

NADERE ANALYSES VAN MATHEMATISCHE SIMULATIES VAN BOTSINGEN TUSSEN AUTO'S
EN FIETSEN

R-91 -55

Ing. C.C. Schoon

Leidschendam, 1991

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

1. Inleiding
2. Opzet en uitvoering van de nadere analyses
3. Beschrijving van de uitgevoerde simulaties
4. Uitgevoerde experimenten
 - 4.1. Experimenten met de Part 572-dummy en kadavers
 - 4.2. Onderlinge verschillen tussen dummy- en kadaverproeven
 - 4.3. Vergelijking experimenten met een mathematische simulatie
5. Nadere analyse mathematische simulaties
 - 5.1. Volwassen fietser in normale zitpositie
 - 5.2. Volwassen fietser in racepositie
 - 5.3. Kind op fiets in normale zitpositie
 - 5.4. Kind op fiets in racepositie
 - 5.5. Remmen of niet-remmen
 - 5.6. Fietssnelheid van 20 km/uur
 - 5.7. Achteraanrijdingen
6. Discussie en conclusie

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 6

Bijlagen 1 t/m 6

1. INLEIDING

In het kader van het onderzoek "Masterplan fiets" (Onderdeel Letselpreventie fietser) wordt aandacht besteed aan het front van personenauto's in relatie tot aanrijdingen van fietsers door personenauto's. Uit reeds uitgevoerde mathematische simulaties en experimenten was gebleken dat het voertuigfront van invloed is op de ernst van de botsing. Het vervolgonderzoek in het kader van het onderzoek "Masterplan fiets" heeft tot doel te komen tot functionele eisen te stellen aan het autofront.

De voorliggende studie heeft betrekking op nadere analyses van eerder uitgevoerde mathematische simulaties. Specifiek wordt gekeken naar de relatie tussen verschillende typen voertuigfronten en de ernst van de aanrijding.

Genoemde mathematische simulaties zijn in 1987 door het Instituut voor Wegtransportmiddelen TNO uitgevoerd in opdracht van de Rijksdienst voor het Wegverkeer. Het betrof hier simulaties van aanrijdingen van fietsers door personenauto's (Van Oorschot & Janssen, 1987). De SWOV heeft hieraan een covernota toegevoegd (Huijbers, 1988).

De primaire doelstelling was via mathematische simulaties een beter inzicht te krijgen in het botsproces van aanrijdingen van berijders van tweewielers door personenauto's. Daarnaast is mede aan de hand van reeds uitgevoerde experimenten met dummies en kadavers onderzocht of er een nauwkeuriger schatting van de botssnelheid bij ware ongevallen kon worden verkregen.

Ten behoeve van een STAPP-conferentie zijn analyses uitgevoerd aangaande de vertragingwaarden van de fietsers en relatieve snelheden van het hoofd (Huijbers & Janssen, 1988). Voor de onderlinge vergelijking van de simulatiesresultaten is hierbij de botssnelheid (30 en 40 km/uur) als grootheid gekozen.

In het voorliggende rapport is het onderzoekmateriaal verkregen met de uitvoering van de mathematische simulaties van 1987, nader geanalyseerd. Als grootheid voor de onderlinge vergelijking van de simulatiesresultaten is nu gekozen voor de dimensies van het voertuigfront.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat, Hoofdafdeling Infrastructuur en Verkeer. De onderzoekbegeleiding was in latere instantie in handen van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat.

2. OPZET EN UITVOERING VAN DE NADERE ANALYSES

Eerst worden de in 1987 uitgevoerde simulaties beschreven (Hoofdstuk 3). Gevolgd door de verificatie door IW-TNO van de uitkomsten van de simulaties aan de hand van experimenten met dummies en kadavers (Hoofdstuk 4). Ter illustratie worden in dit hoofdstuk de resultaten van een mathematische simulatie vergeleken met die van de resultaten van de dummy- en kadaverproeven.

De eigenlijke nadere analyses worden in Hoofdstuk 5 behandeld. Alvorens een start met de analyses gemaakt kon worden, dienden de meetgegevens uit de rapportage van IW-TNO opgemeten te worden. Over dit laatste het volgende. De in de Inleiding genoemde mathematische simulaties van 1987 dienden binnen een beperkt budget te worden uitgevoerd. Er is een bewuste keuze gemaakt voor de uitvoering van zoveel mogelijk simulaties. Dit ging ten koste van de verwerking en de analyse die beperkt zijn tot de realisering van de doelstelling van het onderzoek. De consequentie hiervan was dat er alleen plots zijn gemaakt van de vertragingswaarden van de diverse lichaamsdelen van de dummies. Hierdoor ontbreken nu niet alleen overzichten met de geregistreerde waarden van bijvoorbeeld de maximale resulterende vertragingswaarden, maar bijvoorbeeld ook vertragingswaarden gerelateerd aan een bepaalde pulsduur en HIC-waarden (Head Injury Criterion).

Voor de voorliggende studie had dit tot gevolg dat de vertragingswaarden uit de plots opgemeten dienden te worden. Voor de analyses zijn de maximale resulterende vertragingswaarden als vergelijkingsmaatstaf genomen.

Gezien de doelstelling van de analyses - waar het immers gaat om de vaststelling van de onderlinge verschillen tussen de diverse voertuigfronten - zijn deze gegevens goed bruikbaar. Absolute waarde mag er echter niet aan worden toegekend.

