wordt, op een lager niveau te brengen, of althans, bij onvolledige naleving, het aantal verkeersdeelnemers dat met een hoge snelheid rijdt, te verminderen.

Voor wat betreft de verkeersveiligheid worden daarvan twee effecten verwacht.

De kleinere spreiding van de snelheidsverdeling heeft tot gevolg dat er bij gelijkblijvende verkeersprestatie minder ingehaald wordt, dus minder conflictsituaties ontstaan. Het snelheidsgedrag van andere weggebruikers is beter voorspelbaar, waardoor conflictsituaties gemakkelijker onderkend en opgelost worden. Er is dus een vermindering van het aantal ongevallen te verwachten.

De lagere snelheid van een aantal weggebruikers heeft tot gevolg

dat deze categorie in geval van een botsing met een geringere snelheid botst, waardoor de ontstane schade en het ontstane letsel minder ernstig zijn.

De mate waarin deze effecten optreden hangt sterk af van de mate waarin het snelheidsgedrag wordt beïnvloed, dus van het niveau van de snelheidslimiet, maar ook van de mate van toezicht op de naleving en de strafmaat.

Behalve de verkeersveiligheid wordt ook de verkeersafwikkeling door snelheidsbeperkingen beïnvloed, met name de rijsnelheid, dus ook de reissnelheid van een deel van de verkeerspopulatie.

Een langere reistijd kan economisch gewaardeerd worden. Er kunnen ook sociale consequenties zijn, met name indien vanwege de langere reistijd van bepaalde activiteiten wordt afgezien.

Een verandering van het snelheidsgedrag kan van invloed zijn op de bijdrage van het verkeer aan milieuverontreiniging en geluidshinder.

De directe kosten verbonden aan snelheidsbeperkende maatregelen zijn hoofdzakelijk van tweeërlei aard, nl. kosten verbonden met de invoering en kosten verbonden met de handhaving. De kosten van een algemene maatregel, eventueel verschillend niveau voor verschillende wegcategorieën, zullen wel het laagst zijn, gezien de voorkeur die vele overheden daarvoor blijken te hebben.

Het plaatsen en onderhouden van snelheidsborden op ca. 20.000 kruispunten zullen wel voor enige miljoenen guldens per jaar gerealiseerd kunnen worden.

Met een effectieve handhaving van snelheidsbeperkingen zijn enige tientallen, indien geen honderden miljoenen guldens per jaar gemeoid. Het Nederlandse deelonderzoek betrof een wegvak van nog geen dertig kilometer, waaraan drie à vier man politie een volle dagtaak hadden. Het effect, hoewel onmiskenbaar (Afbeelding 5) kan toch niet overweldigend genoemd worden.

Indien besloten wordt op dit controleniveau 20% van het wegennet te controleren, dan is daarvoor een personeelsbezetting van 1000 tot 1500 man nodig. Aan salarissen, sociale voorzieningen, meetapparatuur, vervoermiddelen en bureauruimte wordt de eerste f 100.000.000,-- al dicht benaderd. Ook de personeelsbezetting bij de rechterlijke macht zal drastisch moeten worden uitgebreid, om alle overtredingen af te handelen.

3.2. Het beslissingsmodel

Hoewel niet gepretendeerd wordt dat alle aspecten van het probleem snelheidsbeperkingen hiermee kwalitatief zijn behandeld, is er voldoende materiaal voorhanden om te illustreren hoe een beslissingsmodel met betrekking tot dergelijke complexe problemen geformuleerd dient te worden.

Het probleem van de optimale besteding van een budget kan als volgt geformuleerd worden:

M_j ; $j = 1, 2, \dots, m$: Verzameling maatregelen waaruit een keuze gemaakt kan worden.

K_j ; kosten verbonden aan realisering van M_j .

B_{ij} ; specifieke baten van de soort i , door maatregel M_j verkregen.

β_i ; gewichtsfactor voor specifieke baten van de soort i .

B_j ; integrale baten door maatregel M_j verkregen.

Specifieke baten die gewoonlijk in het verkeers- en verkeersveiligheidsbeleid van belang zijn, zijn o.m. de volgende:

$i = 1$: vermindering van het aantal ongevallen.

