

LETSELPREVENTIE-ONDERZOEK GERICHT OP FIETSERS EN BROMFIETSERS:  
THEORIE EN PRAKTIJK

R-88-39

Ir. J.J.W. Huijbers

Leidschendam, 1988

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



## SAMENVATTING

Uitgaande van het gegeven dat het onmogelijk is om alle ongevallen te voorkomen, zal er bij de beheersing van het verkeersproces ook aandacht besteed moeten worden aan de beheersing van het ongevallenproces, letselpreventie genaamd. Bij de letselpreventie wordt ernaar gestreefd om de bij ongevallen optredende krachten en versnellingen binnen de voor de mens aanvaardbare waarden te brengen, opdat er geen of in ieder geval zo min mogelijk letsel optreedt. Letselpreventie-onderzoek tracht kennis te verkrijgen omtrent de (kwantitatieve) relaties tussen de variabelen die van invloed zijn op de bij ongevallen ontstane letsels en deze letsels. Op basis van deze kennis kunnen aanbevelingen opgesteld worden, onder andere ter verandering van de in aanmerking komende eigenschappen van voertuigen om het zojuist beschreven doel te bereiken.

Ongevallen met fietsers en bromfietsers nemen in de verkeersonveiligheid in Nederland een belangrijke plaats in. In 1986 vielen er bij deze ongevallen onder fietsers 12.300 slachtoffers (311 doden, 3417 ziekenhuisgewonden en 8572 overige gewonden) en onder bromfietsers 12.143 slachtoffers (133 doden, 2949 ziekenhuisgewonden en 9061 overige gewonden). Van het totale aantal Nederlandse verkeersslachtoffers vormen fietsers daarmee een aandeel van 24% en bromfietsers van 23%. Op basis van globale gegevens uit de nationale ongevallenstatistiek is inmiddels vastgesteld welke de meest voorkomende bots-situaties met tweewielers zijn. Het blijkt dat personenauto's de meest voorkomende botspartners zijn en dat de botsconfiguratie die daarbij het meest voorkomt de in de flank aangereeden tweewieler is. Dit type botsing (front auto tegen flank tweewieler) staat daarom centraal in dit rapport.

Het rapport begint met een theoretisch overzicht van de processen die een rol spelen bij letselpreventie. De daarbij onderscheiden drie deelprocessen hebben betrekking op: het bots-, het letsel- en het genezingsproces. De van belang geachte variabelen worden gedefinieerd en beschreven en onderlinge verbanden worden aangebracht, onder meer met behulp van wetten uit de mechanica. Theoretisch belangrijke variabelen (onderverdeeld naar auto-, tweewieler-, mens- en omgevingsvariabelen) zijn onder meer (bots)-snelheid, vorm en stijfheid van de auto, afmetingen van de tweewieler en berijder-combinatie, mate van bescherming van het lichaam van de berijder, diens weerstand tegen letsel en factoren die de kans op herstel beïnvloeden, zoals leeftijd.

In het tweede deel van het rapport wordt ingegaan op letselpreventie-onderzoek. Het kwantificeren van de (al-of-niet gecombineerde) invloed van genoemde variabelen op het letsel en het genezingsproces is de hoofddoelstelling van letselpreventie-onderzoek. Het onderzoekgebied wordt systematisch ingedeeld en afgestemd op de in het eerste deel beschreven procesmatige benadering. Er wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste onderzoeksmethoden en hun voor- en nadelen.

Onderscheid wordt gemaakt tussen:

- Ongevallenonderzoek, dit bestudeert in principe het bots- en letselproces.
- Botsproeven, hiermee - onder gecontroleerde omstandigheden - wordt met name het botsproces doorlopen;
- Mathematische simulaties, waarmee hetzelfde proces wordt bestudeerd.
- Biomechanisch onderzoek beschrijft het letselproces;
- Blijvende-gevolgenonderzoek, dit licht het genezingsproces door.

Gezien de bij alle onderzoeksmethoden voorkomende beperkingen heeft het zin te streven naar een integratie van de beschikbare methoden waarin vooral de sterke kanten van iedere methode worden benut.

Ongevallenonderzoek neemt hierbij een centrale plaats in. Vandaar dat aan deze onderzoeksmethode nader aandacht wordt besteed. Er wordt een onderverdeling in drie elkaar soms overlappende gebieden beschreven:

- Nationale ongevalgegevens, veelal verzameld op basis van politierapportage verkregen;
- Intermediate-level ongevalgegevens, veelal op basis van een representatieve steekproef via verschillende bronnen;
- In-depth ongevalgegevens, veelal verzameld met (multidisciplinaire) teams, al-of-niet ter plaatse van het ongeval.

Deze drie methoden hebben een zeer sterk verschillende verhouding tussen de kwantiteit en de kwaliteit van de verzamelde gegevens. Bij de eerste methode ligt de nadruk op kwantiteit en representativiteit, terwijl het om globale gegevens gaat; bij de laatste methode ligt de nadruk op diepgaande, gedetailleerde, kwalitatief hoogwaardige gegevens, terwijl het aantal cases zeer beperkt is, zodat representativiteit voor een totale ongevallenpopulatie niet bereikt wordt. Intermediate-level onderzoek (ook wel statistisch onderzoek genoemd) heeft als kenmerk dat zij op beide fronten tussen de beide overige typen gegevens inzit.

In alle gevallen is sprake van retrospectief onderzoek; de gegevens

worden al-of-niet kort na afloop van de botsingen verzameld en later geanalyseerd.

Op intermediate-level ongevallenonderzoek wordt in dit rapport nader ingegaan vanwege de voor letselpreventie-onderzoek zeer interessante toepassingsmogelijkheden. Niet in de laatste plaats is dit type onderzoek van belang als evaluatiemethode. Men kan van bestaande maatregelen (helmdraagplicht, gordeldraagplicht) of van bestaande eigenschappen (het-al-of-niet aanwezig zijn van hoofdsteunen, beschermende kleding, plastic bumpers) het effect op de afloop van botsingen bepalen (doorgaans in termen van letselaard en letselernst). Voorts levert statistisch ongevallenonderzoek vanwege zijn representatieve karakter een waardevolle bijdrage tot mogelijkheden voor vervolgonderzoek, doordat de statistisch gevonden verbanden tussen de verzamelde gegevens tot (nieuwe) onderzoekshypothesen kunnen leiden en niet alleen tot toetsing van bestaande hypothesen. Analyse van nationale ongevalgegevens is overigens ook hierbij een onmisbaar hulpmiddel. Vergelijking hiermee maakt uitspraken mogelijk over de representativiteit en bovendien is hiermee vast te stellen of er sprake is van een relevant probleemgebied en hoe groot dat is. In het onderhavige geval zijn dergelijke gegevens ook benut om het probleemgebied nader te omschrijven in termen van relevante typen botsingen. Pas dan is de beurt aan intermediate-level ongevallenonderzoek, zoals boven omschreven.

In-depth onderzoek is vooral aan de orde als inzicht gewenst is in de loop van het botsproces en het letselproces en de representativiteit geen belangrijke rol meer speelt. Via deze methode kan men tot in de kleinste details van ieder individueel ongeval treden. In de fase van de hypothesevorming kan van de kennis die is opgedaan bij dit soort onderzoek dankbaar gebruik gemaakt worden. Er zijn echter mogelijkheden om door internationale koppeling van in-depth onderzoekgegevens om tot grotere bestanden te komen. Eén van de daaraan te verbinden voorwaarden is dat identieke meetmethoden en definities moeten worden toegepast. Pogingen in deze richting hebben tot dusver weinig resultaat opgeleverd. In theorie biedt een dergelijke actie nog steeds een goed perspectief.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van in de literatuur aangetroffen ongevallenonderzoeken op het terrein van fietsers en bromfietsers. Het geringe aantal geeft aan dat hier sprake is van een nog nauwelijks ontgon-

nen gebied. Vooral voor Nederland is dit opmerkelijk omdat het aandeel van fietsers en bromfietsers in het totaal substantieel is en zoveel groter dan in andere landen.

Of nader onderzoek in Nederland dan wel in internationaal verband uitgevoerd moet worden is nog onderwerp van nadere discussie. Mocht hiertoe besloten worden dan is de kennis welke in dit rapport verzameld is als een eerste stap te beschouwen.

INJURY-PREVENTION RESEARCH DIRECTED AT CYCLISTS AND MOPED RIDERS:  
THEORY AND PRACTICE

Summary

As it is impossible to prevent all traffic accidents attention must be given too to the control of the accident process in traffic control: injury prevention.

The aim of injury prevention is to reduce the forces and decelerations occurring in an accident to a bearable level, as far as possible. Injury-prevention research aims to amass knowledge on the (quantitative) relationship between the variables influencing the injuries in accidents. On the basis of this knowledge recommendations are developed to change properties of vehicles to arrive at the aim described.

Accidents involving cyclists and moped riders are an important part of the Dutch accident score. In 1986 the number of accidents for bicyclists was 12,300 (311 killed, 3417 hospitalized and 8572 otherwise injured) and for moped riders 12,143 victims (133 killed, 2949 hospitalized and 9601 otherwise injured). Of the total number of Dutch traffic victims cyclists make out 24% and moped riders 23%. On the basis of data from Dutch accident statistics the accidents with two-wheelers occurring most often have been determined. Cars appear to be most often the collision partners and they most often hit the two-wheel rider at the side with their front. This collision model therefore is used as a model in this report.

The report starts with a theoretical overview of the processes important to injury prevention. Three processes are described: collision, injury and healing. Relevant variables are defined, described and mutually connected on the basis of the principles of mechanics e.g.

Theoretically important variables are a.o. (collision) speed, shape and stiffness of the car, size of the two-wheeler and its rider, measure of body protection of the rider, the tolerance of injury, and factors influencing the healing process, like age.

In the second part of the report injury-prevention research is discussed. The quantification of the (combined) influence of the variables mentioned on the injury and healing processes is the main target of the research on injury prevention. The field of research is divided into three parts re-

lating to the processes described earlier. An overview is given of the most important methods of research and their (dis)advantages:

- Accident research, studying the collision and injury processes.
- Collision tests, under controlled circumstances the collision process is gone through.
- Mathematical simulations, studying the same process.
- Biomechanical research describes the injury process.
- Disability research studies the healing process.

In view of the restrictions connected with each research method the striving for integration of all available methods, using especially the strong sides of each, is recommended.

Accident research has the central place and will therefore get special attention. It is divided into three overlapping fields:

- National accident data, often collected from police reports.
- Accident data of intermediate level, often collected from a representative sample from different sources.
- In-depth accident data, often collected by (multi-disciplinary) teams, sometimes on the spot of the accident.

These three methods (sometimes overlapping each other) have widely different quality/quantity proportions with regard to the acquired data. In the first method (police data) emphasis is placed on the quantity rather than on the quality of the data; in the last method (in-depth) emphasis is placed on the quality and reliability of the data while the number of cases normally is small. Intermediate-level data (also called statistical accident data) are in between these extremes.

In all cases of course the data are collected retrospectively, even if the time lapse after an accident is small, and afterwards processed and analysed.

Intermediate-level accident research is emphasized in the report as a main source for different purposes in injury-prevention research. This type of research is also important for evaluation. The effects of existing measures (helmet-use law and safety-belt use law e.g.) or provisions (head-rest, clothing e.g.) can be calculated (regarding injury severity mostly).

Statistic accident research supplies a valuable contribution to the possibility of new research, because statistically found relations between



collected data may lead to (new) hypotheses, which is more than just testing existing hypotheses.

Analysing the existing national accident data, however, should always be the first step in an accident research project, since this will define the problem area in the first place. Such has already been done in the long-term research programme in the Netherlands in this field, resulting in general knowledge of the magnitude of the two-wheeler problem in some details. Only then further research by means of an intermediate-level study is fruitful since this can be aimed at the problem area.

In-depth research methods may be applied if specific problems need further detailed data and if representativeness is no longer a requirement. This kind of research also will form a basis for new accident and injury causation hypotheses, though in practice it often appears to be (mis)used as a database for statistical purposes.

In this report an overview is given of accident research as found in the literature on cyclists and on moped riders. The small number of the studies shows that this is a new field. This is remarkable, especially in the Netherlands, as the number of riders of mopeds and bicycles is high and much higher than in other countries.

Whether more research has to be executed in the Netherlands or internationally coordinated is under discussion. This report is to be considered the first step.



## INHOUD

1. Inleiding
  
2. Letselpreventie: Een procesbeschrijving
  - 2.1. Letselpreventie in deelprocessen
  - 2.2. Het botsproces
    - 2.2.1. Inleiding
    - 2.2.2. De primaire fase
    - 2.2.3. De secundaire fase
    - 2.2.4. Samenvatting
  - 2.3. Het letselproces
  - 2.4. Het genezingsproces
  - 2.5. Schematische samenvatting
  
3. Letselpreventie-onderzoek
  - 3.1. Indeling van het onderzoekgebied
    - 3.1.1. Ongevallenonderzoek
    - 3.1.2. Ongevallensimulatie
    - 3.1.3. Biomechanisch onderzoek
    - 3.1.4. Blijvende-gevolgenonderzoek
  - 3.2. Discussie
  - 3.3. Ongevallenonderzoek
    - 3.3.1. Verzamelen en analyseren van ongevalgegevens op nationale schaal
    - 3.3.2. Statistisch ongevallenonderzoek
    - 3.3.3. Dieptestudies
  - 3.4. Samenvatting
  
4. Ongevallenonderzoek in de praktijk
  - 4.1. Inleiding
  - 4.2. Resultaten uit de literatuur
    - 4.2.1. Ongevalgegevens op (inter)nationale schaal
    - 4.2.2. Statistisch ongevallenonderzoek
    - 4.2.3. Dieptestudies
    - 4.2.4. Blijvende-gevolgenonderzoek
  - 4.3. Samenvatting en discussie onderzoekresultaten
  
5. Letselpreventie-onderzoek ten behoeve van fietsers in Nederland

6. Conclusies en aanbevelingen

6.1. Theorie

6.2. Praktijk

Literatuur

Bijlage

Lijst van gebruikte definities en symbolen

## 1. INLEIDING

In 1986 overleden er in Nederland 311 fietsers en 133 bromfietsers als gevolg van een ongeval in het verkeer. Bovendien raakten er 11.989 fietsers en 12.010 bromfietsers ten gevolge van een verkeersongeval gewond. Samen bedraagt het aantal fietsers- en bromfietsersslachtoffers 47 % van het totale aantal verkeersslachtoffers in 1986.

