

MATHEMATISCHE EN EXPERIMENTELE SIMULATIES VAN BOTSINGEN TUSSEN
PERSONENAUTO'S EN TWEEWIELERS

R-88-42

Ir. J.J.W. Huijbers

Leidschendam, 1988

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

1. Inleiding
2. Doel
3. Opzet
 - 3.1. Inleiding
 - 3.2. Overzicht van de reeds uitgevoerde dummy-experimenten
 - 3.3. Overzicht van de reeds uitgevoerde mathematische simulaties
4. Mathematische simulaties
 - 4.1. Selectie van de waarden van de variabelen
 - 4.2. De resultaten
5. Bepaling van de botssnelheid op basis van de werpafstand
6. Conclusies en discussie

Literatuur

1. INLEIDING

In 1980 heeft de European Experimental Vehicles Committee (EEVC) een werkgroep opgericht met als opdracht de stand van kennis van het letselpreventie-onderzoek ten aanzien van voetgangers te beschrijven. Op basis van deze kennis zou de werkgroep aanbevelingen opstellen om de letselkans van voetgangers bij botsingen met personenauto's te verminderen. Bovendien zou de groep een beschrijving maken van noodzakelijk vervolgonderzoek. De gedachte was dat deze aanbevelingen ook voor andere verkeersdeelnemers van nut zouden zijn. Door de Nederlandse vertegenwoordigers van de werkgroep werd gesteld dat het niet juist was om a priori aan te nemen dat maatregelen gericht op letselpreventie van voetgangers ook optimaal van nut zijn voor de berijders van tweewielers.

Deze stellingname resulteerde in een (door Nederlandse vertegenwoordigers geleide) werkgroep met een vergelijkbare opdracht voor fietsers en bromfietsers.

De EEVC-werkgroep kwam tot de conclusie dat er op dat moment niet voldoende kennis aanwezig was om een nauwkeurig overzicht te geven van punten van verschil en overeenkomst. Een aanbeveling zoals het toepassen van energie-absorberende materialen bij personenauto's zal zowel voor voetgangers als voor fietsers een gunstig effect hebben. Maar ten aanzien van de delen van de personenauto waar dergelijke materialen zouden moeten worden toegepast, zijn er verschillen aantoonbaar.

Verder was de kennis dermate ontoereikend dat onderzoek een belangrijke plaats bij de aanbevelingen kreeg. Dit onderzoek zou in de eerste plaats moeten bestaan uit het bestuderen van ongevallen. Bovendien zou het inzicht in menselijke tolerantiewaarden vergroot moeten worden. Maar ook de mathematische modellen zouden na een nadere validatie een rol bij het onderzoek moeten gaan spelen. De werkgroep zag in de mathematische modellen zelfs meer dan alleen een stuk onderzoekgereedschap. Ook binnen een test-procedure zou een mathematisch model een waardevolle bijdrage kunnen en moeten verrichten.

De groep adviseerde bovendien om, in verband met de complexiteit van het ongevallenproces en de onnauwkeurigheid waarmee noodzakelijke gegevens doorgaans verkregen kunnen worden, naar een zinvolle integratie van de onderzoeksmethoden te streven.

In Nederland is mede op basis van de aanbeveling van de EEVC-werkgroep door het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO op basis van het MADYMO-pakket een model ontwikkeld dat botsingen tussen tweewielers en personen-auto's kan simuleren. Dit model is in eerste instantie gevalideerd met behulp van de uitkomsten van een aantal dummy-experimenten.

De in dit rapport beschreven simulaties zijn met deze versie van MADYMO uitgevoerd.

Teneinde het inzicht te vergroten in hetgeen precies bij dergelijke ongevallen gebeurt, is vooral aandacht gegeven aan ongevallen waarbij de voorzijde van auto's is betrokken, met het doel aanknopingspunten te vinden om de botseigenschappen van autofronten te verbeteren.

2. DOEL

Het primaire doel van het project is om via mathematische simulaties een beter inzicht te verwerven in het proces bij ongevallen van tweewielerberijders.

Daarnaast zal aan de hand van de resultaten van reeds eerder uitgevoerde experimenten met dummies en kadavers onderzocht worden of er door ook gebruik te maken van andere variabelen een nauwkeuriger schatting van de botssnelheid kan worden verkregen.

3. OPZET

3.1. Inleiding

Op basis van een analyse van gegevens van de Dienst Verkeersongevallenregistratie VOR is een keuze gemaakt voor het bestuderen van het type botsing waarbij de fietser zijdelings door de voorzijde van een auto wordt aangereden. De criteria die hierbij gehanteerd werden, waren: relatieve omvang en ernst in termen van letaliteit (Huijbers, 1984).

Aard en de ernst van bij ongevallen opgelopen letsels zijn afhankelijk van een groot aantal variabelen. Het aantal mogelijke simulaties is derhalve zeer groot. Om de kosten van het project op een aanvaardbaar niveau te houden, kon slechts een beperkt aantal simulaties worden uitgevoerd.

In opdracht van de SWOV zijn door het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO simulaties uitgevoerd met het model MADYMO. Deze resulteerden in ruwe data in de vorm van snelheden en versnellingen van het hoofd en andere lichaamsdelen.

Nadere analyse van de uitkomsten van de door het model geleverde data is uitgevoerd door de SWOV.

Bij de keuze werd uiteraard ook rekening gehouden met de resultaten van de reeds eerder uitgevoerde simulaties. Daarom is ook een beknopte beschrijving hiervan in dit rapport opgenomen.

Omdat met het model snelheden en versnellingen als functie van de tijd berekend worden, worden die variabelen die van invloed zijn op de grootte van deze snelheden en versnellingen als potentieel belangrijke variabelen beschouwd. Een (noodzakelijke) vertaling hiervan naar letsels is op dit moment, gezien de geringe kennis van de tolerantiewaarden van de verschillende lichaamsdelen, niet realiseerbaar. Met het model kunnen op dit moment trends in de mechanische uitgangsvariabelen als gevolg van het variëren van de ingangsvariabelen worden beschreven. Of deze trends ook kunnen worden teruggevonden, zal onderwerp van nadere studie moeten zijn.

