

De mens of het voertuig ingepakt?

Literatuurstudie naar het botsproces tussen mens en voertuigfront en actuele ontwikkelingen op het gebied van de regelgeving

D-96-11

Ir. J. van der Sluis & ir. L.T.B. van Kampen

Leidschendam, 1996

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Documentbeschrijving

Rapportnummer:	D-96-11
Titel:	De mens of het voertuig ingepakt?
Ondertitel:	Literatuurstudie naar het botsproces tussen mens en voertuigfront en actuele ontwikkelingen op het gebied van de regelgeving
Auteur(s):	Ir. J. van der Sluis & ir. L.T.B. van Kampen
Onderzoeksmanager:	Ir. S.T.M.C. Janssen
Projectnummer SWOV:	74.211
Opdrachtgever:	Het onderzoek waarvan in dit rapport verslag wordt gedaan, werd uitgevoerd in het kader van de jaarlijkse doelsubsidie van het ministerie van Verkeer & Waterstaat aan de SWOV
Trefwoord(en):	Car, head on collision, front, bonnet (car), pedestrian, cyclist, motorcyclist, angle, shape, stiffness, policy.
Projectinhoud:	Dit rapport bespreekt de bestaande literatuur op het gebied van de toepassing van softe materialen bij voertuigen, met het oog op het botsveiliger maken van het autofront. Ook wordt ingegaan op de meer actuele ontwikkelingen rondom het onderwerp 'softnose', zoals het botsveilig autofront kortweg wordt genoemd.
Aantal pagina's:	20 pp.
Prijs:	f 15,-
Uitgave:	SWOV, Leidschendam, 1996

Inhoud

1.	<i>Inleiding</i>	4
2.	<i>Probleemstelling</i>	5
2.1.	Achtergrond	5
2.2.	Feitelijke problematiek	6
3.	<i>Aanpak</i>	7
4.	<i>Het botsvriendelijke voertuig</i>	8
4.1.	Inleiding	8
4.2.	Probleemstellend onderzoek	8
4.3.	Het materiaal	9
4.4.	De vorm	10
4.5.	Conclusies	11
5.	<i>Bescherming voor de kwetsbare verkeersdeelnemer</i>	12
5.1.	Inleiding	12
5.2.	De valhelm	12
5.3.	Theoretisch en modelmatig onderzoek	13
5.4.	Andere theoretisch mogelijke beschermingsmiddelen	14
6.	<i>Ontwikkelingen van het voertuigfront</i>	15
6.1.	Geschiedenis	15
6.2.	EEVC-10	15
6.3.	Kosten/baten-studies	15
6.4.	Positie EU	16
7.	<i>Conclusies</i>	17
7.1.	Literatuuronderzoek	17
7.2.	Recente ontwikkelingen	17
	<i>Literatuur</i>	19

1. Inleiding

Deze rapportage sluit een doelsubsidie-onderzoek af dat begin 1991 op grond van interne opdracht is gestart. De naam van het project luidde: "Theoretische fundering voor de toepassing van softe materialen bij voertuigen".

Deze vraagstelling had direct te maken met de in een reeds eerder uitgebracht SWOV-rapport geponeerde stelling dat het effect van het botsveiliger maken van het autofront, in het bijzonder de motorkap en de bumper, in grote lijnen zou zijn te vergelijken met dat van meer directe bescherming van zwakke verkeersdeelnemers door middel van bijvoorbeeld helmen voor (brom)fietsers.

De opzet en uitvoering van dit project is in de loop der jaren, om redenen van prioriteit en uitvoerbaarheid, een aantal malen bijgesteld.

De onderhavige literatuurstudie, met name gericht op de theoretische onderbouwing, is daarbij in de tijd naar achteren geschoven. Zij is thans aan de orde.

Een van de conclusies van het rapport is echter dat de feitelijke theoretische onderbouwing op basis van de literatuur niet geleverd is en mogelijk ook niet te leveren valt. In feite is namelijk sprake van een grondbeginsel in de biomechanica en theoretische mechanica: letsel ontstaat door de inwerking van krachten en vertragingen.

De letselkans is te reduceren door het verlagen van de krachten en vertragingen die tijdens een botsing op het menselijk lichaam werken. Het reduceren van krachten en vertragingen gebeurt door nuttig gebruik te maken van materiaaleigenschappen, -afmetingen en vormgeving van de constructies waartegen door het lichaam wordt gebotst (respectievelijk die het lichaam moeten beveiligen), en door het beïnvloeden van de botssnelheid. In die zin is een valhelm vergelijkbaar met een motorkap, of met elk ander voertuigdeel waartegen een menselijk lichaam botst.

In de praktijk echter is een valhelm direct toegespitst op het doel waarvoor hij gemaakt is en is een motorkap (c.q. het gehele autofront) alleen na forse reconstructie als 'beveiligingsmiddel' te beschouwen. In de literatuurstudie is deze parallel (enerzijds autofront, anderzijds de valhelm) nader uitgewerkt.

In het laatste hoofdstuk van dit rapport wordt op de meer actuele ontwikkelingen rondom het onderwerp 'softnose' ingegaan, zoals het botsveilig autofront kortweg werd genoemd.

