

RIJSNELHEID, BOTSSNELHEID EN AFLOOP VAN BOTSINGEN TUSSEN TWEEWIELERS EN
MOTORVOERTUIGEN

Een beschrijving van de theoretische achtergronden en een analyse van beschikbare ongevalgegevens uit praktijkonderzoek.

Bijdrage voor het project Voorrang langzaam verkeer van rechts (VLVR).

R-85-8

Ir. L.T.B. van Kampen

Leidschendam, 1985

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

VOORWOORD

In 1983 is door het ministerie van Verkeer en Waterstaat een omvangrijk onderzoekproject gestart naar de voorrangproblematiek op kruispunten. Het project werd door V & W gestart naar aanleiding van de voor het langzaam verkeer afwijkende voorrangsregels in Nederland ten opzichte van overige landen.

In het kader van dit project wordt een groot aantal deelonderzoeken uitgevoerd door wetenschappelijke instituten en bureaus. Deze onderzoeken worden begeleid door de Onderzoek Begeleidingsgroep (OBG) waarin vertegenwoordigd zijn de Dienst Verkeerskunde (Rijkswaterstaat), de Directie Verkeersveiligheid (Min. V&W) en de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, als adviseur. De deelonderzoeken zullen naar verwachting in 1987 leiden tot een nota "De voorrang op kruispunten", waarin de problematiek met betrekking tot "rechts voorrang voor langzaam verkeer" en "uniformering van de toepassing van voorrangsregels" integraal zullen worden behandeld, uitmondend in aanbevelingen.

Het onderhavige rapport doet verslag over één van de deelonderzoeken die in het kader van deze voorrangproblematiek zijn afgerond. Conclusies uit deelrapporten hebben dan ook steeds een zeer beperkte waarde ten aanzien van de voorrangproblematiek als geheel. Zij hebben slechts waarde als integraal onderdeel van de nog te verschijnen eindrapportage over het gehele project. Vandaar dat de conclusies in dit rapport niet beschouwd mogen worden als beleidsconclusies ten aanzien van de totale voorrangproblematiek.

Voor het verdere gebruik of analyse van in dit rapport gegeven onderzoekmateriaal, met welk doel dan ook, gelden de gebruikelijke regels zoals overeengekomen tussen opdrachtgever en -nemer terzake van dit rapport.

augustus 1985

Dienst Verkeerskunde (DVK) en
Directie Verkeersveiligheid (DVV)

SAMENVATTING

In het kader van het project Voorrang langzaam verkeer van rechts (VLVR) wordt in dit rapport ingegaan op de relaties tussen rijnsnelheid, botsnelheid en afloop van ongevallen tussen tweewielers en motorvoertuigen. Met behulp van een eenvoudig fasemodel van het botsproces wordt dit probleem beschreven op het niveau van de tweewielerberijder (fietser, bromfietser).

Er zijn twee hoofdrelaties onderscheiden; nl. die tussen rijnsnelheid en botssnelheid en die tussen botssnelheid en afloop.

Deze hoofdrelaties en hun onderdelen zijn op twee manieren nader onderzocht: theoretisch, met behulp van wetmatigheden uit de fysica en aan de hand van praktijkgegevens uit ongevallenonderzoek, voornamelijk afkomstig uit het buitenland.

Conclusies uit het theoretisch gedeelte werden in belangrijke mate bevestigd door de praktijk, hoewel een gebrek aan praktijkgegevens nadrukkelijk wordt vastgesteld. Deze conclusies betreffen vooral de grote mate van incompatibiliteit tussen tweewielers en motorvoertuigen. De afloop van botsingen tussen deze categorieën valt nagenoeg altijd alleen ongunstig uit voor de tweewielerberijder. Dit komt vooral door het grote verschil in voertuigmassa en het verschil in structurele eigenschappen van de voertuigen (sterkte en stijfheid, vorm en afmetingen).

Uit de gevonden relaties tussen (bots)snelheid en afloop valt voorzichtig af te leiden dat dodelijke afloop bij tweewielers vermeden kan worden bij botssnelheden van het motorvoertuig lager dan 30 km/uur. Bij botsingen met vrachtauto's is vooral de massa en vorm van deze soort motorvoertuigen van invloed op de relatief nog slechtere afloop dan bij personenauto's. De afloop blijft mede afhankelijk van het botstype, waarmee de rijrichtingen van de botsende partners en de plaatsen waar zij elkaar raken worden beschreven.

Het botstype front (motorvoertuig) - flank (tweewieler) blijkt volgens alle ongevallenstudies (ook Nederlandse) het meest voor te komen.

De conclusies van dit rapport zijn door hun algemene theoretische onderbouwing en gezien de resultaten van praktijkonderzoek niet alleen van betekenis voor het project VLVR, maar voor meer doeleinden toe te passen.

INHOUD

Inleiding

1. Theoretische achtergronden bij de relaties tussen rijksnelheid, botssnelheid en afloop van tweewielerbotsingen
 - 1.1. De eerste fase (de relatie tussen rijksnelheid en botssnelheid)
 - 1.2. De tweede fase (de primaire botsing)
 - 1.3. De derde fase (de secundaire botsing)
 - 1.3.1. De botsing met de fiets of bromfiets
 - 1.3.2. De botsing met de personenauto of vrachtauto
 - 1.3.3. De botsing met de weg
 - 1.4. Samenvatting

2. Relatie tussen rijksnelheid en botssnelheid bij ongevallen
 - 2.1. Algemeen
 - 2.2. Samenvatting

3. Relatie tussen botssnelheid en afloop bij ongevallen
 - 3.1. De studie van Hunter e.a. (1978)
 - 3.2. De studie van Roland e.a. (1979)
 - 3.3. De studie van Otte e.a. (1979)
 - 3.4. De studie van Gauss e.a. (1982)
 - 3.5. De Nederlandse situatie
 - 3.6. Samenvatting

4. Conclusies

Literatuur

Afbeeldingen

VOORWOORD

Het project Voorrang langzaam verkeer van rechts (VLVR) staat onder verantwoordelijkheid van de Onderzoekbegeleidingsgroep Voorrangsregelingen in verblijfsgebieden (OBG Vg/Vk). De SWOV heeft zitting in deze groep als adviseur. Tevens levert de SWOV kennis in de vorm van wetenschappelijke rapporten, waarvan dit rapport een deelgebied van het totale probleemveld bestrijkt.

Er is niet gepoogd het probleem van de relaties tussen rijnsnelheid, botsnelheid en afloop van ongevallen tussen motorvoertuigen en tweewielers in het totaal van het verkeersveiligheidsprobleem te beschouwen. Zo wordt de vermijdbaarheid van ongevallen buiten beschouwing gelaten en gaat het juist vooral om de botsproblematiek. Datgene wat net voor, tijdens en net na de botsing aan de orde is.

De toedracht in deze fase van het botsproces blijft sterk gebonden aan algemeen geldende fysische wetmatigheden en kan daarom afzonderlijk onderzocht worden. De resultaten van dit rapport zijn daardoor niet alleen bruikbaar in het kader van de VLVR-problematiek. Wel is het onderzochte gebied slechts een onderdeel van de totale VLVR-problematiek, zodat de OBG de resultaten ervan moet plaatsen naast die van ander onderzoek in dat kader.

In dit rapport zijn door de auteur bijdragen en commentaar verwerkt van ir. A.G. Welleman, ir. J.J.W. Huijbers, G.C. Ederveen, ir. F. Wegman, allen van de SWOV en van leden van de OBG.

Prof. ir. E. Asmussen, directeur
Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INLEIDING

Er bestaat een sterk theoretisch verband tussen de afloop van verkeersongevallen en de snelheid waarmee betrokken verkeersdeelnemers van de botsing reden.

In dit rapport wordt daarop vanuit het standpunt van de tweewieler concreet ingegaan. De theorie wordt toegelicht, en zoveel mogelijk in fundamentele onderdelen opgesplitst.

Hoewel de VLVR-problematiek vooral op kruispuntongevallen betrekking heeft, worden alle mogelijke confrontaties tussen tweewielers en motorvoertuigen besproken.

De theorie wordt aan de praktijk getoetst met behulp van vooral buitenlandse onderzoekgegevens.

1. THEORETISCHE ACHTERGRONDEN BIJ DE RELATIES TUSSEN RIJSNELHEID, BOTSSNELHEID EN AFLOOP VAN TWEEWIELERBOTSINGEN

Voor de beschrijving van de relaties tussen rijnsnelheid, botssnelheid en afloop wordt in deze bijdrage gebruik gemaakt van een eenvoudig fasemodel, waarin drie hoofdfasen worden onderscheiden (Afbeelding 1A). Dit model is afgeleid van het door de SWOV ontwikkelde en gehanteerde fasemodel van het ongevalsproces (Afbeelding 1B), waaruit de fase betreffende het botsgedrag, volgend op het noodmanoeuvregedrag en gevolgd door het herstelproces nader wordt bestudeerd.

Het model geeft de chronologische gang van zaken weer vanaf een zeker moment voor de botsing (ongestoorde beweging) tot en met de eindtoestand van de botsende voertuigen. Een en ander gezien vanuit de individuele tweewielerberijder in conflict met een personenauto of vrachtauto. In hetgeen volgt worden de fasen achtereenvolgens toegelicht en de theoretische achtergronden besproken.

De theorie is algemeen geldig voor botsingen tussen wegvoertuigen en zal waar wenselijk op de specifieke situatie van de tweewieler worden toegepast, waaronder vooral de fietser wordt verstaan.

Op voorhand geeft Afbeelding 1A reeds aan dat er geen direkte relatie tussen rijnsnelheid en afloop moet worden verwacht, terwijl ook tussen botssnelheid en afloop nog een tussenfase bestaat.

1.1. De eerste fase (de relatie tussen rijnsnelheid en botssnelheid)

Deze fase is in Afbeelding 1A de vermijdfase genoemd. Gezien het onderwerp van deze bijdrage, blijft hier buiten beschouwing de mogelijkheid dat de handelingen in zo'n fase werkelijk succes hebben (namelijk leiden tot het vermijden van de botsing). De fase resulteert dus in ieder geval in een botsing.

Op het eerste gezicht behoeft er theoretisch geen relatie te bestaan tussen de oorspronkelijke rijnsnelheid (de snelheid bij ongestoorde beweging) en de botssnelheid. Men zou hooguit kunnen zeggen dat de botssnelheid kleiner of gelijk is aan de rijnsnelheid (met uitzondering van die gevallen waarin voor de botsing geaccelereerd is).

Het is overigens van belang te memoreren dat snelheid een vectoriële grootheid is en dus zowel een grootte als een richting bezit. Dit komt duidelijk tot uiting in deze eerste fase, waarin het verschil tussen rij- en botssnelheid van de verkeersdeelnemer bepaald wordt door rem- (resp. acceleratie-) en stuurmanoeuvres.

Via remsysteem en stuurinrichting worden in het contactvlak tussen band en wegdek uitwendige krachten opgewekt die voor verandering van de snelheidsvector zorgen. Deze veranderingen zijn onderhevig aan wetmatigheden.

Hoewel stuurbewegingen, zeker bij lage snelheden, niet als onbelangrijk hoeven te worden beschouwd, ligt de nadruk in eerste instantie op remmanoeuvres, die bij een dreigende botsing veelal het karakter van een noodstop hebben (zo krachtig mogelijk op het rempedaal trappen, resp. aan de remhandels trekken).

In de meeste theoretische beschouwingen wordt hierbij uitgegaan van een éénparig vertraagde beweging, d.w.z. een bewegingsverloop met lineair afnemende snelheid en constante vertraging.

Volgens de daarvoor geldende formules uit de bewegingsleer zijn er wiskundige verbanden aan te geven tussen de grootheden waar het ons hierbij om gaat, nl. rijsnelheid v en botssnelheid w (beide in m/s) en de overige relevante variabelen.

Deze zijn:

b = versnelling in m/s^2 ($-b$ = vertraging)

t = tijdsduur in s (waarover vertraagd wordt)

s = weglengte in m (beschikbaar voor vertraging)

Een goede illustratie van de wiskundige verbanden tussen deze grootheden bij eenparig vertraagde beweging geeft Afbeelding 2.

Bij het door ons gezochte verband tussen v en w blijken derhalve telkens twee andere parameters mee te spelen (b en t , b en s , s en t).

Deze formules voor w zijn:

$$w = v + bt$$
$$w = \sqrt{v^2 + 2bs}$$
$$w = \frac{2s}{t} - v$$

Ervan uitgaande dat in een concrete conflictsituatie de beschikbare remweg bepaald is (door de afstand tot de botspartner), is het verband tussen w en v vervolgens nog van één andere parameter afhankelijk (zijnde t of b).

Men kan ook anders redeneren en veronderstellen dat de tweewieler geen rekening met afstand houdt maar met een zeker tijdinterval alvorens te reageren. In dat geval is t gegeven en is de botssnelheid w bij gegeven v afhankelijk van s of b .

De Afbeeldingen 3, 4 en 5 geven de grafische weergave van bovengenoemde drie wiskundige verbanden tussen w en v . Er is een keuze gemaakt voor b uit de in de praktijk mogelijke waarden ($b = -4$: forse remming, $b = -8$: maximale remming).

In ieder geval illustreren de afbeeldingen dat het verband tussen w en v van een aantal variabelen afhankelijk is.

Van die andere variabelen is de remvertraging aan een fysisch maximum gebonden.

De mate waarin dit fysisch maximum kan worden bereikt is afhankelijk van diverse factoren, zoals de kwaliteit van het remsysteem, de kwaliteit van het weggedrag van het voertuig en de kwaliteit van het remmen.

Het fysisch maximum zelf is uitsluitend afhankelijk van de wrijvingscoëfficiënt tussen band en wegdek (welke op haar beurt bepaald wordt door de bandeigenschappen en de wegdekeigenschappen).

Praktisch ligt die maximaal haalbare vertraging in de orde grootte van 8 m/s^2 , al zijn hogere waarden niet onbereikbaar.

Eerst als alle wielen van een voertuig geremd worden en gelijktijdig vrijwel tot blokkeren gebracht worden is het fysisch maximum te bereiken. In de praktijk komen bij fietsen nog vaak remsystemen op één wiel voor (de terugtraprem), of is door gebrek aan kwaliteit van het systeem of het onderhoud daaraan geen blokkeren mogelijk. In die gevallen zal de werkelijke remvertraging altijd (beduidend) minder zijn dan het fysisch maximum.

Wanneer tijdens remmanoeuvres ook nog gestuurd wordt, zal eerder de grens bereikt worden die bepaald wordt door de wrijvingscoëfficiënt in het contactvlak tussen banden en wegdek.

De som van rem- en stuurkrachten kan niet groter worden dan overeenkomt met de maximum wrijvingskracht.

Dat verklaart ook waarom een slippend wiel niet tot grotere remkracht leidt (in feite leidt dit zelfs tot kleinere dan de maximum haalbare vertraging) of waarom bij maximale remvertraging het voertuig niet meer reageert op sturbewegingen.

Op zich hebben geslaagde sturbewegingen een belangrijke invloed op het type botsing dat uiteindelijk ontstaat, doordat zij ondermeer de inrijhoek beïnvloeden.

1.2. De tweede fase (de primaire botsing)

De gebeurtenissen in de tweede (en derde) fase zijn van een volstrekt andere tijdsorde dan die in de eerste fase. De botsing tussen twee vervormbare lichamen is in ca. 1/10 seconde geheel voorbij (wat betreft de contactfase).

In deze tweede fase vindt bij gegeven botssnelheid van de tweewieler het contact plaats tussen de tweewieler en de botspartner (de personenauto) ook met een bepaalde eigen botssnelheid.

De theoretische beschouwingen over deze primaire botsfase zijn volledig gebaseerd op de regels uit de theoretische mechanica van botsende lichamen.

Bij zulke botsingen vindt energievernietiging plaats (omzetting van kinetische energie in warmte via materiaalvervorming), er vindt impuls- of bewegingsoverdracht plaats alsmede in die korte botstijd in het contactvlak een (enorme) krachtontwikkeling.

Hoe sterker of stijver de betrokken structuren, des te groter die ontwikkelde krachten. Omdat in het contactvlak geldt dat actie is reactie, zal altijd de zwakste van de twee structuren het eerst bezwijken.