3. BESCHRIJVING VAN DE UITGEVOERDE SIMULATIES

Door IW-TNO zijn 35 mathematische simulaties uitgevoerd van aanrijdingen van fietsers door personenauto's. Het betrof hier 33 aanrijdingen van het front van een personenauto's tegen de zijkant van een fiets en 2 tegen de achterzijde van de fiets.

Wat de configuraties van de fietsers betreft is het volgende gesimuleerd:

- volwassen fietser in normale zitpositie
- volwassen fietser in racepositie
- kind op fiets in normale zitpositie
- kind op fiets in racepositie

Voor de afbeeldingen wordt verwezen naar Bijlage 1.

Aangaande de fronten van de personenauto's zijn de volgende typen gesimuleerd (zie ook Bijlage 2):

Type	Aantal simulaties	Gesimuleerd voertuigfront	Motorkap- hoogte (cm)	Bumper- hoogte (cm)	Bumper- 1) uitsteek (cm)
M1	3	Kadett "oud"	88	46	2
M2	13	Kadett "nieuw"	47	25	2
M3	15	Volvo 760 2)	83	55	12
M4	2	Citroën CX 2)	65	55	2
M5	2	Safe '90 3)	45	20	3
Totaal	35				

- 1) De bumperuitsteek is uit de figuren opgemeten daar deze niet in de rapporten staat vermeld.
- 2) Bij de simulaties met het kindmodel zijn deze voertuigfronten aan de onderzijde uitgebreid met een relatief grote "spoiler". De voorzijde van de "spoiler" is gelijk met de voorzijde van de motorkaprand.
- 3) Safe '90: een zodanig geconstrueerde voorzijde (lage bumper en motorkap) dat verwacht mocht worden dat fietsers bij aanrijdingen zo min mogelijk letsel oplopen (zie Bijlage 2.3).

Het zwaartepunt van de simulaties ligt bij M2 en M3. Uit de tabel met de dimensies van de voertuigfronten blijkt dat de typen M2 en M5 zeer weinig onderscheid vertonen. Ook zijn de verschillen tussen M1 en M3 niet groot. Het geringe aantal simulaties met M1 en M5 is dan ook niet verwonderlijk.

De dimensies van M4 liggen tussen die van M2 en M3 in. Bij de nadere analyse van de resultaten van de simulaties komen we hierop terug.

Voor M2 en M3 zijn naast de diverse fietsconfiguraties de volgende variabelen onderzocht:

- snelheid personenauto's: 30 en 40 km/uur;
- snelheid fiets: 0 en 20 km/uur;
- hardheid front: porschuim met een dichtheid van 35 en 50 kg/m³.

In Bijlage 3 is het volledige simulatieprogramma opgenomen.

4. UITGEVOERDE EXPERIMENTEN

Aan de hand van de resultaten van experimenten met dummies en kadavers zijn de resultaten van de mathematische simulaties door IW-TNO geverifieerd. Deze experimenten zijn:

- Part 572-dummy op fiets tegen gesimuleerd voertuigfront;
- Part 572-dummy op fiets tegen personenauto: merk Audi;
- kadaver op fiets tegen gesimuleerd voertuigfront.

De dummyproeven zijn door IW-TNO uitgevoerd in opdracht van de Rijksdienst voor het Wegverkeer en de toenmalige Directie Verkeersveiligheid. De kadaverproeven zijn in opdracht van IW-TNO verricht door het Franse instituut INRETS.

4.1. Experimenten met de Part 572-dummy en kadavers

Gegevens dummy

Standaard Part 572-dummy, massa 75 kg, hoogte 172 cm.

Aanpassing dummy: heup is flexibeler gemaakt; knieën, onderbenen en voeten zijn vervangen door speciale "pedestrian body parts".

Maximale zithoogte op fiets: 176 cm.

Gegevens kadavers

In totaliteit zijn vijf kadaverproeven uitgevoerd.

Geslacht: mannelijk

Leeftijd: 57 - 80 jaar

Lengte: 163 - 183 cm

Massa: 53 - 66 kg

Maximale zithoogte op fiets: 180 - 197 cm.

Gegevens van het voertuigfront

De experimenten zijn uitgevoerd met een personenauto van het merk Audi en een botsslede met daarop een gesimuleerd front van de Audi.

Motorkaphoogte: 80 cm.

Bumperhoogte: 55 cm.

Bumperuitsteek: 10 cm.

Hardheid van het gesimuleerde front: 50 kg/m³.

Gegevens van de fiets

Massa: 12,5 kg (zonder spatborden, ketting, verlichting e.d.)

Framehoogte: 58 cm

Wieldiameter: 28".

Bij de proeven met de kadavers is een kleinere fiets toegepast dan bij de dummyproeven (dimensies niet bekend). Door het verstellen van de zadelhoogte is de zitpositie aangepast. De fietsmassa was in beide gevallen gelijk.

Testgegevens

Botssnelheid auto/slee: 30 km/uur.

Botstype: frontale aanrijding tegen de linker zijkant van de fiets.

Snelheid fiets: 0 km/uur.

Beenpositie aan de botszijde: gestrekt naar beneden.

Tijdstip van remmen: bij het eerste dummycontact; remvertraging ca. 0,7 g.