2. Probleemstelling

2.1. Achtergrond

In het verkeer zijn de voetganger, de fietser, de bromfietser en de motorrijder de meest kwetsbare deelnemers. Bij een botsing tussen een kwetsbare verkeersdeelnemer en een voertuig, loopt het voor de kwetsbare deelnemer vaak slecht af. In Nederland behoort ongeveer de helft van alle verkeersslachtoffers tot de groep kwetsbare verkeersdeelnemers.

Een zeer efficiënte methode om het aantal verkeersslachtoffers onder kwetsbare deelnemers te verminderen is het voorkomen van conflicten tussen voetgangers/fietsers en gemotoriseerde voertuigen. Het voorkomen van conflicten vergt echter vele ingrijpende (infrastructurele) maatregelen. Er is in Nederland immers een groot plaatsen waar kwetsbare verkeersdeelnemers de weg moeten delen met voertuigen.

En hoewel aan dat probleem al veel gedaan is (Nederland staat bekend om de vele kilometers fietspad, er zijn voetgangertunnels, fietsbruggen en zovooft), is de kans op een conflict tussen zwakke verkeersdeelnemers en voertuigen nog steeds groot.

Het blijft dus nodig om ook te bezien in hoeverre *de ernst* van botsingen tussen kwetsbare verkeersdeelnemers en voertuigen verminderd kan worden. Men moet dan proberen het letsel te beperken wanneer er zich een botsing voordoet. Hiertoe zijn er twee benaderingen mogelijk.

Ten eerste kan men proberen het snelheidsverschil tussen de botspartners kleiner maken. Ten tweede kan men proberen het contact tussen de botspartners verzachten.

Een voorbeeld van de eerste benadering zijn infrastructuurle voorzieningen, zoals 30 km/uur-gebieden en woonerven. Op een woonerf worden alle soorten van verkeer toegelaten en bestaan gelijke rechten, ook voor voetgangers en fietsers. De maximaal toegestane snelheid voor voertuigen is stapvoets. In 30 km/uur-gebieden wordt de maximaal toegestane snelheid veelal afgedwongen door verkeersdrempels, bochten en obstakels. Er gebeuren door deze voorzieningen en regels in 30 km/uur-gebieden en woonerven weinig of geen botsingen met ernstige afloop. Helaas is het onmogelijk iedere straat met gemengd verkeer op deze wijze uit te rusten.

Ook de tweede benadering is reeds toegepast. Sinds het begin van de jaren zeventig moeten bromfietzers en motorrijders een valhelm dragen.

De afloop van ongevallen met bromfietzers en motorrijders is sindsdien aanzienlijk verbeterd. De bromfietser en motorrijder hebben niet alleen in geval van een aanrijding baat bij een helm met een voertuig. Ook wanneer zij zelf een schuiver maken, heeft het dragen van een helm voordelen.

De draagplicht van valhelmen door bromfietzers en motorrijders is dan ook algemeen geaccepteerd.

Bij fietser en voetganger ligt het anders. Een draagplicht van valhelmen voor deze groep van kwetsbare verkeersdeelnemers zal waarschijnlijk geen draagvlak kennen. Onder normale omstandigheden heeft de voetganger en de fietser alleen maar last van beschermingsmiddelen. Een voetganger die struikelt zal in de meeste gevallen geen baat hebben bij een valhelm.

De volgende vraag werpt zich nu op. Moet de kwetsbare verkeersdeelnemer zich beschermen tegen het voertuig, of moet het voertuig veiliger worden voor de kwetsbare verkeersdeelnemer? Anders geformuleerd: is het de mens of het voertuig dat moet worden ingepakt?

Behalve het reeds aangestipte onderwerp van de acceptatie van de helm-draagplicht, speelt bij het beantwoorden van deze vraag ook de contactmechanica een rol. Is het aanbrengen van energie-absorberend materiaal op de motorkap even effectief als het dragen van een helm? Of is er wellicht op bots-theoretische gronden een voorkeur uit te spreken voor een 'botsvriendelijk' voertuig dan wel de valhelm?

Zowel op het gebied van het botsvriendelijk maken van het voertuig, als op het gebied van de valhelm is veel onderzoek gedaan. De meeste van deze onderzoeken zijn experimenteel van aard. In de literatuur wordt geen melding gemaakt van een vergelijking van het effect van beide methoden.

2.2. Feitelijke problematiek

De botsmechanica onderscheidt drie factoren die het botsproces tussen twee lichamen bepalen: de begincondities, de materiaal-eigenschappen en de vorm van de botsende lichamen. Op die manier wordt het botsproces eenvoudiger voorgesteld dan het in werkelijkheid, zoals bij botsingen in het verkeer, vaak is. Maar een dergelijke simplificatie maakt het wel mogelijk om oplossingen te formuleren.

Globaal geldt voor een botsing tussen een voertuig en een kwetsbare verkeersdeelnemer, dat de afloop door dezelfde factoren bepaald wordt als in de botsmechanica. Alleen is er bij botsingen in het verkeer niet altijd sprake van eenduidige begincondities, homogene materialen en gelijke vormen.

De begincondities van een verkeersongeval zijn het gevolg van het gedrag van de individuele verkeersdeelnemer en van de vormgeving van de infrastructuur. Het is duidelijk dat de afloop van botsingen beter zal zijn wanneer bijvoorbeeld de snelheidsverschillen tussen voertuig en kwetsbare verkeersdeelnemer kleiner gemaakt worden.