Zelfs indien alle mogelijke, nu denkbare en haalbare ongevallenpreventie-maatregelen genomen zouden zijn, zullen er nog steeds bepaalde factoren overblijven die een volledige beheersing in de weg staan. Een dergelijke onvolledige beheersing maakt het optreden van ongevallen onvermijdelijk, en het moet dan ook als een onvermijdelijk uitvloeisel hiervan worden beschouwd dat in het streven naar een zo groot mogelijke veiligheid van het totale systeem, ongevallen en ongevallenbeheersing (letselpreventie) in het onderzoek te betrekken.

In 1982 is er door de European Experimental Vehicles Committee (EEVC) een werkgroep ingesteld die de stand van kennis van het onderzoek op het gebied van de verkeersonveiligheid van fietsers en bromfietsers zou beschrijven. Dit met het doel om:

- tot aanbevelingen te komen ter reductie van het aantal ongevallen dan wel van de ernst van de letsels bij ongevallen;
- aanbevelingen op te stellen voor noodzakelijk vervolgonderzoek.

De groep heeft in 1984 haar rapport gepubliceerd. De theorieën en indelingsprincipes die in dat rapport zijn gehanteerd, worden ook hier als uitgangspunt gekozen.

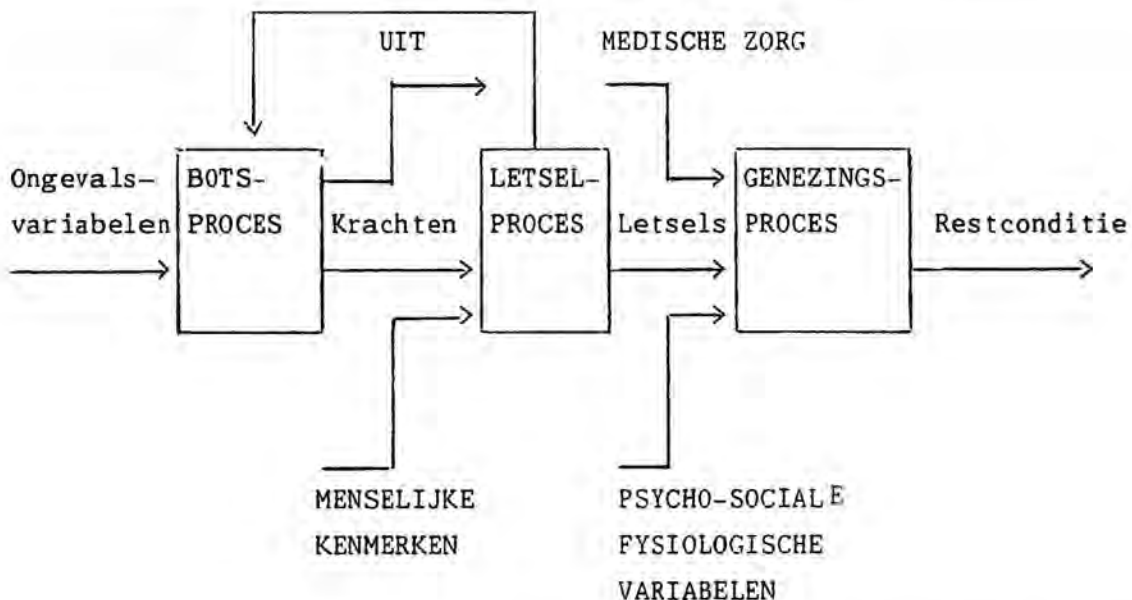
## 2. LETSELPREVENTIE: EEN PROCESBESCHRIJVING

### 2.1. Letselpreventie in deelprocessen

Bij letselpreventie wordt ernaar gestreefd de bij ongevallen optredende krachten en versnellingen binnen de voor de mens aanvaardbare waarden te brengen, opdat er geen of in ieder geval zo min mogelijk letsel optreedt. Kennis omtrent het effect van de inwerking van de krachten en versnellingen op het menselijk lichaam is hierbij onontbeerlijk. Letselpreventieonderzoek tracht deze kennis te verkrijgen. De nadruk ligt daarbij vrijwel geheel op het fysieke letsel; psychische schade als direct gevolg van een verkeersongeval of als secundair gevolg van opgelopen letsel of als bijkomend verschijnsel wordt binnen de letselpreventie niet nader onderzocht.

Het proces dat bij een ongeval het ontstaan van letsel beschrijft, kan in een aantal processen worden verdeeld en schematisch ingedeeld (Afbeelding 1).

Eerst volgt nu een korte toelichting op de deelprocessen, waarna in de volgende paragrafen nader op de deelprocessen wordt ingegaan.



---

Afbeelding 1. Schematische indeling van de deelprocessen die het ontstaan van letsels ten gevolge van een ongeval beschrijven.

Het botsproces: Tijdens het botsproces worden krachten gegenereerd die aan de tweewieler en de berijder daarvan bepaalde bewegingen opdringen. Ingangsvariabelen spelen hierbij een belangrijke rol.

Deze ingangsvariabelen zijn in Afbeelding 1 weergegeven als ongevalsvariabelen. Zij zijn nader onder te verdelen in auto-, tweewieler-, mens- en botsvariabelen. Voorbeelden hiervan zijn voor de auto: vorm, stijfheid; de tweewieler: type, dimensie; de mens: lengte, beschermingen (helm); botsvariabelen: botssnelheid en type botsing.

De uitgangsgrootheden van dit botsproces zijn de mechanische grootheden die op het lichaam van het slachtoffer werken (krachten) en de uitgangsposities van de bij het ongeval betrokken objecten (UIT). Voorbeelden zijn: de deformatie van de tweewieler en de afstand die de tweewieler bij het ongeval wordt weggegooid.

Het letselproces: De uitgangsvariabelen van het botsproces vormen ook de ingangsvariabelen van het letselproces. Onder invloed van de mechanische grootheden die direct op het lichaam van het slachtoffer inwerken, zullen er in combinatie met een aantal menselijke kenmerken eventueel letsels optreden. Voorbeelden van menselijke kenmerken zijn: leeftijd en massa.

Het genezingsproces: De ontstane letsels zullen, onder andere beïnvloedt door de kwaliteit van de medische zorg en afhankelijk van psycho-sociale en fysiologische variabelen, genezen dan wel zullen zij in een of andere vorm aanwezig blijven. Dit is in Afbeelding 1 voorgesteld door de restconditie.

Het botsproces en het letselproces vinden tijdens de zeer korte ongevals-fase plaats. Een fase die doorgaans ongeveer één seconde duurt.

Tijdens een botsing worden (deel)botsprocessen en (deel)letselprocessen een aantal malen na elkaar doorlopen. Bijvoorbeeld: Bij een botsing tussen een tweewieler en een personenauto is voor een lichaamsdeel (bijv. het been) van de tweewielerberijder een (deel)letselproces reeds afgelopen, terwijl voor andere delen van het lichaam het botsproces nog plaatsvindt of moet plaatsvinden.

De uitgangsvariabele van het eerste bots- en letselproces is de ingangsvariabele van de volgende cyclus. Bijvoorbeeld: Het breken van een been beïnvloedt het verdere bewegingsverloop (kinematica) van het slachtoffer. Dit is in Afbeelding 1 voorgesteld door de terugkoppeling van het letselproces naar het botsproces.

Het genezingsproces duurt uiteraard vele malen langer dan de twee andere processen.

Letselpreventiemaatregelen zijn aanbevelingen ten aanzien van de waarden van de ongevallenvariabelen met het doel om de letsels zo minimaal mogelijk te maken.

Bij de maatregelen zoals hierboven bedoeld, valt bij de auto te denken aan aanpassing van de vorm en de stijfheid; bij de tweewieler aan aanpassing van de vorm en de constructie; bij de mens aan helmen en beschermende kleding. Aanbevelingen ten aanzien van de botssnelheid is een voorbeeld voor de botsvariabelen.

In feite kan letselpreventie beschouwd worden als een terugkoppeling in het hierboven geschetste systeem, met het doel de uitgangsvariabelen "letsels" en "restconditie" te minimaliseren.

Kennis omtrent de hierboven beschreven processen is hierbij een voorwaarde.

In de volgende paragrafen zal nader op de afzonderlijke deelprocessen worden ingegaan.

## 2.2. Het botsproces

### 2.2.1. Inleiding

Tijdens het botsproces wordt aan de tweewieler en de berijder onder invloed van de gegenereerde krachten een bepaalde beweging opgedrongen. De aard van de botspartner en het botstype bepalen deze beweging.

Uit een overzicht van bestaande, door de politie geregistreerde, ongevalgegevens blijkt dat het merendeel van de overleden en gewond geraakte tweewielerberijders in botsing was gekomen met een personenauto (Huijbers, 1984). Vandaar dat een nadere beschrijving van de processen aan de hand van de ongevallen tussen personenauto's en tweewielers zal worden gemaakt.

Bij het beschrijven van botsingen tussen voetganger en auto worden in de literatuur vaak twee fasen onderscheiden: de primaire fase en de secundaire fase. In de primaire fase vinden de contacten tussen voetganger en de personenauto plaats. In de secundaire fase die tussen de voetganger en de omgeving.



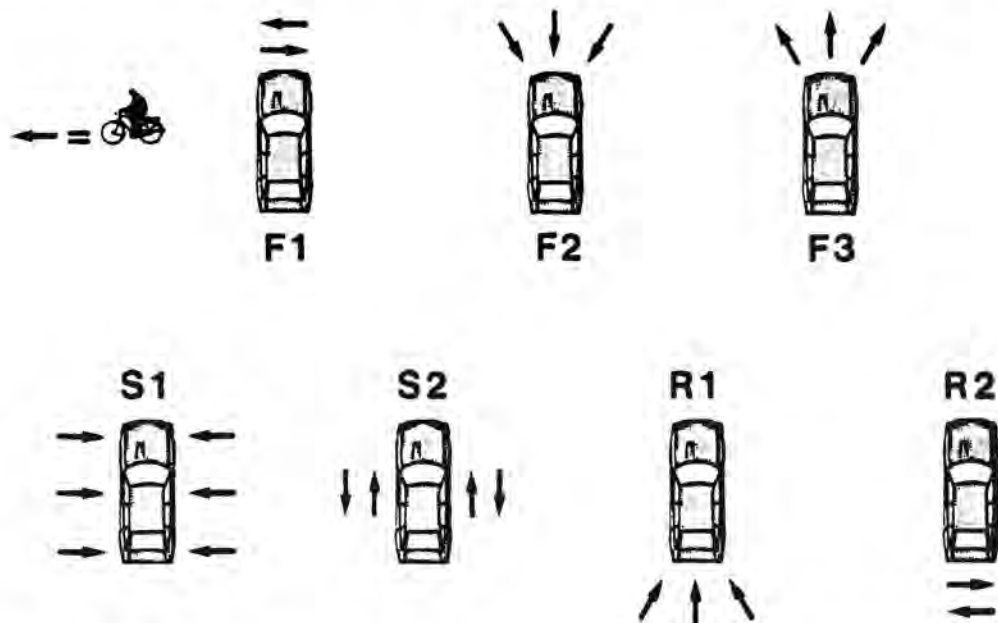
Bij een botsing met een tweewieler is er een extra complicatie ten opzichte van dit eerste type ongeval. Hier kunnen ook contacten tussen de tweewieler en de berijder optreden. Ten gevolge daarvan kunnen er ook letsels ontstaan. Of dit zo is en zo ja, in welke mate, hangt onder andere af van het type botsing.

Ter verduidelijking is er in Afbeelding 2 een indeling gemaakt van de mogelijke typen botsingen tussen een personenauto en een tweewieler. Bij een frontale botsing tussen tweewieler en auto (F2) zal het eerste contact met het lichaam hoogstwaarschijnlijk optreden tussen het stuur van de tweewieler en de onderbuik van de berijder.

Bij een botsing waarbij de tweewieler zijdelings door het front van de auto wordt aangereden (F1), zal het eerste contact met het lichaam optreden met de voorkant van de auto.

Uit de geregistreerde ongevalgegevens blijkt dat het type F1 (het front van de auto komt in botsing met de flank van de tweewieler) het meest voorkomt. Bovendien is dit type na het type F3, waarbij de achterkant van de tweewieler door het front van de auto aangereden wordt, in termen van letaliteit het meest ernstig. Daarom zal dit type hier nader worden uitgewerkt.

Omdat bij dit type botsing de tweewieler een niet al te grote rol zal spelen, wordt ook een indeling in de primaire en de secundaire fase gehanteerd.



Afbeelding 2. Aanduiding van een aantal typen botsingen tussen tweewieler en auto (Huijbers, 1984a).

### 2.2.2. De primaire fase

In de primaire fase vinden de contacten tussen de combinatie tweewieler en berijder en de personenauto plaats. Waar en met welke intensiteit dit gebeurt, hangt in eerste instantie af van het relatieve snelheidsverschil waarmee de twee opponenten elkaar raken. De primaire fase duurt ongeveer 250 ms.