N.B. Bij de proeven met de Audi werd in één geval niet geremd. Bij de andere Audi-test was sprake van "duiken" van de auto. Bij de botsslede kon dit "duiken" niet gesimuleerd worden.

4.2. Onderlinge verschillen tussen dummy- en kadaverproeven

Vastgesteld is dat het bovenlichaam van de kadavers langer in een rechtoppositie blijft dan dat van de dummy. Verder vouwt het onderlichaam van het kadaver zich meer om het voertuigfront heen dan de dummy.

Vanwege de grotere lichaamslengte van de kadavers en het feit dat ze langer een rechtoppositie aanhouden, komen sommige kadavers verder op de motorkap terecht dan de dummy (zie ook par. 4.3).

Berekend is dat bij geen van de vijf kadaverproeven de HIC boven de 1000 uitkwam. De volgende letselpatronen zijn geregistreerd:

- geen schedelfractuur en hersenletsel;
- drie kadavers met cervical spine fractures (halswervels);
- twee kadavers met één of meer ribfracturen;
- geen heupfracturen;
- alle vijf kadavers gebroken onderbenen aan de botszijde;
- geen kniefracturen.

Overige kwantitatieve gegevens van de dummy- en kadaverproeven komen in de volgende paragraaf aan de orde.

4.3. Vergelijking experimenten met een mathematische simulatie

Ter illustratie zijn de resultaten van een paar experimenten met een mathematische simulatie vergeleken. Voor het gemak krijgen de proeven de volgende code:

E-1: Part 572-dummy op fiets; gesimuleerd voertuigfront; proefnr. 8303/8306

E-2: Part 572-dummy op fiets; personenauto: merk Audi; proefnr. 8415/8416

E-ka: kadaver op fiets; gesimuleerd voertuigfront; proefnr. 2R01 t/m 2R05

Sim: simulatie fietsersversie MADYMO met voertuigfront M3; proefnr. 306

Zowel proef E-1 als proef E-2 zijn gedupliceerd. Van E-ka zijn vijf proeven met verschillende kadavers uitgevoerd. Van één simulatie kwamen de testcondities nagenoeg overeen met die van de experimenten. Aangaande het hierbij gesimuleerde voertuigfront (M3) de volgende opmerking: De voertuigfronten bij de experimenten hadden als hoofdmaten voor de motorkaphoogte, de bumperhoogte en de bumperuitsteek resp. 80, 55 en 10 cm. Van de vijf gesimuleerde voertuigfronten bij de simulaties komt alleen het type M3 voor de vergelijking in aanmerking met resp. de volgende hoofdafmetingen: 83, 55 en 12 cm. Met M3 is bij 30 km/uur maar één simulatie (nr. 306) met een volwassen fietser uitgevoerd waarbij de overige kenmerken overeenkomen met die van de experimenten.

Resultaten

In de tabel op blz. 11 zijn de resultaten van de experimenten en de simulatie opgenomen voor wat betreft de snelheid en vertraging van het hoofd ten tijde van het eerste contact van het hoofd met de omgeving, en de plaats hiervan uitgedrukt in de langsafstand gerekend vanaf de motorkaprand.

Aangezien de verschillen tussen de gedupliceerde experimenten zeer gering waren, zijn de resultaten gemiddeld. Hoewel bij de kadaverproeven grotere onderlinge verschillen zijn vastgesteld, zijn ook deze voor de eenvoud gemiddeld.

Uit deze tabel blijkt dat voor alle proeftypen de grootheden onderlinge verschillen vertonen. Ook de richting van de verschillen varieert.

Wat de hoofdsnelheid betreft is er de meeste overeenkomst: met name die van het kadaverexperiment en de simulatie.

De gemiddelde tijdsduur van de botsing tot het contact van het hoofd van

Proef	Geregistreeerde waarden van het hoofd			
	Snelheid m/s	Vertraging g	Tijdsduur ¹⁾ m/s	Afstand cm
E-1	10,6	110	165	113
E-2	7,9	120	170	124
E-ka	8,3	140	220	134
Sim	8,3	105	188	115

1) Tijdsduur van het eerste bumpercontact tot contact motorkap/voorraut

het kadaver met het voertuig is aanmerkelijk langer dan die van de dummy en het MADYMO-model. Dit heeft in de eerste plaats te maken met de gemiddeld grotere lengte van de kadavers. Verder bewegen (de bovenlichamen van) de kadavers zich bij de aanvang van de aanrijding minder snel in de richting van het voertuig dan de dummy. Dit laatste heeft te maken met het feit dat de kadavers flexibeler zijn dan de dummy, waardoor de massatraagheid van het bovenlichaam een rol gaat spelen.

In verband met het bovenstaande is ook de langsafstand afgelegd door het kadaverhoofd, groter. Het is denkbaar dat het hoofd hierdoor op een stijver gedeelte van de motorkap terecht komt (onderkant voorruit), waardoor de vertraging van het hoofd groter is.