Uit de theoretische beschouwingen omtrent het botsen in het algemeen en botsingen tussen fietsers en auto's in het bijzonder, volgt dat de

volgende variabelen als potentieel belangrijk kunnen worden aangemerkt (Huijbers, 1988).

- A. De snelheid van de auto op moment van botsen
- B. De plaatsen van het eerste contact
- C. De geometrie van de auto
- D. De lengte van de fietser
- E. De houding van de fietser in combinatie met het type fiets
- F. De snelheid van de fietser op moment van botsen
- G. De afmetingen van de fiets
- H. De stijfheid van de contactplaatsen.

3.2. Overzicht van de reeds uitgevoerde dummy-experimenten

Bij de experimenten die werden uitgevoerd om het model te valideren is gebruik gemaakt van een gemodificeerde 'Part 572' dummy. Dit is een 50 percentiel volwassene dummy.

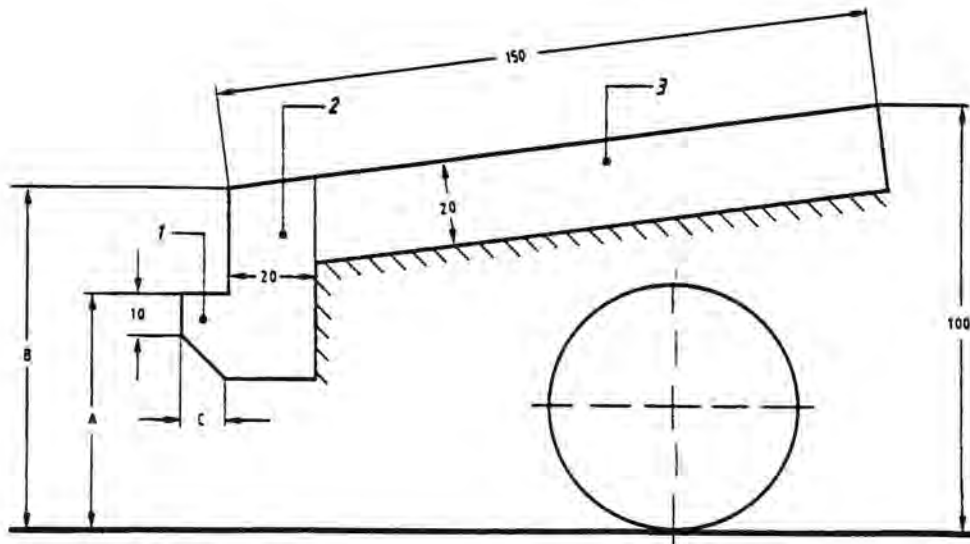
De personenauto werd in de meeste gevallen gesimuleerd met behulp van een uit pur-schuim opgebouwd autofront. Met een bestaand automodel werden drie testen uitgevoerd. Janssen (1985) geeft hiervan een uitvoerige beschrijving.

Bij de experimenten zijn de volgende waarden voor de ingangsvariabelen gebruikt:

- A. 20, 30 en 40 km/uur
- B. Eerste contact centraal op het front.
- C. Hb=55 (A), Mh=80 (B), Ub=10 (C). (dimensie: centimeters,
Hb=55 (A), Mh=80 (B), Ub=20 (C). zie Afbeelding 1, blz. 10)
Hb=35 (A), Mh=80 (B), Ub=10 (C).
Hb=35 (A), Mh=60 (B), Ub=10 (C).
Hb=35 (A), Mh=60 (B), Ub=20 (C).
- D. Volwassene.
- E. Rechtop op standaard fiets.
- F. Snelheid=0.
- G. Fiets met een wioldiameter van 28".
- H. Pur-schuim met dichtheden van 50 (kg/m³) en 35 (kg/m³).

De voornaamste resultaten van deze experimenten waren:

Het verlagen van de bumperhoogte levert nauwelijks verschillen op voor de contactplaatsen van de diverse lichaamsdelen en van de daaruit resulterende versnellingen.



Afbeelding 1. Definitie van de maten voor de auto volgens IW-TNO (Janssen, 1985).

Het verminderen van de motorkaphoogte levert wel enige veranderingen op. Bij het lagere front overheerst de rotatie van de dummy ten opzichte van de translatiebeweging.

Door een verlaging van het front met 20 cm verschuift de plaats waar het hoofd de motorkap raakt 33 cm naar de voorruit toe. De snelheid van het hoofd ten opzichte van de voorruit neemt toe. Ook de maximale versnelling van het hoofd en de HIC (Head Injury Criterion) worden groter. De piek in het versnellings signaal van de heup bij het contact tussen de bumper en het been is bij het lage front de helft van die bij het hoge front. Het contact tussen heup en motorkap resulteert in een extra versnellingspiek, doch deze is relatief gering.

Door het verkleinen van de fronthoek neemt de snelheid van het hoofd ten opzichte van de auto toe, evenals de maximale versnelling van het hoofd en de HIC.

Het verkleinen van fronthoek heeft bij een relatief laag front nauwelijks invloed op de versnelling van de heup. Dit in tegenstelling tot een hoog front.

Voor het gesimuleerde autofront is pur-schuim gebruikt van twee verschillende dichtheden: 35 en 50 kg/m³. De uitgangsvariabelen blijken niet noemenswaardig te verschillen.

Bij botssnelheden lager dan 20 km/uur valt de dummy om. Boven deze snelheid roteert de dummy meestal in de richting van de auto. Contact tussen het hoofd van de dummy en de auto kan hiervan het gevolg zijn.

Het vergelijken van de tests met snelheden van 20, 30 en 40 km/uur geeft een indicatie van de invloed van de botssnelheid op de relatieve snelheid van het hoofd ten opzichte van de auto. De verhouding tussen deze relatieve snelheid en de snelheid van de auto op het moment van botsen neemt toe naarmate de snelheid van de auto groter is.