$i = 2$: vermindering van de ernst van ongevallen.

$i = 3$: vermindering van de reistijd.

$i = 4$: verhoging van het reiscomfort.

$i = 5$: vermindering van geluidshinder.

$i = 6$: vermindering van luchtverontreiniging.

Er zijn wel specifieke verkeersveiligheidsmaatregelen, vooral in de crash- en post-crashsfeer, waarbij alleen de specifieke baten typen 1 en/of 2 een rol spelen.

De meeste pre-crashmaatregelen raken ook andere verkeersaspecten en omgekeerd beïnvloeden de meeste verkeersmaatregelen ook de veiligheid, al is dat wellicht niet het primaire doel.

De integrale baten zijn een aanduiding voor het algemeen welzijnbevorderend vermogen van een maatregel.

$$B_j = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot B_{ij} \quad (10)$$

Uit het beschikbare budget wordt de maximaal mogelijke opbrengst in integrale baten verkregen, indien maatregelen geselecteerd worden in volgorde van grootte van hun baten-kostenverhouding:

$$b_j = B_j/K_j \quad (11)$$

totdat het budget uitgeput is.

Een van de verkiesbare maatregelen kan dan snelheidsbeperking zijn.

Bij het probleem van de optimalisering van snelheidsbeperkingen gaat het in feite om één maatregel en kan dus de maatregel aanduiding j vervallen.

De baten en kosten dienen echter geschreven te worden als functies van de relevante variabelen.

In het geval van snelheidsbeperkingen zijn dat:

L: het niveau van de snelheidslimiet.

T: het niveau van toezicht op de naleving.

S: het niveau van de strafmaat.

De kosten en de meeste typen specifieke baten zijn van deze drie grootheden afhankelijk, dus

$$K = K(L, T, S) \quad (12)$$

$$B_i = B_i(L, T, S) \quad (13)$$

dus ook

$$B = \sum_{i=1}^n \beta_i B_i = \sum_{i=1}^n \beta_i B_i(L, T, S) = B(L, T, S) \quad (14)$$

$$b = B/K = b(L, T, S) \quad (15)$$

Optimalisering van de maatregel is te interpreteren als het maximaliseren van b . Daaraan wordt voldaan voor die waarden van L , T en S waarvoor

$$\frac{\delta b}{\delta L} = 0, \frac{\delta b}{\delta T} = 0 \quad \text{en} \quad \frac{\delta b}{\delta S} = 0 \quad (16)$$

en

$$\frac{\delta^2 b}{\delta L^2} < 0, \frac{\delta^2 b}{\delta T^2} < 0 \quad \text{en} \quad \frac{\delta^2 b}{\delta S^2} < 0 \quad (17)$$