Het is niet zinvol om bij de beschrijving van de ingangsvariabelen van het botsproces uit te gaan van de overdracht van kinetische energie. De reden hiervoor is dat slechts een deel van de bij de botsing aanwezige energie aan de tweewieler en berijder-combinatie wordt overgedragen. Daartoe een voorbeeld: Stel de massa van de bij de botsing betrokken auto op 900 kg en de snelheid van deze auto op moment van botsen op 11 m/s (40 km/u). De aanwezige hoeveelheid kinetische energie bedraagt dan 54.450 Nm. De snelheidscomponent van de tweewieler (fiets) in de rijrichting van de auto is bij het gegeven type botsing (F1) op moment van botsen nihil. De snelheid van de fiets en fietser-combinatie na het botsen kan worden berekend met behulp van de wet van behoud van impuls. De grootte van de snelheid is, zoals later verduidelijkt zal worden, afhankelijk van de elasticiteit van de botsing. Deze zal ruwweg tussen 1 à 2 maal de snelheid van de auto voor de botsing bedragen. We nemen hier een factor 1,5 aan.

De kinetische energie van een fiets en fietser-combinatie, bij een massa van de fietser van 70 kg en van de fiets van 20 kg, bedraagt dan 12.251 Nm. Er wordt 23% van de energie van de auto voor de botsing voor de beweging van de fiets en fietser-combinatie gebruikt. De rest van de energie zal uiteindelijk in de meeste gevallen via de remmen van de auto in warmte omgezet worden.

Daarom zal worden uitgegaan van het "principe van de stoot", in combinatie met de impulsvergelijking. Dit wordt toegepast op een relatief eenvoudig model: een éénparig voortbewegende massa botst tegen een stilstaande massa. De simpelheid van het model stelt enige eisen zoals: beide lichamen zijn bolvormig, er treedt geen rotatie op en beide lichamen zijn vrij. In werkelijkheid zal lang niet altijd aan deze eisen zijn voldaan.

Door de bewegende massa wordt er een stoot ( $\bar{S}$ ) uitgeoefend op de stilstaande massa. Conform de definitie van de stoot is de grootte hiervan:

$$\bar{S} = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \int_{t_1}^{t_2} K \cdot dt$$

Binnen een zeer kort tijdbestek ( $dt \rightarrow 0$ ) vindt er een zeer grote kracht-inwerking ( $K \rightarrow \infty$ ) plaats. De uitwerking van deze stoot is een discontinue verandering in de hoeveelheid van beweging. Deze verandering van beweging is - onder de genoemde voorwaarden - te bepalen met behulp van de wet van behoud van impuls. Dit levert de snelheid van de oorspronkelijke stilstaande massa na de botsing ( $v'_f$ ):

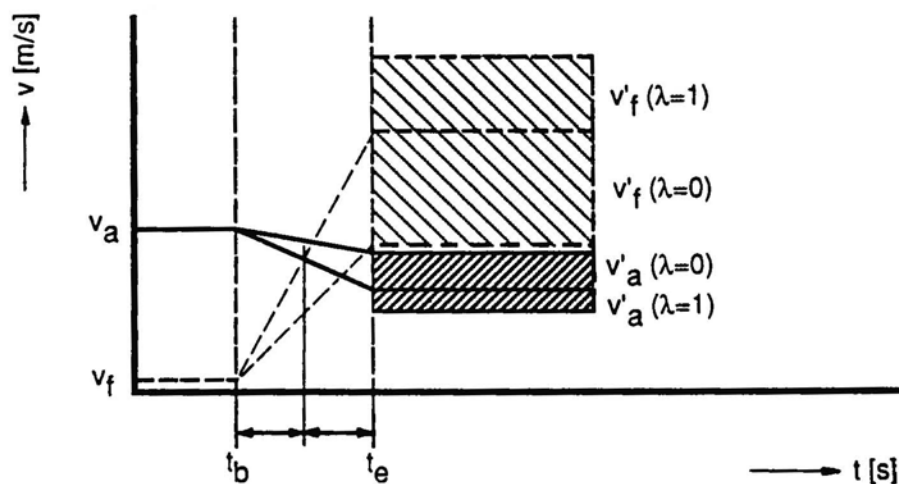
$$v'_f = \frac{(1 + \lambda) v_a}{1 + (m_f/m_a)}$$

waarbij  $\lambda$  de elasticiteit van de botsing weergeeft,  $v_a$  de snelheid is van de bewegende massa voor de botsing en  $m_f$  en  $m_a$  de massa's van resp. de stilstaande en de bewegende bol zijn.

Bij een volledig plastische botsing ( $\lambda = 0$ ) bewegen beide massa's na de botsing met dezelfde snelheid. Bij een volledig elastische botsing ( $\lambda = 1$ ) zal de stilstaande massa versneld worden tot een snelheid  $v'_f$ :

$$v'_f = \frac{2 * v_a}{1 + (m_f/m_a)}$$

Deze snelheid is hier (omdat  $m_f \ll m_a$ ) bijna twee maal zo groot als de snelheid van de bewegende massa voor de botsing.



Afbeelding 3. Snelheidsverloop van de bij de botsing betrokken massa's berekend met behulp van de wet behoud van impuls.

In Afbeelding 3 is snelheid van de fiets en fietser-combinatie en de auto als functie van de tijd weergegeven. Op het tijdstip  $t = 0$  beweegt de auto met een snelheid  $v_a$  en de fiets en fietser-combinatie met een snelheid  $v_f$ . Op het tijdstip  $t_b$  vindt een eerste contact tussen auto en fiets plaats. Op het tijdstip  $t_e$  heeft de impulsoverdracht plaatsgevonden. Auto en fietser bewegen met respectievelijk  $v'_a$  en  $v'_f$ . De grootte van deze snelheden is afhankelijk van de elasticiteitsmodulus. In Afbeelding 3 is het snelheidsverloop weergegeven voor  $\lambda = 0$ ,  $\lambda = 1$  en voor een willekeurige tussenliggende waarde.

Bij een half-elastische botsing zal de snelheid van  $m_f$  bij een waarde van het quotiënt  $m_f/m_a$  van 0,1, na de botsing 1,4 maal de snelheid van  $m_a$  voor de botsing bedragen.

Doordat de eerste stoot bij de botsing niet door het zwaartepunt van de tweewieler en berijder-combinatie zal gaan, zal er een stootmoment worden uitgeoefend ( $\bar{S} * \bar{r}$ ), waarbij  $\bar{r}$  de afstand tot het zwaartepunt is. De grootte hiervan is gelijk aan  $|r|_{z_{wpt}} * \omega_{z_{wpt}}$ , het produkt van de massastraagheid rond het zwaartepunt en de hoeksnelheid van het lichaam rond dit punt. Er treden rotaties op, zodat aan één van de voorwaarden niet meer voldaan is. Bovendien geeft de zo juist uitgevoerde berekening alleen informatie over de snelheidsverandering in een tijdinterval dat oneindig klein is ( $\rightarrow 0$ ). In werkelijkheid is het tijdinterval waarbinnen de krachtoverdracht plaatsvindt, in vergelijking met normale dagelijkse processen bijzonder klein. Doch zij is zeker niet gelijk aan 0. Met andere woorden, ook de krachten bezitten een eindigheid. Deze krachten die tijdens de botsing op het lichaam van de tweewielerberijder werken, zijn afhankelijk van het produkt van massa en versnelling ( $dv_f/dt$ ). Naarmate het interval waarbinnen de snelheidsverandering plaatsvindt ( $dt$ ) groter is, zullen deze krachten kleiner zijn.

Het verder uitwerken van dit simpele twee-massamodel naar een veer-demper-model waarbij dus ook de factor tijd wordt ingevoerd, levert alleen zeer ingewikkelde formules op, zonder dat er van een wezenlijke meerwaarde sprake is. Verder rekenen kan op dit moment veel realistischer met behulp van bestaande meer-massamodellen die uitsluitend met behulp van een computer iteratief doorgerekend kunnen worden.

Uit het voorgaande blijkt dat er binnen type botsing F1 een aantal variabelen is aan te wijzen die van invloed zijn op de grootte van de mechani-

sche uitgangsvariabelen in het botsproces. De voornaamste hiervan zijn: de snelheid van de auto net voor de botsing ( $v_a$ ), de massa van de auto ( $m_a$ ) ten opzichte van de massa van de tweewieler en berijder-combinatie ( $m_f$ ), de massatraagheid rond het zwaartepunt, de elasticiteit van de botsing en de deformatiekenmerken van de contactplaatsen.

Tijdens het botsproces zullen er verschillende contacten tussen auto en tweewielerberijder optreden. Om een overzicht van de ingangsvariabelen te krijgen, zullen deze contacten hierna worden uitgewerkt.

#### Het eerste contact

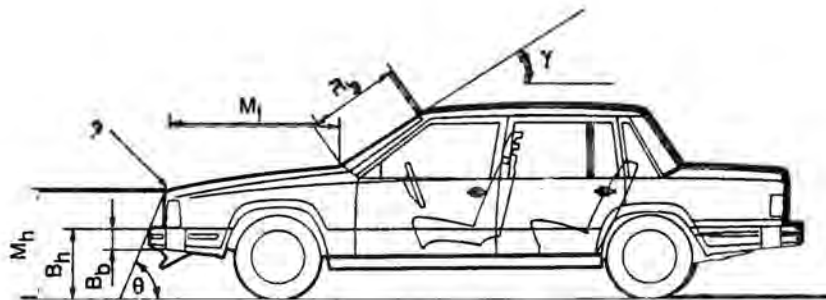
Het eerste contact zal meestal plaatsvinden tussen het been van de tweewielerberijder en de bumper van de auto. Als het been als eerste wordt geraakt, zal er vervolgens contact optreden tussen het been en de tweewieler. Het been wordt als het ware ingeklemd tussen de auto en de tweewieler. De op het been inwerkende krachten zijn, omdat het om vectoriële grootheden handelt, bepaald in termen van grootte, richting en plaats.

De grootte van de krachten tijdens dit eerste contact zullen afhankelijk zijn van  $v_a$ ,  $m_a$ ,  $m_t$ ,  $m_b$  en van een aantal autovariabelen zoals bumperhoogte (afstand tot het zwaartepunt van tweewieler en berijder-combinatie), fronthoek van de auto - en de verschillende stijfheden. Deze autovariabelen kunnen derhalve nog worden onderscheiden in vormvariabelen en materiaalvariabelen, zie aldaar. De richting van de aangrijpende krachten is horizontaal.

De plaats van de aangrijping op het lichaam van de berijder is afhankelijk van bumperhoogte en fronthoek van de auto, afmetingen van de tweewieler, afmetingen van de berijder en van de trapperstand. Maar ook het remmen van de auto is van invloed. Door het remmen zal de auto een dompbeweging uitvoeren zodat de waarden van vormvariabelen (als bumperhoogte) veranderen. Om van de autovariabelen de vormvariabelen nader te bepalen zijn in Afbeelding 4 de voornaamste weergegeven (zie ook Bijlage).

#### Het tweede contact

Onder andere afhankelijk van de vorm van de auto in relatie tot de afmetingen van tweewieler en berijder en van de snelheid van de auto op moment van botsen zal er een tweede contact tussen de auto en de tweewielerberijder plaatsvinden. De grootte van de daarbij optredende krachten is



Afbeelding 4. Weergave van vormvariabelen van de auto.

afhankelijk van het relatieve snelheidsverschil op moment van botsen tussen de auto en het lichaam van de tweewielerberijder, de massa van de auto ( $m_a$ ), de massa van de tweewieler ( $m_t$ ), afstand tot het zwaartepunt van de berijder, en de stijfheid van de motorkap.

De richting is afhankelijk van de vorm van de auto.

De plaats wordt bepaald door:  $M_h$ ,  $\theta$ , afmetingen van tweewieler en berijder.

#### Het derde contact

Afhankelijk van ongeveer dezelfde variabelen als bij het tweede contact als  $v_a$ , de dimensies van de tweewieler en berijder-combinatie in relatie tot de dimensies van de auto ( $B_h$ ,  $M_h$ ) zal er contact tussen romp en/of hoofd en de motorkap, voorruit of bovenkant van het dak plaatsvinden.

De grootte van deze krachten is afhankelijk van het relatieve snelheidsverschil (kinematica van de tweewielerberijder), massa auto ( $m_a$ ), massa tweewielerberijder ( $m_b$ ), helling van de motorkap, helling van de voorruit en stijfheid van de contactplaatsen.

De richting van de krachten is afhankelijk van de kinematica van de berijder en de hellingshoeken van de geraakte delen van de auto. De plaats is afhankelijk van de kinematica, dimensies tweewieler en berijder-combinatie ten opzichte van de auto.

### Het vierde contact

Als het derde contact met de motorkap van de auto heeft plaatsgevonden, kan er nog een vierde contact met de voorruit plaatsvinden. De variabelen zijn nagenoeg dezelfde als die van het derde contact. Een bijkomende variabele is de hellingshoek van de voorruit ( $\gamma$ ).

### 2.2.3. De secundaire fase

Na het laatste contact met de auto zal de tweewielerberijder van de auto afgeworpen worden. De berijder zal vervolgens in contact komen met de omgeving. In veel gevallen zal dit de grond zijn, maar contacten met andere objecten zijn natuurlijk ook mogelijk. Met welk lichaamsdeel dit contact plaatsvindt en met welke intensiteit hangt af van de kinematica van de berijder en dus van het hele scala van reeds genoemde variabelen. Praktisch zal het niet eenvoudig zijn de letsels die het gevolg zijn van alle hierboven genoemde contacten van elkaar te onderscheiden, maar voor het vinden van maatregelen is het op zijn minst van belang te weten in hoeverre letsels het gevolg zijn van contact met de auto en in hoeverre van contact met de grond of andere objecten (zie par. 2.3).

### 2.2.4. Samenvatting

Het botsproces van de tweewieler en berijder-combinatie en een auto wordt gekenmerkt door een zeer korte procestijd van ongeveer één seconde. Tijdens deze korte tijd vinden er zeer grote krachtoverdrachten plaats.