Bij een hoog model auto en een volwassen fietser in toerhouding is de verhouding tussen de relatieve snelheid van het hoofd en de snelheid van de auto op het moment van de botsing: 1,1 bij 20 km/uur, 1,3 bij 30 km/uur en 1,5 bij 40 km/uur.

De maximale versnellingen van de heup en borst nemen eveneens toe.

3.3. Overzicht van de reeds uitgevoerde mathematische simulaties

Een aantal simulaties is uitgevoerd in de validatiefase; een aantal andere diende een eerste inzicht te verschaffen in de invloed van een aantal andere variabelen. Opzet, uitvoering en resultaten zijn beschreven door Wismans (1985).

Tabel 1 geeft een overzicht van de gekozen waarden van de ingangsvaariabelen.

Uit deze simulaties is te concluderen dat variaties in de massatraagheid rond de lengte-as van de dummy, de wrijvingscoëfficiënt tussen fiets(er) en de auto en de wrijvingscoëfficiënt tussen de fiets en de grond, nauwelijks invloed hebben op de uitgangsvaariabelen van het model.

Een afname van de massa van de fiets met 50% levert een verandering in de piekwaarden van de versnellingen op van maximaal 10%. De piekwaarden van de versnellingen van het bekken nemen toe met 19%.

De belangrijkste verandering die optreedt als de fiets tijdens de botsing een eigen snelheid heeft, is een toename van de laterale afstand van de plaats van het contact tussen het hoofd van de fietser en de auto.

	A		B	C (1)					D/E/G				F		H		
	30	40	F1c	M1	M2	M3	M4	M5	1	2	3	4	0	20	35	50	
1	20		x	hoog front +/-M3					x				x				x
2	x		x	hoog front +/-M3					x				x				x
3	x		x	hoog front +/-M3					x				x				x
4	x		x	hoog front +/-M3					x				x		x		x
5	x		x	hoog front +/-M3					x				x				x
6		x	x	hoog front +/-M3					x				x				x
7	x		x	M3 met kleine θ					x				x				x
8	x		x	Bh klein, Mh groot					x				x				x
9	x		x	Bh, Mh klein					x				x				x
10	x		x	Bh, Mh, θ klein					x				x				x
11	x		x	+/- M3					x				15 km				x
12		x	x	Bh, Mh klein					x				x				x
13	x		x	Bh, Mh groot					massa 0,1X				x				x
14	x		x	Bh, Mh groot					massa 5X				x				x
15	massatraagheid veranderd																
16	wrijvingscoëfficiënt dummy / voertuig: 0 en 0.5																
17	wrijvingscoëfficiënt fiets / grond, stijfheid grond veranderd																
18	stijfheid front motorkap veranderd																

(1) θ normaal = 68° , groot = 77° , klein = 51° .

Tabel 1. Overzicht van de reeds uitgevoerde mathematische simulaties.

Bij de dummy-experimenten werd nauwelijks verschil geconstateerd tussen de resultaten van het pur-schuim met dichtheden van 35 en 50 kg/m³.

Bij de mathematische simulaties werd de stijfheid van de grille en motor-kap-hypercilinder met 50 % verminderd. Dit leverde wel belangrijke afwijkingen op.

Een van de aanbevelingen van het project is dan ook: "The large influence of this type of variations on the site and the limited capabilities of the present contact models to account in a realistic way for such geometric effects on the other hand indicates an important area for future research".

4. MATHEMATISCHE SIMULATIES

4.1. Selectie van de waarden van de variabelen

De in dit project uitgevoerde simulaties geven een indruk van de invloed van voertuigvorm, houding en dimensie van de fietser als functie van de snelheid van de auto op de mechanische uitgangsgrootheden van het model. De simulaties zijn uitgevoerd met de drie-dimensionale dummy-gevalideerde fietsersversie van het pakket MADYMO-pakket. Een nauwkeurige beschrijving van het model is te vinden in het door het Instituut voor Wegtransportmid-delen TNO van dit project opgestelde rapport (Van Oorschot et al., 1987). De volgende waarden zijn gekozen bij de variabelen, waarbij de letters verwijzen naar Tabel 2.

A. Snelheid van de auto

Uit onderzoek van botsingen tussen voetgangers en auto's (EEVC, 1982) en uit de resultaten van de gesimuleerde fietserongevallen met dummies (Janssen, 1985) volgt dat er pas bij snelheden boven de 20 km/uur sprake is van contact tussen het hoofd van het slachtoffer en de auto. Bij de ongevallen met snelheden kleiner dan 20 km/uur vindt alleen contact plaats tussen het front van de auto en de benen en/of het bekken. Cruciaal bij het optreden van letsels bij dit soort contact zijn de hieruit resulterende inwendige spanningsgrootheden in het bot. Daar het model MADYMO alleen (nog) snelheden en versnellingen berekent, heeft het simuleren van botsingen met snelheden kleiner of gelijk aan 20 km/uur niet zoveel zin. De bovengrens wordt bepaald door de aanbevelingen van de werkgroepen van de EEVC dat letselpreventiemaatregelen ter bescherming van voetgangers en fietsers effect zullen hebben tot snelheden van 40 km/uur. Op basis van deze overwegingen is gekozen voor het simuleren met snelheden van 30 en 40 km/uur.

B. Botstype

De aandacht is geconcentreerd op de centrale botsing, een enkele niet-centrale en een enkele achteraanrijding werd gesimuleerd.

C. Autovorm

De vorm van de auto is in het model opgebouwd uit ellipsen en hyperellipsen, zoals in Afbeelding 4 te zien is.