In deze studie wordt niet ingegaan op beïnvloeding van de begincondities van de botsing. Onderwerp van studie is de mogelijkheden die materiaalgebruik en vormgeving bij de beide botspartners bieden om een zo goed mogelijke afloop van de botsing te verkrijgen.

Het materiaalgebruik en de vormgeving kan men bij zowel het voertuig als de zwakke verkeersdeelnemer variëren. Op het voertuig kan een energie-absorberende laag aangebracht worden, de motorkaphoek kan men variëren en de bumperhoogte kan aangepast worden. De kwetsbare verkeersdeelnemer kan op zijn beurt beschermingsmiddelen gaan dragen. Te denken valt aan een valhelm en schouderbeschermers.

Samenvattend is het probleem: is het beter, gereedeneerd vanuit de botsmechanica, de kwetsbare verkeersdeelnemer van beschermingsmiddelen te voorzien of is het beter de voertuigen botsvriendelijk te maken?

3. Aanpak

Zoals reeds eerder gesteld zijn er in de literatuur geen rapportages gevonden van onderzoeken waarin de effecten van het toepassen van beschermingsmiddelen bij kwetsbare verkeersdeelnemers en botsvriendelijk voertuigen, met elkaar vergeleken worden. Wel zijn er vele onderzoeken gedaan waarin één van beide methoden nader onderzocht wordt.

In het volgende hoofdstuk worden de resultaten geïnventariseerd op het gebied van het botsvriendelijk maken van het voertuig. Over veel onderzoek op dit gebied is gerapporteerd in ESV-verband (voorheen 'Experimental Safety Vehicles', thans 'Enhanced Safety of Vehicles').

Het Experimental Safety Vehicles onderzoek is, zoals de naam reeds doet vermoeden, hoofdzakelijk experimenteel. Op het gebied van botsvriendelijk autofront is weinig aandacht besteed aan een meer theoretische benadering. Wel is er computersimulatie-onderzoek gedaan naar de invloed van de vorm van het voertuigfront op het botsproces tussen voertuig en kwetsbare verkeersdeelnemer.

4. Het botsvriendelijke voertuig

4.1. Inleiding

Veel onderzoek naar een botsvriendelijk voertuig is gepubliceerd in de proceedings van ESV-conferenties. De International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles (thans International Conference on the Enhanced Safety of Vehicles) wordt ongeveer tweejaarlijks georganiseerd door de National Highway Traffic Safety Administration van de USA in samenwerking met een sponsorland.

Het onderzoek heeft zich toegespitst op drie hoofdonderwerpen:

1. onderzoek naar de kinematiek van de botsing en de optredende letsels;
2. onderzoek naar de invloed van de vorm van het voertuig op de afloop van de botsing;
3. onderzoek naar de invloed van het materiaalgebruik.

Ad 1. Het onderzoek naar het verloop van de botsing en naar de optredende letsels is probleemstellend van aard. Er is zijn rapportages van letsel van kwetsbare verkeersdeelnemers uit de praktijk. Ook is het verloop van botsingen bestudeerd met behulp van experimentele en computer-simulaties. Kennis van het verloop van de botsing is niet alleen nodig om een botsvriendelijk voertuig te kunnen ontwikkelen. Deze kennis is ook nodig om beschermingsmiddelen voor de kwetsbare verkeersdeelnemer te kunnen ontwerpen (zie hoofdstuk 5).

Ad 2. Gebaseerd op het beschrijvende onderzoek zijn er onderzoeken uitgevoerd naar de invloed van de vorm van het voertuig. Er is gekeken naar de invloed die verschillende bumper-geometrieën, de motorkaphoogte en motorkaphoek hebben op de afloop van de botsing. Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van computer-simulaties en experimentele simulaties.

Ad 3. Ook is op grond van de ontwikkelde kennis van de kinematiek van de botsing geëxperimenteerd met het gebruik van alternatieve materialen in het voertuig. Op plaatsen van het voertuig waar het primaire contact tussen voertuig en kwetsbare verkeersdeelnemer optreedt, is energie-absorberende kunststof aangebracht. Het dilemma bij het gebruik van energie-absorberend materiaal is dat de buitenkant van de auto meer dan één functie vervult. Zo moet het materiaal bestand zijn tegen lichte aanrijdingen, maar ook tegen weer en wind en vandalisme.

4.2. Probleemstellend onderzoek

Een probleemstellend onderzoek is onder meer uitgevoerd in Duitsland (Suren et al., 1987).

Het onderzoek had als doel het efficiënt analyseren van ongevallen, specifiek voor ongevallen tussen voertuigen en tweewielberijders. Het betreft hier zowel gemotoriseerde als niet-gemotoriseerde tweewielers. Voor genoemd onderzoek is een groot aantal ongevallen tussen voertuigen en tweewielers onderzocht. De belangrijkste onderwerpen waren:

de algemene oorzaak van het ongeval, de beweging van de voertuigen tijdens de botsing en het mechanisme van het ontstaan van letsel. Uit het onderzoek blijkt dat hoofd en beenletsel zeer vaak voorkomt. De ernstige letsels zijn het gevolg van contact van de fietser met de bumper en de voorruit.

In een SWOV-publicatie (Huijbers, 1984) en verschillende buitenlandse studies (*Pedestrian injury protection by car design*, 1985; *The car-pedestrian collision*, 1986) komt men tot gelijklopende conclusies.