De kinetische energie die net voor de botsing aanwezig is, is de som van de kinetische energie van beide betrokken voertuigen; de grootte is $\frac{1}{2}mw^2$ per voertuig, waarin m de massa (in kg) voorstelt en w de botssnelheid (in m/s). Duidelijk is dat hogere snelheden een meer dan evenredige verhoging van die energie betekenen.

Bij botsingen tussen ongelijkwaardige verkeersdeelnemers (ongelijkwaardig wordt bedoeld in termen van massa- en snelheidsverschillen) wordt vrijwel nooit de totale hoeveelheid kinetische energie vernietigd.

Afhankelijk van het type botsing blijft een soms belangrijke hoeveelheid over in de vorm van uitloopbewegingen van één of beide botspartners.

Tijdens de botsing vindt impulsoverdracht plaats. Impuls is de hoeveelheid van beweging, de grootte ervan bedraagt mw per voertuig. Net als snelheid bezit impuls een grootte en een richting. Op grond van de wet van behoud van impuls is de totale impuls net vóór de botsing gelijk aan de totale impuls net na de botsing. In de praktijk wordt van dit verband gebruik gemaakt om de botssnelheden te reconstrueren aan de hand van het via sporen verkregen verloop van de botsing, inclusief de uitloop en onder bepaalde aannamen over de mate van elasticiteit van de botsing (Burg & Rau, 1981).

Het voertuig met de grootste impuls "wint" het altijd van het voertuig met de kleinste impuls. In hetgeen volgt wordt dit nader uitgewerkt.

Gegeven de massaverschillen tussen tweewielers en personenauto's (laat staan vrachtauto's) is sprake van een groot verschil in impuls.

Een eenvoudig voorbeeld van een frontale botsing tussen een fietser en een personenauto ($m_{\text{fiets}} = 10 \text{ kg}$ en $m_{\text{auto}} = 1000 \text{ kg}$) bij een botssnelheid van $w_{\text{fiets}} = -5$ en $w_{\text{auto}} = 10$ geeft al aan dat de impuls van de fiets (-50) een fractie is van de impuls van de auto (+ 10.000). Het gevolg is dat de beide voertuigen direkt na de botsing een gezamenlijke impuls van + 9950 hebben, waarbij de gezamenlijke snelheid

$\frac{9950}{m_{\text{fiets}} + m_{\text{auto}}}$ is, ofwel 9,85 m/s (onder verwaarlozing van vervormings-effecten).

Dit betekent een snelheidsvermindering van slechts 0,15 m/s voor de auto, doch een complete omkering van -5 tot +9,85 m/s, ofwel een snelheidsverandering van 14,85 m/s voor de fiets, die daarbij de grote verliezer is.

Een andere manier om tot hetzelfde resultaat te komen, geeft nog beter aan hoe schrikbarend groot hierbij de invloed van het massaverschil tussen beide voertuigen is:

Bij gegeven botssnelheid van beide voertuigen wordt de snelheidsverandering van elk der beide voertuigen als gevolg van het contact in deze

eerste botsfase bepaald door de massaverhouding der voertuigen, maar dan wel omgekeerd evenredig daarmee, dus niet naar draagkracht.

In ons voorbeeld is de totale botssnelheid $w_{\text{bots}} = w_{\text{fiets}} + w_{\text{auto}}$ gelijk aan 15 m/s.

De auto krijgt daarvan $\frac{m_{\text{fiets}}}{m_{\text{fiets}} + m_{\text{auto}}} = 0,99\%$ te verduren,

dat is 0,15 m/s (zoals ook uit het impulsommetje blijkt).

De fiets krijgt dus $\frac{m_{\text{auto}}}{m_{\text{fiets}} + m_{\text{auto}}} = 99,01\%$ te verduren,

ofwel 14,85 m/s

Het rekenwerk had ook toegepast kunnen worden op een ander botstype, de flankbotsing, waarbij een fiets(er) in de flank wordt getroffen door het front van een auto, met verder dezelfde uitganggegevens. Daarbij is de botssnelheid van de fiets in de rijrichting van de auto vrijwel nihil. De orde grootte van de impulsoverdracht is vergelijkbaar met de vorige situatie. De fiets(er) krijgt vrijwel de totale botssnelheid w_{auto} opgedrongen, en ondergaat (in dwarsrichting) dus een geweldige snelheidsverandering, waarbij de oorspronkelijke snelheid van de fiets alleen maar voor een zekere afwijking van die dwarskoers zorgt en enige invloed heeft op de manier waarop de fietser voorts tegen de auto botst (de derde fase).

Hoewel de eigen snelheid van de fiets dus nog wel meespeelt, is het effect ervan op het botsresultaat in beide voorbeelden gering. Dat wordt bepaald door het massaverschil en de snelheid van de auto.

De voorbeelden laten zien dat wel de volle botssnelheid en de botsimpuls in het geding zijn, doch dat niet de volledige botsenergie ($\frac{1}{2}m_{\text{fiets}} * w_{\text{fiets}}^2 + \frac{1}{2}m_{\text{auto}} * w_{\text{auto}}^2$) bij de botsing wordt vernietigd, anders zou er geen restsnelheid zijn.

Wat wel wordt vernietigd is theoretisch afhankelijk van de structuren: de stijfheid, het energie-absorberend vermogen enz.

Door die eigenschappen wordt in feite behalve de grootte van de optredende krachten in de elkaar aanrakende botsstructuren, ook de grootte van de botstijd bepaald, welke rond 1/10 seconde werd gesteld.

Zuiver theoretisch gezien is via beïnvloeding (vergroting) van die botstijd middels verlaging van de stijfheid en vergroting van het energie-absorberend vermogen een grote winst (verkleining) te behalen voor wat

betreft de grootte van de botsvertraging en dus de botskrachten in het contactvlak.

Ook door spreiding van de krachten over een groter oppervlak is dat mede te bereiken.

Praktisch zijn er grenzen die samenhangen met de vereiste sterkte-eigenschappen bij gegeven massa van het voertuig en gegeven materiaalkeuze. Toch blijken er gezien recente ontwikkelingen serieuze pogingen gedaan te worden de gevolgen van het onafwendbare grote verschil in massa en snelheid tussen fietsers en personenauto's (of vrachtauto's) middels constructieve bijstellingen (vooral aan de auto's) te lijf te gaan (EEVC, 1984).

In de voorbeelden werd van een frontale botsing en van een flankbotsing uitgegaan, maar de massa van de fietser werd in het rekenvoorbeeld niet meegenomen. Dit is alleen dan juist als de fietser volledig onafhankelijk van de fiets zou bewegen en botsen. In werkelijkheid zal de fietser voor een deel van zijn massa met de fiets verbonden zijn (bijvoorbeeld via het stuur, de pedalen en het zadel). Maar zoals in de volgende fase wordt toegelicht, de fietser zal doorgaans tijdens deze eerste botsfase, los van de fiets komen, of de fiets los van de fietser.

Bij nog andere typen botsingen, bijvoorbeeld die waarbij de fietser in de flank van de auto rijdt, zijn de omstandigheden anders, doch de wetmatigheden evenzeer van toepassing.

Bij het ene type botsing speelt de eigen snelheid van de fietser een belangrijker rol dan bij het andere. Bij de botsing van de fietser in de flank van een auto speelt de eigen snelheid een belangrijke rol en die van de auto een minder belangrijke, als het gaat om impulsoverdracht. Wel heeft de autosnelheid invloed op de bewegingsrichting van fiets en fietser tijdens en na deze botsfase.

Het zal ook duidelijk zijn dat de situatie bij de primaire botsing mede afhankelijk is van het soort motorvoertuig dat getroffen wordt. Bij een vrachtauto kan afhankelijk van de plaats waar deze geraakt wordt een totaal andere botsvertraging voor de fiets optreden dan bij een personenauto.

De grootte van die vertraging (die volgens Afbeelding 1A het resultaat van de tweede botsfase vormt) wordt zoals gezegd vooral bepaald door de

structurele eigenschappen van de plaatselijke botsstructuren. De fiets is een stuk zwakker dan de personenauto of vrachtauto en het schadebeeld zal dan ook altijd sterk ten nadele van de tweewieler uitvallen.

1.3. De derde fase (de secundaire botsing)

In deze derde, gecompliceerde fase, onderscheiden we drie onderdelen:
de botsing van de fietser tegen de fiets
de botsing van de fietser tegen de auto
de botsing van de fietser tegen de weg

Er valt nog een vierde onderdeel te onderscheiden, omdat ook de fiets na de primaire botsing nog een geheel eigen weg aflegt als gevolg van de opgedrongen impuls. We beperken ons hier echter tot de gevolgen voor de fietser (resp. bromfietser).

We hebben het namelijk over de fase waarin letsel ontstaat of kan ontstaan als gevolg van de drie contacten (botsingen tegen fiets, auto en weg).

De theoretische wetmatigheden die de grondslag vormen voor deze botsingen zijn dezelfde als die bij de primaire botsing zijn genoemd. Een extra dimensie is hierbij nog dat de fietser als gevolg van de vertraging van de fiets in de primaire botsing in de secundaire botsfase loskomt van zijn voertuig en met name in de laatste botsfase door de lucht geslingerd kan worden. Dat kan trouwens ook al gedeeltelijk plaatsvinden bij het eerste contact met de auto, waarbij (in geval van een botsing tegen een autofront) afhankelijk van de grootte van de impulsoverdracht eerst de benen worden geraakt door de bumper en later de rest van het lichaam door motorkap, voorruit, enz.

1.3.1. De botsing met de fiets of bromfiets

Omdat de fiets een veel kleinere massa heeft dan de berijder en omdat de berijder betrekkelijk 'los' op de fiets zit, hoeft in het algemeen niet verwacht te worden dat het contact met de fiets voor de berijder tot de belangrijkste oorzaken van letsel moet worden gerekend.

Wel is aan de orde dat de fiets in de primaire botsing aanzienlijk van snelheid (richting en grootte) is veranderd, terwijl de berijder (afhankelijk van het botstype) nog beweegt volgens diens oorspronkelijke snelheidsvector.

Berijder en fiets zullen los van elkaar komen en daarbij kunnen voor de berijder, door scherpe en uitstekende delen van de fiets letsels ontstaan.

Ook kan door krampachtig vasthouden bij min of meer frontale botsingen of bij andere typen waarbij een grote vertraging van de fiets ontstaat, het stuur vervormen en letsel aan handen en pols voorkomen, alvorens loslaten plaatsvindt.

1.3.2. De botsing met de personenauto of vrachtauto

Afhankelijk vooral van de botssnelheid en de vorm van het gedeelte van de auto waar de fietser het eerste contact maakt, wordt de fietser een beweging opgedrongen.

Bij botsingen waarbij de flank van de fietser door het front van de auto wordt getroffen (blijkens onderzoek een veel voorkomende situatie) wordt één der benen van de fietser het eerst geraakt.

De fietser zal vervolgens op de motorkap geworpen worden en zal, vooral afhankelijk van de botssnelheid van de auto, motorkap, voorruit en dak kunnen raken.

In al die contactvlakken bezwijkt de zwakste constructie het eerst en dat is meestal het getroffen lichaamsdeel. Plaatselijk scherpe of plaatselijk harde autodelen kunnen daarbij voor ernstig letsel zorgen.

De regels van de botsmechanica gaan bij deze botsing even goed op als bij de primaire botsing tussen auto en fiets, d.w.z. de snelheidsverandering en de 'schade' worden bepaald door snelheid, impuls, massaverhouding en sterkte-eigenschappen van de structuren.

Bij extreem hoge snelheden zal de tweewielerberijder zelfs over een personenauto heen geworpen kunnen worden. Bij vrachtauto's zal dit niet gebeuren en bestaat mogelijk eerder een risico voor overrijden bij frontale botsingen. Dat geldt trouwens ook voor aanrijdingen tegen de flank van een vrachtauto. De vormgeving van vrachtauto's laat toe dat fietsers gemakkelijk in de open ruimten tussen voor- en achterwielen terechtkomen.

1.3.3. De botsing met de weg

Nadat het lichaam van de tweewielerberijder door de botsing met een personen- of vrachtauto een snelheid krijgt opgedrongen die, althans theoretisch, zeer aanzienlijk kan zijn, ontstaat een soort terugkaatseffect, behoudens bij zeer hoge snelheden waarbij de tweewielerberijder over het dak van een personenauto heen kan schieten. Dit laatste kan bij botsingen in de flank overigens ook plaatsvinden en wordt mede in de hand gewerkt doordat de tweewieler van achteren omhoog komt als gevolg van de opgedrongen vertraging aan de voorzijde.

Onder invloed van de botssnelheid van het voertuig en de positie van de tweewielerberijder op het moment van loslaten beschrijft diens lichaam een door de zwaartekracht bepaalde kromlijnige beweging door de lucht. Het neerkomen op het wegdek geeft vaak aanleiding tot aanzienlijk letsel door de optredende verticale en veelal niet te verwaarlozen horizontale krachten tussen lichaam en wegdek.

Het zal ook duidelijk zijn dat een aldus getroffen tweewielerberijder een groot risico loopt op nieuwe conflicten met andere verkeersdeelnemers en soms ook met de oorspronkelijke botspartner in geval van overrijden.

1.4. Samenvatting

Via een eenvoudig fasemodel geeft de theorie uit de bewegingsleer en de botsmechanica aan dat er noch een eenvoudig verband tussen rij- en botsnelheid bestaat, noch tussen botssnelheid en afloop.

Het verband tussen rij- en botssnelheid wordt vooral bepaald door de grootte van de remvertraging bij een gegeven hoeveelheid tijd of bij gegeven remweglengte. Daarbij kan een fysische grens niet overschreden worden, welke wordt bepaald door de beschikbare wrijving tussen band en wegdek. Tweewielers en motorvoertuigen kunnen in principe dezelfde vertraging bereiken, doch praktisch zal bij tweewielers (althans bij veel fietsen) sprake zijn van een duidelijk lagere prestatie.

In de primaire botsfase blijken de bepalende grootheden (botssnelheid, botsstructuur, botsmassa) zodanig gekoppeld te zijn, dat van een vol-

strekt ongelijkwaardige situatie moet worden gesproken. Niet alleen zorgt verschil in massa ervoor dat de lichte tweewielers aanzienlijk meer te verduren krijgen van de totale botssnelheid dan de zware motorvoertuigen, doch daarenboven zorgt verschil in structurele eigenschappen ervoor dat de schade vrijwel geheel door diezelfde zwakkere partij wordt opgelopen. In de secundaire botsfase loopt de berijder van de tweewieler op drie manieren letsel op, namelijk door de tweewieler, de auto en de weg. Ook hier betekenen verschil in massa en verschil in structurele eigenschappen tussen menselijk lichaam en voertuig een volstrekt ongelijkwaardige situatie met een afloop ten nadele van de tweewielerberijder.

2. RELATIE TUSSEN RIJSNELHEID EN BOTSSNELHEID BIJ ONGEVALLEN

2.1. Algemeen

In het theoretisch gedeelte is het verband tussen rijnsnelheid en botsnelheid afhankelijk gesteld van remvertraging en de beschikbare remweg of tijd.

Om in de praktijk vast te stellen of er voor een botsing geremd is of niet, staat vrijwel alleen de reconstructie via (rem)sporen ter beschikking, als men ten minste aanneemt dat eigen of getuigenverklaringen op dit punt ontoereikend zijn.

Remsporen zijn slechts onder bepaalde condities zichtbaar, zodat duidelijk is dat slechts bij betrekkelijk weinig ongevallen de vraag of er geremd is en zo ja, in welke mate, afdoende kan worden beantwoord.

In de literatuur werden wat dit betreft ook geen directe aanwijzingen gevonden van dit fenomeen bij fiets-motorvoertuigongevallen.

Bij voetgangersongevallen blijkt hieromtrent wel gerapporteerd te zijn (EEVC, 1982). Alleen blijkt dat de verschillende onderzoekers over verschillende cijfers beschikken. Er worden schattingen aangetroffen die lopen van minimaal 30% tot ca. 100% gevallen waar voor de botsing geremd werd. Bij voetgangersongevallen is dit fenomeen dubbel interessant. Het gaat dan namelijk niet alleen om de botssnelheid ten opzichte van de rijnsnelheid, maar ook om de stand van de auto tijdens de primaire botsfase. Afhankelijk van de mate van vertraging verandert een auto van stand. Dit resulteert in een verandering van de hoogtepositie van de bumper en het front van de auto (duikeffect). Dit heeft direct consequenties voor de plaats waar een voetganger door de auto getroffen wordt (bijvoorbeeld boven, op of onder de knie). Bij fietser- en bromfietserongevallen is dit effect uiteraard ook aan de orde, doch minder eenduidig door de differentiatie in fiets- en bromfietstypen, gecombineerd met verschil in leeftijd (en dus lichaamsafmetingen) van de gebruikers.