Test no.	Bots-snelh.1)	Bots type 2)	Auto model 3)	Dummy/fiets model 4)	Snelheid fiets 1)	Stijfheid auto 5)
1	30	F1	M1	1	0	50
2	30	F1	M2	1	0	50
3	30	F1	M3	1	0	50
4	30	F1	M4	1	0	50
5	30	F1	M5	1	0	50
6	30	F1	M2	2	0	50
7	30	F1	M3	2	0	50
8	30	F1	M5	2	0	50
9	30	F1	M3	3	0	50
10	30	F1	M3	4	0	50
11	40	F1	M1	1	0	50
12	40	F1	M3	1	0	50
13	40	F1	M2	1	0	50
14	40	F1	M3	2	0	50
15	40	F1	M2	2	0	50
16	30	F1	M3	1	20	50
17	40	F1	M2	1	20	50
18	30	F1	M2	1	20	50
19	30	F1	M3	1	0	35
20	30	F1	M2	3	0	50
21	30	F1	M2	4	0	50
22	40	F1	M2	3	0	50
23	40	F3	M2	4	0	50
24	40	F3	M3	3	0	50
25	40	F1	M3	4	0	50
26	30	F1	M2	3	20	50
27	30	F1	M3	3	20	50
28	30	F1	M3	3	0	35
29	30	F1	M1	3	0	50
30	30	F1	M5	3	0	50
31	30	F1	M2	1	0	50
32	30	F3	M3	1	0	50
33	30	F3	M2	1	0	50
34	30	F1	M3	1	0	50

- 1) Snelheid van de auto in km/uur
- 2) Botstype F1: front auto/zijkant fiets
Botstype F3: front auto/achterkant fiets (zie Huijbers, 1984)
- 3) M1: 'Opel Kadett type C' M2: 'Opel Kadett model '85'
M3: 'Volvo 760" M4: 'Citroen CX'
M5: 'Safe '90'
- 4) 1: Standard Part 572-dummy in toerpositie
2: Standard Part 572-dummy in racepositie
3: TNO P6 dummy in toerpositie
4: TNO P6 dummy in racepositie
- 5) Dichtheid van het purschuim in kg/m³

Tabel 2. De gekozen waarden van de variabelen bij de simulaties.

De plaats van het contact tussen het hoofd van de fietser en de auto is vastgesteld conform de aanduiding gegeven in Afbeelding 2.

Vijf van elkaar verschillende modellen zijn gekozen. De afmetingen van de modellen zijn afkomstig van een voor dit doel gecreëerd bestand dat de relevante maten van de meeste personenauto's bevat (zie Afbeelding 3 en Tabel 3).

De volgende modellen werden gekozen:

- M1 Een kleine auto uit de middenklasse van een ouder bouwjaar: de 'Opel Kadett type C', deze heeft vergeleken met meer recente typen een relatief hoog front.
- M2 Een kleine middenklasse auto van hetzelfde merk als M1, maar van recenter datum: de 'Opel Kadett model '85'.
- M3 Een grote auto met een ver vooruitstekende bumperpartij: 'Volvo 760'.
- M4 Een auto met een laag en lang front (lage bumperhoogte (B_h), lage M_h), fronthoek (θ) klein, γ klein): 'Citroën CX'.
- M5 Een niet-bestaand merk, de 'Safe '90' genaamd. De dimensies zijn gekozen in de verwachting dat voetgangers en fietsers bij botsingen zo min mogelijk letsel oplopen. De filosofie hierbij is als volgt: De eerste krachtinwerking vindt zo laag mogelijk plaats door toepassing van een "airdam". De tweede impact vindt bijna direct hierna plaats op femurhoogte (fronthoek groot). Verder wordt de auto gekenmerkt door een lange motorkap een sterk hellende voorruit.

In Afbeelding 4 zijn de automodellen M1 en M2 zoals ze in MADYMO voorgesteld worden, weergegeven.

D/E/G. Dimensies en houding fietser

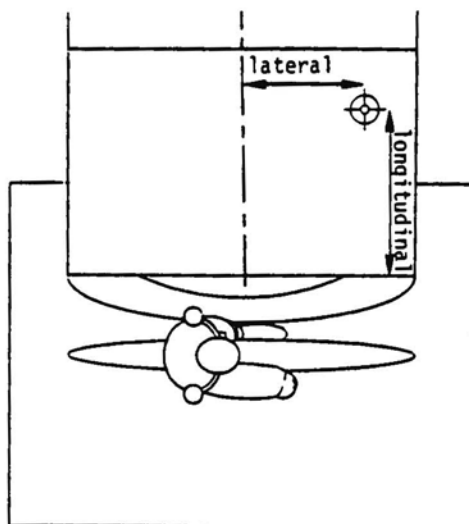
De volgende variaties werden gekozen: volwassene in toerhouding (1), volwassene in racehouding (2), kind in toerhouding (3) en kind in racehouding (4) (zie Afbeelding 5).

F. Snelheid van de fiets

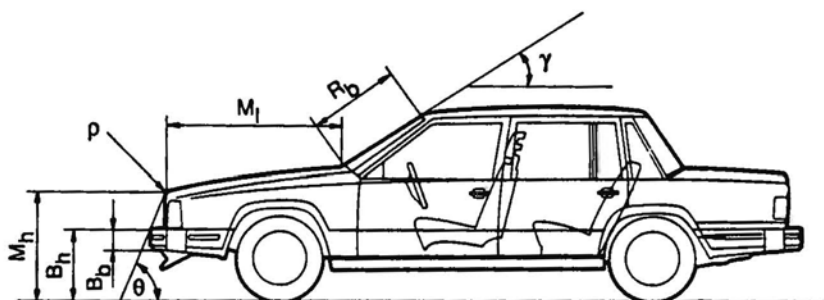
Snelheid van de fiets op moment van botsen: 0, resp. 20 km/uur.

H. Stijfheid van het front van de personenauto

Voor de stijfheid van de contactplaatsen wordt de karakteristiek van het pur-schuim met een dichtheid van 50 kg/m^3 gebruikt. Een enkele maal is de karakteristiek van het minder dichte schuim gebruikt.