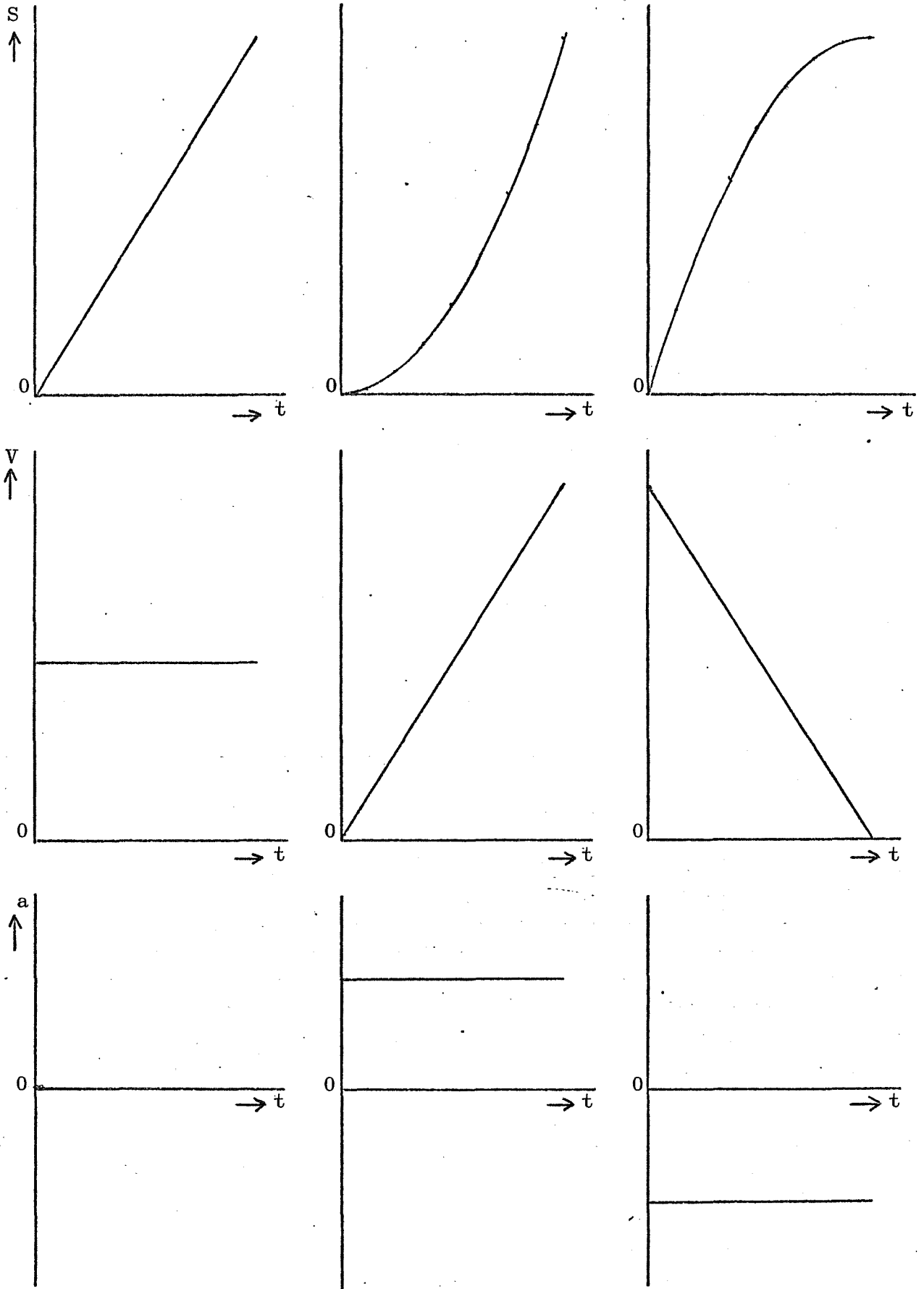
De optimale waarden van L, T en S kunnen uit (16) berekend worden indien aan (17) voldaan is. Door substitutie van deze waarden in (15) kan dan de maximale baten-kostenverhouding gevonden worden. Voldoet deze aan de geldende norm, dan dient tot invoering van snelheidsbeperkingen besloten te worden.

Wellicht ten overvloede zij er op gewezen dat de praktische toepassing van de boven weergegeven beslissingsstrategie nog in een ver verschiet ligt, omdat een belangrijk deel van de daarvoor vereiste kwantitatieve gegevens nog niet beschikbaar zijn.

REFERENTIES

1. SWOV (1971) Snelheidslimieten buiten de bebouwde kom. Een beschrijving van het onderzoek verricht in opdracht van de Minister van Verkeer en Waterstaat. Rapport 1971-2, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Voorburg, 1971.

2. Jørgensen, N.O. (1970). The application of speed regulations in Denmark. In: Tenth International study week in traffic and safety engineering, Rotterdam, 7-11 September 1970, Theme VII: Effectiveness of speed limits on rural roads and motorways. OTA, London, 1970.