De gezochte relatie tussen rij- en botssnelheid werd in geen enkele der onderzochte publikaties over ongevallen tussen tweewielers en motorvoertuigen aangetroffen. Omdat bij enkele studies wel rij- en botssnelheid apart zijn weergegeven, kan met behulp van die verdelingen een benadering van hun onderlinge relatie worden vastgesteld.

Roland (1979) geeft een vrij gedetailleerde indeling van de (geschatte) botssnelheid van het motorvoertuig en zet deze af tegen de (geschatte) botssnelheid van de fiets (Afbeelding 6).

De geschatte rijsnelheid van het motorvoertuig is alleen in drie grove categorieën gegeven, onder andere in relatie tot letselernst (Afbeelding 7).

Door beide verdelingen qua klassen op elkaar af te stemmen ontstaat onderstaand beeld van de rij- en botssnelheid van het motorvoertuig:

Snelheids- categorie (km/uur)	Rijsnelheid		Botssnelheid	
	abs.	%	abs.	%
0-32	411	(71,1)	438	(86,3)
32-48	109	(18,9)	53	(10,4)
48+	58	(10,0)	17	(3,4)
Totaal	578	(100%)	508	(100%)

De verdeling van de botssnelheid wijst zoals verwacht op een lager snelheidsniveau dan die van de rijsnelheid. Uit beide verdelingen valt een gemiddelde snelheid te berekenen. We nemen daarbij aan dat de klassegemiddelden resp. 16, 40 en 64 km/uur bedragen.

De gemiddelde rijsnelheid wordt daarmee ca. 25 km/uur en de gemiddelde botssnelheid ca. 20 km/uur, zodat we zouden kunnen stellen dat in deze studie de botssnelheid gemiddeld 80% van de rijsnelheid bedraagt. Deze gegevens hebben betrekking op de motorvoertuigen. Van de fietsen is geen rijsnelheid gegeven, zodat ook geen relatie met de botssnelheid kan worden bepaald.

Otte (1980, 1981, 1982) heeft niet alleen gegevens over ongevallen met tweewielers verzameld, doch ook in het verkeer van Hannover snelheidsmetingen laten verrichten met betrekking tot alle categorieën tweewielers. De metingen werden uitgevoerd op vier typen wegen, hoofdzakelijk binnen de bebouwde kom, waarbij overigens niet duidelijk is uit de rap-

portage of die metingen bij kruispunten werden verricht of juist buiten kruispunten. De gegevens van de vier meetpunten zijn bij elkaar genomen. De auteur vermeldt nog dat het aandeel Mopeds (te vergelijken met bromfietsen) beduidend lager lag dan dat van Mofa's (te vergelijken met snorfietsen) en dat dit niet overeen kwam met de landelijke bestandgegevens, waaruit blijkt dat er juist beduidend meer Mopeds dan Mofa's zijn. Men kent in Duitsland nog een categorie lichte motortweewielers, de Mokick, die het best met de bromfiets te vergelijken is.

In Afbeelding 8 is de gemeten verdeling cumulatief weergegeven voor fietsers (N=388) en gemotoriseerde tweewielers (welke voor dit doel buiten beschouwing worden gelaten). 50% der fietsers blijkt onder 16 km/uur te hebben gereden en 90% onder 23 km/uur.

De overeenkomstige resultaten voor de gemeten snelheidsverdelingen van Mofa's (N=99) en Moped/Mokicks (N=104) zijn in de Afbeeldingen 9 en 10 weergegeven, waaruit blijkt dat 50% der Mofa's onder 29 km/uur reed en 50% der Moped/Mokicks onder 45 km/uur.

Bij de snelheidsverdeling van de botssnelheden uit het tweewieleronderzoek van Otte is sprake van forse marges door de gevolgde reconstructiewijze zodat het hierbij om schattingen gaat.

In Afbeelding 11 worden deze botssnelheden van de fietsers weergegeven (procentuele verdeling).

Bewerking van de betreffende gegevens leidt tot een gemiddelde botssnelheid van ca. 10 km/uur. Uit de afbeelding is verder af te leiden dat de botssnelheid die door 50% der tweewielers niet is overschreden lager ligt dan 10 km/uur, zodat deze wat afwijkt van de gemiddelde snelheid.

Op overeenkomstige wijze als bij de studie van Roland zou het verband tussen bots- en rijnsnelheid kunnen worden weergegeven door

$$\frac{V50 \text{ bots}}{V50 \text{ rij}} = \text{ca. } \frac{10}{16} = \text{ca. } 63\%$$

Hierbij moeten echter nog meer slagen om de arm gehouden worden, omdat de gemeten rijnsnelheden van rijdend verkeer zijn bepaald en niet van de ongevallenpopulatie waar de botssnelheid bij hoort.

De rijnsnelheid van de bij fietserongevallen betrokken motorvoertuigen is door Otte niet bepaald, althans niet weergegeven. De botssnelheid is wel bekend, zoals onder meer blijkt uit Afbeelding 12.

Een eventuele relatie met rijnsnelheid valt niet te leggen.

Voor Mofa en Mokick/Moped geeft Afbeelding 13 de botssnelheidsverdeling (cumulatief).

Met enige souplesse valt daaruit af te leiden dat de V50 voor Mofa's op 20 km/uur en de V50 voor Mokick/Moped op 30 km/uur ligt.

Wanneer wij deze botssnelheden in relatie tot de eerder gegeven rijnsnelheden brengen, ontstaat voor Mofa's:

$$\frac{V50 \text{ bots}}{V50 \text{ rij}} = 69\% \quad \text{en voor Mokick/Moped :} \quad \frac{V50 \text{ bots}}{V50 \text{ rij}} = 67\%$$

Al met al blijkt er op deze wijze voor tweewielers een redelijk consistente verhouding van tussen 60 en 70% uit te komen, echter met de al eerder aangegeven beperkingen ten aanzien van hardheid en herkomst van de gegevens.

Uit de Nederlandse ongevallensituatie blijken (nog) geen onderzoekbestanden aanwezig met snelheidsgegevens.

Ook (rij)snelheidsgegevens sec blijken niet systematisch verzameld te zijn, althans met betrekking tot tweewielers.

In 1975 werden door de SWOV enige snelheidsmetingen verricht ten behoeve van een consult over de snorfiets (SWOV, 1976). In Afbeelding 14 zijn de resultaten van deze metingen weergegeven; zij betreffen fietsen en bromfietsen. Er is gemeten op diverse wegvakken binnen en buiten de bebouwde kom. De gemiddelde rijnsnelheid van fietsen bedroeg ca. 18 km/uur en van bromfietsen ca. 40 km/uur.

Opvallend is het geringe verschil tussen de gemiddelde snelheid binnen en buiten de bebouwde kom.

Deze snelheidsgegevens corresponderen voor wat de fietsers betreft redelijk met die van Otte; voor wat de bromfietsers betreft liggen zij duidelijk hoger dan die van Otte.

Door het IWACC zijn in het kader van het VLVR-project enige snelheidswaarnemingen van fietsers verricht. Het IWACC komt tot de algemene slotsom dat fietssnelheden tussen 12 en 40 km/uur voorkomen, waarbij de lagere snelheidsregionen vooral gelden voor woon-winkelverkeer en oudere mensen, de middenregionen vooral voor woon-werkverkeer en de hogere regionen vooral voor scholieren.

2.2. Samenvatting

Praktijkgegevens welke de relatie tussen rij- en botssnelheid direct weergeven ontbreken in de literatuur, ondanks het feit dat beide grootheden bij verschillende studies werden geregistreerd.

Ook is niet bekend hoe vaak er voor botsingen geremd werd door de betrokkenen.

Indirect valt uit de combinatie van de afzonderlijke snelheidsverdelingen van rij- en botssnelheid bij een aantal studies een soort verband te ontdekken, waarvan de orde grootte is uit te drukken in de verhouding tussen de gemiddelde snelheden, resp. de 50-percentielwaarden daarvan. Deze verhouding ligt bij de Duitse studie tussen 60 en 70% voor de tweewielers en bij de Amerikaanse studie op ca. 80% voor de motorvoertuigen.

3. RELATIE TUSSEN BOTSSNELHEID EN AFLOOP BIJ ONGEVALLLEN

De werkelijke relatie tussen de botssnelheid en de afloop van botsingen tussen tweewielers en personen- of vrachtauto's, dient aan de hand van ongevallen te worden vastgesteld in de praktijk.

Alleen daar is immers een juist beeld van de afloop (in termen van letsel en letselernst) te verkrijgen en alleen daar kan men het volledige scala van botstypen tegenkomen. Toch kent praktijkonderzoek aan ongevallen zijn beperkingen en één daarvan is de moeilijkheid van het (achteraf) vaststellen van de (bots)snelheden.

Dat vaststellen dient per individuele botsing te gebeuren om de statistische relatie tussen botssnelheid en afloop uiteindelijk te kunnen bepalen.

De reconstructie van rij- en botssnelheden aan de hand van schadebeeld en sporen op het wegdek, ondersteund door de eerder vermelde theoretische wetmatigheden is met betrekking tot personenauto's redelijk goed ontwikkeld (Burg & Rau, 1981).

Anders dan bij botsingen tussen auto's onderling, ontstaat er bij botsingen tussen tweewielers en auto's betrekkelijk weinig schade aan de auto, uiteraard omdat de massa van de fietser + fiets zo klein is ten opzichte van die van de auto, terwijl de autoconstructie veel stijver is dan die van de fiets.

Hierdoor hebben impuls- en energiebeschouwingen geen zin (de auto vertraagt nauwelijks door de botsing en verandert nauwelijks van richting) Men zal dan ook in het algemeen moeten terugvallen op reconstructie via remsporen (als die er tenminste zijn).

Met behulp van botsproeven is door verschillende onderzoekers naar een samenhang gezocht tussen botssnelheid en "werpafstand" van fiets en fietsers. Onder werpafstand wordt dan verstaan de afstand tussen de plaats van de botsing (eerste contact) en de plek waar fiets, resp. fietser tenslotte terecht komt (Burg & Rau, 1981).

Dergelijke gegevens dragen ertoe bij dat de botssnelheid behalve via remsporen ook via bovenbedoelde relatie tussen botssnelheid en werpafstand valt te benaderen.

Een en ander geeft al wel aan dat hier sprake is van een arbeidsintensieve onderzoeksmethode die weliswaar tot betrouwbare resultaten kan

leiden, doch tegelijk als groot nadeel kent dat slechts weinig ongevallen per tijdeenheid onderzocht kunnen worden. Statistische beschouwingen zijn dan slechts in beperkte mate mogelijk, tenzij jarenlange verzamelingen van gegevens worden opgebouwd.

Toch blijft de hier bedoelde "in depth"-onderzoekmethode, waarbij de plaats van het ongeval bezocht wordt en de voertuigen nauwkeurig op contact en schade worden onderzocht, van grote betekenis voor tweewielerongevallen. Zeker zolang over de belangrijkste relaties nog zo weinig bekend blijkt als thans, zal dit praktijkonderzoek naast botsproeven en andere simulaties (o.a. mathematische) een belangrijke kennisbron zijn.

De op dit moment beschikbare literatuur op het gebied van tweewielerongevallenstudies bevestigt hoe weinig gegevens over de theoretisch zo belangrijke relatie tussen (bots)snelheid en afloop zijn gerapporteerd. Een goede illustratie hiervan geeft het onlangs uitgebrachte eindrapport van de EEVC (European Experimental Vehicles Committee) Werkgroep 8. Dit rapport geeft een overzicht van relevante tweewielergegevens, met name ook uit ongevallenonderzoek.

Met betrekking tot de relatie tussen botssnelheid en afloop is daar alleen een Amerikaans onderzoek aangehaald (Roland e.a., 1979). Spuurwerk in de overige aangehaalde literatuur leverde nog drie andere studies op welke voor ons doel bruikbaar zijn (Hunter e.a., 1978; Otte e.a., 1979; Gauss e.a., 1982).

In het navolgende zal op deze studies en de relevante resultaten nader worden ingegaan. Vrijwel alle literatuur heeft betrekking op fietsers.

Over bromfietserongevallen is nog erg weinig gerapporteerd; een probleem vormen daarbij de verschillen in uitvoeringsvormen die in de verschillende landen zijn toegelaten. We zullen ons hier beperken tot tweewielers met een cilinderinhoud van maximaal 50cc.

Over motorfietsen is wel meer literatuur te vinden, doch deze categorie tweewielers valt buiten het kader van dit rapport, zowel door haar eigenschappen (veel zwaarder en sneller dan fietsen en bromfietsen), als door het feit dat ze tot snelverkeer worden gerekend en dus niet tot de probleemgroep horen voor wie eventueel de voorrang gaat wijzigen.

Uit de literatuur komt duidelijk naar voren dat de afloop van een botsing met een tweewieler zeer sterk mede wordt bepaald door het type botsing. Om die reden wordt van alle bovengenoemde studies de verdeling naar botstype besproken. Dit onderscheid naar botstype is trouwens ook theoretisch relevant vanwege het grote verschil in kinematische aspecten (de snelheidsvectoren) en de plaats waar de botsende voertuigen elkaar raken. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een overzicht van Nederlandse ongevalgegevens met betrekking tot tweewielers, waaraan echter, zoals eerder opgemerkt, snelheidsgegevens ontbreken.

3.1. De studie van Hunter e.a. (1978)

Hunter onderzocht 3441 motorvoertuig-fietsongevallen in North Carolina uit de jaren 1974-1976.

Het onderzoek was bedoeld als updating van een eerdere studie. De ongevallen werden gemeld aan het Department of Transportation van North Carolina en voldeden in principe aan de criteria van tenminste persoonlijke letsel of \$ 200 schade.

Aan het aantal cases is te zien dat het niet om "in depth"-onderzoek is gegaan, doch om aan en door de politie geregistreerde ongevallen, waaraan door de onderzoekers vanaf de processen verbaal gegevens voor een computerbestand werden ontleend.

Voor de analyse werd van een zeer eenvoudige letselernstschaal gebruik gemaakt, die alleen het verschil in dodelijke en niet-dodelijke afloop aangaf.

Botstypen

In het onderzoek werd geen variabele gebruikt die het botstype direct aangaf. (Onder botstype wordt verstaan de typering van de bij de botsing geraakte voertuigdelen van beide voertuigen in één variabele, zoals front-front of front-flank).

Wel heeft men per voertuig afzonderlijk het eerst geraakte deel ('point of contact') geregistreerd.

Voor de fietsen bleek dat slechts in zéér weinig gevallen gelukt te zijn, zodat moet worden aangenomen dat de verdeling niet representatief is:

front	37 (46,3%)
links	20 (25,0%)
rechts	5 (6,3%)
achter	18 (22,5%)

Totaal 80 (100 %)

Slechts weinig meer is er bekend over de manoeuvre van fietsen die tegen personenauto's botsten:

rechtuitgaand	58 (53,7%)
passerend	15 (13,9%)
linksafslaand	10 (9,3%)
rechtsafslaand	5 (4,6%)
anders	20 (18,5%)

Totaal 108 (100%)

De verdeling van het eerst geraakte deel bij de motorvoertuigen in botsing met fietsen is als volgt:

front	1440 (44,8%)
links voor	252 (7,8%)
rechts voor	345 (10,7%)
flank	1036 (32,2%)
achter	87 (2,7%)
anders	54 (1,7%)

Totaal 3214 (100%)

Uit de laatste tabel blijkt dat het front van de motorvoertuigen het meest betrokken is bij botsingen met fietsers, zeker als daarbij ook nog een deel van de hoekpunt gevallen geteld wordt.

Uit bovenstaande kan helaas geen completer beeld worden gevormd over de verdeling van het beoogde botstype; daarvoor ontbreken te veel gegevens van de fietsers.

Snelheid en afloop

De (globale) botssnelheid van de fiets werd slechts in 94 van de 3441 gevallen gerapporteerd. De (globale) botssnelheid van de auto werd in 3244 gevallen verkregen.