5. NADERE ANALYSE MATHEMATISCHE SIMULATIES

Helaas ontbreken in de IW-TNO-rapportage overzichten van vertragingwaarden. Wel zijn van elke simulatie grafieken opgenomen waarin van de diverse lichaamsdelen van de fietser de vertragingen tegen de tijd zijn afgezet. Hiervan is in Bijlage 4 voor simulatienummer 306 een voorbeeld opgenomen. Aan de hand van deze grafieken zijn de maximale resulterende vertragingwaarden vastgesteld (zie Bijlage 5); ze zijn gebruikt voor de analyse. De simulaties beschreven in de par. 5.1 t/m 5.5 en 5.7 hebben betrekking op aanrijdingen van een gesimuleerde personenauto met snelheden van 30 en 40 km/uur tegen een stationair opgestelde fiets. Bij de simulaties beschreven in par. 5.6 bedraagt de fietssnelheid 20 km/uur. Van de simulaties is de relatie tussen de vijf fronttypen en de ernst van de aanrijding in termen van snelheden en vertragingen van het hoofd in de Afbeeldingen 1 t/m 6 aangegeven. De lijnen in de grafieken vormen de verbinding tussen discrete punten en suggereren geen lineaire verbanden.

5.1. Volwassen fietser in normale zitpositie

In Afbeelding 1 zijn de vertraging en snelheid van het dummyhoofd van een volwassen fietser in een normale zitpositie weergegeven ten tijde van het contact met de motorkap. De hoogte van de motorkap is horizontaal afgezet. De tussen haakjes geplaatste symbolen hebben betrekking op de codes van de gesimuleerde voertuigfronten (zie Hoofdstuk 3 en Bijlage 2). Afbeelding 1a geldt voor botssnelheden van het voertuig van 30 km/uur en Afbeelding 1b voor 40 km/uur.

Uit de afbeeldingen blijkt dat zowel de vertraging van het hoofd als de snelheid afneemt bij toename van de motorkaphoogte. Het voertuigfront M4 (hoogte 65 cm) geeft bij een botssnelheid van 30 km/uur waarden die tussen M2 en M3 inliggen. Bij een botssnelheid van 40 km/uur zijn voor M4 geen simulaties uitgevoerd.

Bij de hoge fronten ligt de vertraging van het hoofd op het niveau van 100 g (bij 30 km/uur). Bij deze snelheid bedragen de vertragingen van het hoofd bij de lage fronten meer dan 200 g. Uit de proeven met de kadavers zagen we dat bij een waarde van de hoofdvertraging van 140 g nog geen schedelfractuur en hersenletsel was opgetreden. Of dit bij 200 g wel het geval is, is niet zonder meer te zeggen.

Bij de simulaties met het lage voertuigfront is het hoofd van het model in alle gevallen in aanraking gekomen met de voorruit. Bij de hoge fronten kwam het hoofd daarentegen in nagenoeg alle gevallen op de motorkap terecht. Bij het lage front waren de snelheden van het hoofd bij het raken van de voorruit ook hoger dan bij de hoge fronten ten tijde dat de motorkap werd getroffen. Uit de simulaties blijkt niet in welke mate de voorruit aan de hogere waarden van de vertraging van het hoofd heeft bijgedragen. De stand van de voorruit ten opzichte van de motorkap en de "hardheid" van de voorruit zouden wel eens van veel invloed kunnen zijn op de simulatieresultaten. In het model was de voorruit even "hard" geprogrammeerd als de motorkap. Voor het directe doel van de toenmalige simulaties was dit niet problematisch. Bij de bestudering van de invloed op de vertraging van het hoofd van de dummy is dit niet realistisch.

In Afbeelding 1a zijn tevens de waarden van de simulatie aangegeven met een zachter neusfront (35 kg/m^3 in plaats van de standaardhardheid van 50 kg/m^3). Uit de grafiek is op te maken dat de invloed van dit "zachte" front op de botsing van het hoofd nauwelijks van invloed is.

De vertragingwaarden van andere lichaamsdelen geven bij dit zachtere front de volgende waarden:

Lich. deel	Hardheid neusfront	
	35 kg/m^3 (sim. nr. 1900)	50 kg/m^3 (sim. nr. 306)
(Hoofd	89 g	105 g)
Borst	40 g	40 g
Heup	18 g	21 g
knie	82 g	57 g

Voor borst en heup is er ook nu nauwelijks verschil. Vreemd is dat de vertragingwaarde voor de knie juist bij het zachtere front een hogere waarde geeft.

Uit beide afbeeldingen is er bij een geringe verhoging van de motorkaphoogte een opmerkelijke daling van zowel de vertraging als de snelheid van het hoofd te zien: vergelijk M1 (motorkaphoogte 88 cm) ten opzichte M3 (motorkaphoogte 83 cm). Voor de botssnelheid van 40 km/uur is dit verband

sterker dan voor 30 km/uur. Hierom zullen de overige verschillen of overeenkomsten tussen M1 en M3 nader worden bekeken.

In de eerste plaats de frontdimensies. Voor de motorkaphoogte, bumperhoogte en bumperuitsteek zijn de afmetingen voor M1 resp.: 88, 46 en 2 cm.

Voor M3 zijn de waarden: 83, 55 en 12 cm.

Gelet op het geringe verschil in motorkaphoogte heeft de hogere en meer uitstekende bumper van M3 kennelijk een ongunstige invloed.

De overige vertragingswaarden voor beide typen voertuigfronten zijn als volgt:

Lich. deel	Botssnelheid 30 km/uur		Botssnelheid 40 km/uur	
	M1 (105)	M3 (306)	M1 (1100)	M3 (1200)
(Hoofd	75 g	105 g	55 g	140 g)
Borst	23 g	40 g	15 g	55 g
Heup	30 g	21 g	38 g	28 g
Knie	75 g	57 g	118 g	110 g

Voor een hoger gelegen lichaamsdeel als de borst is ook nu M1 beduidend gunstiger dan M3, ook nu weer vooral bij een botssnelheid van 40 km/uur. Voor de lager gelegen lichaamsdelen is het juist andersom: nu geeft de hogere en/of meer uitstekende bumper van M3 gunstiger resultaten dan M1, zij het dat de verschillen minder groot zijn dan voor het hoofd en de borst.