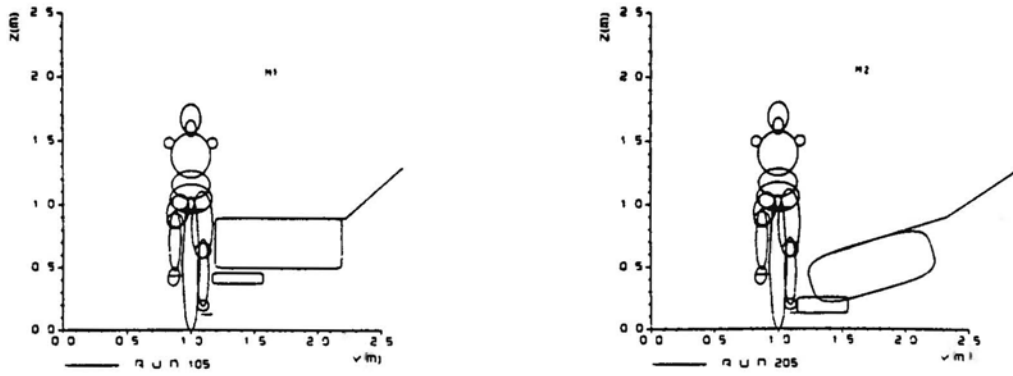
Afbeelding 2. Definitie van de contactplaatsen van het hoofd van de fietser en de auto.



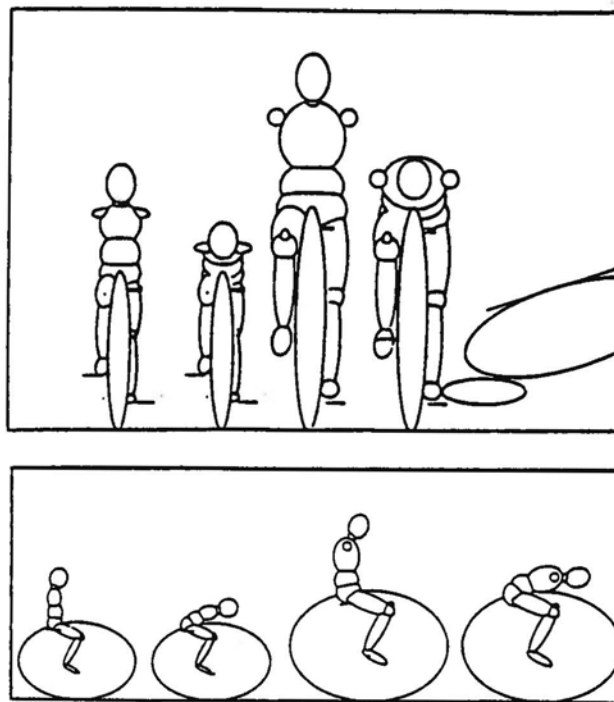
Afbeelding 3. Definitie van de variabelen van het SWOV-bestand van maten van personenauto's.

Model	B_h mm	B_b mm	M_h mm	θ -	ρ mm	M_l mm	R_b mm	γ	Merk/type
M1	460	85	880	87°	20	1030	600	42°	'Opel Kadett C'
M2	250	125	465	68°	200	1100	700	34°	'Opel Kadett '85'
M3	550	90	833	64°	50	1310	720	32°	'Volvo 760'
M4	550	100	650	72°	20	1360	825	29°	'Citroen CX'
M5	200	100	450	85°	200	1100	800	30°	'Safe '90'

Tabel 3. Overzicht van de waarden van de variabelen van de gekozen auto-vormen (SWOV auto-maten bestand).



Afbeelding 4. Dwarsdoorsnede van model M1 (links) en M2.



Afbeelding 5. Dimensies en houdingen van fietsers in het model.

4.2. De resultaten

In het rapport van het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO is een aantal globale resultaten van de simulaties beschreven. Zoals de plaats van het eerste contact van het hoofd met de auto, de relatieve snelheid waarmee dit gebeurde en het tijdsinterval dat verliep na het eerste contact tussen fiets en auto. Tabel 4 geeft een overzicht van deze uitkomsten.

Run	Vlak(1)	Contactplaats longitudinaal [m]	lateraal [m]	Bots- snelheid [m/s]	Botstijd [ms]
105	H	0.93	-0.06	5.8	203
205	W	1.61	-0.14	12.1	179
306	H	1.15	-0.09	8.3	188
406	W	1.59	-0.11	10.7	194
505	W	1.66	-0.12	10.9	193
607	W	1.46	0.18	11.8	175
702	H	1.13	0.02	5.6	192
801	W	1.47	0.19	10.7	184
900	H	0.40	-0.17	4.6	102
1001	(2)			8.3	
1100	W	1.27	-0.11	7.4	146
1200	H	1.25	-0.12	12.6	144
1300	W	1.69	-0.16	13.1	146
1401	H	1.23	-0.05	9.0	150
1501	W	1.54	0.13	15.1	139
1600	H	1.03	0.77	9.1	176 (3)
1700	W	1.72	0.92	19.2	148 (3)
1800	W	1.64	1.00	14.7	185 (3)
1900	H	1.24	-0.11	9.0	191
2000	H	0.93	-0.18	4.0	139
2100	H	0.76	-0.01	6.9	122
2200	H	0.98	-0.19	5.2	108
2300	H	0.81	-0.01	9.5	95
2400	H	0.42	-0.18	6.8	77
2501	(2)			11.1	
2600	H	1.00	0.79	9.3	145 (3)
2700	H	0.36	0.40	7.2	92
2800	H	0.41	-0.18	4.7	103
2900	H	0.44	-0.17	4.0	93
3001	H	0.66	-0.16	6.2	121
3100	W	1.63	-0.14	12.8	175
3200	H	1.20	-0.10	8.6	185
3300	W	1.54	-0.02	12.2	241
3400	H	1.10	-0.00	7.4	242
3500	W	1.38	-0.11	9.8	191

(1) H - botsing tussen hoofd en motorkap; W - botsing tussen hoofd en voorruit; zie Afbeelding 2 voor de definitie van de contactplaats.

(2) botsing tussen hoofd en voorkant motorkap (grille).