In de primaire fase van het proces, die een duur heeft van 250 ms wordt de tweewieler en berijder-combinatie versneld tot een snelheid die meestal groter is dan die van de auto. De krachten die hiervoor verantwoordelijk zijn, zijn afhankelijk van een groot aantal variabelen.

Deze variabelen kunnen onderverdeeld worden in bots-, voertuig- en persoonsvariabelen. De voornaamste botsvariabelen zijn snelheid op moment van botsen en type botsing. De voertuigvariabelen zijn te onderscheiden in autovariabelen en tweewielervariabelen. De autovariabelen zijn weer nader te verdelen in vormvariabelen en materiaalvariabelen. De vormvariabelen bepalen de plaats en de grootte van de krachtenwerkingen (afstand tot het zwaartepunt). De materiaalvariabelen zijn bepalend voor de grootte van de krachten. De voornaamste tweewielervariabelen zijn afmeting en type. Bij de persoonsvariabelen zijn in het botsproces de afmetingen en de massa van invloed.

Doordat de uitgangsvariabelen van het botsproces gedefinieerd zijn als krachten die op het lichaam aangrijpen, vallen attributen ter bescherming van het lichaam, zoals helmen, onder de ingangsvariabelen.

### 2.3. Het letselproces

Ten gevolge van de krachten die tijdens het botsproces op het lichaam van de tweewielerberijder worden uitgeoefend, kunnen er letsels ontstaan. De fysische wetmatigheden in het letselproces zijn feitelijk dezelfde als die in het botsproces, met dien verstande dat nu de sterkte-eigenschappen van het menselijk weefsel meespelen. Of er letsel optreedt, hangt in eerste instantie af van de grootte van de mechanische belasting, de tijd waarin deze op het lichaam inwerkt, en van een aantal fysiologische eigenschappen van het lichaam. Deze fysiologische eigenschappen bepalen de weerstand die het lichaam tegen letsel kan opbrengen. Factoren die bepalend zijn voor deze weerstand zijn: plaats, leeftijd en aanwezigheid van vetweefsel.

Het beschrijven van het letselproces, in medische termen de pathogenese genoemd, is niet eenvoudig en bovendien per locatie verschillend. Het breken van een been is een minder ingewikkeld proces dan het ontstaan van hersenletsel. Ter beschrijving van dit laatste proces zijn er een groot aantal, vaak tegenstrijdige theorieën in omloop. Voor het letselpreventie-onderzoek zijn binnen het letselproces vooral de kritische waarden ("human tolerance") waarbij nog net geen letsel optreedt, van belang. Op basis van deze waarden kunnen uitspraken gedaan worden over het effect op het ontstaan van letsels van de mechanische belastingen zoals ze uit de simulaties berekend zijn. Het onderzoek naar "human tolerance", ook wel biomechanisch onderzoek genoemd, is een onderdeel van letselpreventie-onderzoek.

### 2.4. Het genezingsproces

De bij het ongeval opgelopen letsels zijn de ingangsvariabelen van het genezingsproces. Het genezingsproces start, bij de gekozen indeling, als de botsfase is afgelopen. Bij dit proces speelt een complex van factoren een rol zoals snelheid en kwaliteit van de eerste-hulpverlening, kwaliteit van de medische behandeling, evenals een aantal psychologische en sociale factoren. Deze meer uitgebreide benadering van het gebied is te vatten onder de term post-crash onderzoek. Bij letselpreventie-onderzoek als hier be-



doeld, gaat het vooral om de (fysische) gevolgen van botsingen voor de betrokken slachtoffers, waarbij als eindsituatie de eenmaal gestabiliseerde lichamelijke toestand wordt beschouwd. Deze eindsituatie is overigens niet aan een duidelijke termijn gebonden en kan derhalve lopen van enkele seconden (bij zeer licht gewonden) tot vele jaren bij slachtoffers die een vorm van invaliditeit overhouden.

## 2.5. Schematische samenvatting

De termen uit Afbeelding 1 (blz. 14) kunnen nu met behulp van de uitwerking in de voorgaande paragrafen als volgt schematisch worden weergegeven:

- |                         |                       |  |
|-------------------------|-----------------------|--|
| Ongevals-<br>variabelen | - Botsvariabelen:     | - $v_a / v_f$<br>- Type boting<br>- Al-dan-niet remmen van de auto<br>- Trapperstand fiets                                     |
|                         | - Voertuig:           | - Auto: - Vorm ( $B_h, \Theta, \rho, M_h, M_1$ )<br>- Stijfheden<br>- Massa<br>- Tweewieler: - Type<br>- Afmetingen<br>- Massa |
|                         | - Mens:               | - Lengte<br>- Massa(traagheid)<br>- Bescherming (helm, kleding)  |
| UIT                     | - Ongevalsvariabelen: | - Stabiele situatie na de botsing<br>(plaats auto)<br>- Werpafstand van de tweewieler en<br>berijder<br>- Remsporen            |
|                         | - Voertuig:           | - Auto: - Schade (plaats, ernst)<br>- Tweewieler: - Schade (plaats, ernst)   |
|                         | - Mens:               | - Schade (kleding)   |

Krachten - Mechanische belasting van de lichaamsdelen

Menselijke kenmerken - Mens:  
- Leeftijd, sexe  
- Fysieke conditie  
- Vetgehalte

Letsels - Letsels in termen van plaats, aard en ernst (AIS)

Medische zorg - Snelheid en kwaliteit medische hulpverlening

- Psycho-sociale en fysiologische variabelen

Rest- conditie - Blijvende letsels in termen van plaats, aard en ernst  
- Blijvend verminderde mobiliteit

### 3. LETSELPREVENTIE-ONDERZOEK

#### 3.1. Indeling van het onderzoekgebied

In letselpreventie-onderzoek worden de in het vorige hoofdstuk beschreven processen bestudeerd, hetzij afzonderlijk, hetzij in combinatie.

Letselpreventie-onderzoek is naar methoden van onderzoek te verdelen in:

- Ongevallenonderzoek
- Ongevallensimulatie
- Biomechanisch onderzoek
- Blijvende-gevolgenonderzoek

##### 3.1.1. Ongevallenonderzoek

Bij de bestudering van ongevallen worden de eerste twee deelprocessen uit Afbeelding 1 (blz. 14), het botsproces en het letselproces, als één geheel beschouwd. Zowel de ingangsvariabelen (ongevalsvariabelen) als de uitgangsvariabelen (letsels) worden retrospectief verzameld vanuit de werkelijkheid. Vooral het verkrijgen van betrouwbare informatie betreffende de ingangsvariabelen is een zeer moeilijke opgave, speciaal omdat zoals gezegd de bots- en letsel fase in tienden van seconden plaatsvinden en normaliter geen registratie van de meeste gegevens plaatsvindt, zoals bijvoorbeeld wel het geval is bij ongevallen met vliegtuigen ("black box"). Het behoort tot de droomwens van iedere ongevallenonderzoeker dat er ooit nog eens een tijd komt waarin ook auto's en andere wegvoertuigen uitgerust zijn met dergelijke registratie-apparatuur. Onderzoektechnisch worden er derhalve tal van omwegen bewandeld om toch de benodigde gegevens te verkrijgen, hetzij via getuigen, hetzij via metingen van achteraf nog wel beschikbare gegevens (stille getuigen).

Omdat het om werkelijk gebeurde ongevallen gaat, is het bij dit type onderzoek in de eerste plaats te doen om evaluatie van bestaande maatregelen en voorzieningen. Men kan dus het effect bepalen van voorzieningen voorzover ze daadwerkelijk aanwezig zijn. Een en ander is overigens wel afhankelijk van de omvang en de kwaliteit van de beschouwde gegevens. Hierop wordt in de volgende paragrafen nader ingegaan.

### 3.1.2. Ongevallensimulatie

Er zijn twee belangrijke soorten ongevallensimulaties:

- botsproeven
- mathematische simulaties

In beide gevallen wordt vrijwel uitsluitend het eerste deelproces (het botsproces) gesimuleerd. Uitgangsvariabelen zijn derhalve de krachten, versnelingen en de uitgangsposities. Registratie van gegevens uit het letselproces zijn feitelijk alleen via een omweg mogelijk vanwege het evidente probleem dat niet met menselijke proefpersonen kan worden gewerkt.

Een geweldig voordeel van botsproeven is de mogelijkheid alle ingangsvariabelen onder controle te houden, ze gewenste waarden te geven en vervolgens de uitgangsvariabelen nauwkeurig te registreren. Een groot nadeel is zoals genoemd dat uiteraard niet van menselijke proefpersonen gebruik gemaakt kan worden, althans niet van levende. Hiervoor in de plaats gebruikt men proefpoppen (dummies), dieren of soms menselijke kadavers. Bij lichte proeven worden soms menselijke vrijwilligers gebruikt. Het gaat bij botsproeven doorgaans om goed geïnstrumenteerde en dus kostbare laboratoriumactiviteiten.

De laatste tijd behoort het simuleren van ongevallen met behulp van mathematische modellen eveneens tot de mogelijkheden. Hierbij zijn altijd gegevens uit de werkelijkheid of uit proefbotsingen nodig alvorens er enige zekerheid bestaat dat het model de botsingen naar behoren naspeelt. Voordeel van de methode is zijn betrekkelijk lage prijs en de enorme mogelijkheid tot variatie van in- en uitgangsvariabelen. Nadeel is dat zeer veel ontwikkelingswerk, validatie en evaluatie verricht moet worden en hoogwaardig programmeringswerk vereist is alvorens een redelijk met de werkelijkheid overeenkomend model is gecreëerd.

### 3.1.3. Biomechanisch onderzoek

Evenals bij botsproeven gaat het bij biomechanisch onderzoek om een typisch laboratoriumonderzoek dat gericht is op inzicht in het ontstaan van letsels aan menselijke weefsels en in de menselijke fysische tolerantiegrenzen. Aan de orde is derhalve het tweede deelproces, het letselproces, ofwel het verband tussen mechanische belasting en het ontstaan van letsel. Dit onder-

zoekveld is uiterst belangrijk voor de letselpreventie, omdat met nauwkeurige "human tolerance"-waarden nieuwe constructies kunnen worden ontworpen die bij toepassing tot acceptabele krachthinwerking op het menselijk lichaam leiden. Anderzijds geeft inzicht in het ontstaan van letsel de mogelijkheid, ook als de tolerantie niet bekend is, tot wijziging van constructies te komen. Op dit moment zijn zij de missende schakel bij het simulatieonderzoek. De mechanische belasting kan worden benaderd, maar het effect op de letsels is niet nauwkeurig aan te geven.

Het bestuderen van letselmechanismen gebeurt met behulp van dieren en kadavers. Het bepalen van de letseltoleranties geschiedt op basis van experimenten met dieren, kadavers en mensen en ligt dan in het verlengde van botsproeven zoals eerder omschreven. Vaak ook worden zogenaamde deelproeven uitgevoerd als het gaat om de plaatselijke sterkte van een bot of een ander lichaamsonderdeel. Door koppeling van botsproeven en mathematische simulaties aan letselonderzoekgegevens kunnen nieuwe constructies ontwikkeld of gesimuleerd worden, waarvan dan later in de praktijk via ongevalsonderzoek de juiste werking kan worden nagegaan. Dit is helaas een (noodzakelijke) cyclus die veel tijd kost.

#### 3.1.4. Blijvende-gevolgonderzoek

Bij dit type onderzoek is het derde deelproces, het genezingsproces, aan de orde. Het onderzoek richt zich derhalve op de relatie tussen de letsels die bij botsingen ontstaan en de uiteindelijke restconditie bij de slachtoffers. Deze conditie kan een volledig herstel betekenen, maar ook een blijvend gevolg, hier bedoeld in termen van fysische belemmeringen. Hieraan is al te zien dat de tijdbasis voor dit type onderzoek per slachtoffer zeer verschillend kan zijn, van vrijwel nihil (in geval van zeer licht letsel) tot enkele jaren (in geval van blijvende invaliditeit). Het gaat derhalve om een typisch longitudinaal, retrospectief onderzoektype; de patiënt wordt in de tijd gevolgd en gegevens over de lichamelijke conditie worden periodiek verkregen en geanalyseerd. Dit type onderzoek is bij uitstek te koppelen aan ongevalsonderzoek waarbij in principe immers de letselgegevens van patiënten verkregen zijn. Op die wijze is ook meer over de voorgeschiedenis bekend dan wanneer alleen uitgegaan zou worden van het ontstane letsel sec. Met andere woorden, bij de bestudering van het derde deelproces is een gedeelte van de variabelen uit de eerste twee deelprocessen van directe betekenis.

### 3.2. Discussie

Kenmerk van alle hierboven genoemde typen onderzoek is dat in geen enkel geval de theoretisch, in Hoofdstuk 2 aangeduide, belangrijke variabelen volledig en door direkte meting te verkrijgen zijn. Iedere methode heeft z'n beperkingen. Veelal moet met benaderingen van de werkelijkheid worden gerekend. Dit geldt ook voor ongevalsonderzoek. Immers in dit laatste geval zijn uiterst wezenlijke gegevens zoals de botsnelheid, de exacte uitgangsposities, schade en bewegingsverloop tijdens de botsing vrijwel nooit precies achterhaalbaar. Men zou kunnen denken aan het plaatsen van film-, of videocamera's op specifieke punten, teneinde relevante gegevens te registreren, een methode die bij diepgaand onderzoek ook wel wordt toegepast. De praktijk wijst echter uit dat de trefkans per locatie zeer gering is en de doelmatigheid van zo'n methode is daarmee twijfelachtig (DOVO, 1987). Meer gewicht moet worden toegekend aan registratie-apparatuur waarmee ieder (motor)voertuig zou kunnen worden uitgerust en waarmee voor onderzoekdoeleinden zeer relevante gegevens eenvoudig kunnen worden geregistreerd. Op dit moment worden er reeds systemen op de markt gebracht waarmee relevante informatie over o.a. gereden afstanden en snelheden kunnen worden vastgelegd. Naast deze voor managementdoeleinden geschikte informatie worden ook gegevens over snelheid en vertraging gedurende een korte periode voor een ongeval opgeslagen.