In het SWOV-rapport *Ongevallenonderzoek naar de invloed van het front van de personenauto op de letselernst van de fietser bij aanrijdingen* (Schoon et al., 1992) wordt bekeken of er een relatie is vast te stellen tussen voertuig-geometrie en letselernst van in de praktijk geregistreerde ongevallen. In het rapport zijn twee kenmerken, fronthoek en motorkaphoogte onderzocht. Alleen bij het kenmerk fronthoek zijn significante verschillen in letselernst gevonden. De meest steile als de flauwere fronthoeken geven het grootste percentage ernstig gewonden.

In verschillende laboratoria zijn experimentele simulaties uitgevoerd om de kinematic van botsingen te bestuderen. Proeven op ware schaal zijn zowel met kadavers als met dummy's uitgevoerd.

In een TNO-onderzoek (Janssen et al., 1987) worden de resultaten besproken van experimentele simulaties van botsingen tussen fietsers en auto's besproken. In dit onderzoek is vastgesteld dat een initiële snelheid van de fiets, loodrecht op de snelheidsrichting van het voertuig, geen invloed heeft op de letselernst.

In een door de SWOV op hetzelfde basismateriaal uitgevoerd vervolgonderzoek (Schoon, 1991), wordt die conclusie afgezwakt, omdat blijkt dat door de eigen snelheid van de fiets, de fietser gedeeltelijk naast de motorkap terecht kan komen en daardoor gunstiger af lijkt te zijn.

Een ander resultaat heeft betrekking op de testconditie 'dompen' (het duiken van de auto tijdens het remmen). De toegenomen afstand tussen fietser en motorkap tijdens het dompen, heeft negatieve invloed op de afloop van de botsing. Aanbevolen wordt daarom een dergelijke conditie standaard mee te nemen in vervolgsimulaties.

Het verloop van botsingen tussen kwetsbare verkeersdeelnemers en voertuigen is ook met behulp van computer-simulatie bestudeerd. In *The car-pedestrian collision* (1986) en Van Oorschot & Janssen (1987) worden de resultaten van een groot aantal simulaties gepresenteerd. Over het algemeen stemmen de computersimulaties goed overeen met de resultaten van experimentele simulaties. Computersimulatie is inmiddels een geaccepteerd hulpmiddel bij het onderzoek naar een botsvriendelijk autofront.

4.3. Het materiaal

Het is mogelijk gebleken de letselernst bij de kwetsbare verkeersdeelnemers te verminderen door de motorkap en de harde onderdelen van het voertuig-exterieur te bekleden met zachtere materialen. De zachtere materialen zorgen voor een langere vertragingstijd van de geraakte lichaamsdelen, waardoor lagere vertragingstijden mogelijk zijn.

Er zijn verscheidene onderzoeken uitgevoerd waarbij met verschillende soorten kunststofschuim van verschillende dichtheid is geëxperimenteerd. Een illustratief onderzoek is dat van de UNI-CAR (Appel, 1982). In dit onderzoek was het hele front voorzien van het energie-absorberende polyurethaan. Ook is er bij het ontwerpen van de UNI-CAR veel aandacht besteed aan de vormgeving van gevaarlijke onderdelen als de A-pillar en de voorruitssponning. Uit botsproeven tussen voetganger en de UNI-CAR bleek dat, hoewel de hoofdbotsnelheid niet wezenlijk anders was dan bij conventionele voertuigen, de zogenoemde HIC-waarden (Head Impact Criterium; een criterium om te bepalen of onder bepaalde condities hoofdletsel optreedt) veel lager uitvielen.

Er zijn echter ook aanzienlijke verbeteringen mogelijk zónder dat er zachte materialen worden toegepast. Voorbeelden zijn volgens TRL:

- een volledig dekkende motorkap waardoor de harde overgang tussen motorkap en spatbord wordt vermeden;
- genoeg vrije ruimte onder de motorkap zodat deze vrij kan vervormen zonder dat harde onderdelen van de motor worden geraakt.

Dit zijn maatregelen die eigen lijk thuishoren in de volgende paragraaf, waarin de invloed van de *vorm* op de letselernst besproken wordt. We noemen deze maatregelen hier echter onder 'materiaalgebruik', omdat de werking gebaseerd is op hetze lde principe als bij zachtere materialen het geval is: *een langere remweg geeft lagere versnellingswaarden.*

4.4. De vorm

Het is zeker n'et alleen het botsgedrag met kwetsbare verkeersdeelnemers dat bepaalt hoe au b's worden vormgegeven. Vooral de luchtweerstand is doorslaggevend voor de vormgeving. Fabrikanten willen deze weerstand zo laag mogelijk houden; het is een be langrijk verkoop-argument.

De meeste onderzoeken nemen relatief kleine vormveranderingen aan de gangbare voertuigontwerpen in beschouwing. De inv bed van bumperhoogte, motorkaphoogte en de overhang van de bumper op het botsgedrag met kwetsbare verkeersdeelnemer zijn veelvuldig onderzocht. Een steeds weer terugkerend onderwerp hierbij is de moeilijkheid dat zowel kinderen als volwassenen kunnen worden aangereden (Lawrence, 1989); er is geen botsvriendelijke configuratie mogelijk die optimaal is voor zowel volwas-sene als kind. Er zijn ook ideeën geopperd om de bumper met de grill te integreren (o.a. UNI-CAR) zodat de voetganger langs het voertuig kan afrollen.

Computersimulatie geeft de onderzoeker vee lvrijheid bij het onderzoek naar alternatieve vormen.