5.2. Volwassen fietser in racepositie

Vanwege het geringe aantal uitgevoerde simulaties komen voor de bestudering van de resultaten van de volwassen fietser in een racepositie slechts twee voertuigfronten in aanmerking (Afbeelding 2). Met het hoogste front (M1) zijn geen simulaties uitgevoerd, zodat nu geen vergelijking tussen M1 en M3 mogelijk is.

Met betrekking tot de waarden van het hoofd komen de resultaten in grote lijnen met de vorige afbeelding overeen. De overige waarden staan in de volgende tabel:

Lich. deel	Botssnelheid 30 km/uur		Botssnelheid 40 km/uur	
	M2 (607)	M3 (702)	M2 (1501)	M3 (1401)
(Hoofd	180 g	72 g	240 g	120 g)
Borst	58 g	16 g	65 g	23 g
Heup	45 g	15 g	70 g	24 g
Knie	45 g	75 g	65 g	120 g

Uit dit overzicht blijkt dat een grote hoofdvertraging (bij het lage front) gepaard gaat met hoge waarden voor de hoger gelegen lichaamsdelen. Voor de knieën lijkt de uitstekende bumper van M3 in het nadeel.

5.3. Kind op fiets in normale zitpositie

In Afbeelding 3 zijn de resultaten vermeld van de simulaties van een kind op een kinderfiets in een normale zitpositie. De diverse voertuigfronten geven niet veel uiteenlopende waarden te zien. Het niveau van zowel de snelheid als de vertraging van het hoofd is over de hele linie lager dan bij de volwassen fietser. Voor de geringe motorkaphoogte van M2 is het verschil zeer aanzienlijk.

De verklaring voor de lagere waarden is de geringere rotatiesnelheid van het bovenlichaam van het kind ten opzichte dat van de volwassene.

Evenals bij de simulaties met de volwassen fietser is voor de kleine fietser een simulatie met een zachter front uitgevoerd. In Afbeelding 3a is dit met "35 kg/m³" aangeduid. Ook nu is er nauwelijks verschil met de normale hardheid op te maken.

Voor de vertragingwaarden van de overige lichaamsdelen beperken we ons tot beide uiterste waarden van de motorkaphoogte: M2=47 cm en M3=83 cm.

Lich. deel	Botssnelheid 30 km/uur		Botssnelheid 40 km/uur	
	M2 (2000)	M3 (900)	M2 (2200)	M3 (240)
(Hoofd	63 g	70 g	90 g	150 g)
Borst	120 g	37 g	170 g	92 g
Heup	30 g	56 g	54 g	65 g
Knie	115 g	165 g	150 g	220 g

Uit dit overzicht valt de zeer hoge waarde van de borstvertraging bij M2 op. Uit de plot van run 2000 (zie Bijlage 6.1) blijkt dat het aangrijpingspunt op kniehoogte ligt. Voor de vergelijking nemen we de plot run 205 (zie Bijlage 6.2) van de volwassene met hetzelfde voertuigfront en dezelfde snelheid: het aangrijpingspunt ligt hier op een vergelijkbare hoogte. Voor een verdere vergelijking bekijken we de vertragingswaarden van een volwassen fietser voor het voertuigfront M2 bij botssnelheden van 30 en 40 km/uur.

Lich. deel	M2 bij 30 km/uur (205)	M2 bij 40 km/uur (1300)
volw. fietser		
Hoofd	240 g	260 g
Borst	50 g	95 g

Ondanks een hoge waarde voor het hoofd is de vertraging van de borst van de volwassene nu relatief laag.

Uit beide voorgaande tabellen zou geconcludeerd kunnen worden dat bij een grote vertraging van de borst de vertraging van het hoofd gering is en omgekeerd. Dit is nagegaan, mede in verband met de geconstateerde ribfracturen bij de kadaverproeven. Hiertoe zijn in Afbeelding 5 de oorspronkelijke Afbeeldingen 1a (volwassene) en 3a (kind) opnieuw afgebeeld en zijn de borstvertragingen toegevoegd. In beide gevallen is uitgegaan van een botssnelheid van 30 km/uur.

Uit Afbeelding 5 blijkt dat alleen bij simulatie M2 bij het kind de vertraging van de borst groter is dan de vertraging van het hoofd. Het vermoeden dat bij een grote vertraging van de borst de vertraging van het hoofd gering is en omgekeerd, is dus in het algemeen niet juist. Onduidelijk blijft waarom de versnelling van de borst van het kind juist bij M2 relatief hoog is.

5.4. Kind op fiets in racepositie

Met het kind op een kinderfiets in racepositie zijn slechts vier simulaties uitgevoerd. M2 (motorkaphoogte 47 cm) en M3 (motorkaphoogte 83 cm), beide met snelheden van 30 en 40 km/uur (zie Afbeelding 4).