(3) botsing van hoofd buiten motorkap (lateraal)

Tabel 4. Plaats, snelheid en tijd bij contact tussen hoofd en auto, berekend met MADYMO.

Uit dit overzicht volgt dat de snelheid van de auto op het moment van botsen, de vorm van de auto, de dimensie van de auto en de fietser en de houding van de fietser een niet onbelangrijke invloed hebben op de snelheid en de versnellingen van het hoofd ten gevolge van het contact met de auto.

De invloed van de botssnelheid

Bij een toename van de botssnelheid van 30 naar 40 km/uur geldt voor de volwassen fietser in toerhouding:

- De longitudinale afstand (zie Afbeelding 2) van de plaats van het contact tussen het hoofd van de fietser en de auto neemt toe. Deze toename bedraagt 37% voor de 'Kadett C', 5% voor de 'Kadett '85' en 9% voor de 'Volvo'.
- De snelheid van het hoofd ten opzichte van de auto op het moment van het contact neemt ook toe: 8% bij de 'Kadett '85' tot 52% bij de 'Volvo'.
- Vergelijkbare trends zijn waar te nemen bij de botsingen met de volwassenen in racehouding en de kinderen in toerhouding.

De invloed van de houding van de fietser

De longitudinale afstand bij het contact tussen het hoofd van de fietser en de auto is kleiner bij de volwassen fietser in racepositie dan in toerpositie. De omvang van deze afname is afhankelijk van het type auto. Bij de botsingen met kinderen is dezelfde trend aanwezig.

De invloed van de vorm van de auto

Uit het voorgaande bleek dat de vorm van de auto een belangrijke invloed heeft op de relatieve snelheid van het hoofd. Er is sprake van een zeer opvallend verschil tussen de resultaten van de "oude" Opel Kadett en die van het recentere type van hetzelfde merk, waarvan de vorm nadrukkelijker bepaald is door de resultaten van windtunnelproeven.

Voor een volwassene in een toerpositie blijkt dat de relatieve snelheid van het hoofd bij botsingen met het recentere model zowel bij 30 als bij 40 km/uur meer dan twee maal zo groot is als met het oude model. De invloed van de vorm van de auto op de relatieve snelheid van het hoofd is dus groter dan een verschil in de botssnelheid tussen 30 en 40 km/uur. Voor de volwassene in racepositie geldt hetzelfde.

Bij de kinderen lijkt de vorm van de auto een minder belangrijke bijdrage te leveren in de waarde van de relatieve snelheid van het hoofd. Wel is geconstateerd dat de relatieve snelheid van het hoofd bij een kind in racepositie groter is dan voor een kind in toerpositie.

De stijfheid van het front

Bij het minder stijve front (35 kg/m^3) is de contactafstand in longitudinale richting groter dan bij het stijve front. Ook de relatieve snelheid van het hoofd is groter.

Snelheid van de fietser

De invloed van de snelheid van de fietser op de longitudinale afstand bij het contact tussen het hoofd en de auto is afhankelijk van de vorm van de auto. Een afname bij de 'Volvo' en een toename bij de 'Kadett'.

De snelheid van het hoofd van de fietser ten opzichte van de auto bij het botsen neemt toe met toename van de snelheid van de fietser: 10% bij de 'Volvo' tot 132% bij de 'Kadett'85'.

Een nadere analyse van de 'ruwe' data zal informatie moeten opleveren over de invloed van de vorm van de auto op de versnellingen van het hoofd en van de andere lichaamsdelen van de fietser.

5. BEPALING VAN DE BOTSSNELHEID OP BASIS VAN DE WERPAFSTAND

Het bepalen van de snelheid van de auto op het moment van botsen is o.a. bij letselpreventie-onderzoek, gezien de grote invloed van deze snelheid op de letselernst, een noodzakelijke, doch tevens zeer gecompliceerde aan-
gelegenheid. Na een botsing kan deze snelheid alleen aan de hand van de aanwezige stille getuigen benaderd worden. Bij onderzoeken waarbij de plaats van het ongeval door speciale teams zo snel mogelijk na het ongeval bezocht wordt, wordt deze snelheid soms afgeleid van de aanwezige remsporen in combinatie met de plaats van de botsing. De nauwkeurigheid van deze methode kan eventueel vergroot worden door met het bij het ongeval betrokken voertuig ter plaatse remproeven uit te voeren.

Maar in veel gevallen zijn deze sporen niet aanwezig. Dit verschijnsel zal in de toekomst steeds meer voorkomen als nieuwe auto's vaker met een ABS-remsysteem uitgerust zullen zijn.

Er moet dus naar geschikte alternatieven gezocht worden.

Bij ongevallenonderzoeken waarbij voetgangers en fietsers onderwerp van studie zijn, wordt de werpafstand van de slachtoffers en van de tweewieler soms als maat voor de botssnelheid gebruikt.

Onder werpafstand wordt hier verstaan de afstand die de fiets of de fietser ten gevolge van de botsing aflegt tot aan de stabiele eindsituatie. Deze omvat dus niet alleen de 'flying fase', maar ook de afstand die het gevolg is van de daarna volgende beweging.