In een SWOV-onderzoek (Van der Sluis & Van Kampen, 1992) wo rdt onderzocht of een vee lsteiler front van het voertuig voordelen biedt. Uit een beperkte serie simu laties word tgeconcludeerd dat een fronthoek tussen 60 en 90 graden in principe he tvei lgtst is.

4.5. Conclusies

In de afgelopen twintig jaar is er veel onderzoek gedaan naar een botsvriendelijk voertuig. Er is kennis verworven over het botsverloop tussen voertuig en kwetsbare verkeersdeelnemer. De aard, de ernst en de frequentie van de optredende letsels bij de kwetsbare verkeersdeelnemer bij huidige voertuigen is vastgesteld. Verder zijn de gevaarlijke onderdelen van het voertuig bepaald.

Behalve het probleemstellende onderzoek zijn er verbeteringen aan het voertuig uitgetest. De verbeteringen betreffen zowel het materiaalgebruik als de vorm van het voertuig. Uit de literatuur blijkt dat het met de verkregen kennis mogelijk is de voertuigen botsvriendelijk te ontwerpen. Daarmee ontstaat minder ernstig letsel bij een gelijkblijvend aantal conflicten.

Er zijn geen publikaties gevonden waarin op grond van theoretische beschouwingen aanbevelingen worden gedaan voor een botsvriendelijk voertuig.

5. Bescherming voor de kwetsbare verkeersdeelnemer

5.1. Inleiding

In de westerse landen wordt de valhelm, in tegenstelling tot de softnose, veel gebruikt. In Nederland bestaat sinds de jaren zeventig jaren een draagplicht voor motorrijders en bromfietzers. De helmen moeten aan internationale eisen voldoen. Voor fietsers bestaat in Nederland geen helmdraagplicht. De Koninklijke Nederlandse Wielrenners Unie (KNWU) verplicht haar leden wel tot het dragen van een valhelm tijdens wedstrijden.

Behalve de valhelm dragen fietsers geen andere beschermingsmiddelen voor de ledematen, zoals die bijvoorbeeld bekend zijn van de skateboarders en rollerskaters.

De laatste jaren hebben experimenten plaatsgevonden op lokale en regionale schaal, waarbij getracht is specifieke doelgroepen (kinderen van lagere scholen) voor het gebruik van de helm te interesseren.

De Nederlandse overheid heeft zich, mede gezien de over het algemeen weinig enthousiaste opstelling van de meeste direct betrokken instanties uit het veld, op het standpunt gesteld dat er geen draagvlak bestaat voor een draagplicht en ook geen wettelijke maatregel wordt overwogen. Anderzijds staat zij positief tegenover het stimuleren van het vrijwillig gebruik, in het bijzonder bij (kwetsbare) doelgroepen.

Voor voetgangers bestaan geen specifiek voor deze groep ontwikkelde beschermingsmiddelen. Er zijn ook geen onderzoeken naar dergelijke middelen gevonden.

5.2. De valhelm

Naar valhelmen wordt al meer dan dertig jaar onderzoek gedaan. De ontwikkeling is ook duidelijk zichtbaar geweest. De halve bolvormige pothelm is ontwikkeld tot geventileerde integraalhelm.

De valhelm vervult tijdens het beschermen van het hoofd bij botsingen twee functies. Zware, op kleine oppervlakten werkende belastingen moeten over een groter oppervlak verdeeld worden, zodat de schedel heel blijft.

Verder zorgt de helm er voor dat de versnellingen van het hoofd beperkt worden.

Deze functies zijn terug te vinden in de vormgeving van de huidige valhelm. Een harde schil zorgt voor de verdeling van de belasting. Het in de schil aangebrachte zachte (energie-absorberende) materiaal zorgt voor verlaging van de versnellingswaarden en dient tevens voor het creëren van een goed passend formaat van de helm.

Bij het valhelm onderzoek worden dezelfde methodieken gebruikt als bij het onderzoek naar een botsverendelijker voertuig. Zowel computer als experimentele simulaties worden gebruikt om het helmontwerp te optimaliseren. Naar de werking van de valhelm is echter meer theoretisch onderzoek gedaan dan naar de toepassing van zachte materialen.

Een belangrijk bijkomend onderwerp zijn de *biomechanische eigenschappen* van het hoofd. Het biomechanisch onderzoek heeft tot doel de belastbaarheid van het hoofd te bepalen en op grond van dat onderzoek eenvoudig te berekenen criteria te bepalen. De criteria worden gebruikt om bij experimenteel en simulatie-onderzoek te bepalen of onder bepaalde condities hoofdletsel optreedt. De letselcriteria zijn hier geen onderwerp van studie, maar enige kennis is wel nodig om het betoog in dit en het volgende hoofdstuk te kunnen volgen. Daarom volgt een korte introductie.

Het meest bekende criterium is het 'Head Impact Criterium' oftewel HIC. De HIC-waarde wordt berekend uit de lineaire versnellingen van het hoofd, zoals weergegeven in de volgende formule.

$$HIC = \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) \cdot dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1) \quad (1)$$

In veel studies wordt HIC = 1.000 genoemd als grenswaarde waarbij geen ernstig letsel optreedt.