Over het plaatsen van een dergelijk apparaat in personenauto's begint een discussie op gang te komen (Bovagblad, 1987).

Uit het voorgaande blijkt dat men zich bij letselpreventie-onderzoek voor een groot gedeelte zal moeten behelpen met benaderingen. Benaderde botsgegevens bij ongevalsonderzoek en benaderde mensen en benaderde letsels bij de simulaties. Wanneer men ten volle wil profiteren van de verschillende mogelijkheden van letselpreventie-onderzoek, zal een integratie van de verschillende methoden, leidend tot meerwaarde bij de resultaten, nodig zijn. In de praktijk ziet men duidelijk voorbeelden van zo'n integratie en ook in het voorgestelde Nederlandse onderzoek op dit gebied is naar integratie gestreefd.

### 3.3. Ongevalsonderzoek

Ongevalsonderzoek bestudeert de processen 1 en 2 (het botsproces en het letselpproces) als een geheel, daar de waarden van de mechanische uitgangs-

grootheden van het botsproces op zijn hoogst geschat kunnen worden. Het wordt in de internationale wereld van letselpreventie-onderzoek als een onmisbare schakel tot verder onderzoek en maatregelen beschouwd. De belangrijkste reden daarvan is ongetwijfeld dat maatregelen getroffen door industrie en overheid gebaseerd moeten zijn op de realiteit van het dagelijkse verkeers- en ongevalleengebeuren. Ook al is de realiteit complex, en daardoor moeilijk te doorgronden, de werkelijkheid kan middels een representatieve steekproef en relevante onderzoekvariabelen toegankelijk gemaakt worden. Andere methoden van onderzoek, hoe goed ook, kunnen doorgaans maar een klein gedeelte van de werkelijkheid tegelijk laten zien. De kwaliteit (uitgedrukt in de betrouwbaarheid en de diepgang van de verzamelde gegevens) en de kwantiteit (uitgedrukt in het aantal verzamelde items en hun onderverdelingen) zijn omgekeerd evenredig. Hoe groter de kwaliteit, des te minder de kwantiteit bij gegeven inspanning, of per tijdseenheid. Op dit gegeven is de volgende globale indeling van ongevallenonderzoek in drie hoofdtypen gebaseerd:

1. Analyseren van ongevalleengegevens op nationale schaal
2. Statistisch ongevallenonderzoek
3. Dieptestudies

Tussenvormen en combinaties zijn mogelijk, doch in de meeste landen komt men duidelijke voorbeelden van de drie typen tegen. In hetgeen volgt worden de hoofdtypen nader omschreven.

### 3.3.1. Verzamelen en analyseren van ongevalleengegevens op nationale schaal

Ongevalleengegevens op nationale schaal zijn vrijwel altijd gebaseerd op de registratie door de politie. Doordat de politie deze registratie niet als primaire taak uitoefent, vertonen de gegevens die na registratie bewerkt en gecodeerd moeten worden (in Nederland door de Dienst Verkeersongevallenregistratie VOR te Heerlen) enkele typische tekortkomingen, zoals onvolledigheid vooral bij de ongevallen met geringe ernst en met langzame verkeersdeelnemers en een vrij beperkt scala van voor onderzoek relevante gegevens. Zij worden na bovenstaande procesgang veelal geleverd in standaardtabellen en als zodanig gepubliceerd (in Nederland door het CBS) of nader geanalyseerd op basis van de gecodeerde gegevens (in Nederland door de SWOV). Als zodanig vormen deze gegevens een onmisbare bron van kennis voor verder onderzoek en voor beleidsadvisering. Het gaat daarbij in

hoofdzaak om de ontwikkeling van de totale verkeersonveiligheid en die op specifieke terreinen. De belangrijkste toepassing voor verder onderzoek komt voort uit de mogelijkheid probleemgebieden aan te wijzen in termen van slachtoffers en globale ongevalssituaties. Tevens dienen vooral gegevens van dodelijke ongevallen als referentie voor verdergaand onderzoek, al-of-niet op steekproefbasis. De toepassingsmogelijkheden van nationale ongevalgegevens van de VOR kunnen nog aanzienlijk worden verruimd door koppeling met andere bronnen op nationaal niveau, zoals voertuiggegevens uit de kentekenregistratie van de RDW en ziekenhuis(letsel)gegevens van de SIG. Beide koppelmogelijkheden zijn respectievelijk in gebruik en in onderzoek en zullen hun vruchten kunnen afwerpen (zie ook 4.2.1). Tegelijk is duidelijk dat kentekengegevens zich moeten beperken tot motorvoertuigen met kenteken, terwijl de SIG-gegevens zich uiteraard beperken tot de opgenomen slachtoffers van verkeersongevallen.

Er zijn voorbeelden bekend van landen waarin op nationaal niveau een aantal gegevens meer wordt verzameld dan in Nederland, waardoor de toepassingsmogelijkheden dichter in de buurt van de onder 3.2.2. beschreven gegevens kunnen komen. Ook de SWOV heeft reeds jarenlang de wenselijkheid geuit van uitbreiding van de politiegegevens. Daar staat tegenover dat de primaire taak van het politie-apparaat die van handhaving van de openbare orde is; in dat veld is er maar op beperkte schaal in juridische zin behoefte aan ongevalgegevens, terwijl ook in andere opzichten de taak van de politie in het hedendaags maatschappelijk verkeer complex is. De verwachting dat meer ongevalgegevens kunnen worden geregistreerd lijkt daardoor niet te kunnen worden bewaarheid. Voorts moet duidelijk zijn dat voor registratie van bepaalde ongevalgegevens specifieke deskundigheid vereist is op het terrein van schade en letsel, waar vooralsnog niet aan voldaan is.

### 3.3.2. Statistisch ongevallenonderzoek

Voor dit type onderzoek zijn verschillende namen in omloop die alle een aspect van de activiteiten weergeven: Intermediate-level ongevallenonderzoek; crash-injury onderzoek; onderzoek naar de afloop van verkeersongevallen.

De ongevalgegevens worden via een zogenaamd retrospectief onderzoek verkregen. Hierbij wordt een representatieve steekproef uit alle ongevallen



getrokken ten einde een analysebestand op te bouwen. De gegevens worden doorgaans gedeeltelijk via observatie, gedeeltelijk via schriftelijke en quète verkregen. Door toetsing aan de nationale gegevens wordt de representativiteit van het onderzoek voor de nationale ongevallensituatie nagegaan.

Dit soort praktijkonderzoek levert in principe een veelheid aan theorieën en statistische verbanden op het gebied van letseloorzaken op die door hun representatieve basis en voldoende omvang tot vrij nauwkeurige uitspraken voor de nationale ongevallenpopulatie leiden. Omdat de werkelijkheid inderdaad complex is, zal bij het analyseren van onderzoekgegevens van een tevoren doordacht veelal multivariate-analyseschema gebruik moeten worden gemaakt. Een tweede voorwaarde is dan dat de gegevens een duidelijk bekende kwaliteit moeten bezitten, welke van tevoren moet worden opgezet en achteraf moet worden getoetst. Door de volledigheid van de steekproef met betrekking tot de ernst van de afloop van de ongevallen (van niet gewond t/m dood) kunnen alleen op deze wijze, met deze techniek, evaluaties van bestaande letselpreventieve maatregelen of voorzieningen gemaakt worden. Voorbeelden hiervan zijn de bepaling van de effectiviteit van autogordels, hoofdsteunen en helmen. Met nationale ongevalgegevens is zo'n evaluatie vrijwel onmogelijk, ten eerste omdat geen volledig ernstscala is geregistreerd en ten tweede omdat de overige omstandigheden voor, tijdens en na invoering van een specifieke maatregel vrijwel nooit constant gehouden kunnen worden. Bij representatief ongevalsonderzoek kunnen de omstandigheden binnen de steekproef constant gehouden worden via analysetechniek.

### 3.3.3. Dieptestudies

Voor een nog nadere detaillering van de kennis van de oorzakelijke factoren, van invloed op het ontstaan van letsel, is men aangewezen op diepgaander studie. Deze studies worden "case studies", "in depth studies" of ongevallenreconstructie genoemd. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat op die basis, wanneer men letterlijk alles van een ongeval afweet, de beste uitgangspositie voor maatregelen is bereikt. Dat is feitelijk alleen juist als men die kennis zou opdoen voor een complete doorsnede van alle verkeersongevallen, voor een representatief deel van het totaal dus. In de praktijk is hier sprake van een contradictio in terminis. De benodigde tijd en moeite voor de verkrijging van de volledige gegevens van een enkel ongeval, limiteren de mogelijkheden zodanig dat slechts een bestand van

enkele tientallen cases op jaarbasis kan worden opgebouwd. Daardoor zijn de gebruiksmogelijkheden van dit type onderzoek, hoewel duidelijk van waarde geacht, beperkt.

Een nadere onderverdeling kan gemaakt worden op basis van het feit of de plaats van het ongeval direct na het ongeval, wanneer de voertuigen en slachtoffers zich nog in de ongevalssituatie bevinden, of enige tijd na het ongeval bezocht wordt.

De gegevens worden in beide gevallen verzameld door speciale interdisciplinaire onderzoekteams.

Bij de eerste soort staan deze teams continu paraat om op afroep (van politie of ziekenhuis) zo snel mogelijk naar de plaats van het ongeval te gaan. Hier wordt de omgeving en de bij het ongeval betrokken voertuigen aan een nauwkeurig onderzoek onderworpen. Er worden foto's gemaakt en voor het bepalen van de contactplaatsen tussen slachtoffer en voertuig wordt van speciale technieken gebruik gemaakt.

Getuigen worden gehoord en soms worden met het bij het ongeval betrokken voertuig remproeven uitgevoerd met het doel om aan de hand van de eventueel aanwezige remsporen de botssnelheid te bepalen. Met deze gegevens gecombineerd met informatie van medische instanties wordt het ongeval geanalyseerd.

Bij de tweede soort zullen deze gegevens op andere wijzen verkregen moeten worden, meestal door middel van ondervraging van de betrokkenen bij het ongeval. De plaats van het ongeval wordt later bezocht om aan intensiteits- en snelheidsgegevens te komen en om een nauwkeurige situatieschets te krijgen; ook de schade van de betrokken voertuigen wordt achteraf vastgesteld. Toepassing ervan zou daardoor gericht moeten zijn op pure hypothesevorming dan wel op toetsing van een zeer specifiek aspect waarvoor representativiteit van het materiaal niet vereist is. In de praktijk wordt de methode echter gebruikt vanuit de verwachting dat betrouwbare gegevens van een bepaald ongeval ook geldig zijn voor uitspraken over het totale ongevalle gebeuren. Men zou die situatie enigszins kunnen vergelijken met het onderzoek van vliegcrashes, waar gezien de veel geringere frequentie en die veel grotere consequenties pertinent geleerd moet worden uit de gecombineerde gegevens van dat ene geval. Vandaar ook dat er gedachten bestaan over het in Nederland uitvoeren van verkeersrampenonderzoek op "in-depth" basis, een gedachte die verdedigbaar zou zijn als ook die rampen niet te specifiek van aard zijn. Gezien de complexiteit van de processen zal met een groot aantal

verkeersongevallen gewerkt moeten worden. Omdat dit gezien het capaciteits- en kostenbeslag voor een enkele organisatie normaliter niet op te brengen valt, is de gedachte ontstaan en hier en daar in praktijk gebracht, bestanden van verschillende organisaties, vaak internationaal, te koppelen tot een groter geheel. In de praktijk is gebleken dat, hoewel de gedachte theoretisch juist kan zijn, de uitvoering stukloopt op verschil in tal van aspecten tussen de samen te voegen bestanden. Alleen het samenwerken vanaf het begin van een onderzoek kan een redelijk resultaat opleveren. Wel wordt in een aantal landen gewerkt met een gecombineerde aanpak van diverse instituten volgens dezelfde methodiek, maar in verschillende gebiedsdelen. Ook kent men met het oog op de multidisciplinaire aanpak een gecombineerde inzet van verschillende instituten (technische disciplines, medische disciplines etc.). Voorbeelden worden nader aangeduid in Hoofdstuk 4.

### 3.4. Samenvatting

Met letselpreventie-onderzoek worden bots-, letsel- en genezingsproces bestudeerd. Het doel daarvan is om op basis van de hierdoor verkregen kennis (over relaties tussen in- en uitvoervariabelen) aanbevelingen (aan overheden en fabrikanten) te kunnen doen voor maatregelen en voor nader onderzoek. Die maatregelen zijn dan vooral gericht op het tot aanvaardbare waarden terugbrengen van de krachten die bij botsingen op het menselijk lichaam kunnen worden uitgeoefend.

Het bepalen van deze waarden door het bestuderen van ongevalgegevens is niet eenvoudig omdat veel variabelen niet gemeten worden of kunnen worden. En omdat de informatie afkomstig van getuigen of betrokkenen niet altijd voldoende betrouwbaar is.

Vandaar dat de gegevens voor een groot deel verkregen zal moeten worden door bestudering van de "stille getuigen". Kennelijk wordt een automatische registratie van voor het analyseren zeer relevante gegevens zoals de bots-snelheid en de optredende krachten en vertragingen hierbij node gemist. Het is denkbaar dat deze informatie via een eenvoudig registratiesysteem in ieder motorvoertuig wordt verkregen, doch er zijn politieke en financiële belemmeringen.