Het resultaat van de crossing (globale) botssnelheid van de auto tegen afloop is hieronder weergegeven.

De snelheidsklassen waren oorspronkelijk in mijlen per uur genoteerd.

Snelheid (km/uur)	Afloop	
	niet fataal	fataal
0-32	1064 (33,6)	1 (1,3)
32-64	1432 (45,3)	25 (31,3)
64-96	646 (20,4)	47 (58,8)
96 +	22 (0,7)	7 (8,8)
Totaal	3164 (100)	80 (100)

$$(X^2 = 138,62; df = 3, p < 0,005)$$

De X^2 -toets wijst op een zeer significant verschil. In de eindconclusie van het rapport wordt als een soort understatement vermeld dat dodelijke afloop bij deze ongevallen met fietsers duidelijk geassocieerd was met hogere botssnelheden van het motorvoertuig.

3.2. De studie van Roland e.a. (1979)

Roland onderzocht "in depth" ca. 700 motorvoertuig-fietsongevallen in het gebied in en rond Los Angeles. Er wordt melding gemaakt van het probleem dat een team vrijwel altijd te laat komt om de betrokken voertuigen (en slachtoffers) nog in de oorspronkelijke eindtoestand aan te treffen.

Men maakte gebruik van de internationaal toegepaste letselerstcodering volgens het AIS-systeem. Dit systeem heet voluit Abbreviated Injury Scale en is speciaal voor ongevalsonderzoek(ers) ontwikkeld door de Amerikaanse Association for Automotive Medicine. In principe kent dit systeem aan alle afzonderlijke letsels een individueel letselerstcijfer toe, volgens een schaal die loopt van 1 (licht letsel) tot 5 (levensgevaarlijk letsel). Voor zeer specifieke letsels is er nog een categorie 6 (dodelijk letsel). Op basis van het letselpatroon kan men dezelfde ernst-schaal ook toepassen op de totale ernst van een gewonde. Men komt dan tot een "overall"-waardering, genaamd OAIS of ook wel OSI.

De bestaande categorieën werden in deze studie weer ingedikt tot twee "overall"-categorieën:

- geen letsel, licht en matig letsel (OAIS 0, 1 en 2)
- ernstig t/m dodelijk letsel (OAIS 3 t/m 6)

15% der fietsers viel in die laatste categorie.

Botstypen

De contactplaatsen van het motorvoertuig op de fiets waren als volgt verdeeld:

front	180	(25,6%)
links	348	(49,6%)
rechts	149	(21,2%)
achter	25	(3,6%)
<hr/>		
Totaal	702	(100)

De tabel geeft een zeer hoog aandeel voor de beide flanken (ca. 71%).

De contactplaatsen van de fiets op het motorvoertuig waren als volgt verdeeld:

front	444	(63,2%)
links	75	(10,7%)
rechts	164	(23,4%)
achter	13	(1,9%)
overig	6	(0,9%)
Totaal	702	(100)

Men kan (voorzichtig) de gegevens uit beide tabellen combineren door te veronderstellen dat de combinatie front auto tegen flank fiets in ca. 60% is voorgekomen en de combinatie front fiets tegen flank auto in ca. 25%.

Snelheid en afloop

Zowel de botssnelheid van de fiets als die van de auto bleken te zijn vastgesteld. Het rapport geeft niet aan hoe. Deze botssnelheden worden "geschat" genoemd.

Overigens werden ook rij-snelheden vastgesteld (zie hierover Hoofdstuk 2 over rij- en botssnelheden).

De relatie tussen de (geschatte) botssnelheid van het motorvoertuig en de letselerst voor de fietser laat onderstaand resultaat zien:

Overall AIS fietser	Botssnelheid (km/uur) motorvoertuig			
	0-24	24-40	40+	Totaal
0 t/m 2	407 (89,8)	43 (58,1)	26 (54,2)	476 (82,8)
3 t/m 6	46 (10,2)	31 (41,9)	22 (45,8)	99 (17,2)
Totaal	453 (100)	74 (100)	48 (100)	575 (100)

$$(X^2 = 75,04; df = 2; p = 0,0000)$$

Het verschil dat de tabel laat zien is erg groot, met name bij de overgang van de eerste naar de tweede snelheids categorie (ca. 24 km/uur).

Roland heeft ook een tabel opgenomen waarin de (geschatte) botssnelheid van de fiets tegen de letselernst voor de fietser staat weergegeven:

Overall AIS fietser	Botssnelheid (km/uur) fiets				Totaal
	0-8	8-16	16-24	24+	
0 t/m 2	163 (87,6)	241 (85,2)	68 (75,6)	41 (78,8)	513 (89,0)
3 t/m 6	23 (12,4)	42 (14,8)	22 (24,4)	11 (21,2)	98 (16,0)
Totaal	186 (30,4)	283 (46,3)	90 (14,7)	52 (8,5)	611 (100)

$(\chi^2 = 7,90; df = 3; p = 0,0482)$

De tabel laat een (net) significant verschil zien, dat duidelijk minder spectaculair is dan dat uit de vorige tabel. Een soort breuk ziet men tussen de snelheids categorie 8-16 en 16-24 km/uur. Het zou kunnen zijn dat de toename van het aandeel slachtoffers in de categorie O AIS 3 t/m 6 vooral samenhangt met het botstype front fiets tegen flank auto, waarvan naar schatting zo'n 25% voorkomt. Bij dit type mag theoretisch een verband tussen de eigen snelheid en de afloop worden verwacht als men de auto als een soort vast 'obstakel' beschouwt. Het (overigens zeer gedetailleerde) rapport van Roland geeft daarover geen uitsluitel.

3.3. De studie van Otte e.a. (1979).

Van 1974 tot 1979 zijn via de "in depth"-onderzoekmethode gegevens van 263 tweewieler-motorvoertuigongevallen verzameld, vanuit de omgeving van Hannover.

Het materiaal omvat 136 motorvoertuig-fietsongevallen. De overige hebben betrekking op gemotoriseerde tweewielers, namelijk 37 Mofa's, 28 Mopeds en 62 overige motortweewielers waaronder ook Mokick's.

Mofa en Moped/Mokick zijn zoals gezegd te vergelijken met respectievelijk

de Nederlandse snorfiets en bromfiets. Helaas zijn de onderzoekresultaten van de gemotoriseerde tweewielers niet of nauwelijks te scheiden. Hetgeen volgt heeft daarom vooral betrekking op de fietsongevallen waarover diverse rapporten zijn verschenen en waar mogelijk worden Mofa- en Moped-/Mokick-gegevens gebruikt.

De snelheden der betrokken voertuigen werden bepaald aan de hand van de eerder genoemde theoretische reconstructietechnieken. De auteurs geven aan dat hierbij met een flinke marge rekening dient te worden gehouden. Letselernst wordt uitgedrukt met behulp van het eerdergenoemde AIS-systeem.

Botstypen

In deze studie wordt grote waarde gehecht aan een consequent onderscheid naar botstypen. Daartoe is een indeling naar vijf soorten ontwikkeld (Afbeelding 15) en een categorie "overig". De indeling is vooral gebaseerd op de botsrichting van de tweewielers ten opzichte van het motorvoertuig.

De verdeling van deze botstypen bij motorvoertuig-fietsongevallen is weergegeven in Afbeelding 16, waarbij tevens de OAIS van de slachtoffers staat genoteerd.

Type I komt het meest voor (fiets in de flank getroffen) gevolgd door type V (fiets van achter getroffen), resp. 45,6 en 20,6%.

Ter vergelijking hiermee dient Afbeelding 17, waarin de verdeling naar botstype van de gemotoriseerde tweewielers is weergegeven en de bijbehorende OAIS-verdeling der slachtoffers.

Ook bij deze ongevallen scoort het 'front auto tegen flank fiets'-type het hoogste. Dit type botsing is evenals bij de fietsers zeer nadrukkelijk geassocieerd met kruispunten.

Relatie tussen botssnelheid en afloop ongeval

Ongeacht de marge die hoort bij gereconstrueerde (bots)snelheden, vertoont de relatie tussen botssnelheid (personenauto) en letselernst (fietsers) hier een breed spreidingsgebied, dat het gevolg is van diverse invloedsfactoren, zoals het botstype, de plaats waar de auto geraakt werd etc., die bij individuele botsingen telkens weer andere coördinaten opleveren.

Afbeelding 18 is daarvan een zeer duidelijke illustratie, gebaseerd op ca. 100 gevallen. Ondanks de spreiding der resultaten valt toch wel een trend waar te nemen zoals aangeduid door de beide begrenzingslijnen. In een latere versie van de relatie, waarin alle 136 gevallen werden benut (Afbeelding 19), is ook een gemiddelde getrokken, dat gezien de spreiding echter niet realistisch lijkt. Men kan uit deze figuur vaststellen dat bij botssnelheden van motorvoertuigen van onder ca. 30 km/uur geen dodelijk (OAIS=6) letsel voorkomt, doch ook dat bij snelheden tot ca. 50 km/uur de laagste letselernst nog mogelijk is. Voor de zekerheid wordt opgemerkt dat de totale groep motorvoertuigen een klein percentage bestel- en vrachtauto's omvat, waarover echter in de rapportage geen exactere gegevens te vinden zijn.

3.4. De studie van Gauss e.a. (1982)

In deze Duitse studie werd gebruik gemaakt van het gigantische bestand van het HUK-Verband, een collectief van schadeverzekeraars in de Bondsrepubliek Duitsland.

Hieruit werden ongevallen met vrachtauto's gelicht ($\geq 3,5$ ton) en uit die gevallen werden alle vrachtauto-tweewielerbotsingen genomen. Hierbij zijn zowel fietsers als gemotoriseerde tweewielers betrokken. Over bleven 168 vrachtauto-fietsongevallen, 140 gevallen van lichte gemotoriseerde tweewielers en 82 van zware gemotoriseerde tweewielers.

Deze laatste groep hoort zeker niet bij de in deze bijdrage beoogde doelgroep, zodat we ons beperken tot de fietsers en de lichte gemotoriseerde tweewielers.

De publikatie geeft geen directe relatie tussen botssnelheid en afloop, doch gaat wel in op de verdeling van de botssnelheden van vrachtauto's en tweewielers.

Botstypen

De 168 vrachtauto-fietsongevallen zijn naar botstype en plaats ongeval binnen of buiten de bebouwde kom weergegeven in Afbeelding 20. Tevens is de letselernst voor de fietsers weergegeven via de OSI-schaal (= Overall AIS).

We zien een duidelijk ander beeld dan bij de personenauto-fietsongevallen.

Het meest vertegenwoordigd is het type 'Seite-Seite' (33,4%) waarbij beide voertuigen in dezelfde richting rijden.

[Bij dit type ongeval dat onder andere kan ontstaan bij afslaan van de vrachtauto naar rechts, speelt het gebrek aan zicht voor de bestuurder van de vrachtauto een grote rol. Dit probleem werd in de Nederlandse situatie reeds beschreven in het SWOV-consult "Het zichtveld van bestuurders van vrachtwagens" (R-81-20).]

Als tweede en derde botstypen komen front-flank en flank-front te voorschijn met ieder ca. 20%.

Relatie tussen botssnelheid en afloop ongeval

Zoals gezegd wordt hier geen directe relatie tussen botssnelheid en afloop gegeven, doch wel is beschikbaar de verdeling van de botssnelheden van de vrachtauto's.

Afbeelding 21 geeft deze verdeling voor vrachtauto-fietsbotsingen, Afbeelding 22 voor vrachtauto - lichte motortweewielerbotsingen. Afbeelding 23 geeft van die botsingen de botssnelheid van de tweewieler.

Bij de fietserongevallen (waarbij van 101 van de 168 gevallen een botsnelheid beschikbaar is) valt op dat stilstaande en langzaam rijdende vrachtauto's het merendeel vormen, waarbij met name het grote aandeel tot 15 km/uur met 50% uitsteekt.

Over de (bots)snelheid van de fietser is geen afbeelding beschikbaar. Het rapport zegt dat ca. 85% der fietsers onder 15 km/uur reed en dat bij 10% der gevallen de fietser stilstond toen hij door de vrachtauto werd aangereden.

Bij de lichte gemotoriseerde tweewielers valt een soortgelijke verdeling waar te nemen. In dit geval is van 124 van de totaal 140 gevallen de botssnelheid van de vrachtauto's bekend (Afbeelding 22).

Ook hier geldt: meer dan de helft van de botsingen vindt plaats met snelheden onder 15 km/uur en onder 30 km/uur vindt ca. 80% plaats.

De botssnelheden der tweewielers (Afbeelding 23) laat een aan deze categorie aangepaste snelheidsverdeling zien waarbij de nadruk op de categorie 16-30 km/uur ligt (ca. 57%).

De botssnelheid is beschikbaar bij 112 van de 140 tweewielers.

In dit rapport wordt aangegeven dat voor alle groepen tweewielers geldt dat het botssnelheidsniveau van de vrachtauto relatief laag ligt. Maar dat dit vrijwel geen invloed op de afloop had, die overigens zeer ernstig was.

Bij fietsers is het aandeel OAIS 3 t/m 6 ca. 30%; bij lichte motortweewielers is het aandeel ca. 33%; hetgeen aanzienlijk hoger lijkt dan de overeenkomstige aandelen bij personenauto-tweewielerbotsingen.

3.5. De Nederlandse situatie

Dit overzicht van de Nederlandse situatie is ontleend aan het SWOV-rapport "Een beschrijving van fietser en bromfietserongevallen ten behoeve van prioriteitsindelingen bij het letselpreventie-onderzoek" (Huijbers, 1984).

In dit rapport worden nationale ongevalgegevens benut afkomstig van de Dienst Verkeersongevallenregistratie (VOR) en wel die met betrekking tot dodelijke afloop en die met letsel. Van ongevallen met alleen schade bestaat geen deugdelijke registratie. VOR-gegevens zijn gebaseerd op politie-informatie.

Aan de gegevens in het VOR-bestand ontbreken enkele voor ongevallenanalyse zeer relevante gegevens zoals de (gereconstrueerde) rij- en botsnelheden der betrokkenen. Ook zijn nauwelijks gegevens beschikbaar over de afloop. Volstaan wordt met het gegeven dood, gewond + ziekenhuisopname en gewond zonder ziekenhuisopname, welke laatste groep in het aangehaalde SWOV-rapport buiten beschouwing blijft, zodat niet van een voor de gehele Nederlandse ongevallensituatie representatieve afloop mag worden gesproken. Wel is zeker dat de beschouwde gegevens met betrekking tot doden nagenoeg 100% compleet zijn en met betrekking tot ziekenhuisgewonden zodanig compleet dat daarvan een betrouwbaar beeld ontstaat.

Voor het onderwerp in dit rapport zijn de gegevens over botstypen uit het aangehaalde SWOV-rapport zeker relevant te noemen, ondanks de hierboven aangeduide mankementen. Wel is te hopen dat de SWOV in staat gesteld wordt ontbrekende gegevens zoals die over snelheid en andere noodzakelijke analysegegevens middels ongevallenonderzoek te (doen) achterhalen. Onder botstypen worden in het SWOV-rapport verstaan de op VOR-aangrijppunten (Afbeelding 24) gebaseerde botstypeverdeling (Afbeelding 25). Hierna zijn de procentuele verdelingen van deze botstypen weergegeven. Het eerste blok geeft de verdelingen bij fietsongevallen, het tweede bij

bromfietsongevallen. De ongevallen zijn ingedeeld naar botsingen met personenauto's en met vrachtauto's en tevens naar dodelijke afloop en ziekenhuisopname. De afloop geldt uiteraard voor de fietsers en bromfietsers. De gegevens hebben betrekking op de jaren 1978 en 1979.