Een recenter ontwikkeld criterium is het Translational Energy Criterium (TEC) (Rojanavanich & Stalnaker, 1989). Bij het bepalen van het TEC is gebruik gemaakt van een 'lumped mass model' van het menselijk hoofd, het Translational Head Injury Model (THIM). Het TEC-criterium houdt niet alleen rekening met letsel als gevolg van versnellingen, maar kan ook gebruikt worden om te bepalen of er schedelbreuk optreedt.

Alle criteria hebben gemeen dat er continu kritiek op is. Bij gebrek aan beter wordt meestal het HIC gebruikt. Bij meest voorkomende criteria wordt geen rekening gehouden met letsels als gevolg van rotatieversnellingen van het hoofd.

Behalve het biomechanisch onderzoek van het hoofd, is er ook onderzoek gedaan naar de omstandigheden waaronder helmen belast worden. Hiertoe zijn niet alleen voorgevallen ongevallen geanalyseerd, maar zijn ook mathematische simulaties uitgevoerd. Dit onderzoek is uiteraard zeer belangrijk om te kunnen bepalen op welke omstandigheden helm, softnose en andere middelen geoptimaliseerd moeten worden.

In dit hoofdstuk wordt alleen het theoretisch onderzoek behandeld. In de praktijk zijn er ook onderzoeken uitgevoerd waarin zowel theoretisch als experimenteel gewerkt wordt.

5.3. Theoretisch en modelmatig onderzoek

De doelstelling van theoretisch onderzoek is het verkrijgen van meer inzicht van de werking van de helm en het maken van wiskundige modellen. Er zijn drie benaderingen:

1. klassieke contact theorie;
2. lumped mass model;
3. eindige elementen.

Ad 1. De klassieke contacttheorie wordt gebruikt om de grootte van het contactoppervlak en van de contactdruk te bepalen. Een overzicht van de klassieke contact theorie, die gebaseerd is op de wetten van Hertz, is te vinden in *Inleiding Tribotechniek* (Landheer & De Gee, 1986). In deze publikatie wordt voor de behandeling van de wetten van Hertz verwezen naar het standaardwerk *Theory and Elasticity* (Timoshenko & Goodier, 1987³).

Ad 2. 'Lumped mass'-modellen zijn een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid. De kracht van dergelijke modellen is hun eenvoud. De moeilijkheid is het bepalen van de parameters en het interpreteren van de resultaten.

Ad 3. Met 'eindige element'-methoden is de werkelijkheid directer te modelleren dan bij met 'lumped mass'-technieken. Er is echter veel meer kennis van de materialen nodig om een eindig-elementen-model te maken. Om een eindig-elementen-model door te rekenen zijn krachtige computers nodig. In het navolgende worden een aantal resultaten van theoretisch helmonderzoek besproken.

Chandler, Gilchrist & Mills (1991) gebruiken de klassieke theorie om het contactoppervlak te berekenen tussen een flexibele schil van de helm en een 'anvil' (stempel). In hun zoektocht naar de ideale helm stellen zij een minder stijf schilmateriaal en een zachtere schuimlaag voor dan gebruikelijk. De klassieke theorie geeft in geval van een zachte schil een betrouwbare voorspelling van het contact-oppervlak.

5.4. **Andere theoretisch mogelijke beschermingsmiddelen**

Het hoofd is niet het enige lichaamsdeel van kwetsbare verkeersdeelnemers dat te lijden heeft onder botsingen met voertuigen. Uit het zogenoemde probleemstellende onderzoek blijkt dat ook andere lichaamsdelen, met name de benen, ernstig letsel oplopen.

Men kan de benen beschermen op dezelfde wijze als dat met het hoofd gebeurt: een harde schil om de belasting te verdelen met een zachte laag om de vertragingen te reduceren. In de literatuur is geen onderzoek naar beenbeschermers, noch naar andere beschermingsmiddelen gevonden.

Men kan zich afvragen of onderzoek naar dergelijke beschermingsmiddelen gerechtvaardigd is, zolang niet alle mogelijkheden tot een botsveilig voertuig zijn toegepast.

6. Ontwikkelingen van het voertuigfront

6.1. Geschiedenis

Sinds de jaren zeventig is er bestaand binnen de botsveiligheidswereld aandacht voor de ontwikkeling van verbeterde autofronten, in het kader van het verbeteren van de botsveiligheid van voetgangers en fietsers. Dit heeft geresulteerd in diverse EEVC-werkgroepen in de jaren zeventig, tachtig en negentig.

6.2. EEVC-10

De (voor zover bekend) laatste werkgroep, EEVC-10, werd in 1990 opgericht (voorzitter Lowne, TRL; later Janssen, TNO-WT). Deze werkgroep diende een botsmethodiek te ontwikkelen welke kon worden toegepast in een bestaande of nieuwe EU-richtlijn. Tegen de tijd dat de resultaten van EEVC-10 ruimschoots op tafel lagen, zij het dat enkele definitieve elementen van de botstesten nog moesten worden opgeleverd, verzocht de Europese Commissie (via DG3) verschillende landen studies uit te voeren naar de kosten/baten-verhouding van de voorgenomen maatregel.

6.3. Kosten/baten-studies

Zo werden door BAST en TRL onafhankelijk van elkaar studies uitgevoerd (Bamberg, 1993 en Lawrence et al., 1993). De SWOV volgde in opdracht van AVV/RDW met een dergelijke studie in 1994 (Van Kampen, 1994).