Belangrijke informatie kan ook verkregen worden door ongevallen te simuleren. Dit geschiedt op twee manieren: botsproeven en mathematische simulaties. De rol van slachtoffers wordt 'gespeeld' door dummies, resp. mathema-

tische beschrijvingen van het menselijk gedrag. Letselinformatie is hierbij dus niet direct te verkrijgen; de outputgegevens zijn doorgaans krachten. Voor de vertaling daarvan naar letsels worden weer andere proeven gedaan, zoals met dieren en menselijke kadavers. Doordat ieder van deze methoden gebruik maakt van haar eigen benaderingen vanuit haar eigen beperkingen, is het denkbaar dat een uitgekende integratie ervan tot aanzienlijke meerwaarde leidt. Hierbij moet zeker ook gedacht worden aan internationale samenwerking, omdat niet per land op alle onderdelen onderzoek plaatsvindt. Internationale samenwerking vraagt om internationale geldbronnen; de financiering van het biomechanica-programma door de EEG via de EEVC heeft laten zien hoe zo'n programma in het verleden tot goede uitvoering kon komen. Dit is voor herhaling vatbaar.

Ongevallenonderzoek vormt een onmisbare methode voor het bestuderen van de desbetreffende processen. Er zijn drie soorten ongevallenonderzoek te onderscheiden. Dit onderscheid gebeurt naar omvang en diepte waarmee de gegevens verkregen worden: analyse van nationale ongevalgegevens, statistisch ongevallenonderzoek, dieptestudies.

#### 4. ONGEVALLENONDERZOEK IN DE PRAKTIJK

##### 4.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de literatuur op het gebied van ongevallenonderzoek in binnen- en buitenland gepresenteerd, via korte kenschetsen van opzet, uitvoering en resultaten.

##### 4.2. Resultaten uit de literatuur

De literatuur is ingedeeld naar de drie typen ongevallenonderzoek, zoals in het vorige hoofdstuk werd onderscheiden.

###### 4.2.1. Ongevallengegevens op (inter)nationale schaal

Overzichten hiervan worden jaarlijks door ECE, OECD en CEMT gepubliceerd. Op nationaal niveau gebeurt dit door de politie, VOR, CBS en de SWOV. Een typisch kenmerk van dit soort ongevallengegevens is dat zij, zoals reeds in het vorige hoofdstuk is opgemerkt, niet primair met het oog op ongevallenanalyse worden geregistreerd. De onderzoeker die van deze bron gebruik maakt moet het doen met wat er nu eenmaal beschikbaar is, zelfs als het mogelijk blijkt (zoals in het Nederlandse geval) over de gecodeerde oorspronkelijke gegevens te beschikken.

Juist in de internationale overzichten blijkt hoe beperkt de registratie is, doordat slechts zo weinig gemeenschappelijke kenmerken van ongevallen zijn opgenomen. Zelfs dan blijken nog definitieverschillen voor te komen waarvan één der bekendste is die met betrekking tot overleden verkeersslachtoffers (al of niet binnen 30 dagen).

In de praktijk worden nationale ongevallengegevens als basisinformatie in tal van verschillend georiënteerde publikaties benut; het heeft daardoor geen zin nader op deze literatuur in te gaan. Het misverstand moet overigens niet worden gewekt dat nationale gegevens door hun geringe diepgang en doorgaans incomplete samenstelling, niet bruikbaar zouden zijn. Voor veel landen is deze bron nu eenmaal de aangewezen maat voor de ontwikkeling van de verkeersonveiligheid en als zodanig wordt door vrijwel iedere overheid deze bron benut in het beleid. In Nederland zijn voorbeelden van publikaties die van het CBS, met name de bekende 'Statistiek van de verkeersonge-

vallen op de openbare weg' welke jaarlijks verschijnt en waarin menige uitsplitsing van variabelen is opgenomen, die de analist tot interessante conclusies leiden kan. Verder gaan de periodieke publikaties van de SWOV, veelal als beleidsonderbouwing bedoeld. Voorbeelden zijn de Jaaranalyses en de Kwartaalberichten. Recentelijk is na onderzoek aangaande volledigheid en representativiteit besloten dat de SWOV naast gegevens van dodelijke ongevallen (die verreweg het betrouwbaarst en compleetst zijn) ook gegevens van in het ziekenhuis opgenomen slachtoffers gaat gebruiken.

Een belangrijke veredeling van dit materiaal is te bewerkstellingen door de ongevalgegevens te relateren aan een expositiemaat. Langs die weg wordt niet alleen het begrip "ongevallenrisico" geïntroduceerd, doch ontstaat ook een betere vergelijkingsmaat met de gegevens uit andere landen. Voorwaarde is uiteraard dat er op nationaal niveau gegevens over de verkeersprestatie van de verschillende categorieën verkeersdeelnemers moeten bestaan. In Nederland is dat het geval in de vorm van gegevens uit de jaarlijkse CBS-studie 'Onderzoek Verplaatsingsgedrag'.

Nog moderner is de veredeling van ongevalmateriaal met enerzijds letselgegevens (via zo'n koppeling ontstaan de interessante, hoewel beperkte mogelijkheid tot het verfijnen van de ernstbepaling van verkeersongevallen met ziekenhuisopname) en anderzijds gegevens uit de kentekenregistratie (zoals merk, type, massa, bouwjaar van motorvoertuigen met een kenteken). Rapportage van de proefkoppelingen van bovenstaande activiteiten is gegeven door Lindeijer (1983).

De voor koppeling beschikbare bronnen van SIG en RDW zijn uiteraard ook op zichzelf interessant voor analyse. Ook in dat opzicht heeft in Nederland de SWOV zich bezig gehouden en in het bijzonder op het gebied van SIG-gegevens (voorheen SMR) analyses verricht. Een vervelend feit daarbij is dat periodiek, als gevolg van internationale afspraken, de codeerwijze van slachtoffers en letselgegevens wordt bijgesteld, zodat er al enkele malen breuken in de registratie zijn voorgekomen die zelfs voor een deel niet verklaard konden worden. Overigens treden er ook bij de registratie van politiegegevens en de verwerking daarvan door de VOR regelmatig veranderingen op die tot breuken kunnen leiden. De veranderingen hebben zonder uitzondering betrekking op beoogde verbeteringen en verfijningen van het materiaal, doch vinden wel plaats in het spanningsveld dat nu eenmaal bestaat tussen de primaire politietaak en de diverse gebruikersbehoeften. Ook

de VOR zelf tracht door efficiënter gebruik van de aangeleverde gegevens en verbeterde codeerwijzen tot verbeterde toepassingsmogelijkheden te komen.

Een lokale, maar toch illustratieve toepassing van Nederlands materiaal is gerapporteerd door Passies (1983). Deze maakt gebruik van de in het Academisch Ziekenhuis Groningen (AZG) beschikbare slachtoffergegevens, al-of-niet gekoppeld aan de desbetreffende politiegegevens zoals door de VOR bewerkt. Hier is in potentie sprake van optimaal gebruik van beschikbare bestanden, zonder dat gezegd kan worden dat de gegevens voor dit doel zijn bestemd.

De neiging tot het ontwerpen van eigen ongevallenstudies wordt als het ware geprikkeld naarmate analyse van beschikbare ongevallengegevens op nationaal niveau niet tot resultaat leidt. Het woord is dan aan de volgende sector.

#### 4.2.2. Statistisch ongevallenonderzoek

Zoals al eerder opgemerkt is binnen het totale gebied van ongevallenonderzoeken sprake van een omgekeerde evenredigheid tussen omvang en diepgang. Bij het statistisch ongevallenonderzoek is de omvang van gegevensbestanden niet vaak minder dan enkele duizenden cases, waarbij de diepgang afhankelijk is van de toegepaste verzamelmethodieken. Terwijl er relatief veel onderzoek naar botsingen tussen auto en voetganger is verricht (EEVC, 1982), blijkt er op het gebied van de confrontatie tussen auto en tweewieler uiterst weinig te zijn uitgevoerd. Feitelijk geeft het eveneens door de EEVC uitgevoerde internationale rapport "Cycle and light powered two-wheeler collisions" (EEVC, 1984 en 1985) nog steeds vrijwel alle relevante informatie. Het werk van de desbetreffende EEVC-werkgroep 8 stond onder leiding van een Nederlandse voorzitter en secretaris, respectievelijk van de RDW en de SWOV. Het rapport doet aanbevelingen voor concreet onderzoek en stelt prioriteiten vast voor onderzoek en maatregelen. Ongevallenonderzoek behoort tot de belangrijkste onderzoeksprioriteiten. De wijze waarop in Nederland follow-up heeft plaatsgevonden, wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

Een voorbeeld van een intermediate-level studie die nog dicht tegen het niveau van de politieregistratie aanzit is het onderzoek van Cross et al. (1977).

Methode. De gegevens zijn verkregen uit de door de politie ingevulde ongevallenformulieren. Naar aanleiding van deze informatie zijn vervolgens - indien mogelijk - de bestuurder van het motorvoertuig en de getuigen gehoord. De plaats van het ongeval is bezocht en in beeld gebracht.

De letselernst is uitgedrukt in het aantal dagen dat het slachtoffer in een ziekenhuis heeft doorgebracht en het aantal dagen waarop hij of zij de normale dagtaken niet heeft kunnen volbrengen. De letselgegevens zijn door het slachtoffer zelf geleverd.

Resultaten. In het onderzoek is meer aandacht besteed aan de oorzaken van ongevallen dan aan de oorzaken van de letsels. In totaal zijn 166 dodelijke ongevallen (met 172 slachtoffers) en 753 ongevallen met gewonden (765 slachtoffers) bestudeerd.

De voornaamste conclusies van het onderzoek met betrekking tot de letseloorzaken waren dat bij een onderverdeling van letseloorzaken naar motorvoertuig, tweewieler of omgeving bleek dat 60% van de letsels veroorzaakt was door contact met de omgeving, 24% door contact met het motorvoertuig en 6% door contact met de fiets.

Een verdeling naar aard van de letsels vermeldt dat 76% van de letsels bestond uit lichte uitwendige letsels (schaafwonden, snijwonden, kneuzingen); 17% waren letsels aan het skelet en 6% bestond uit inwendige letsels.

Verder constateerden de onderzoekers dat ongevallen waarbij de fietser tegen het motorvoertuig was aangereden een minder ernstige afloop hadden dan die waarbij het motorvoertuig tegen de fiets was gebotst. Dodelijke ongevallen komen voornamelijk voor bij botssnelheden groter dan ca. 64 km/uur (40 mph). De grote spreiding van letselernst binnen een bepaald type ongeval alsmede de relatief kleine omvang van het onderzoek laten een verdere detaillering van het ongeval niet toe.

#### 4.2.3. Dieptestudies

Dieptestudies zijn beschreven door Roland et al. (1979) en Otte (1980, 1982).

##### Roland et al. (1979)

Methode. Er is een beschrijving gegeven van 700 motorvoertuigongevallen. De nadruk is ook in dit onderzoek gelegd bij het zoeken naar de oorzaak van het ongeval. Doch er wordt ook de nodige aandacht besteed aan "injury pro-



ducing mechanisms of the motor vehicle/bicycle accident process". Het doel hiervan wordt omschreven als: "study accident severity in relation to vehicle exterior design and collision configuration and make recommendations for design changes if feasible".

De onderzoekers werden op een ongeval opmerkelijk gemaakt door een directe verbinding met het ongevallenmeldsysteem (telefoon en radio). Binnen enkele minuten nadat het ongeval had plaatsgevonden, was het onderzoekteam op de hoogte. Zij trachtten daarna zo snel mogelijk op de plaats van het ongeval te komen. Maar er werd al snel geconstateerd dat bij ongevallen met fietsers de partijen op het moment van aankomst al vertrokken waren en dat de sporen van het ongeval reeds waren uitgewist. Deze methode leverde derhalve niet voldoende informatie op. Vandaar dat er tijdens de uitvoering een ander systeem bedacht werd. De gegevens van de ongevallen werden telefonisch verzameld binnen 24 uur nadat het ongeval had plaatsgevonden. De betrokkenen werden daarna zo snel mogelijk ondervraagd en de plaats van het ongeval werd precies een week later bezocht. Hierdoor konden expositiegegevens tijdens het ongeval benaderd worden. De letsels werden door een medisch geschoold persoon in het ziekenhuis vastgelegd met behulp van de Abbreviated Injury Scale (AIS). Voor het bepalen van de letseloorzaken werd de letselernst volgens de AIS in twee klassen verdeeld. Alle AIS-waarden kleiner of gelijk aan 2 werden "moderate" genoemd, de waarden 3 t/m 6 als "severe".

Resultaten. Uit de analyse blijkt dat er 12 variabelen, waaronder een aantal pre-crash variabelen, een statistisch significante relatie met letselernst hebben. Onder de botsvariabelen zijn dit voor de fiets: type fiets en geschatte snelheid van de fiets op moment van botsen en voor het motorvoertuig: snelheid motorvoertuig op moment van botsen en voertuigmanoeuvre vlak voor het botsen.

Niet-significante variabelen waren volgens de onderzoekers: leeftijd fietser, type stuur, plaats van de aangrijping, contactplaats op het voertuig, leeftijd bestuurder van het motorvoertuig, en geslacht.

Bij een grovere onderverdeling van de letseloorzaak in motorvoertuig, tweewieler of omgeving blijkt dat er een significante overrepresentatie is van het motorvoertuig als letselveroorzaker ten opzichte van de omgeving. Bovendien waren de letsels veroorzaakt in de secundaire fase gemiddeld minder ernstig van aard dan letsels in de primaire. De bumper van het motorvoertuig blijkt zes maal zoveel letsels veroorzaakt te hebben als ieder ander onderdeel van de auto.

Discussie. Door het geringe aantal onderzochte ongevallen konden er geen nadere relaties gevonden worden tussen letselernst en vorm en stijfheid van het motorvoertuig, zodat aan het gestelde doel van het onderzoek niet helemaal voldaan werd.