Botstyp	Fietsbotsingen tegen			
	personenauto met dodelijke afloop	personenauto met ziekenhuisopname	vrachtauto met dodelijke afl.	vrachtauto met ziekenhuisopname
F1 (front-flank)	65	60	43	42
F2 (front-front)	12	18	20	12
F3 (front-achter)	15	6	6	4
S1 (flank-front)	5	9	9	18
S2 (flank-flank)	1	2	13	9
R1 (achter-front)	-	4	3	11
R2 (achter-flank)	2	1	6	4
Totaal	100% (493)	100% (4475)	100% (170)	100% (5238)

Botstyp	Bromfietsbotsingen tegen			
	personenauto met dodelijke afloop	personenauto met ziekenhuis opname	vrachtauto met dodelijke afl.	vrachtauto met ziekenhuis opname
F1 (front-flank)	62	40	35	27
F2 (front-front)	19	31	22	26
F3 (front-achter)	3	1	-	-
S1 (flank-front)	13	14	14	19
S2 (flank-flank)	2	2	7	1
R1 (achter-front)	-	10	21	27
R2 (achter-flank)	1	1	1	1
Totaal	100% (150)	100% (337)	100% (68)	100% (515)

De verdelingen wijken op details nogal van elkaar af, doch bij alle is het meest voorkomende botstypede front-flank (F1) combinatie, welke men vooral met kruispuntongevallen associeert.

Met name bij fiets- autobotsingen is dat aandeel zeer hoog: 60-65 %. Als 'goede tweede' ziet men in de meeste gevallen het frontale botstypede (F2).

Het patroon bij bromfietsbotsingen is wat anders dan bij fietsbotsingen. Bromfietsen rijden kennelijk vaker in de flanken van motorvoertuigen (type S1) en bij vrachtauto's valt het relatief hoge aandeel achteraanrijdingen op (type R1).

3.6. Samenvatting

Aan de hand van vier buitenlandse ongevallenonderzoeken is getracht de theoretische relaties tussen rijnsnelheid en botssnelheid enerzijds en de botssnelheid en afloop anderzijds te toetsen aan de praktijk. Een aantal auteurs hechtte grote waarde aan een onderscheid naar botstypede, gezien het gemiddelde verschil in afloop voor die afzonderlijke typen. Bij vrijwel alle studies kwam het botstypede front auto tegen flank fiets/bromfiets als meest frequent voorkomende te voorschijn. Dit botstypede is begrijpelijkerwijs sterk geassocieerd met kruispuntongevallen.

Ook bij verkeersongevallen in Nederland komt dat botstypede nadrukkelijk als eerste uit de bus, vooral bij personenauto-fietsbotsingen.

In zoverre valt er in ieder geval van een redelijke overeenkomst in het ongevallenbeeld te constateren tussen de verschillende studies.

Voor het overige mag echter op aanzienlijker verschillen worden gerekend. Wat de Amerikaanse studies betreft zijn vooral de samenstelling van het voertuigenpark, de weg- en verkeerskenmerken sterk afwijkend van de Nederlandse situatie. Voor de Duitse studies mag een veel minder groot verschil worden verondersteld, doch daarbij geldt vooral dat geen compleet en vermoedelijk geen representatief beeld is gegeven van die Duitse situatie.

Onder het voorbehoud dat door bovenstaande verschillen met de Nederlandse (bots)omstandigheden geen directe vergelijkbaarheid van resultaten hoeft te bestaan, kan toch wel van een gemeenschappelijke lijn worden gesproken.

4. CONCLUSIES

Uit alle behandelde studies blijkt dat hetgeen in Hoofdstuk 1 van dit rapport werd gesteld over de relatie tussen botssnelheid en afloop wordt bevestigd. Botssnelheid is een belangrijke factor bij het ontstaan van letsel, zowel bij fietsers als bij bromfietsers.

In kwantitatieve zin is uit de studies van Hunter en Otte vast te stellen dat bij botssnelheden onder ca. 30 km/uur (vrijwel) geen dodelijk letsel bij fietsers voorkomt. Bij Roland neemt het aandeel ernstig t/m fataal gewonde slachtoffers met een factor vier toe boven ca. 24 km/uur.

Er zou dus een "drempelwaarde" kunnen bestaan, vermoedelijk ergens onder of nabij 30 km/uur, die bij botsingen niet overschreden zou moeten worden om althans zo weinig mogelijk ernstig gewonden te hebben.

In hoeverre dat betekenis heeft voor de rijsnelheden (relevant voor het probleem VLVR) zou moeten volgen uit de relatie tussen rijsnelheid en botssnelheid welke in par. 2.1 gezocht werd. Helaas laten de (buitenlandse) studies slechts een zeer globale conclusie toe, die nauwelijks meer informatie biedt dan op theoretische overwegingen kan worden vastgesteld. Ook voor de Nederlandse situatie zal dus gelden dat botssnelheden gemiddeld een aantal km/uur lager liggen dan rijsnelheden, maar daarmee is niet gezegd hoeveel lager.

Wel algemeen geldig is de conclusie dat verlaging van de rijsnelheid tot verlaging van de botssnelheid zal leiden en dit is zoals in het voorgaande aangetoond van grote positieve betekenis voor de afloop van botsingen. Ook van algemene betekenis is de constatering dat zowel theoretisch als in de praktijk is vastgesteld dat de motorvoertuig-tweewielerconflictsituatie een zeer grote mate van ongelijkwaardigheid (incompatibiliteit) bij botsingen betekent. Dit komt nog eens extra tot uiting bij botsingen met vrachtauto's die door hun massa-overwicht en hun andere structurele eigenschappen en niet eens zozeer door de invloed van de botssnelheid, voor een aanzienlijk slechtere afloop voor de tweewielers zorgen dan bij botsingen met personenauto's.

Structurele oplossingen voor dit probleem lijken bij vrachtauto's vrijwel uitsluitend mogelijk door conflicten tussen deze categorie en tweewielers geheel te vermijden. Aan personenauto's valt volgens moderne inzichten een aantal voor tweewielers (en voetgangers) letselpreventieve maatregelen te treffen. Doch ook in dat kader wordt de positieve invloed van (bots)snelheidsreductie boven aan de lijst gezet.

LITERATUUR

Burg, H. & Rau, H. (1981). Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion. Verlag Information Ambs GmbH, Kippenheim, 1981.

EEVC (1982). Pedestrian injury accidents. European Experimental Vehicles Committee, Kyoto, 1982.

EEVC (1984). Cycle and light powered two-wheeler accidents. European Experimental Vehicles Committee, 1984.

Gauss, F. et al. (1982). Äussere Sicherheit von Lkw und Anhängern. FAT Schriftenreihe Nr. 27. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.v., Frankfurt am Main, 1982.

Hunter, W.W. et al. (1979). An analysis of bicycle accidents in North Carolina: 1974-1976. University of North Carolina, Highway Safety Research Center, Chapel Hill, 1978.

Huijbers, J.J.W. (1984). Een beschrijving van fietser- en bromfietsongevallen ten behoeve van prioriteitsindelingen bij het letselpreventie-onderzoek. R-84-38. SWOV, Leidschendam, 1984.

Otte, D. et al. (1979). Unfallursachen und Verletzungsmechanismen bei Fahrradunfällen; Möglichkeiten und Grenzen der Rekonstruktion. In: Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr Heft 21 (1979), pp. 269-284.

Otte, D. (1980). A review of different kinematic forms in two-wheel accidents; Their influence on effectiveness of protective measures. SAE 801314 In: Proceedings of Twenty-Fourth Stapp Car Crash Conference, pp. 563-605. SAE, 1980.

Otte, D. et al. (1980). Unfallcharakteristik von Fahrrädern; Analyse durch Erhebungen am Unfallort. Der Verkehrsunfall 18 (1980) 3 : 63-66 en 4 : 72-76.

Otte, D. et al. (1981). Unfallauslösende Faktoren bei motorisierten Zweirädern. Der Verkehrsunfall 19 (1981) 9 : 164-168.

Otte, D. (1982). Eruierbare Veränderungen an motorisierten Zweirädern und Geschwindigkeitsüberschreitungen bei Teilnahme am öffentlichen Strassenverkehr. Der Verkehrsunfall 20 (1982) 7/8: 149-154.

Roland, H.E. et al. (1979). Investigation of motor vehicle/bicycle collision parameters, Volume 1. University of Southern California, Traffic Safety Center, Los Angeles, 1979.

SWOV (1976). Snorfiets, veilig of niet? Te verwachten consequenties van de eventuele invoering van de snorfiets voor de verkeersveiligheid. Consult in opdracht van de Minister van Verkeer en Waterstaat. Publikatie 1976-1N. SWOV, 1976.

AFBEELDINGEN

Afbeelding 1A. Eenvoudig fasemodel.

Afbeelding 1B. Fasemodel van het ongevalsproces op elementair niveau.

Afbeelding 2. Formules voor eenparig vertraagde beweging.

Afbeelding 3. Grafische weergave van $w=v+bt$; voor $b=-4$ en $b=-8$.

Afbeelding 4. Grafische weergave van $w=\sqrt{v^2+2bs}$; voor $b=-4$.

Afbeelding 5. Grafische weergave van $w=\frac{2s}{t}-v$; voor $s=5$ (arbitraire keus).

Afbeelding 6. Verdeling van de geschatte botssnelheden van motorvoertuigen tegen de geschatte botssnelheden van fietsen bij 508 fiets-motorvoertuigbotsingen. (Bron: Roland, 1979).

Afbeelding 7. Verdeling van de geschatte rijsnelheden van motorvoertuigen tegen letselernst (OAIS) van fietsers bij 578 fiets-motorvoertuigbotsingen. (Bron: Roland, 1979)

Afbeelding 8. Cumulatieve verdeling van gemeten rijsnelheden van 388 fietsers en 346 gemotoriseerde tweewielers tijdens verkeersdeelname. (Bron: Otte, 1982).

Afbeelding 9. Cumulatieve verdeling van gemeten rijsnelheden van 99 Mofa's tijdens verkeersdeelname. (Bron: Otte, 1982).

Afbeelding 10. Gemeten rijsnelheden van 104 Mokick's tijdens verkeersdeelname. (Bron: Otte, 1982).

Afbeelding 11. Verdeling naar snelheidsklassen van gereconstrueerde botssnelheden van 136 fietsers bij fiets-motorvoertuigongevallen. (Bron: Otte et al., 1980).

Afbeelding 12. Cumulatieve verdeling van botssnelheden (op twee manieren bepaald) van motorvoertuigen betrokken bij fiets-motorvoertuigongevallen. (Bron: Otte et al., 1980).

Afbeelding 13. Cumulatieve verdeling van gereconstrueerde botssnelheden van gemotoriseerde tweewielers naar soort. (Bron: Otte, 1982).

Afbeelding 14. Overzicht van de gemeten rijksnelheden van fietsers en bromfietsers op een aantal telpunten in oktober t/m december 1975. (Bron: SWOV, 1976).

Afbeelding 15. Indeling van botstypen. (Bron: Otte, 1980).

Afbeelding 16. Botstypeverdeling en letselernstverdeling (OAIS) van fietsers bij 136 fiets-motorvoertuigongevallen. (Bron: Otte, 1980).

Afbeelding 17. Botstypeverdeling en letselernstverdeling (OAIS) van motortweewielerberijders bij 127 motortweewieler-motorvoertuigongevallen. (Bron: Otte, 1980).

Afbeelding 18. Relatie tussen botssnelheden van personenauto's en letselernst (OAIS) van fietsers. (Bron: Otte et al., 1979).

Afbeelding 19. Relatie tussen botssnelheden van motorvoertuigen en letselernst (OAIS) van fietsers. (Bron: Otte et al., 1980).

Afbeelding 20. Botstype tegen letselernst (OSI) van fietsers bij 168 fiets-vrachtauto-ongevallen. (Bron: Gauss et al., 1982).

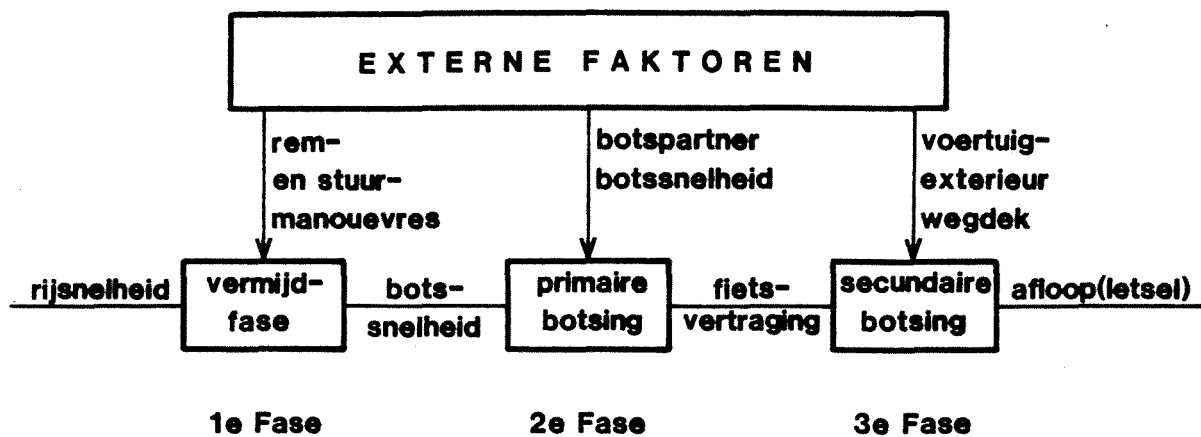
Afbeelding 21. Geraakte zijden van vrachtauto's tegen botssnelheden van vrachtauto's bij 101 van de 168 fiets-vrachtauto-ongevallen. (Bron: Gauss et al., 1982).

Afbeelding 22. Geraakte zijden van vrachtauto's tegen botssnelheden van vrachtauto's bij 124 van de 140 vrachtauto-lichte motortweewielerongevallen. (Bron: Gauss et al., 1982).

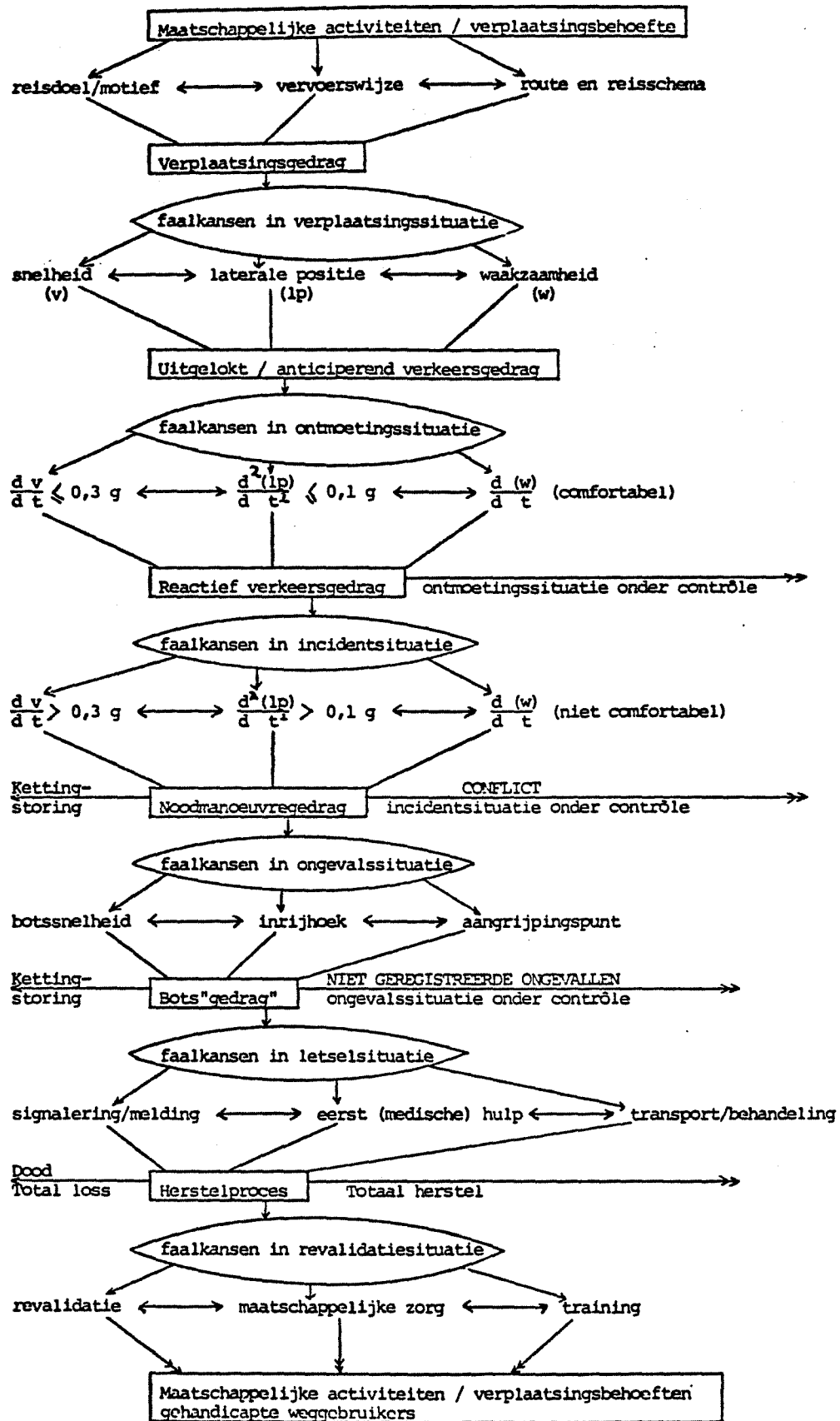
Afbeelding 23. Geraakte zijden van vrachtauto's tegen botssnelheden van tweewielers bij 112 van de 140 vrachtauto-lichte motortweewielerongevallen. (Bron: Gauss et al., 1982).