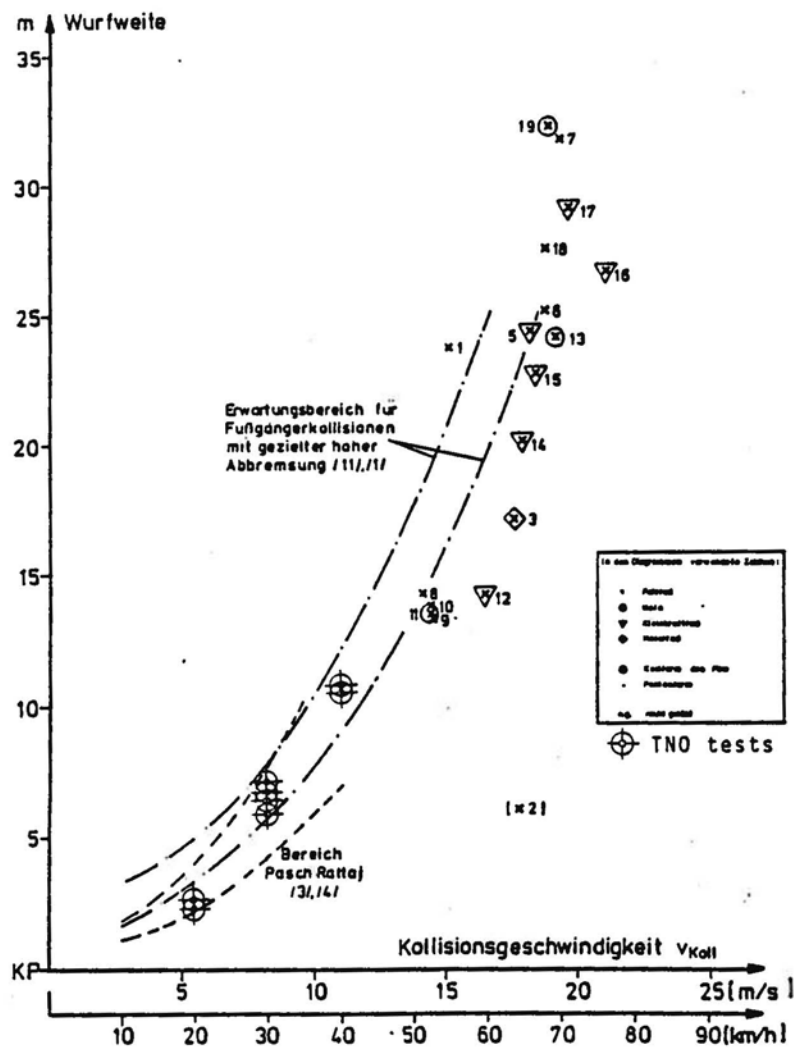
Uit de informatie van de werpafstanden bij botsingen waarvan de botssnelheid wel redelijk betrouwbaar aan de hand van de remsporen kon worden vastgesteld en uit experimenten met dummies, blijkt dat er sprake kan zijn van een grote spreiding in werpafstanden. Een redelijk betrouwbare schatting van de botssnelheid zal daarom binnen een ruime marge liggen.

Gezien het feit dat de kinematica van voetganger en fietser tijdens een botsing afhangt van de vorm en de dimensies van de voertuigen lijkt het niet ondenkbeeldig dat ook de werpafstand hiervan afhankelijk is.

Ten einde een inzicht in deze relaties te krijgen en zodoende tot een nauwkeuriger schatting van de botssnelheden te komen, zijn de resultaten van de dummy-experimenten die bij IW-TNO zijn uitgevoerd en de kadaverproeven van INRETS nader geanalyseerd.

Allereerst zijn de werpafstanden vergeleken met de resultaten uit de literatuur. Deze zijn in Afbeelding 6 geïllustreerd. Hieruit blijkt dat er een grote mate van overeenstemming te zien is. In Tabel 5 zijn de werpafstanden van de dummies, kadavers en de fietsen weergegeven.

Geconstateerd kan worden dat de werpafstand toeneemt, naarmate ook de snelheid van de auto op moment van botsen toeneemt. De voertuigstijfheid heeft geen invloed op de werpafstand. Een uitstekende bumperpartij heeft geen invloed, evenals de hoogte van de bumper.



Afbeelding 6. Vergelijking van de resultaten van de Nederlandse experimenten met gegevens uit de literatuur.

Test	Botssnelheid [km/uur]	Werpafstand(1)		Remafstand auto [m]
		fietser [m]	fiets [m]	
8302	30.0	6.9	13.4	4.5
8303	30.2	6.4/-0.7	8.0/0.0	4.2
8304	30.5	6.0	6.8	3.9
8305	30.0	7.2	9.3	4.1
8306	30.0	6.8/-0.8	8.0/0.0	4.1
8307	30.0	6.5	7.3	4.1
8308	30.5	6.1	6.7	3.9
8309	19.6	2.4	3.4	1.6
8310	19.8	2.7	3.5	1.7
8311	40.5	10.8	13.2	7.3
8312	40.4	10.6	15.4	7.4
8313	29.8	6.5	7.8	4.1
8314	29.9	6.0	9.3	4.1
8315	29.9	6.3	9.9	4.4
8316	29.8	6.4	7.4	4.0
8317	29.9	6.3	7.0	4.3
8318	30.0	5.9	7.8	4.3
8319	29.9	5.2	7.5	4.3
8320	29.9	5.0	6.7	4.2
8413	40.4	10.0	13.9	8.5
8414	40.3	10.7	14.2	8.6
8415	29.8	7.2	13.3	5.0
8416	29.5	6.8	10.5	4.6
8417	29.6	7.6	12.3	4.5
8501	30.0	6.7/1.7	13.4/3.3	6.7
8502	30.0	8.5/0.8	15.4/4.3	6.6
2R01	30.0	5.1	15.2	4.5
2R02	30.0	4.2 (2)	11.4	4.4
2R03	30.0	5.4	10.7	3.9
2R04	30.0	4.3 (2)	11.6	4.4
2R05	30.0	5.8	13.2	4.5

(1) Eerst longitudinale, daarna laterale afstand.

(2) Kadaver ligt op motorkap.

Tabel 5. Overzicht van de werpafstand van dummies en kadavers.

Maar als de totale voertuigvorm wijzigt, zijn er wel verschillen merkbaar. De werpafstand van de dummy is groter, die van de fiets wijzigt niet. Opvallend is dat de werpafstand niet beïnvloed lijkt te worden door de richting van de botsing. Bij achterwaartse aanrijdingen is deze gelijk aan die bij zijdelingse botsingen.

Als de fietser op het moment van de botsing een eigen snelheid heeft dan zal de werpafstand eveneens een zijdelingse component hebben, zoals uit de resultaten blijkt. Maar een goede vergelijking kan niet gemaakt worden daar bij de testen waarbij de fiets een eigen snelheid had er een ander remsysteem toegepast werd.