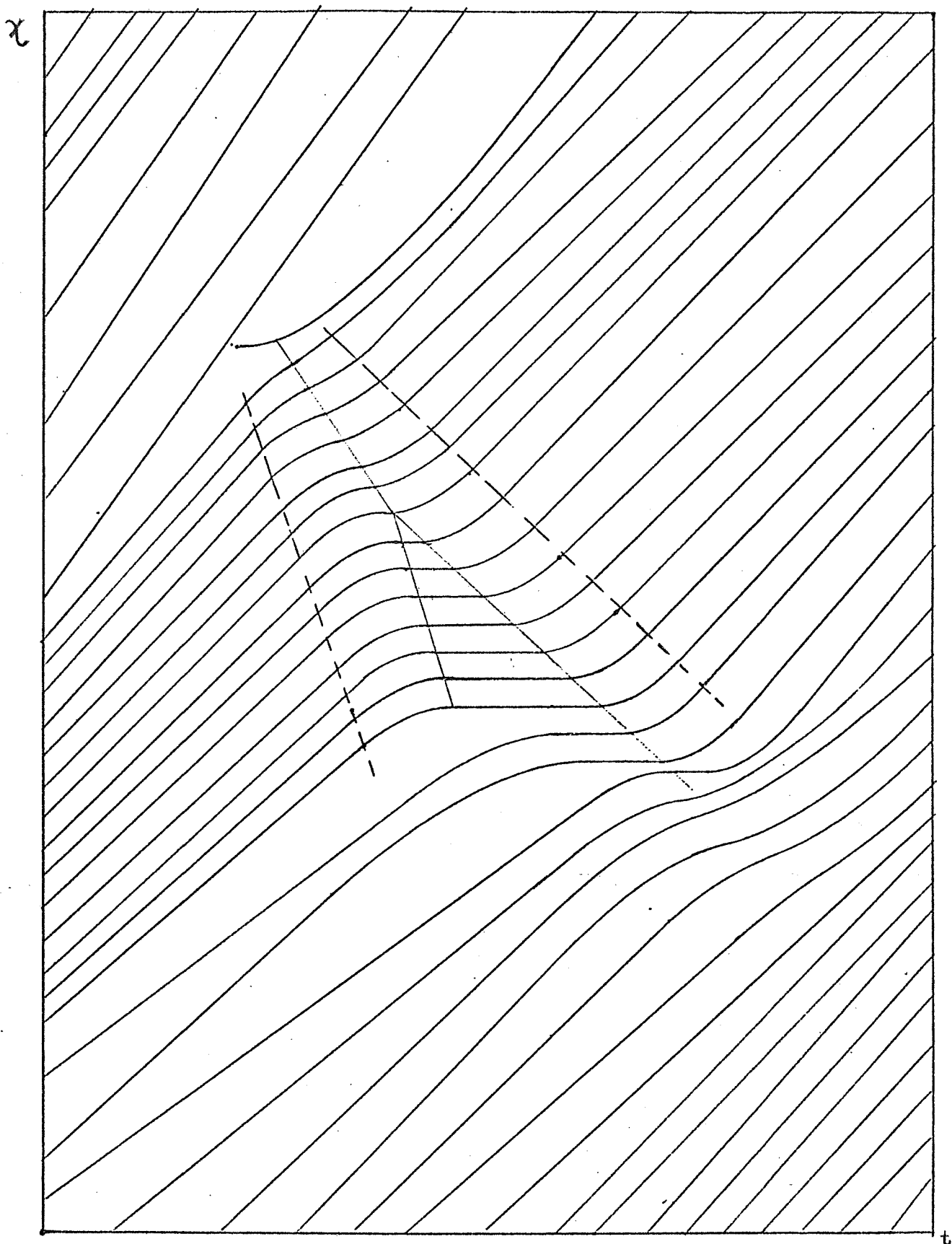


a. Eenparig