Afbeelding 24. Aangrijppunten volgens VOR. (Bron: Huijbers, 1984).

Afbeelding 25. Indeling naar botstypen. (Bron: Huijbers, 1984).



Afbeelding 1A. Eenvoudig fasemodel.



Legenda: — vormt tezamen; —> bepaalt (mede); <— in samenhang met.

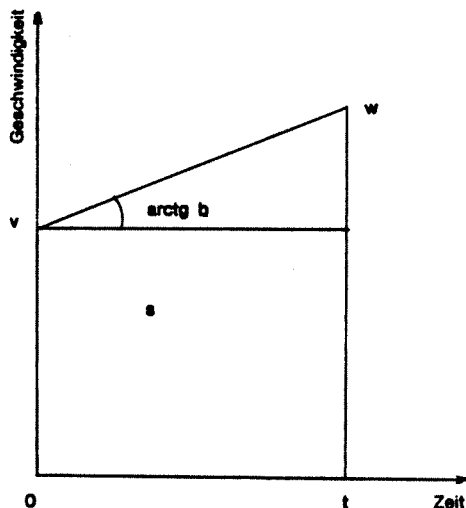
Afbeelding 1B. Fasemodel van het ongevalsproces op elementair niveau.

*E. Fiala

Geschwindigkeitsänderungen von Kraftfahrzeugen

Die Ermittlung von Bewegungsabläufen führt letztlich immer zu der gleichen Fragestellung, die in Bild 1 dargestellt ist.

Bild 1



Es wird der Zusammenhang zwischen den zwei Geschwindigkeiten v und w im Zeitabschnitt t gesucht, in dem das Fahrzeug mit b beschleunigt (oder $-b$ verzögert) und der Weg s zurückgelegt wird.

Der Zusammenhang zwischen diesen 5 Größen wird nach Bild 1 durch die Gleichungen

$$w = v + bt \quad 1$$

$$\text{und} \quad s = \frac{v+w}{2} t \quad 2$$

hergestellt. Drei Größen müssen gegeben sein, zwei können daraus errechnet werden.

Je nachdem welche drei Bewegungsgrößen gegeben sind, errechnen sich die fehlenden beiden nach folgenden Formeln (die Reihenfolge der Errechnung erfolgt im Sinne geringer Rechenarbeit, die Ausgabe ist alphabetisch geordnet)

*Prof.Dr.techn. Ernst Fiala, Vorstandsmitglied
der Volkswagenwerk Aktiengesellschaft

gegeben

errechnet

- | | | |
|----------------|----------------------------------|------------------------|
| 1. $b \ s \ t$ | $v = \frac{s}{t} - \frac{bt}{2}$ | $w = v + bt$ |
| 2. $b \ s \ v$ | $t = \frac{w-v}{b}$ | $w = \sqrt{v^2 + 2bs}$ |
| 3. $b \ t \ v$ | $s = \frac{v+w}{2} t$ | $w = v + bt$ |
| 4. $b \ v \ w$ | $s = \frac{w^2 - v^2}{2b}$ | $t = \frac{w-v}{b}$ |
| 5. $s \ t \ v$ | $b = 2 \frac{s-tv}{t^2}$ | $w = v + bt$ |
| 6. $s \ v \ w$ | $b = \frac{w^2 - v^2}{2s}$ | $t = \frac{w-v}{b}$ |
| 7. $t \ v \ w$ | $b = \frac{w-v}{t}$ | $s = \frac{v+w}{2} t$ |

Das Programmieren wird als Beispiel für einen Texas T 59 angegeben. Ein- und Ausgabe der Geschwindigkeit soll in km/h erfolgen, die Beschleunigung in m/s^2 , Weg in m, Zeit in s. Die Speicherplätze 01 und 02 werden mit den Geschwindigkeiten in m/s belegt und sind so abrufbar. b liegt auf 03, s auf 04 und t auf 05.

1. Sind $b \ s \ t$ gegeben, dann erfolgt die Berechnung von v und w mit Programm A:

LBL A STO 3 R/S STO 4 R/S STO 5 \times R3 \div 2 = \pm + R4 \div R5 = STO 1 \times 3,6 = R/S R1 + R3 \times R5 = STO 2 \times 3,6 = R/S

(Eingabeschritte: $b = ! / A / s = ! / R/S / t = ! / R/S / ((\text{Ausgabe})) v = \dots (\text{km/h}) / R/S / w = \dots (\text{km/h})$, v und w in m/s können von den Speicherplätzen 01 und 02 abgerufen werden)

2. Gegeben ist $b \ s \ v$:

LBL B STO 3 R/S STO 4 R/S \div 3,6 = STO 1 \times^2 + 2 \times R3 \times R4 = $\sqrt{\text{STO 2} - R1} = \div$ R3 = STO 5 R/S R2 \times 3,6 = R/S

Ausgabe t (s), w (km/h)

3. Gegeben ist $b \ t \ v$:

LBL C STO 3 R/S STO 5 R/S \div 3,6 = STO 1 + R3 \times R5 = STO 2 + R1 = \times R5 \div 2 = R/S R2 \times 3,6 = R/S

Ausgabe s (m), w (km/h)

4. Gegeben ist $b \ v \ w$:

LBL D STO 3 R/S \div 3,6 = STO 1 R/S \div 3,6 = STO 2 \times^2 - R1 \times^2 = \div 2 \div R3 = R/S R2 - R1 = \div R3 = R/S

Ausgabe s (m), t (s)

5. Gegeben ist $s \ t \ v$:

LBL E STO 4 R/S STO 5 R/S \div 3,6 = STO 1 \times R5 \pm + R4 = \times 2 \div R5 \times^2 = R/S STO 3 R1 + R3 \times R5 = STO 2 \times 3,6 = R/S

Ausgabe b (m/s^2), w (km/h)

6. Gegeben ist $s \ v \ w$:

LBL A' STO 4 R/S \div 3,6 = STO 1 R/S \div 3,6 = STO 2 \times^2 - R1 \times^2 = \div 2 \div R4 = R/S STO 3 R2 - R1 = \div R3 = R/S

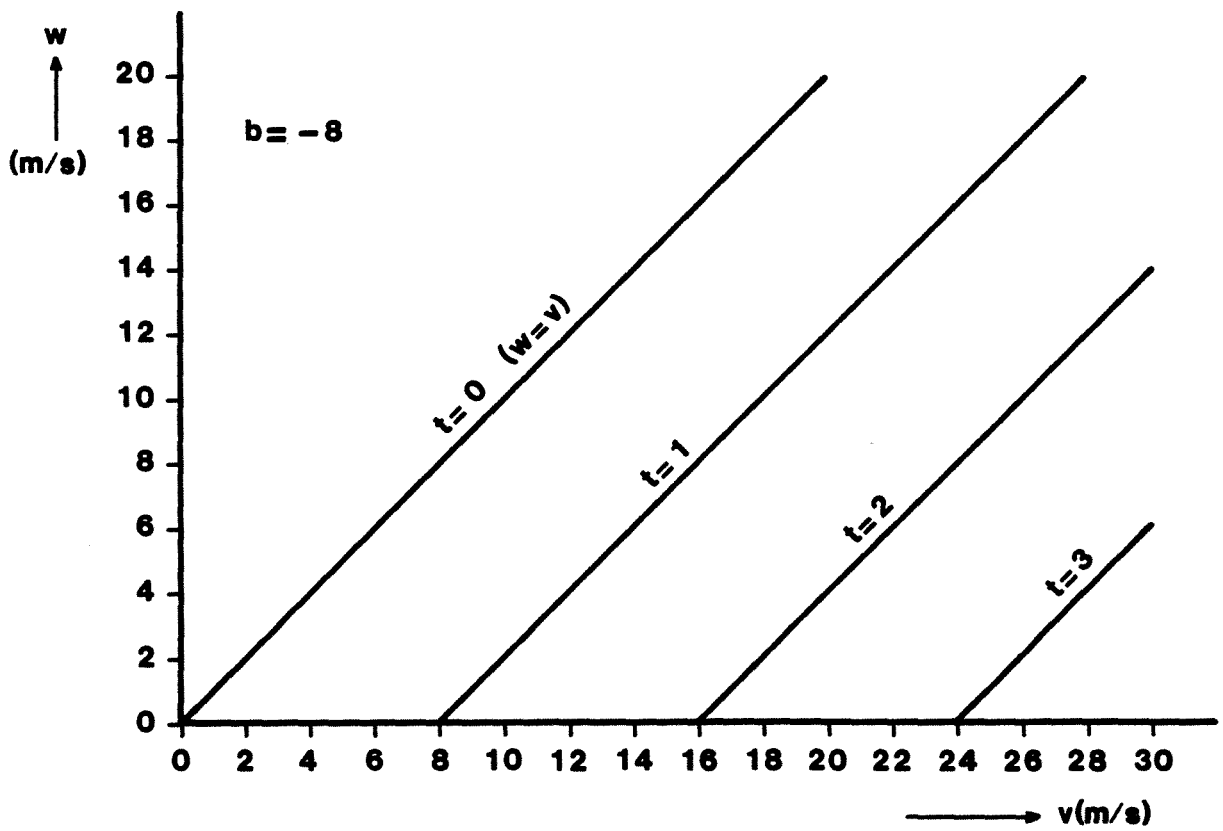
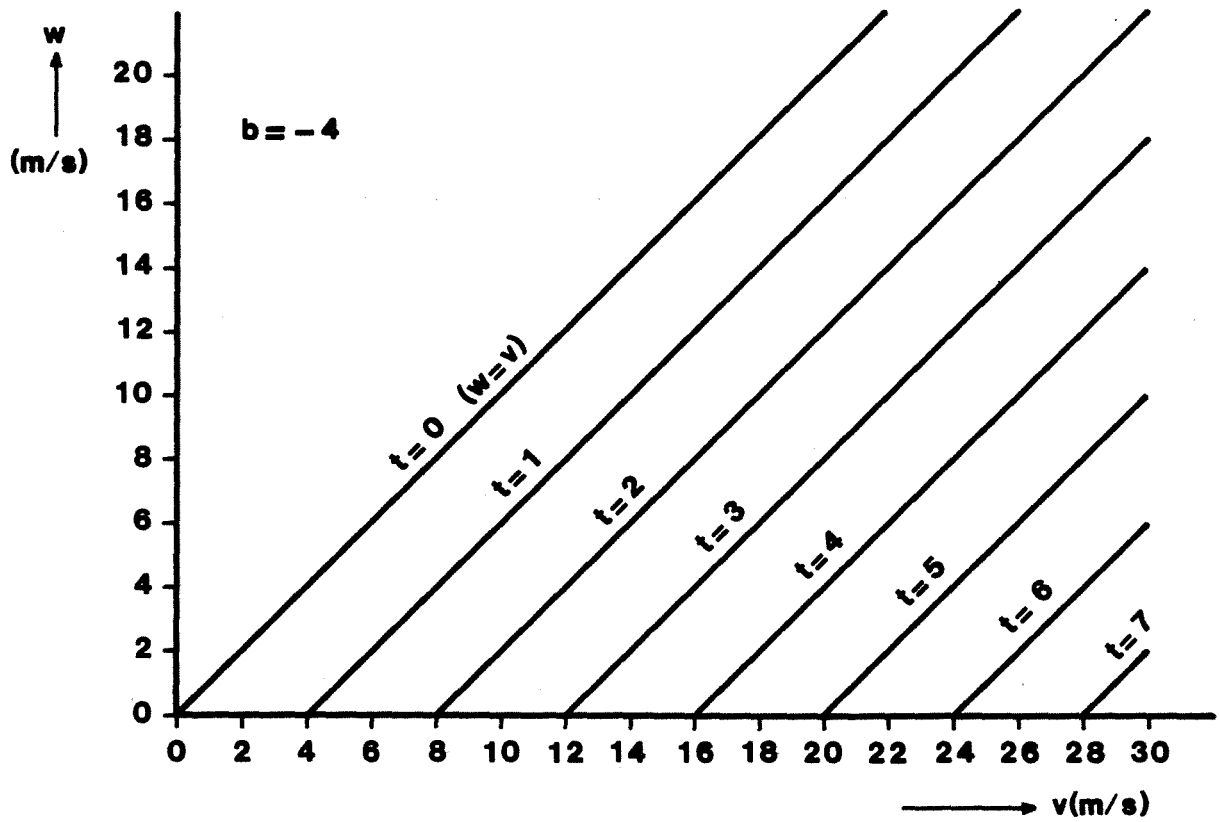
Ausgabe b (m/s^2), t (s)

7. Gegeben ist $t \ v \ w$:

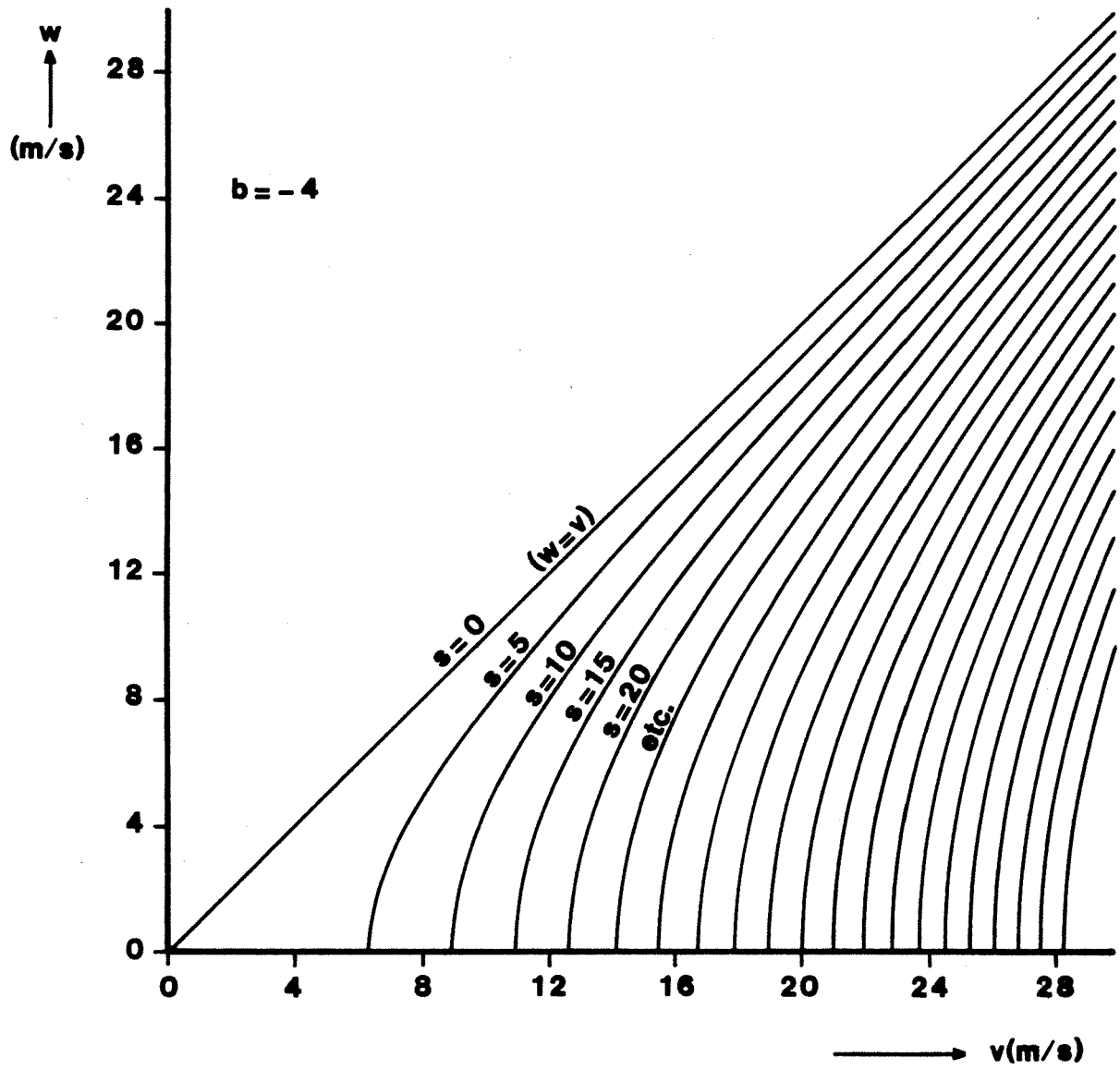
LBL B' STO 5 R/S \div 3,6 = STO 1 R/S \div 3,6 = STO 2 - R1 = \div R5 = R/S R1 + R2 = \times R5 \div 2 = R/S