De werpafstand van fietsen vertoont een grotere spreiding dan die van de dummies en de kadavers. Deze grotere spreiding wordt veroorzaakt doordat, zoals in de experimenten werd waargenomen, de afstand die de fiets op de grond aflegt sterk beïnvloed wordt door de wijze van neerkomen.

Vergeleken met de kadavers blijken de dummies gemiddeld verder weggegooid te worden. Terwijl de werpafstand van de fiets bij de kadavertesten groter waren.

De werpafstand van de dummy wordt niet beïnvloed door de positie van de trappers op moment van botsen. De werpafstand van de fiets daarentegen is veel groter bij een horizontale trapperstand dan bij een verticale. Afbeelding 6. Vergelijking van de resultaten van de 'Nederlandse' experimenten met gegevens uit de literatuur.

6. CONCLUSIES EN DISCUSSIE

Uit de eerste globale resultaten van de simulaties volgt dat botssnelheid, vorm van de auto en afmetingen van fiets en fietser belangrijke invloed hebben op de plaats van het contact tussen het hoofd van de fietser en de auto. Ook de snelheid van het hoofd ten opzichte van de auto tijdens dit contact wordt hierdoor beïnvloed.

Uit deze resultaten blijkt dat de invloed van de vorm van de auto voor een volwassen fietser in toerhouding op de relatieve snelheid van het hoofd groot is. Deze snelheid was bij het "lage" model twee maal zo groot als bij het "hoge" model auto.

Een nadere analyse van de resultaten van de simulaties moet de omvang van deze relaties aangeven, hierbij zal ook de invloed van de variabelen op de versnellingswaarden van het hoofd en andere lichaamsdelen van de fietser aan de orde komen.

Maar uit de nu reeds beschikbare informatie blijkt dat een nadere studie naar de relatie tussen voertuigvorm en letselpatroon en letselernst gerechtvaardigd lijkt.

In de EEVC-rapporten over voetgangers en tweewielerberijders wordt gesteld dat veranderingen aan de personenauto zin hebben tot botssnelheden van 40 km/uur. Daarom zijn in dit onderzoek geen hogere snelheden gesimuleerd. Bij snelheden tot 20 km/uur vindt bijna alleen contact plaats tussen been en/of bekken en de personenauto. Het lijkt zinnig deze ongevallen eveneens nader te analyseren met behulp van computermodellen.

Maar uit de simulaties blijkt dat de uitgangsvariabelen van het model niet altijd geschikt zijn als indicatie voor de ernst van de letsels.

In het bijzonder bij de zojuist genoemde contacten is informatie over de in- en uitwendige krachten een betere basis voor het vertalen van de mechanische uitgangsgrootheden naar letsel dan versnellingen. Het uitbreiden van het model met een "eindig elementen"-deel lijkt daarom gewenst.

Of een combinatie met het model VEDYAC hiervoor een oplossing kan vormen moet nog nader worden uitgezocht.

Uit de globale analyse van de gegevens is af te leiden dat de werpafstand van de dummy een nauwkeuriger schatting voor de snelheid kan opleveren dan de werpafstand van de fiets (Huijbers & Janssen, 1988b).

Doordat de wijze van neerkomen van de fiets bepalend is voor de totale werpafstand vertonen de werpafstanden van de fietser een veel grotere spreiding.

Een aantal variabelen zoals het type botsing en de stijfheid van de personenauto, lijkt geen invloed op de werpafstand te hebben.

Variabelen als bumperhoogte en fronthoek hebben eveneens geen invloed op de werpafstand, doch een samenstel van deze variabelen die bepalend zijn voor de dimensie van de personenauto in combinatie met de afmetingen van fiets en fietser, beïnvloeden de werpafstand wel.

Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat er door gebruik te maken van deze factoren een betrouwbaarder schatting van de botssnelheid op basis van de werpafstand van de fietser te realiseren is.

Maar uit de vergelijking van de resultaten van de dummy- en kadaverexperimenten blijkt dat de relaties zoals gevonden kunnen worden met dummy-experimenten afwijken van de resultaten van de experimenten met kadavers. Er zullen meer gegevens van kadaverexperimenten of analyses van echte ongevallen verzameld moeten worden, voordat tot definitieve uitspraken gekomen kan worden.

LITERATUUR

EEVC (Werkgroep 7) (1982). Pedestrian injury accidents. ESV-conferentie Kyoto, 1982

EEVC (Werkgroep 8) (1985). Cycle and light powered two wheel rider accidents. ESV conferentie Oxford, 1985.

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

Huijbers, J.J.W. (1988a). Letselpreventie-onderzoek gericht op fietsers en bromfietzers, theorie en praktijk. SWOV, 1988.

Huijbers, J.J.W. & Janssen, E.G. (1988b). Experimental and mathematical car-bicycle collision simulations. In: Proceedings 32nd STAPP Car Crash Conference, Atlanta, October 1988. SAE 881726. Society of Automobile Engineers, Warrendale PA, 1988.

Janssen, E.G. (1985). Experimental simulations of the impact between a vehicle front and a cyclist or a pedestrian. Report 700530137-A. TNO Road-Vehicles Research Institute, 1985.

Janssen, E.G. & Huijskens, C.G. (1984). Letselpreventie wielrijders. Rapport 700580005-B. Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO, 1984.

Janssen, E.G. & Huijskens, C.G. (1984). Cyclists impacted by simulated vehicle fronts. IRCOBI-Conference Delft, 1984.

Oorschot, E. van & Janssen, E.G. (1987). Mathematical and experimental simulations of vehicle-cyclist impacts. Report 700531175. TNO Road-Vehicles Research Institute, 1987.

Wismans, J.S.H.M. (1985). Mathematical simulations of the impact between a vehicle front and a cyclist or a pedestrian: Simulations of a 50th percentile adult (part 572 dummy). Report 700530137-B. TNO Road-Vehicles Research Institute, 1985.