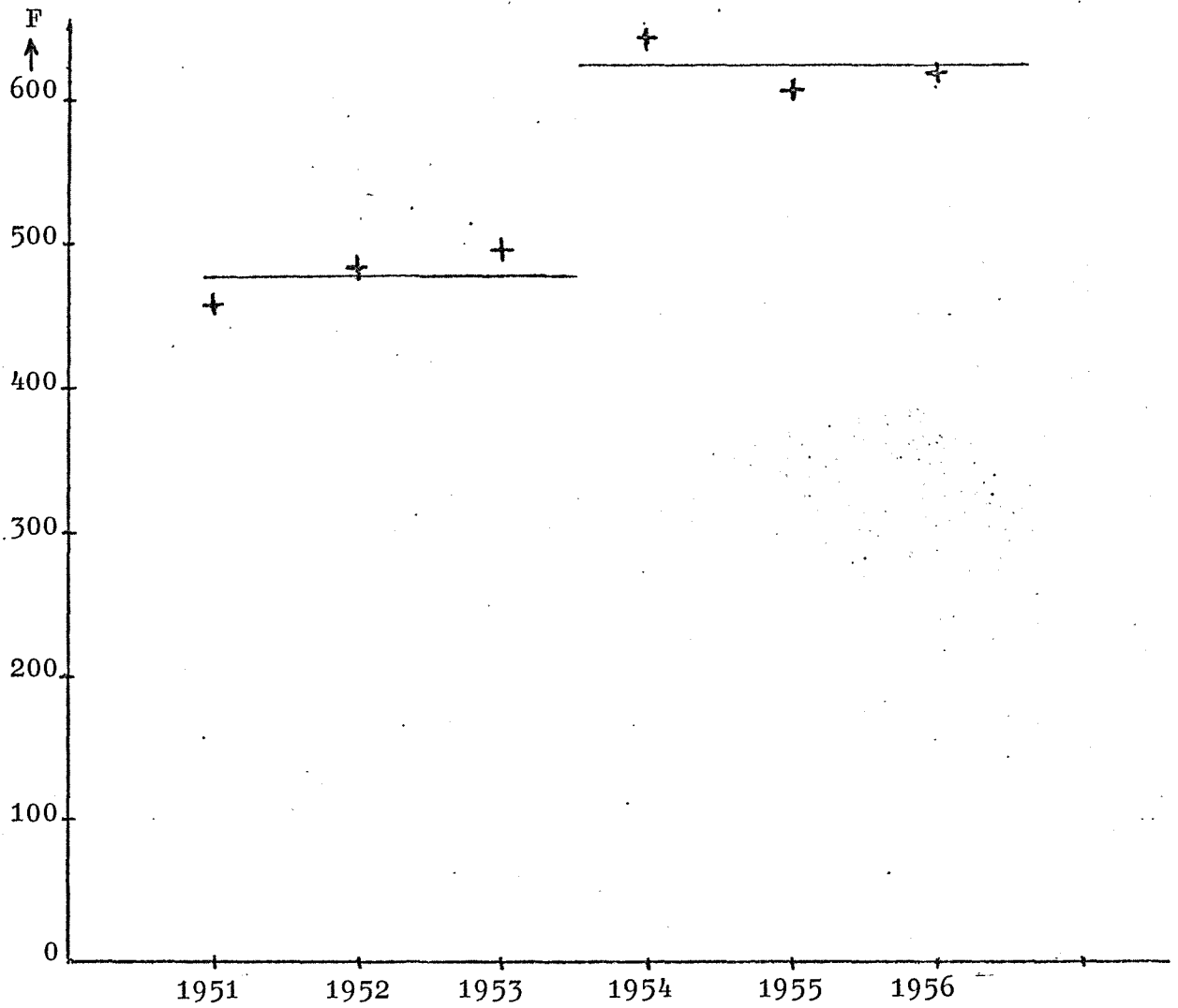
b. Eenparig versneld

c. Eenparig vertraagd