Ausgabe b (m/s^2), s (m)

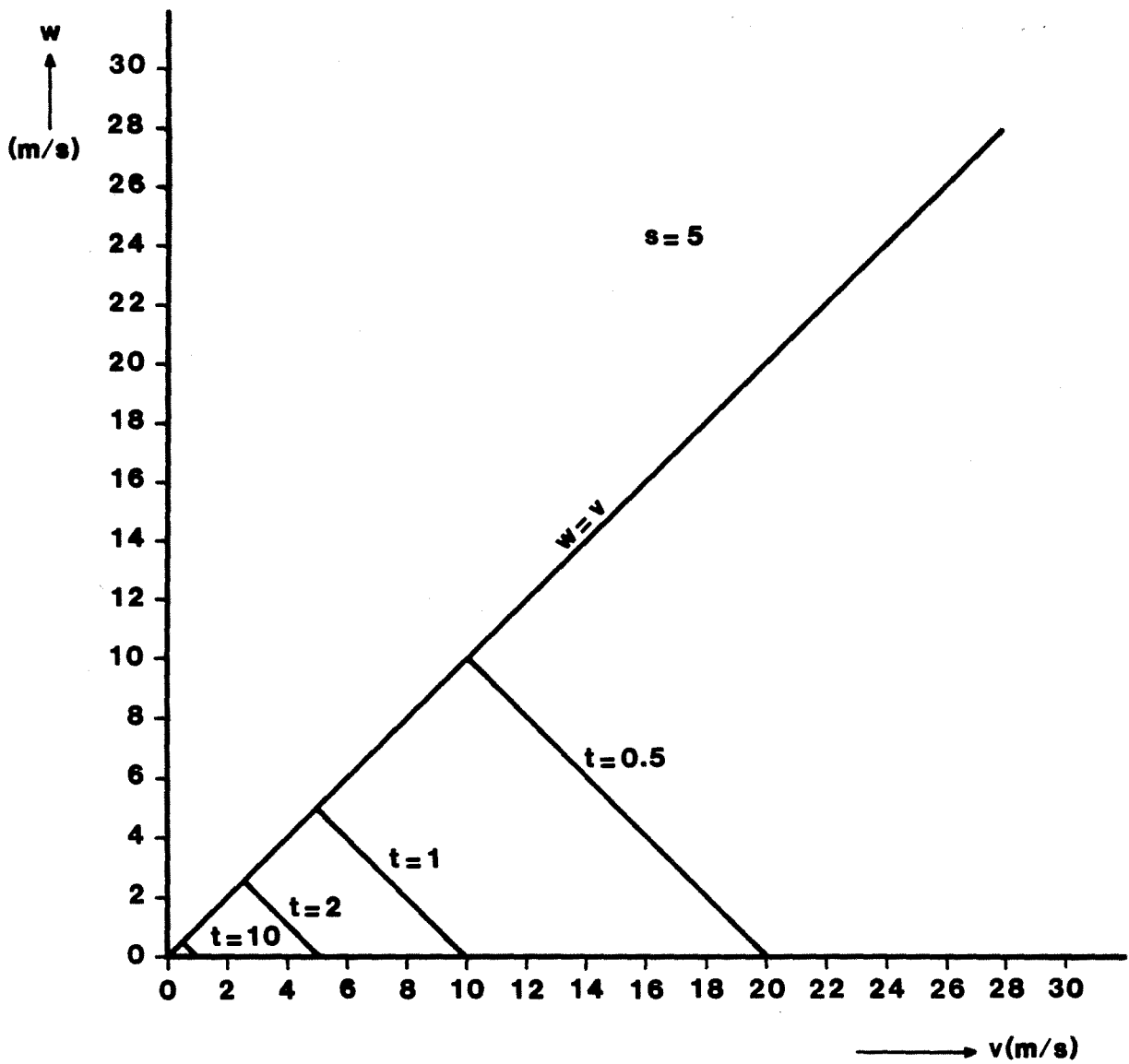
Damit sind alle möglichen Kombinationen programmiert. Alle fehlenden Wertepaare für beliebig gegebene Größen können schnell ermittelt werden.



Afbeelding 3. Grafische weergave van $w=v+bt$; voor $b=-4$ en $b=-8$.



Afbeelding 4. Grafische weergave van $w = \sqrt{v^2 + 2bs}$; voor $b = -4$.



Afbeelding 5. Grafische weergave van $w = \frac{2s}{t} - v$; voor $s=5$ (arbitraire keus).

Vehicle speed (mph)	Bicycle speed (mph)								total	%
	0	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	41-45		
1- 5	8	76	73	24	8	4	2	0	195	38.4
6-10	3	37	64	19	3	3	0	0	129	25.4
11-15	2	13	37	13	5	1	1	1	73	14.4
16-20	1	6	20	8	4	1	1	0	41	8.1
21-25	2	9	13	2	2	0	0	0	28	5.5
26-30	0	4	13	5	2	1	0	0	25	4.9
31-35	0	4	5	2	0	0	2	0	13	2.6
36-40	0	1	3	0	0	0	0	0	4	0.8
Total	16	150	228	73	24	10	6	1	508	100.0
Percent	3.1	29.5	44.9	14.4	4.7	2.0	1.2	0.2		

Afbeelding 6. Verdeling van de geschatte botssnelheden van motorvoertuigen tegen de geschatte botssnelheden van fietsen bij 508 fiets-motorvoertuigbotsingen. (Bron: Roland, 1979).

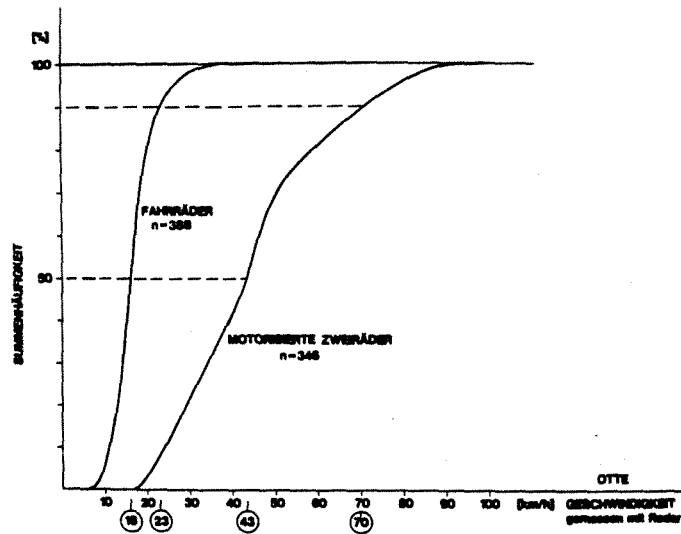
Overall AIS	Estimated motor vehicle speed prior to impact							
	0-20 mph		21-30 mph		30+ mph		total	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
None, minimum, moderate	368	89.5	77	70.6	34	58.6	479	82.9
Severe, fatal	43	10.5	32	29.4	24	41.4	99	17.1
Column total	411	71.1	109	18.9	56	10.0	578	100.0

$\chi^2 = 48.48$ with 2 d.f.

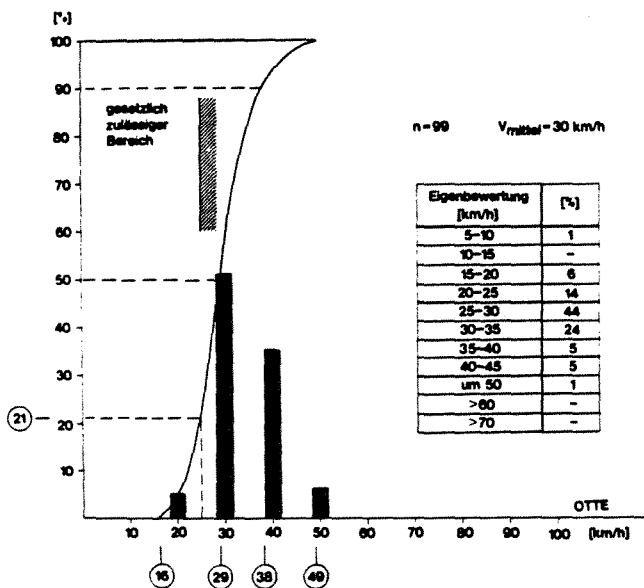
$p = 0.0000$

$\chi^2/d.f. = 24.19$

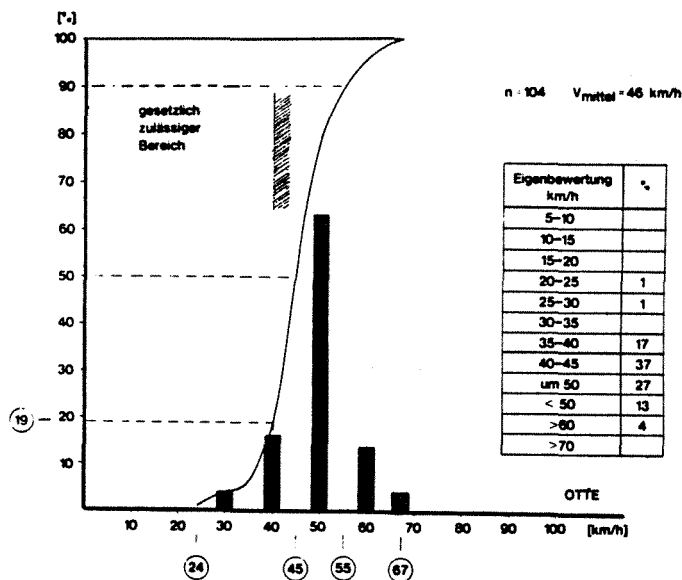
Afbeelding 7. Verdeling van de geschatte rijnsnelheden van motorvoertuigen tegen letselernst (OAI) van fietsers bij 578 fiets-motorvoertuigbotsingen. (Bron: Roland, 1979)



Afbeelding 8. Cumulatieve verdeling van gemeten rij snelheden van 388 fietsers en 346 gemotoriseerde tweewielers tijdens verkeersdeelname. (Bron: Otte, 1982).



Afbeelding 9. Cumulatieve verdeling van gemeten rij snelheden van 99 Mofa's tijdens verkeersdeelname. (Bron: Otte, 1982).

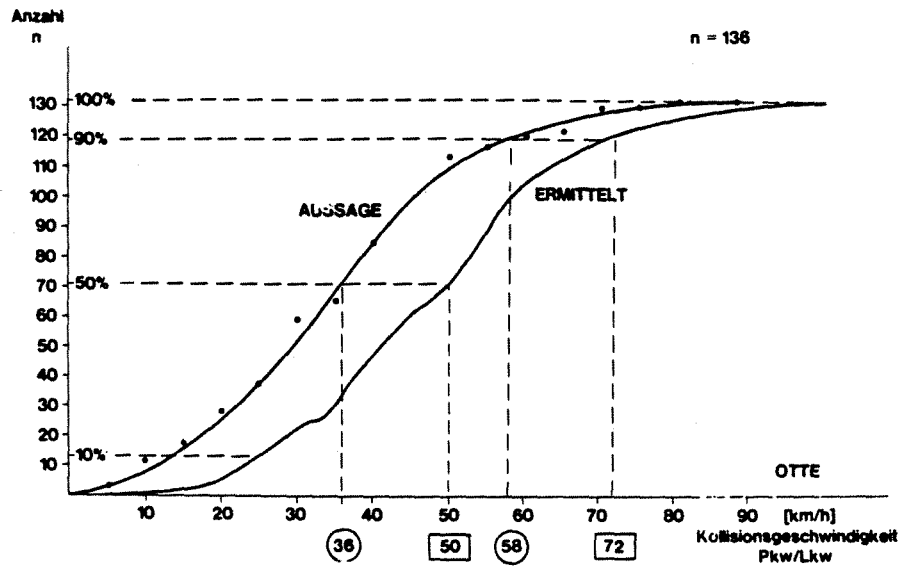


Afbeelding 10. Gemeten rij snelheden van 104 Mokick's tijdens verkeersdeelneming. (Bron: Otte, 1982).

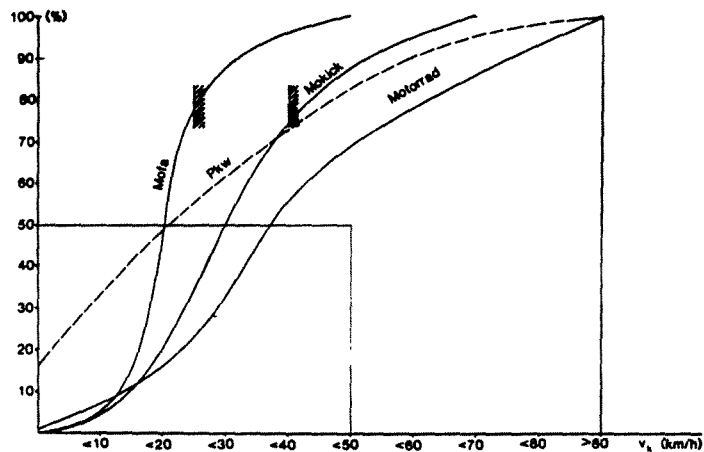
[km/h]	Benutzung von	
	Straße n=73	Radweg n=63
5	15	18
10	40	37
15	24	29
20	20	12
>20	1	4

OTTE

Afbeelding 11. Verdeling naar snelheidsklassen van gereconstrueerde botssnelheden van 136 fietsers bij fiets-motorvoertuigongevallen. (Bron: Otte et al, 1980).



Afbeelding 12. Cumulatieve verdeling van botssnelheden (op twee manieren bepaald) van motorvoertuigen betrokken bij fiets-motorvoertuigongevallen. (Bron: Otte et al, 1980).



Afbeelding 13. Cumulatieve verdeling van gereconstrueerde botssnelheden van gemotoriseerde tweewielers naar soort. (Bron: Otte, 1982).

Plaats ¹⁾	Fiets aantal	gemidd. snelheid	s.d. ²⁾	overschrijdt		85 ste
				15 km/u	20 km/u	% ³⁾
<i>Buiten bebouwde kom</i>						
Telpunt 1 08.00-09.30 uur	54	18,8 km/u	3,65	82%	33%	23 km/u
Telpunt 1 15.00-16.30 uur	108	18,7 km/u	4,23	77%	30%	22 km/u
<i>Binnen bebouwde kom</i>						
Telpunt 2 08.00-09.30 uur	347	16,2 km/u	2,75	60%	6%	19 km/u
Telpunt 3 07.50-09.30 uur	211	19,4 km/u	4,27	80%	40%	23 km/u
Totaal	720	17,7 km/u	3,84	70%	22%	21 km/u

Plaats ¹⁾	Bromfiets aantal	gemidd. snelheid	s.d. ²⁾	overschrijdt		85 ste
				30 km/u	40 km/u	% ³⁾
<i>Buiten bebouwde kom</i>						
Telpunt 1 08.00-09.30 uur	96	41,5 km/u	5,43	96%	57%	47 km/u
Telpunt 1 15.00-16.30 uur	134	41,2 km/u	6,51	97%	49%	47 km/u
<i>Binnen bebouwde kom</i>						
Telpunt 2 08.00-09.30 uur	61	37,4 km/u	5,42	90%	21%	43 km/u
Telpunt 3 07.50-09.30 uur	117	39,7 km/u	6,40	92%	40%	46 km/u
Totaal	408	40,3 km/u	6,17	94%	44%	46 km/u

¹⁾

Telpunt 1: Rijksstraatweg (Wassenaar), nabij KM 24, beide richtingen, 1 oktober 1975, 15.00-16.30 uur en 18 november 1975, 08.00-09.30 uur

Telpunt 2: Mgr. van Steelaan (Voorburg), ri. Kon Julianalaan, 27 november 1975, 08.00-09.30 uur

Telpunt 3: Prinsengracht ('s Gravenhage), ri. Centrum, 9 december 1975, 07.50-09.30 uur.