Bij de simulaties met de hoge motorkap (M3) is het hoofd van het kind niet

op de motorkap terecht gekomen (zoals tot nu toe bij de simulaties gebruikelijk was), maar is het hoofd in aanraking gekomen met de motorkaprand. Uit Afbeelding 4 blijkt dat de snelheid van het hoofd overeenkomt met de botssnelheid van het voertuig. De snelheid van het hoofd ligt hier op een beduidend hoger niveau vergeleken met die van het kind in normale zitpositie (Afbeelding 3). Aangaande de vertraging van het hoofd is het beeld tegengesteld: deze is bij het kind in racepositie geringer dan bij het kind in normale zitpositie.

Wat deze vertraging van het hoofd betreft is het opvallend dat er een gering verschil is tussen beide typen voertuigfronten van Afbeelding 4. Dit ondanks het grote verschil in botspatroon van het hoofd: botsing van het hoofd tegen de voorzijde van de hoog gelegen motorkaprand van M3 tegenover het neerkomen van het hoofd op de bovenkant van de motorkap bij de lagere motorkap van M2.

5.5. Remmen of niet-remmen

Bij alle simulaties die tot dus ver zijn beschreven is "remmen" gesimuleerd. Bij twee simulaties (3100 en 3200) is in het geheel niet geremd. We vergelijken de resultaten van deze simulaties met die van de simulaties met remmen die verder onder dezelfde condities zijn uitgevoerd, te weten 205 en 306; de voertuigsnelheid is in alle gevallen 30 km/uur.

Sim.nr. IW-TNO	Snelheid (m/s)	Max. vertragingen (result.)				Opmerkingen
		hoofd (g)	borst (g)	heup (g)	knie (g)	
205 (M2)	12,1	240	50	40	40	remmen
3100 (M2)	12,8	255	63	42	40	niet remmen
306 (M3)	8,3	105	40	21	57	remmen
3200 (M3)	8,6	110	41	22	77	niet remmen

Uit deze tabel blijkt dat de waarden ten gevolge van het "niet-remmen" slechts weinig hoger zijn dan ten gevolge van het "remmen" (ongeveer 5%). Er is één simulatie uitgevoerd (3500) waarbij het "duiken" tijdens het remmen is gesimuleerd. Hiertoe is het voertuigfront van M3 8 cm lager genomen. Wat de verdere condities betreft is deze simulatie te vergelijken met simulatie 306; de resultaten zijn als volgt:

Sim.nr.	Snelheid hoofd (m/s)	Max. vertragingen (result.)				Opmerkingen
		hoofd (g)	borst (g)	heup (g)	knie (g)	
306 (M3)	8,3	105	40	21	57	remmen
3500 (M3)	9,8	120	57	23	70	"duiken" gesim.

In Afbeelding 1 hebben we al het effect gezien van het verlagen van het front. Ook nu vinden we bij het "duiken" hogere waarden voor de snelheid en vertraging van het hoofd. In Afbeelding 6 is dit gevisualiseerd door de resultaten van het lagere front in de oorspronkelijke Afbeelding 1a te projecteren (zie motorkaphoogte van 75 cm). Het blijkt dat de waarden van het hoofd precies op de oorspronkelijke lijn in de grafiek komen te liggen.

5.6. Fietssnelheid van 20 km/uur

Bij de voorgaande simulaties is een aanrijding tegen een stilstaande fiets gesimuleerd. Bij vijf simulaties bedroeg de fietssnelheid 20 km/uur; drie simulaties met een volwassen fietser en twee met het kindmodel, beide in normale zitpositie. We zullen de resultaten vergelijken met die van de simulaties waarbij de fiets stilstond. In eerste instantie voor de volwassenen.

Bij alle drie simulaties met de fietssnelheid van 20 km/uur is het hoofd niet op maar naast de motorkap beland. Uit de vertragingwaarden blijkt dat dit een zeer gunstige invloed heeft op de vertraging van zowel hoofd als borst. De fietssnelheid geeft bij het lage front voor de heupvertraging eveneens een gunstig resultaat.

Sim.nr.	Snelheid	Max. vertragingen (result.)				Opmerkingen
		hoofd	borst	heup	knie	
IW-TNO	(m/s)	(g)	(g)	(g)	(g)	

Volwassen fietser in normale zitpositie; laag front (M2)

snelheid voertuig 30 km/uur:

205	12,1	240	50	40	40	fiets: 0 km/uur
1800	14,7	52	25	18	40	fiets: 20 km/uur

snelheid voertuig 40 km/uur:

1300	13,1	260	95	53	63	fiets: 0 km/uur
1700	19,2	130	60	25	65	fiets: 20 km/uur

Volwassen fietser in normale zitpositie; hoog front (M3)

snelheid voertuig 30 km/uur:

306	8,3	105	40	21	57	fiets: 0 km/uur
1600	9,1	55	18	20	80	fiets: 20 km/uur

Met het kindmodel zijn twee simulaties uitgevoerd, beide met een botssnelheid van 30 km/uur. Ook hier een vergelijking met de stilstaande fiets.