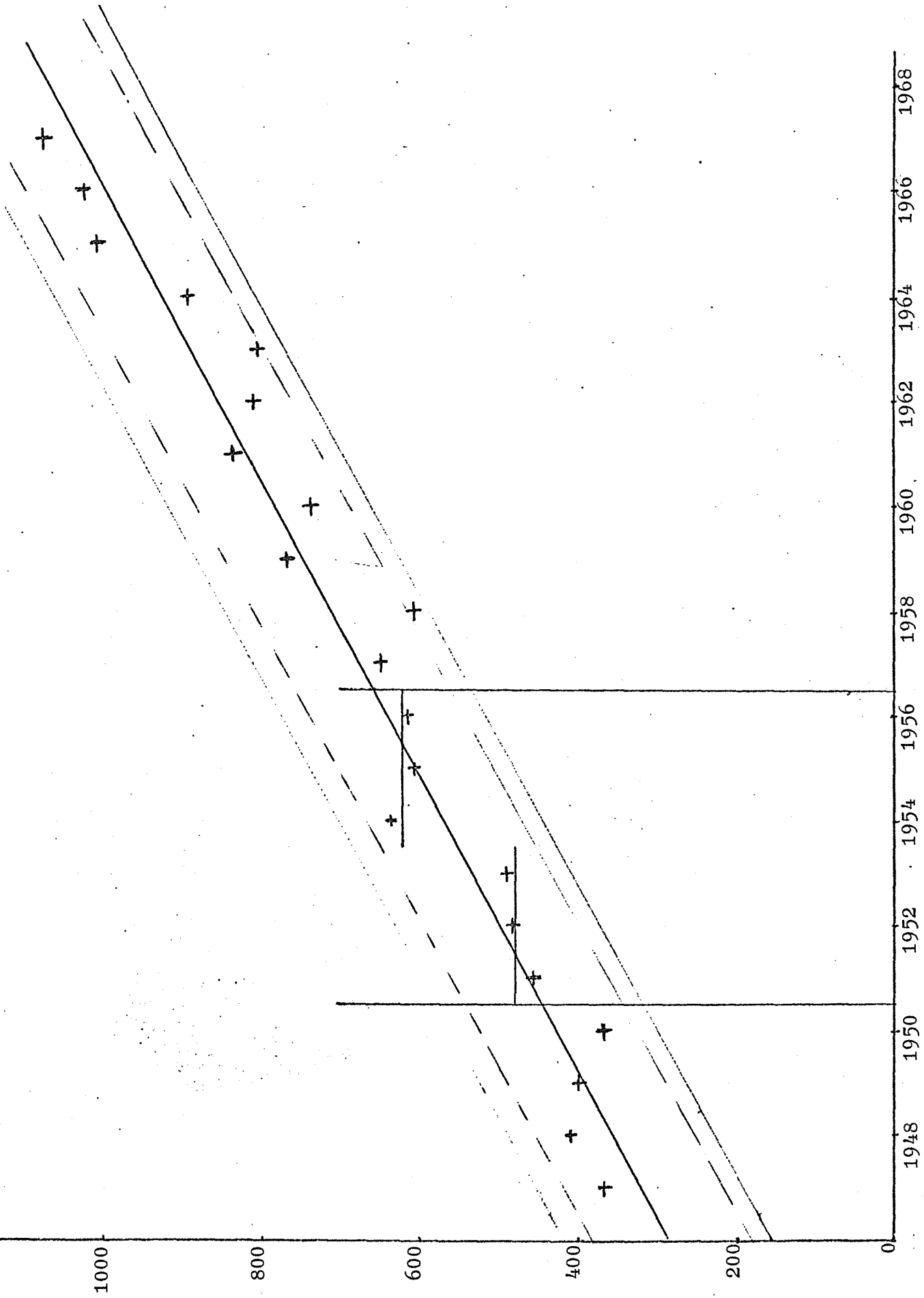
Afbeelding 1. Elementaire bewegingen.