²⁾ s.d. = standaardafwijking

³⁾ 85 ste percentielwaarde, hetgeen betekent dat 15% de aangegeven waarde overschrijdt.

Afbeelding 14. Overzicht van de gemeten rijksnelheden van fietsers en bromfietsers op een aantal telpunten in oktober t/m december 1975. (Bron: SWOV, 1976).

charakteristiek collision type					
collision type	1	2	3	4	5
Impact point on collision partner (clockwise)		11 12 01		08 02 09 03 10 04	11 12 01
classification of collision-angles [Grad]	90 270 ± 20	180 ± 70	90 270 ± 20	180 0 ± 70	0 ± 70

other possibilities

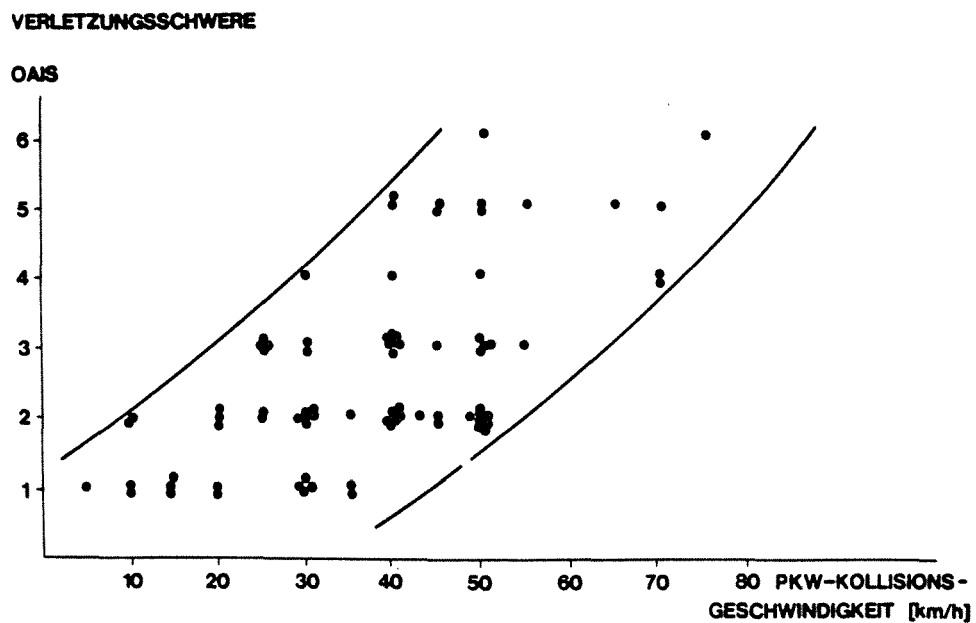
Afbeelding 15. Indeling van botstypen. (Bron: Otte, 1980).

collision type							other types
number of accidents		62 (45,6%)	22 (16,2%)	21 (15,4%)		28 (20,6%)	3 (2,2%)
person involved		63 (45,7%)	23 (16,6%)	21 (15,2%)		28 (20,3%)	3 (2,2%)
VERLETZUNGSSCHWERE GRAD-VERTEILUNG overall AIS [%] injury severity	0	1,6	4,4	—		—	
	1	12,7	13,0	14,3		21,4	
	2	34,9	30,4	28,6		42,8	
	3	27,0	26,1	19,0		17,9	
	4	4,8	4,4	9,5		3,6	
	5	12,7	21,7	23,8		3,6	
	6	6,3	—	4,8		10,7	

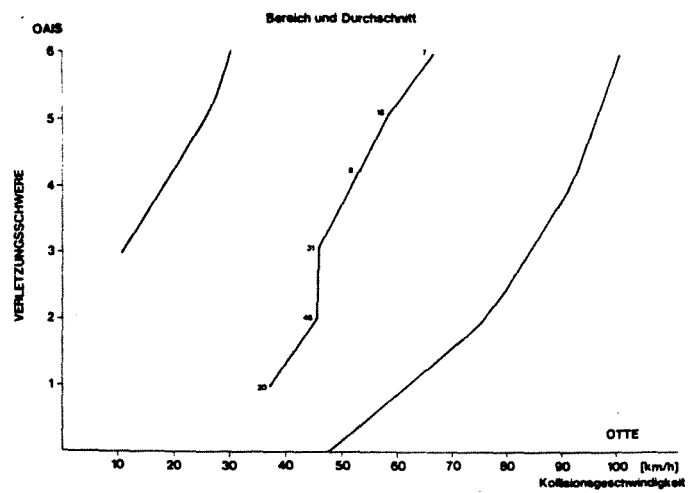
Afbeelding 16. Botstypeverdeling en letselernstverdeling (OAIS) van fietsers bij 136 fiets-motorvoertuigongevallen. (Bron: Otte, 1980).

collision type						other types
	I	II	III	IV	V	
number of accidents	37 (29%)	29 (23%)	22 (17%)	25 (20%)	11 (9%)	3 (2%)
persons involved	43 (28%)	36 (24%)	28 (18%)	32 (21%)	11 (7%)	3 (2%)
VERLETUNGSSCHWERE GRAD--VERTEILUNG overall AIS [%] injury severity	0	0	2,8	7,1	0	9,0
	1	16,7	27,8	17,9	37,5	27,3
	2	23,8	13,9	28,6	31,3	18,2
	3	35,7	25,0	17,9	18,8	18,2
	4	11,9	8,3	1,79	6,2	0
	5	4,8	2,8	0	0	0
	6	7,1	19,4	10,7	6,2	27,3

Afbeelding 17. Botstypverdeling en letselernstverdeling (O AIS) van motortweewielerberijders bij 127 motortweewieler-motorvoertuigongevallen. (Bron: Otte, 1980).



Afbeelding 18. Relatie tussen botssnelheden van personenauto's en letselernst (O AIS) van fietsers. (Bron: Otte et al, 1979).



Afbeelding 19. Relatie tussen botssnelheden van motorvoertuigen en letselernst (OAS) van fietsers. (Bron: Otte et al, 1980).

OSI		1		2		3		4		5		6		Σ	
Kollisionsart		Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
Lkw	Zweirad	6	40,0	2	13,3	3	20,0	1	6,7	1	6,7	2	13,3	15	100
Front	Front	6	6,7	2	7,1	3	13,6	1	12,5	1	12,5	2	15,4	15	8,9
Front	Seite	16	47,1	6	17,6	2	5,9	3	8,8	2	5,9	5	14,7	34	100
Front	Heck	6	18,0	6	21,4	2	9,1	3	37,5	2	25,0	5	38,4	34	20,2
Front	Heck	6	40,0	4	26,7	3	20,0	-	-	-	-	2	13,3	15	100
Seite	Front	6	6,7	4	14,3	3	13,6	-	-	-	-	2	15,4	15	8,9
Seite	Front	20	58,8	7	20,6	5	14,8	1	2,9	-	-	1	2,9	34	100
Heck	Front	20	22,5	7	25,0	5	22,7	1	12,5	-	-	1	7,7	34	20,2
Heck	Front	6	8,57	-	-	1	14,3	-	-	-	-	-	-	7	100
Heck	Front	6	6,7	-	-	1	4,6	-	-	-	-	-	-	7	4,2
Seite	Seite gleichsinnig	31	55,4	7	12,5	8	14,3	3	5,4	5	8,9	2	3,5	56	100
Seite	Seite gegensinnig	31	34,8	7	25,0	8	36,4	3	37,5	5	62,5	2	15,4	56	33,4
Seite	Seite gegensinnig	3	75,0	1	25,0	-	-	-	-	-	-	-	-	4	100
Seite	Seite gegensinnig	3	3,4	1	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2,4
Seite	Heck	-	-	1	100	-	-	-	-	-	-	-	-	1	100
Seite	Heck	-	-	1	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,6
Heck	Seite	1	50,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1	50,0	2	100
Heck	Seite	1	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	7,7	2	1,2
Σ		89	53,0	28	16,6	22	13,1	8	4,8	8	4,8	13	7,7	168	100

Afbeelding 20. Botstypen tegen letselernst (OSI) van fietsers bij 168 fiets-vrachtauto-ongevallen. (Bron: Gauss et al, 1982).

v_k Lkw Anstoßfläche am Lkw	0		-15		16-30		31-45		46-60		61-80		81-100		Σ		n.e.
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	
Front	1	2,9	15	44,1	6	17,6	5	14,8	5	14,8	1	2,9	1	2,9	34	100	30
Front	1	11,1	15	30,0	6	46,2	5	38,5	5	38,5	1	50,0	1	100	34	33,7	
Seite	5	8,6	29	50,0	7	12,1	8	13,8	8	13,8	1	1,7	-	-	58	100	37
Seite	5	55,6	29	58,0	7	53,8	8	61,5	8	61,5	1	50,0	-	-	58	57,4	
Heck	3	33,3	6	66,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	100	-
Heck	3	33,3	6	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	8,9	
Σ	9	8,9	50	49,5	13	12,9	13	12,9	13	12,9	2	1,9	1	1,0	101	100	67
Σ	9	100	50	100	13	100	13	100	13	100	2	100	1	100	101	100	67

58,4%

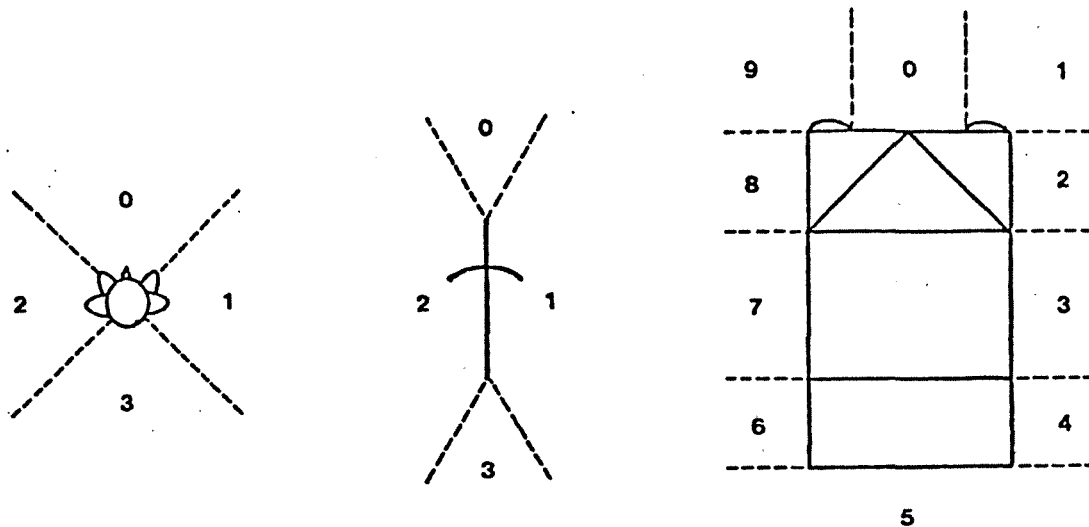
Afbeelding 21. Geraakte zijden van vrachtauto's tegen botssnelheden van vrachtauto's bij 101 van de 168 fiets-vrachtauto-ongevallen. (Bron: Gauss et al, 1982).

v _k -Lkw (km/h) Anstoßfläche am Lkw	0		- 15		16-30		31-45		46-60		61-80		81-100		Σ		n.e.
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	
Front	1	3,8	12	46,2	9	34,6	4	15,4	-	-	-	-	-	-	26	100	12
Seite	5	7,8	24	37,5	13	20,3	10	15,6	11	17,2	1	1,6	-	-	64	100	4
Heck	27	79,4	5	14,7	2	5,9	-	-	-	-	-	-	-	-	34	100	-
Σ	33	26,6	41	33,1	24	19,4	14	11,3	11	8,8	1	0,8	-	-	124	100	16

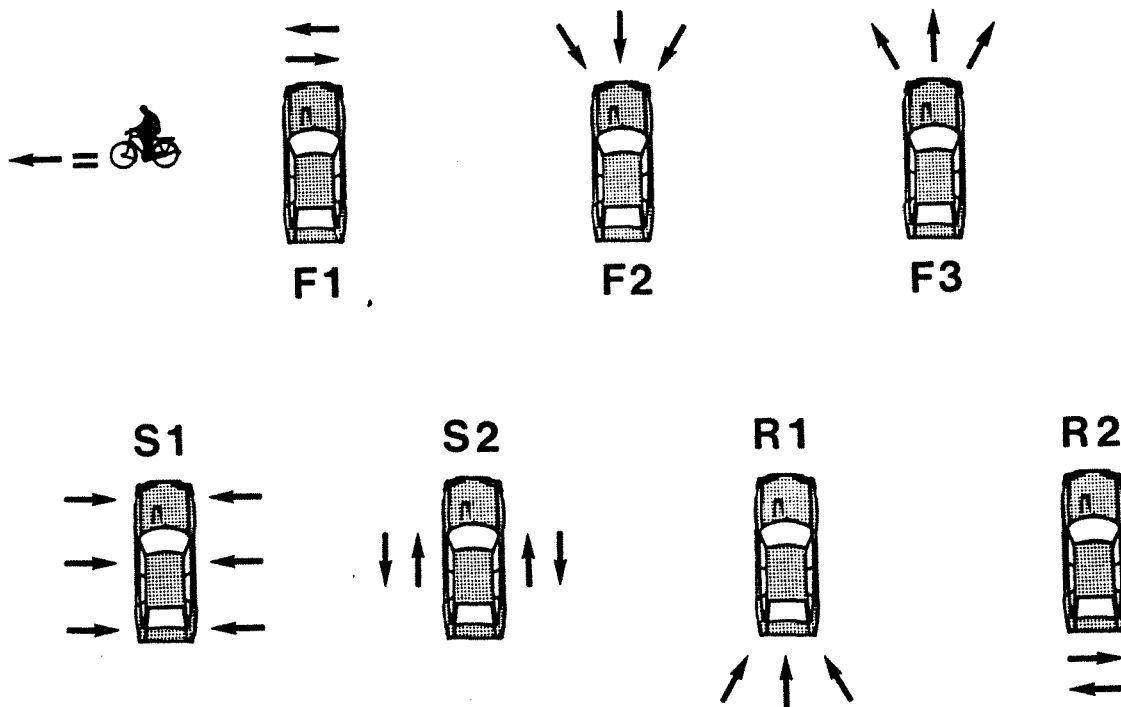
Afbeelding 22. Geraakte zijden van vrachtauto's tegen botssnelheden van vrachtauto's bij 124 van de 140 vrachtauto-lichte motortweewielerongevallen. (Bron: Gauss et al, 1982).

v _k -Zwrd. (km/h) Anstoßfläche am Lkw	0		- 15		16-30		31-45		46-60		61-80		81-100		Σ		n.e.
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	
Front	1	3,6	4	14,3	19	67,8	4	14,3	-	-	-	-	-	-	28	100	10
Seite	2	3,3	15	25,0	34	56,7	8	13,3	1	1,7	-	-	-	-	60	100	8
Heck	-	-	8	33,4	11	45,8	5	20,8	-	-	-	-	-	-	24	100	10
Σ	3	2,7	27	24,1	64	57,1	17	15,2	1	0,9	-	-	-	-	112	100	28

Afbeelding 23. Geraakte zijden van vrachtauto's tegen botssnelheden van tweewielers bij 112 van de 140 vrachtauto-lichte motortweewielerongevallen. (Bron: Gauss et al, 1982).



Afbeelding 24. Aangrijppunten volgens VOR. (Bron: Huijbers, 1984).



Afbeelding 25. Indeling naar botstypen. (Bron: Huijbers, 1984).