Sim.nr.	Snelheid	Max. vertragingen (result.)				Opmerkingen
		hoofd	borst	heup	knie	
IW-TNO	(m/s)	(g)	(g)	(g)	(g)	

Kind op fiets in normale zitpositie; laag front (M2)

2000	4,0	63	120	30	115	fiets: 0 km/uur
2600	9,3	30	37	15	110	fiets: 20 km/uur

Kind op fiets in normale zitpositie; hoog front (M3)

900	4,6	70	37	56	165	fiets: 0 km/uur
2700	7,2	135	52	78	200	fiets: 20 km/uur

Bij simulatie 2600 is het hoofd naast de motorkap terecht gekomen. Voor de vertragingwaarden blijkt dit een gunstig effect te hebben. Bij simulatie

2700 is het hoofd op de motorkap terecht gekomen, evenals bij nummer 900. De hoge vertragingwaarden bij simulatie 2700 zijn opvallend. Uit de plots blijkt dat er sprake is van een hoog opzwaai-effect van het kindmodel, waardoor de x- en y-component van de hoofdvertraging beduidend hoger zijn ten opzichte van simulatie 900.

5.7. Achteraanrijdingen

Met de simulaties 3300 en 3400 zijn achteraanrijdingen met het fietsmodel met een rechtop zittende volwassen fietser gesimuleerd. Simulatie 3300 heeft betrekking op voertuigfront M2 (laag) en 3400 op voertuigfront M3 (hoog), in beide gevallen met een voertuigsnelheid van 30 km/uur.

Voor het kunnen vergelijken van de resultaten van de achteraanrijdingen zijn de snelheid- en vertragingwaarden van het hoofd in de oorspronkelijke Afbeelding 1a geprojecteerd (zie Afbeelding 6). Uit de grafiek blijkt dat er nauwelijks verschil is tussen de flank- en achteraanrijdingen. Ook wat de vertragingwaarden van de overige modelonderdelen betreft (borst, heup en knie), is er nauwelijks verschil (vergelijk 3300 met 205 en 3400 met 306 in Bijlage 5).

Voorzichtigheid met deze resultaten is geboden. Als we naar Bijlage 1 kijken, zien we dat de fiets is voorgesteld als een gladde, platte ellipsoïde. Verificatie heeft aangetoond dat deze vorm voor zijdelingse aanrijdingen de werkelijkheid goed representeert. Het is de vraag of deze vorm met betrekking tot achteraanrijdingen niet te ver van de werkelijkheid afstaat. Verificatie heeft niet plaats gevonden.

6. DISCUSSIE / CONCLUSIE

In dit rapport zijn 35 mathematische simulaties van eerder uitgevoerde simulaties van aanrijdingen van fietsers door personenauto's nader geanalyseerd. Specifiek is gekeken naar de relatie tussen de verschillende typen voertuigfronten en de ernst van de aanrijding in termen van snelheid en vertraging van het hoofd.

Een laag voertuigfront is voor de volwassen fietser beduidend ongunstiger dan een hoog front, vooral wat betreft de vertraging van onderdelen van het bovenlichaam. Dit heeft zowel betrekking op de normale zitpositie van de fietser als op de racehouding.

Bij het lage front is sprake van een grotere rotatie van het bovenlichaam. Dit geeft een relatieve hoge snelheid van het hoofd. Bij het lage front komt het hoofd in aanraking met de voorruit en bij het hoge front veelal in aanraking met de motorkap. De hardheid van de voorruit en de stand ten opzichte van de motorkap zou wel eens van veel invloed kunnen zijn op de simulatieresultaten. Dit is een punt van aandacht voor het toekomstig simulatie-onderzoek.

Voor de volwassen fietser is een relatief groot verschil in simulatieresultaten vastgesteld tussen M3 (fronthoogte 83 cm) en M1 (hoogte 88 cm), ondanks het geringe hoogteverschil van slechts 5 cm. De oorzaak zou de meer uitstekende bumper van M3 kunnen zijn. De uitvoering van simulaties waarbij systematisch de invloed van de bumper en motorkaphoogte wordt onderzocht, is aan te bevelen.

Vanwege de geringe zithoogte op de kinderfiets liggen de waarden van het hoofd bij simulaties met het kindmodel op een beduidend lager niveau dan dat met het volwassen model. De hoogte van het voertuigfront is ook minder van invloed op de resultaten. Bij het kind in racepositie komt het hoofd bij het hoger front direct in aanraking met de motorkaprand. Bij het lager front komt het hoofd op de motorkap terecht. In beide gevallen is de snelheid van het hoofd ten tijde van de botsing ongeveer gelijk aan de voertuigsnelheid. Opvallend is verder dat de hoofdvertraging bij de botsing tegen de voorrand van de motorkap iets gunstiger is dan de botsing op de motorkap. Dit betekent dat de grootte van de vertraging bij een direct contact geringer kan zijn dan ten gevolge van rotatie.

Het verschil tussen de testconditie "remmen" en "niet-remmen" is gering gebleken. Het simuleren van het "duiken" van het voertuig bij het remmen heeft wél effect vanwege het toenemen van de afstand tussen bovenlichaam en motorkap. Het gevolg is een toename van snelheid van het hoofd en vertragingen van alle lichaamsdelen. Aannemende dat bij een ongeval in de meeste gevallen geremd wordt, is het zinvol dit "duiken" als standaardconditie op te nemen.

De resultaten van de simulaties waarbij de fiets een snelheid had van 20 km/uur geven een gunstiger verloop te zien dan de resultaten met een stationaire opstelling van de fiets. De oorzaak is dat de fietser half naast de motorkap belandt. Voor het beschouwen van ongevallen is het waarschijnlijk reëler in alle gevallen van een bepaalde fietssnelheid uit te gaan. Een fietssnelheid van 20 km/uur is aan de hoge kant.