Otte (1980, 1982)

Methode. Een in-depth, at-the-scene onderzoek waarbij de plaats van het ongeval en de betrokken personen en voertuigen ter plaatse onderzocht werden, was het onderzoek van de "Medische Hochschule Hannover" in samenwerking met de "Technische Universität Berlin". Op basis van de resultaten van dit onderzoek is een groot aantal publikaties verschenen. Relevant voor dit rapport zijn: Appel et al. (1979) en Otte (1980, 1982).

Door genoemde groep zijn in totaal 1236 verkeersongevallen bestudeerd, waarvan 127 met gemotoriseerde tweewielers en 136 met fietsen. Van ieder ongeval is er een complete verzameling gegevens aangelegd. Deze gegevens bestaan uit interviews met slachtoffers en betrokkenen, politierapporten, foto's van de plaats van het ongeval, van de voertuigen en van de slachtoffers, autopsierapporten, medische gegevens en röntgenopnamen.

Resultaten. De ernst en omvang van de letsels van de tweewielerberijders zijn voornamelijk bepaald door de relatieve botssnelheid, contactplaatsen op het motorvoertuig en de hoek waaronder de betrokken voertuigen elkaar raakten.

Botsingen waarbij de tweewielerberijder tijdens de "flying phase" het motorvoertuig miste zijn gemiddeld minder ernstig dan die waarbij de berijder in botsing kwam met het motorvoertuig. Dit is in overeenstemming met één van de andere bevindingen, namelijk dat het motorvoertuig de belangrijkste letselveroorzaker is. Het motorvoertuig was in 65% van de letsels, de omgeving in 30% en de tweewieler in slechts 5 % van de letsels de veroorzaker. Bovendien was de gemiddelde letselernst van contacten met de tweewieler als die met de omgeving minder ernstig.

De kinematica van de fietser lijkt op die van de voetganger, die van de gemotoriseerde tweewielerberijder wijkt door de hoge snelheid hiervan af. Deze kinematica is voor een groot deel bepalend voor het feit of de berijder in contact komt met de personenauto.

Een nadere onderverdeling van de auto als letselveroorzaker levert dat de bumper bij de gemotoriseerde tweewielerberijder het belangrijkste aandeel levert (10,5% van de letsels). Bij de fietsers is dit het contact met de

voorruij of voorruitstijlen (14,2%). Als het produkt van AIS-waarde en de frequentie van letsel als een gevaarenmaat gehanteerd wordt dan blijkt de voorruit voor alle tweewielerberijders het meest gevaarlijk contact te zijn. Bovendien leveren contacten met de ruitstijlen (A-pillar, B-pillar) en de zijkant van het dak gevaarlijk letsels op voor de gemotoriseerde-tweewielerberijders.

Discussie. In de verslaggeving wordt geen melding gemaakt van te laat arriveren op de plaats van het ongeval, zoals in het rapport van Roland. Het voordeel van dit onderzoek is dat men vaak in staat was om op de plaats van het ongeval met de betrokken voertuigen remproeven uit te voeren, zodat men, in combinatie met de bij het ongeval opgetreden remsporen, een nauwkeurige schatting van de botssnelheid kon maken.

Er wordt in de rapporten geen nadere relaties gegeven tussen letselernst en voertuigvormvariabelen. Dit was in verband met het relatief kleine aantal bestudeerde ongevallen niet mogelijk. De grote spreiding in de relatie tussen botssnelheid en letselernst is hiervan waarschijnlijk ook het gevolg (Appel et al., 1979).

Het rapport bevat eveneens belangrijke informatie over de relatie tussen botssnelheid en afstand waarop de tweewieler en zijn berijder zijn weggegoorpen. Zonder daarbij overigens in te gaan op mogelijke relaties met andere voertuigvariabelen.

#### 4.2.4. Blijvende-gevolgenonderzoek

##### Galasko et al. (1986)

Methode. Van 1574 klinisch of poliklinisch behandelde slachtoffers werden de letsels tijdens de behandeling in het ziekenhuis met behulp van de AIS gescoord. Vervolgens kregen de slachtoffers 6 maanden na het ongeval een vragenlijst toegezonden waarin werd nagegaan of zij ten gevolge van het ongeval een verandering in levensstijl, beroep, hobby of sport hadden ondergaan. Zij die hierop een bevestigend antwoord gaven, kregen een uitnodiging tot een persoonlijk gesprek. Zij die ontkennend antwoordden werden weer 6 maanden later nogmaals hierna gevraagd.

Resultaten. Het aandeel slachtoffers dat reageerde, was voor alle categorieën weggebruikers ongeveer gelijk: van 60,1 tot 64,7%. De aandelen slachtoffers die meldden dat zij nog hinder ondervonden, verschilden nogal naar

wijze van deelname aan het verkeer. De groep met het grootste aandeel hinder werd gevormd door de voetgangers (30,5%), gevolgd door de motorrijders (26,0%) en de auto-inzittenden (22,4%). Het aandeel met hinder was voor de fietsers het kleinst (13,4%). Volgens de onderzoekers is het hoge percentage bij de voetgangers voor een deel te wijten aan de gemiddeld hogere leeftijd van deze groep.

Discussie. Het geringe percentage van de fietsers zou, gezien de gemiddeld lage leeftijd van deze groep, deels door leeftijdsinvloeden verklaard kunnen worden.

Bij toename van de AIS neemt ook het percentage van de slachtoffers met een "disability" toe. Bovendien blijkt dat 18% van de mensen die volgens de AIS geen letsel hadden na 6 maanden verklaarden dat zij ten gevolge van het ongeval gehinderd werden in hun dagelijkse bezigheden.

De Injury Severity Score (ISS) was een nog slechtere schatter voor "disability" dan AIS, daar deze schaal bij meer dan één letsel aan een lichaamsdeel slechts het ernstigste in de scoring meeneemt. Het ernstigste letsel per lichaamsdeel hoeft niet het letsel te zijn dat aanleiding geeft tot de "disability". Aan de andere kant zou juist het feit dat er meer dan één letsel aan een lichaamsdeel zijn ontstaan, aanleiding tot de "disability" geweest kunnen zijn.

Opvallend is het grote aantal gevallen waarbij de oorzaak van de handicap ogenschijnlijk geen enkel verband houdt met het geconstateerde letsel, zoals bij 25% van de "disability"-slachtoffers het geval was. Als mogelijke verklaring hiervoor kan gelden dat deze mensen een soft-tissueletsel hadden dat zich pas enkele uren na het ongeval openbaarde, toen de patiënten de eerste-hulp post reeds hadden verlaten, (whiplash, knieligament letsel). Slechts 28% van de "disability"-slachtoffers waren in een ziekenhuis opgenomen geweest, de rest was na een eerste-hulpbehandeling vertrokken!

Tot slot: Het op deze wijze definiëren van "disability" impliceert dat een aantal sociale en psychologische factoren een rol zal spelen, niet alleen in de genezingsfase maar ook in de belevingsfase. De een zal met een bepaald letsel of ongemak zijn of haar normale dagtaak volbrengen, terwijl de ander dat niet zal doen. De onderzoekers meldden dat een aantal onder-vraagden een nadelig effect voelden, maar geen specifieke beperking in een of andere activiteit ondervonden. Het onderzoek levert geen nadere gegevens op over de groep fietsers en gemotoriseerde-tweewielerberijders.

Van Kampen (1984) en Clay (1986)

Methode. De bij dit ongevalsonderzoek betrokken slachtoffers onder auto-inzittenden werden een jaar na hun ongeval nogmaals benaderd. Een naar hen toegezonden vragenlijst informeerde naar locatie en aard van eventuele lichamelijke klachten als gevolg van het ongeval, en het huidige functioneren in het werk en bij ontspanning. Naast deze, meer subjectieve gegevens werd er geïnformeerd naar de duur van de medische behandelingen, van het werkverzuim en naar de aard van hun oorspronkelijke bezigheden. Niet alleen de ex-ziekenhuispatiënten, maar ook de minder ernstig gewonden uit het bestand werden op deze wijze benaderd. In totaal kregen 3618 slachtoffers een vragenlijst toegestuurd.

Resultaten. De gemiddelde respons was 55%. De behandelingsduur bij de ziekenhuispatiënten bedroeg bij 13% van de slachtoffers meer dan 6 weken. Na het verblijf in een ziekenhuis vond bij 35% van alle patiënten nog een poliklinische behandeling plaats. Bij 6% was een verdere verpleging in een revalidatie-inrichting of een verpleegtehuis noodzakelijk. Na een jaar had 12% de oorspronkelijke bezigheden niet kunnen hervatten, nog eens 9% kon slechts weer gedeeltelijk weer aan de slag.

"De kans op langdurig of blijvend functieverlies, als gevolg van letsels bij een auto-ongeval wordt vooral bepaald door de localisatie van letsels. De ernsttoestand van de gewonde is in het algemeen minder bepalend voor het blijvend functieverlies." (Clay, 1986).

"Met behulp van de AIS of de ISS kan in de acute fase na een ongeval een betrouwbare schatting worden gegeven van de kans op overlijden. Voor het schatten van de kans op langdurig of blijvend functieverlies zijn deze letselernstschalen niet geschikt." (Clay, 1986).

Discussie. Evenals bij het onderzoek van Galasko et al. blijkt dat de bestaande, bij ongevalsonderzoek veelvuldig toegepaste AIS-en ISS-schalen niet ideaal zijn voor het bepalen van de kans op of de ernst van blijvende gevolgen. Dit is op zich niet opmerkelijk omdat de voornaamste dimensie van het AIS-systeem de mate van levensbedreiging is. Zeer lichte (AIS)-letsels kunnen op langere termijn tot ernstige klachten aanleiding geven. Voorbeelden hiervan zijn knieligamentletsels bij voetgangers zoals beschreven door Aldman et al. (1980) en rug en/of nekletsels bij de inzittenden van auto's (Van Kampen, 1984 en Clay, 1986). In diverse landen worden daarom pogingen ondernomen om tot een betere "disability scale" te komen (Clay, 1987).

#### 4.3. Samenvatting en discussie onderzoekresultaten

Op basis van de resultaten van onderzoek blijkt dat de invloed van een groot aantal variabelen nog niet gekwantificeerd is. Uit de onderzoeken van Otte (1980, 1982) en het onderzoek van Roland et al. (1979) blijkt dat contact met de auto de meeste letsels veroorzaakte en dat deze letsels bovendien gemiddeld ernstiger van aard waren dan de letsels die ontstonden als gevolg van contact met de omgeving. Cross et al. (1977) constateerden echter dat 60% van de letsels veroorzaakt was door contact met de omgeving, terwijl contact met de auto 24% van de letsels had veroorzaakt. Een verschil in ondergrens bij de letselernstbepaling is een mogelijke verklaring voor dit verschil tussen de resultaten van de diverse onderzoeken. Daar deze onderzoeken niet dezelfde letselernstschalen gebruiken, is het maken van een directe vergelijking niet mogelijk. Aangezien Cross et al. een groot aantal dodelijke ongevallen in hun bestand hebben, lijkt het erop dat zij hoofdzakelijk relatief ernstige ongevallen hebben bestudeerd. Maar anderzijds blijkt dat hun letselongevallen minder ernstig van aard zijn, 76% van de letsels waren oppervlakteletsels waarvan het grootste deel uit schaafwonden bestaat (2/3 van alle letsels). Van de slachtoffers uit het bestand van Roland et al. blijkt 85% een letselernstgraad (O AIS) te hebben van 0 t/m 2, 15% van 3 t/m 6. De gemiddelde AIS-waarden per lichaamsdeel zijn bij de slachtoffers die door Otte bestudeerd werden bijna alle groter dan 2. Met andere woorden, het verschil in aandeel van het vertuig bij het ontstaan van letsel kan verklaard worden door het verschil in de letselernstverdelingen tussen de twee onderzoeken. Cross et al. hebben in hun bestand relatief lichtere letsels (schaaf- en snijwonden) dan Roland et al. En deze letsels worden meer door de omgeving veroorzaakt.

Wat het onderzoek naar de blijvende gevolgen betreft, blijkt dat er nog weinig kennis bestaat over de omvang van de herstelperiode en de aard en ernst van de blijvende klachten bij fietsers en bromfietsers. Bovendien blijkt dat de schaal waarmee de letselernst doorgaans gekwantificeerd wordt (de AIS en daarvan afgeleide systemen) en waarmee men in principe ook de ernst van gevolgen zou willen aanduiden, daarvoor minder geschikt is. Er bestaan ontwikkelingen die moeten leiden tot een aparte "disability"-schaal, maar daarvoor is duidelijk nog meer studie vereist.

## 5. LETSELPREVENTIE-ONDERZOEK TEN BEHOEVE VAN FIETSERS IN NEDERLAND

Het letselpreventie-onderzoek ten behoeve van fietsers is in Nederland met name op gang gekomen na de publikatie van het rapport van de zogenaamde Werkgroep 8 van de EEVC in 1985.

Vanwege de magere resultaten van het onderzoek op dit gebied, gecombineerd met het grote aandeel van fietsersslachtoffers in de nationale ongevallestatistiek is de groep fietsers in Nederland tot onderwerp van studie gekozen. Deze keuze was ook gebaseerd op een effectiviteitsschatting die in een SWOV-notitie beschreven is (Huijbers & Van Kampen, 1985).

Naast de activiteiten die in dit rapport zijn beschreven is het model MADYMO aangepast, zodat daarmee ook botsingen tussen een personenauto en een fiets gesimuleerd kunnen worden. Deze versie is vervolgens met behulp van de resultaten van een aantal dummy- en kadaverexperimenten gevalideerd. De nadruk bij de simulaties is gelegd op het bestuderen van de invloed van de vorm van de auto en de houding en de afmetingen van de fietser op de hevigheid van de diverse contacten tussen het lichaam van de fietser en de auto.