Alle studies concludeerden dat er van verbeterde autofronten aanzienlijke baten waren te verwachten, in termen van te besparen doden en gewonden. In het geval van de TRL-studie werd bovendien het resultaat van een separate studie naar de kostenkant van de veranderingen aan het autofront gerapporteerd, waarmee per saldo ook een positieve kosten/baten-verhouding kon worden bepaald voor de voorgenomen maatregel. In de Duitse studie worden effecten bepaald voor zowel voetgangers als fietsers; de toen beschikbare Duitse cijfers met betrekking tot fietsers lieten overigens een bescheiden effect voor deze categorie verkeersdeelnemers zien.

In de Nederlandse studie, waarbij het design van het Duitse model is overgenomen, werd op basis van Nederlandse ongevallencijfers het effect voor fietsers eveneens nadrukkelijk meegenomen en werd ook een relatief groter effect geraamd dan in de Duitse situatie.

De essentie van de voorgenomen maatregel betreft een drietal component-botstesten op onderdelen van het autofront (de bumper, de motorkaprand en de motorkap).

Gedurende de werkzaamheden die door de betreffende EEVC-10-werkgroep werden uitgevoerd, nam van de zijde van de autofabrikanten de bereidheid tot medewerking aan de voorgenomen maatregel af. Uiteindelijk heeft ACEA (de vertegenwoordiger van de Europese automobiel-fabrikanten) zich zelfs formeel opgesteld tegen uitvoering van de maatregel.

6.4. Positie EU

Er ontstond aldus gedurende enkele jaren (1994 en 1995) een impasse, waar voornamelijk ook de EU (de Commissie, respectievelijk DG3) nog niet uit lijkt te zijn gekomen.

De EU heeft overigens wel degelijk pogingen daartoe verricht door middel van een aantal bijeenkomsten met belanghebbenden die waren gericht op de knelpunten.

Een belangrijk knelpunt bleek de kostenraming van de noodzakelijke veranderingen aan het autofront als gevolg van de te verkrijgen Europese goedkeuring bij de voorgestelde testen.

Op een presentatie in het najaar van 1995 onder auspiciën van de EU in Brussel hebben partijen (UK/TRL, DU/BAST en NL/SWOV enerzijds en ACEA anderzijds) een verhitte discussie over dit onderwerp gevoerd. ACEA kwam op een circa honderd maal hoger kostenniveau uit dan de het Verenigd Koninkrijk uitgevoerde kostenstudie. ACEA tracht voorts aan te tonen dat voetgangersmaatregelen in de infrastructurele sfeer veel effectiever zijn dan die aan het voertuig.

In 1996 heeft de Europese Commissie (opnieuw) aangekondigd met het definitieve voorstel voor een richtlijn te komen. ETSC heeft mede daartoe de cijfers nog eens op een rij gezet.

ACEA blijft zich tegendraads opstellen en zoekt instituten die een kosten/baten-studie naar het effect van infrastructurele voetgangersvoorzieningen kunnen uitvoeren. In dat kader is offerte gevraagd aan de SWOV. Dit onderzoek dient te geschieden op basis van een Duits vooronderzoek van Professor Appel (TU-Berlijn). De SWOV, een instituut uit het Verenigd Koninkrijk en een nog niet bekend instituut uit Duitsland zullen naar alle waarschijnlijkheid in 1996 een dergelijke studie uitvoeren.

Inmiddels is uit overleg in EU-verband (de zogenaamde 'werkgroep voertuigen') gebleken dat er een nieuwe studie op het gebied van de effectiviteit van de voorgenomen maatregel gewenst is; een situatie waarbij ook Nederland zich neerlegt. Het argument is dat er uit de kosten/baten-studies te zeer uiteenlopende beelden naar voren zijn gekomen en ook dat de studies al weer enige jaren oud zijn.

7. Conclusies

7.1. Literatuuronderzoek

Het onderzoek naar een botsvriendelijk voertuig loopt achter de ontwikkelingen aan. Het onderzoek wordt uitgevoerd nadat de voertuigen in productie zijn genomen.

Ondertussen is genoeg kennis opgebouwd om eisen inzake botsvriendelijkheid aan het ontwerp te stellen. Wellicht is het nodig om reeds bestaande eisen te veranderen zodat de ontwerpeisen geen conflict in zich hebben. Onderzocht moet worden welke bestaande eisen onmogelijk te verenigen zijn met een botsvriendelijk voertuig. Vervolgens moeten er prioriteit aan de ontwerpeisen toegekend worden. Dus geen eisen ten aanzien van een aantal testen waaraan voldaan moet worden, maar voorschriften ten aanzien van het ontwerp.

De SWOV heeft grote ervaring in het probleemstellende onderzoek.

De SWOV zou continu kunnen onderzoeken welke voertuigen de ernstige letsels veroorzaken en welke voertuigen goed presteren.

Een dergelijk onderzoek is ingewikkeld. Er is een groot aantal factoren waarmee rekening gehouden moet worden om tot een beoordeling van een voertuig te komen.

Een kritisch oordeel over een botsvriendelijk voertuig kan ertoe bijdragen dat het onderwerp van het botsvriendelijke voertuig de aandacht van het publiek krijgt. Publiciteit is waarschijnlijk het beste middel om druk op de autofabrikanten te leggen.

De SWOV heeft ook een bijdrage geleverd aan het onderzoek naar de optimale vorm van het voertuigfront. De resultaten zijn niet spectaculair maar wel hoopgevend. Een vervolg lijkt gerechtvaardigd, zo mogelijk in samenwerking met een autofabrikant.