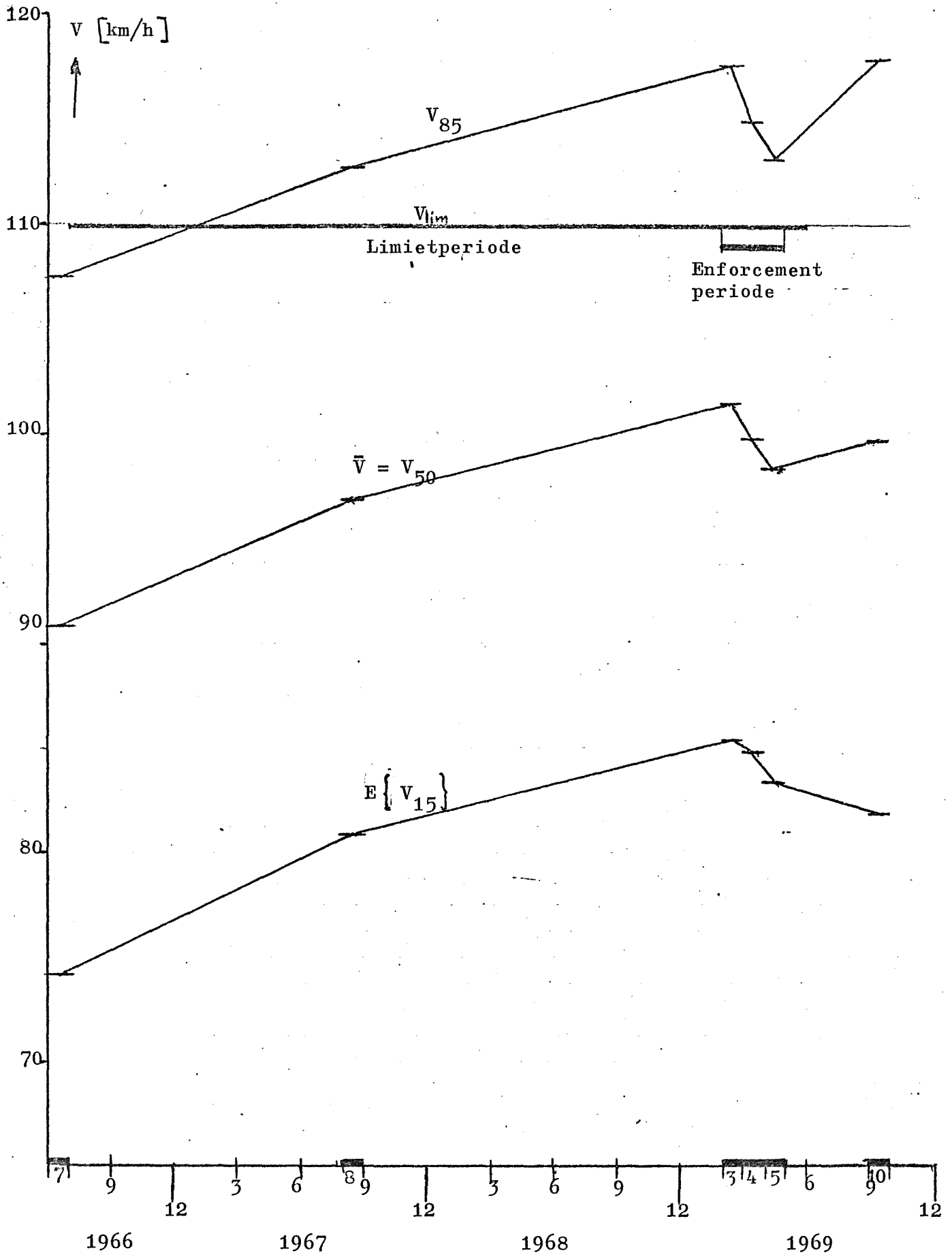
Afbeelding 2. Trajectoriën van voertuigbewegingen over een bepaald wegvak gedurende een bepaalde periode.



Afbeelding 3. Jaarlijks aantal verkeersongevallen met dodelijke afloop in Denemarken voor en na de afschaffing van de snelheidslimieten.



Afbeelding 4. Ongevallen met dodelijke afloop in Denemarken in de jaren 1947-1967.



Afbeelding 5. Het effect van snelheidsbependingen zonder en met intensieve controle op de naleving.

	t	a	v	s
t		$2S/v$	$\sqrt{2S/a}$	v/a
a	$v^2/2S$		$2S/t^2$	v/t
v	$\sqrt{2aS}$	$2S/t$		a t
s	$v^2/2a$	$\frac{1}{2} vt$	$\frac{1}{2} at^2$	

Tabel 1. Afgeleide bewegingsvergelijkingen voor eenparig versnelde en vertraagde bewegingen.

v \ S	S	1	2	4	8
	v	1	2	4	8
40		80	40	20	10
20		20	10	5	2.5
10		5	2.5	1.25	0.625

Tabel 2. Gemiddelde vertragingen, uitgedrukt in g, voor verschillende waarden van de botssnelheid v (in m/sec) en de beschikbare remweg S (in m).

	Motorrijwielen	Bromfietsen
1950	48.500	-
1951	77.800	33.500
1952	87.400	40.150
1953	103.000	56.400
1954	120.700	97.700
1955	124.300	215.600
1956	125.400	252.400

Tabel 3. Aantallen geregistreerde motorrijwielen en bromfietsen in Denemarken