Uit de eerste resultaten hiervan blijkt dat de vorm van de auto een niet onaanzienlijke invloed heeft op de intensiteit van het contact tussen het hoofd van de fietser en de personenauto. Een uitgebreider overzicht is te vinden in de publikaties over de mathematische simulatie van botsingen tussen personenauto's en tweewielers (Huijbers, 1988; Huijbers et al., 1988). Zoals reeds eerder is opgemerkt, genereert het model de mechanische grootheden die op het menselijk lichaam inwerken. Indien het model in staat is om deze grootheden naar letselkansen te vertalen, zal dit aan het model een aanzienlijke meerwaarde geven. Maar zover is het nog niet. Allereerst zal moeten worden onderzocht in hoever dit realiseerbaar is met behulp van de letselvoorspellende modellen (Heijer et al., 1987) of met specifieke ongevalgegevens.

Uit de literatuurstudie blijkt dat deze gegevens niet beschikbaar zijn, maar tevens dat het niet eenvoudig is om betrouwbare gegevens van een redelijk aantal ongevallen te verkrijgen.

Mathematische modellen kunnen in een later stadium dienst doen binnen een goedkeurprocedure van personenauto's. Door de EEVC is er in dit opzicht reeds gekozen voor het Nederlandse model MADYMO.

Uit onderzoek onder gewondgeraakte inzittenden van personenauto's blijkt dat de omvang van de blijvende gevolgen groot is. Het gaat daarbij niet alleen om de ernstiger letsels, maar het blijkt dat ook de relatief lichte letsels tot langdurige klachten aanleiding kunnen geven.

Bovendien kan de invloed van bepaalde kenmerken van ongevallen pas in volle omvang worden beschouwd als ook de lange-termijneffecten worden meegewogen.



## 6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Bij de beschrijving van de conclusies en aanbevelingen is een onderverdeling gemaakt naar theorie en praktijk.

### 6.1. Theorie

Een theoretische beschrijving van ongevallen kan opgesplitst worden in de drie beschreven processen: bots-, letsel- en genezingsproces.

Op basis van een model kan het botsproces globaal beschreven worden. In zo'n model is met behulp van een aantal elementaire fysische wetten een indruk te krijgen van de relatie tussen variabelen als snelheid, massa, elasticiteit van de botsing en aangrijpingspunt van de krachten. Bijvoorbeeld de fiets en fietser-combinatie kan, afhankelijk van de elasticiteit van de botsing, na de botsing met een auto tot bijna twee maal de snelheid van deze auto voor de botsing versneld worden. Het blijkt dat deze relatief eenvoudige modellen beperkt toepasbaar zijn omdat ze tot weinig inzichtelijke en weinig realistische uitkomsten leiden. De vele vrijheidsgraden van de beweging van de fietser tijdens het botsproces zijn hiervoor de meest belangrijke oorzaak. Aanbevolen wordt realistischer meermassa-modellen op hun bruikbaarheid te toetsen.

Het beschrijven van het letselproces is eveneens gecompliceerd. Het is ethisch niet aanvaardbaar om uitgebreide proefnemingen te verrichten, zodat men is aangewezen op benaderingstechnieken.

In het genezingsproces stond het genezen van de letsels centraal. Inzichten in het fenomeen dat sommige letsels op de langere termijn konden leiden tot specifieke lichamelijke klachten, was vrijwel uitsluitend bekend bij de letsels die tot een verminderde blijvende mobiliteit aanleiding gaven. Een theoretische onderbouwing van dit proces bij andere letsels begint pas nu op gang te komen.

### 6.2. Praktijk

Er zijn nog niet zoveel resultaten van onderzoek naar factoren die van invloed zijn op het ontstaan van letsels die tweewielerberijders in het verkeer oplopen. De meeste resultaten zijn afkomstig van ongevallenonderzoeken, met name de invloed van botssnelheid op letselernst en het feit dat

de auto de belangrijkste veroorzaker van de ernstiger letsels is. Contact met de omgeving en de fiets leidt niet zo vaak tot deze letsels. Een nadere kwantificering van de invloed van de vorm van de auto, resp. de plaatselijke stijfheden op de letselernst is op basis van het gerealiseerde onderzoek niet te maken.

Er wordt overal naarstig gezocht naar een goede methode die geschikte ongevallengegevens kan opleveren. Maar vanwege de in Hoofdstuk 3 beschreven problemen om aan redelijk betrouwbare gegevens te komen voor het doen uitspraken over de invloed van de diverse variabelen op letselernst, is men er tot nu toe nog niet echt in geslaagd dit te bereiken.

Bij het opstellen van aanbevelingen dient niet alleen rekening te worden gehouden met de effecten op deelletsels, maar moet het effect op het totale letselpatroon een rol bij de besluitvorming spelen. Het veranderen van de bumperhoogte met het doel om een deelletsel te minimaliseren, kan een negatieve invloed hebben op een ander deelletsel. De discussie over een optimale bumperhoogte op basis van informatie over de invloed van bumperhoogte op beenletsel, zonder daarbij de verhoogde kans op ernstiger hoofdletsel - door een grotere rotatiesnelheid van het lichaam - te betrekken is hiervan een voorbeeld.

Hierbij is het eveneens van belang om het effect van een maatregel bedoeld voor een categorie weggebruikers af te wegen tegen het effect van een andere groep weggebruikers. Bijvoorbeeld: het effect van maatregelen ten behoeve van de bescherming van de auto-inzittenden (uitstekende bumpers) op de letselkans voor voetgangers bij botsingen met personenauto's zal meegewogen moeten worden. Maar bij het stellen van de optimale bumperdimensies zal ook naar het effect van deze afstand op de letselkans van de auto-inzittenden bij zijdelingse botsingen meegewogen moeten worden.

LITERATUUR

Aldman, B.; Thomgren, L.; Bunketorp, O. & Romanus, B. (1980). An experimental model systems for the study of lower leg and knee injuries in car-pedestrian accidents. ESV Conference Wolfsburg, 1980.

Appel, H.; Otte, D.; Rau, H.; Suren, E.G. & Grabhofer, P. (1979). Unfallursachen und Verletzungsmechanismen bei Fahrradunfällen, Möglichkeiten und Grenzen der Rekonstruktion. Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr Heft 21, 1979.

Bovagblad (1987). De VDO car black box maakt straks tachograaf overbodig. Bovagblad (1987) 21.

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

Clay, W. (1986). Letselgevolgen van auto-inzittenden na een auto-ongeval; Een volksgezondheidkundige studie. Dissertatie Rijksuniversiteit Groningen, 1986.

Clay, W. (1987). Opzet naar het onderzoek naar de blijvende gevolgen van ongevalsletsels van fietsers en bromfietsers. R.U. Groningen, 1987.

Cross, K.D. & Fischer, G. (1977). A study of bicycle/motor vehicle accidents: Identification of problem type and counter measure approaches. Final report. U.S. Department of Transportation NHTSA, 1977.

Danner, M.D. (1979). Schutz des Zweiradfahrers; Möglichkeiten aus technischer Sicht. Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr Heft 21, 1979.

DOVO (1987). Diepgaand onderzoek van verkeersongevallen. Technische Universiteit Delft, 1987.

EEVC (Werkgroep 8) (1984). Cycle and light powered two-wheeler accidents. IRCOBI Conference, Delft, 1984.

EEVC (Werkgroep 7) (1985). Pedestrian injury protection by car design. ESV Conference Oxford, 1985.

Galasko, C.S.B.; Murray, P.; Hodson, M.; Tunbridge, R.J. & Everest, J.T. (1986). Long term disability following road traffic accidents. TRRL Research Report 59. TRRL, 1986.

Heijer, T.; Kars, V. & Ederveen, G.C. (1987). Mogelijkheden voor het ontwikkelen van een letselvoorspellend model. R-87-34. SWOV, 1987.

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

Huijbers, J.J.W. (1984b). A description of bicycle and moped rider accidents aimed to indicate priorities for injury prevention research. R-84-39. SWOV, 1984.

Huijbers, J.J.W. (1988). Mathematische simulaties van botsingen tussen personenauto en tweewieler. SWOV, 1988.

Huijbers, J.J.W. & Kampen, L.T.B. van (1985). Schatting van het effect van letselpreventiemaatregelen voor voetgangers, fietsers en bromfietzers bij botsingen met personenauto's. R-85-36. SWOV, 1985.

Huijbers, J.J.W. & Schalekamp, G. (1985). Een helm voor fietsers? R-85-37. SWOV, 1985.

Huijbers, J.J.W. & Janssen E.G. (1988). Experimental and mathematical car-bicycle collision simulations. 32nd Stapp Car Crash Conference, Atlanta, October 1988. SAE 881726.

Janssen, E.G. (1985). Experimental simulations of the impact between a vehicle front and a cyclist or a pedestrian. Rapport 700530137-A. IW-TNO, 1985.

Kampen, L.T.B. van (1984). Blijvende gevolgen van ongevallen bij inzittenden van personenauto's. R-84-11. SWOV, 1984. Ook Artikel Verkeerskunde 35 (1984) 11 : 518 t/m 519.

Kampen, L.T.B. van (1985). Rijsnelheid, botssnelheid en afloop van botsingen tussen tweewielers en motorvoertuigen. R-85-8. SWOV, 1985.

Lindeijer, J.E. (1983). Kwantitatief inzicht in de toedracht van verkeersongevallen. R-83-20. SWOV, 1983.

Oorschot E. & Janssen E.G. (1987). Mathematical and experimental simulations of vehicle-cyclist impacts. Rapport 700531175. IW-TNO, 1987.

Otte, D. (1980). A review of different kinematic forms in two-wheel accidents, their influence on effectiveness of protective measures. In: 24th Stapp Conference, Troy, Michigan, 1980.

Otte, D.; Kuhnel, A.; Suren, E.G.; Weber, H.; Gotzen, L.; Schockendorf, G.; Han Vu V. (1982). Erhebungen am Unfallort. Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr Heft 37, 1982.

Passies, G. (1983). Ernst van letsel. Academisch Ziekenhuis Groningen, 1983.

SWOV (1978). Invloed van het gebruik van helmen door bromfietzers en auto-gordels door inzittenden van personenauto's op de verkeersveiligheid. R-78-22. SWOV, 1978.

Roland, H.E.; Hunter, W.W.; Stewart, J.R. & Campbell, B.J. (1979). Investigation of motor vehicle/bicycle collision parameters. Final Report. U.S. Department of Transportation NHTSA, 1979.

BIJLAGE: LIJST VAN GEBRUIKTE DEFINITIES EN SYMBOLEN

1. Definities

Categorie: Groep identieke weggebruikers, zoals voetgangers, fietsers, bromfietsers.

Botspartner: Het object waarmee het beschouwde object in botsing kwam. (opponent)

Object: Botsobject zoals beschreven in de VOR-Gebruikershandleiding.

Aangrijpingspunt: Plaats op het object waar het eerste contact met de opponent optrad.

Type botsing: Soort botsing bepaald door de combinatie van aangrijpingspunten.

Type ongeval: Soort ongeval bepaald door de combinatie van de bij het ongeval betrokken objecten.

Botsproces: Het proces dat de botsing beschrijft vanaf het eerste contact tussen de objecten tot en met het moment dat de bij de botsing betrokken objecten geen snelheid meer bezitten, dan wel zich van de plaats van het ongeval hebben verwijderd.

Letselproces: Het proces dat het ontstaan van het letsel beschrijft vanaf het moment van de eerste krachtinwerking op het lichaam van het slachtoffer tot en met moment dat het botsproces is afgelopen.

Genezingsproces: Het proces dat het herstel van het letsel beschrijft vanaf het moment dat het botsproces is afgelopen tot en met het moment dat een stabiele lichamelijke toestand is opgetreden.

Bumperhoogte ( $B_h$ ): Vertikale afstand van de grond tot aan de bovenzijde van de bumper.

Bumperbreedte ( $B_b$ ): Breedte van de bumper, gemeten aan de voorzijde van de bumper.

Fronthoek ( $\theta$ ): Kleinste hoek gevormd door de grond en de raaklijn aan de bumper en de motorkap.

Kromtestraal motorkap ( $\rho$ ): Kromtestraal van de motorkap ter plaatse van het raakpunt aan de motorkap van de raaklijn aan de bumper en de motorkap.

Motorkaphoogte ( $M_h$ ): Vertikale afstand tussen de grond en het raakpunt aan de motorkap van de raaklijn aan de bumper en de motorkap.

Motorkaplengte ( $M_l$ ): Horizontale afstand van het raakpunt aan de motorkap van de raaklijn aan de bumper en de motorkap, tot aan de onderzijde van de voorruitstijl.

Hellingshoek voorruit ( $\gamma$ ): Kleinste hoek gevormd door de horizontaal en de raaklijn aan de voorruit getrokken vanuit de onderzijde van de voorruit.

## 2. Symbolen

<u>Symbool</u>	<u>Naam</u>	<u>Dimensie</u>
$B_b$	Bumperbreedte	[m]
$B_h$	Bumperhoogte	[m]
$\theta$	Fronthoek	[-]
$\rho$	Kromtestraal motorkap	[-]
$M_h$	Motorkaphoogte	[m]
$M_l$	Motorkaplengte	[m]
$\gamma$	Hellingshoek voorruit	[-]
$l_{en}$	Lengte tweewielerberijder	[m]
$l_{ee}$	Leeftijd tweewielerberijder	[s]
$m_a$	Massa auto	[kg]
$m_t$	Massa tweewieler	[kg]
$m_b$	Massa tweewielerberijder	[kg]
$v_a$	Snelheid auto vlak voor botsing	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v'_a$	Snelheid auto vlak na botsing	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_t$	Snelheid tweewielerberijder vlak voor botsing	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v'_t$	Snelheid tweewielerberijder vlak na botsing	[m.s <sup>-1</sup> ]
$t_b$	Tijdstip begin botsing	[s]
$t_e$	Tijdstip einde botsing	[s]
$t$	Botstijd	[s]
$\lambda$	Botsingscoëfficiënt	[-]