Er is op bots-theoretische gronden geen voorkeur voor het toepassen van beschermingsmiddelen, dan wel het toepassen van een softnose. Het uitspreken van een dergelijke voorkeur is eenvoudig niet mogelijk omdat er geen theoretisch onderzoek is gedaan naar de werking van de softnose.

De vraag is of een theoretisch onderzoek naar het één of het ander noodzakelijk is. Waarschijnlijk is de maatschappelijke weerstand om de kwetsbare verkeersdeelnemer in te pakken met beschermingsmiddelen veel groter dan de argumenten die een dergelijk onderzoek zou kunnen opleveren.

7.2. Recente ontwikkelingen

De belangrijkste conclusies uit de meest recente ontwikkelingen op het gebied van de voorgenomen maatregel ter voorkoming van letsel bij botsingen tussen auto's en voetgangers en fietsers, zijn :

- de maatregel is technisch nagenoeg rond;
- er is draagvlak bij enkele grote landen om de maatregel te nemen;
- de industrie verzet zich fel;
- er zal een nieuwe internationale kosten/baten-studie worden opgezet.

De situatie is al met al nog steeds diffuus. Een snelle oplossing valt, mede gezien de nieuw op te zetten kosten/baten-studie, niet te verwachten.

Literatuur

Appel H., Blödorn J., Kühnel A., Pasch R., Rattaj H. & Wollert W. (1982). *Exterior safety and side protection with the UNI-CAR*. Ninth International Conference on Experimental Safety Vehicles, held in Kyoto, Japan November 1-4, 1982, p. 88-95.

Bamberg, R. & Zellmer, H. (1993). *Nutzen durch vermeidbare Personenschaden bei Einföhrung des Testverfahrens der EEVC/WG 10 'Richtlinie zur Prüfung der Pkw-Frontfläche'*. BAST, Bergisch Gladbach.

Chandler, S., Gilehrst, A. & Mills, N. J. (1991). *Motorcycle helmet load spreading performance for impacts into rigid and deformable objects*. In: Proceedings of the 1991 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impacts, held in Berlin, September 11-12-13, 1991, p. 249-261.

European Experimental Vehicle Committee (1985). *Pedestrian injury protection by car design*. In: Proceedings of the 10th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, Oxford, England, July 1- 4, 1985, p. 965- 976.

Gladwell, G.M.L. (1980). *Contact problems in the classical theory of elasticity*. Sijthoff & Noordhoff, Alphen a/d Rijn.

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

Interdisciplinary Working Group for Accident of Zurich and Swiss Federal Institute of Technology (1986). *The car-pedestrian collision*. University of Zurich, Zurich.

Janssen, E.G. & Wismans, J. (1987). *Evaluation of vehicle- cyclist impacts through dummy and human cadaver tests*. In: Proceedings of the 11th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, Washington, D.C., May 12-15, 1987, p. 815- 821.

Kampen, L.T.B. van (1994). *Cost-benefit study concerning car front impact requirements to increase the crash-safety of pedestrians and cyclists: final report*. R-94-31. SWOV, Leidschendam.

Landheer, D. & Gee A.W J. de (1986). *Inleiding tribotechniek*. College dictaat TU-Delft.

Lawrence, G.J.L. (1989). *The influence of Car shape on Pedestrian Impact Energies and its application to Sub-System tests*. In: Proceedings of the Twelfth International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles. 29 mei - 1 juni 1989, p. 1253-1265.

Lawrence, G.J.L., Hardy, B.J. & Lowne, R.W. (1993). *Costs and benefits of the European Experimental Vehicles Committee EEVC pedestrian impact requirements*. Project Report PR 19. TRL, Crowthorne.

Oorschot, E. van & Janssen, E.G. (1987). *Mathematical and experimental simulations of vehicle-cyclist impact*. On behalf of the Rijksdienst voor het Wegverkeer RDW and the Institute for Road Safety Research SWOV. Delft, TNO Road-Vehicles Research Institute IW TNO.

Rojanavanich, V. & Stalnaker, R.L. (1989). *Sensitivity analysis for the translational energy criteria. Overall head injuries*. In: Proceedings of the 1989 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impacts, Stockholm (Sweden), September 13-14-15, 1989, p. 13- 26.

Schoon, C.C. (1991). *Nadere analyses van mathematische simulaties van botsingen tussen auto's en fietsen*. R-91-55. SWOV, Leidschendam.

Schoon, C.C., Harkema, A.E.C. & Staal, P.A.G. (1992). *Ongevallenonderzoek naar de invloed van het front van personenauto op de letselernst van de fietser bij aanrijdingen*. R-92-15, SWOV, Leidschendam.

Sluis, J. van der & Kampen, L.T.B. van (1992). *Mathematische simulaties van flankbotsingen van personenauto's met fietsers*. R-92-24, SWOV, Leidschendam.

Suren E.G., Tryba M., Otte. D. (1987). *Kinematic forms in motorized and non motorized cycle accidents and their consequences*. Department of trauma surgery, Hannover Medical School nad Department of Automotive Engineering, Technical University Berlin. Eight International Conference of the International Association for Accident and Traffic Medicine.

Timoshenko, S.P. & Goodier, J.M. (1987³). *Theory of elasticity*. McGraw-Hill, New York.