Opvallend is dat er slechts een gering verschil is tussen de resultaten van de simulaties van een zijdelingse aanrijding van de fietser en die van een achteraanrijding. We moeten echter voorzichtig zijn met het trekken van conclusies daar het niet duidelijk is in hoeverre het gesimuleerde fietsmodel voor de achteraanrijdingen realistisch is. Mocht bij toekomstig onderzoek interesse in deze typen achteraanrijdingen aanwezig zijn, is verificatie gewenst.

In de bijdrage van Huijbers & Janssen (1988) voor de STAPP-conferentie wordt geconcludeerd (en hier onderschreven) dat de validatie van het model momenteel beperkt is daar alleen vertragingen worden berekend. Voor bepaalde lichaamsdelen zou het beter zijn daarnaast ook te beschikken over informatie over optredende krachten zoals krachten die op (en in) het bovenlijf en benen worden uitgeoefend.

LITERATUUR

Huijbers, J.J.W. (1988). Mathematische en experimentele simulaties van botsingen tussen personenauto's en tweewielers. R-88-42. SWOV, Leidschen-
dam.

Huijbers, J.J.W & Janssen, E.G. (1988). Experimental and mathematical car-bicycle collision simulations. Proceedings of the 32th STAPP Car Crash Conference, October 17-19, 1988.

Janssen, E.G. & Wismans, J.S.H.M. (1985). Experimental and mathematical simulations of pedestrian-vehicle and cyclist-vehicle accidents. Tenth International Conference on Experimental Safety Vehicles, Oxford, England, July 1-4, 1985.

Janssen, E.G. & Wismans, J. (1987). Evaluation of vehicle-cyclist impacts through dummy and human cadaver tests. Eleventh International Conference on Experimental Safety Vehicles, Washington, D.C., May 12-15, 1987.

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

AFBEELDINGEN 1 T/M 6

Afbeelding 1. Snelheid en vertraging van het hoofd van een volwassen fietser in normale zitpositie bij zijdelingse aanrijdingen met botssnelheden van 30 en 40 km/uur.

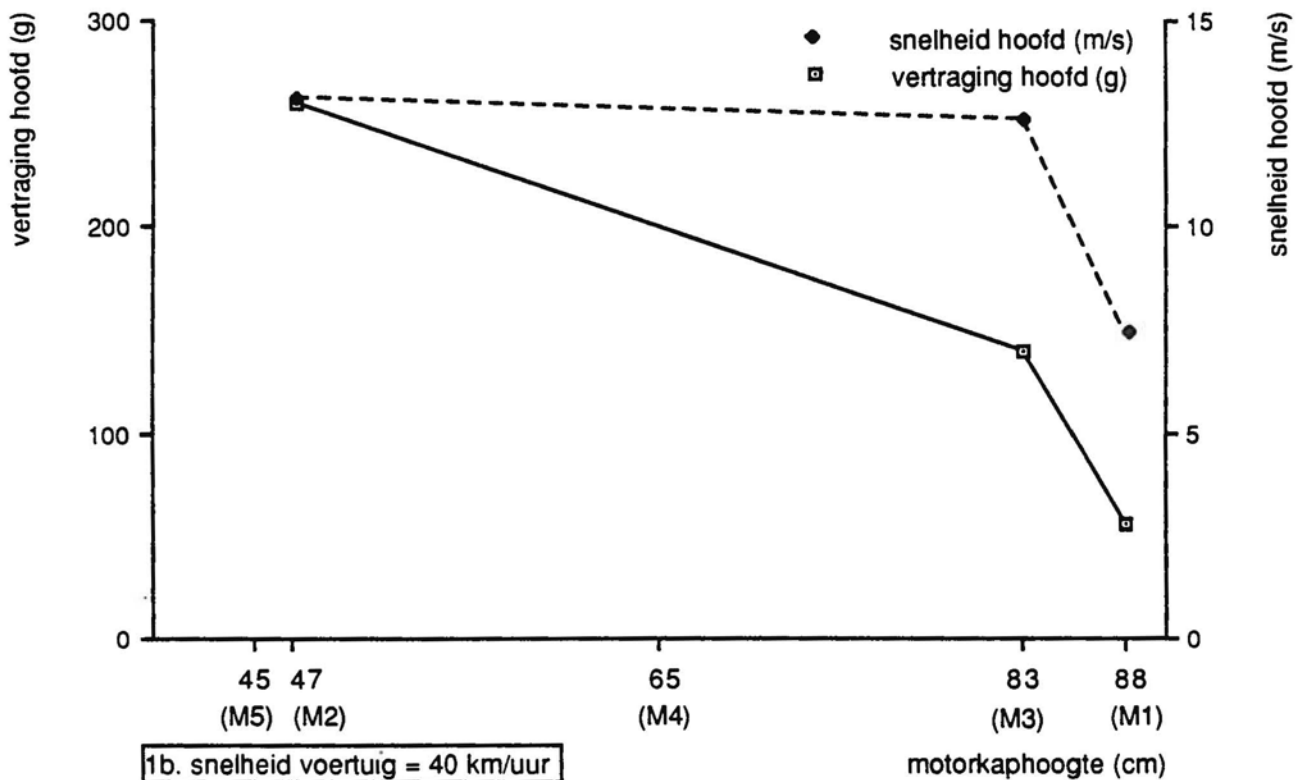
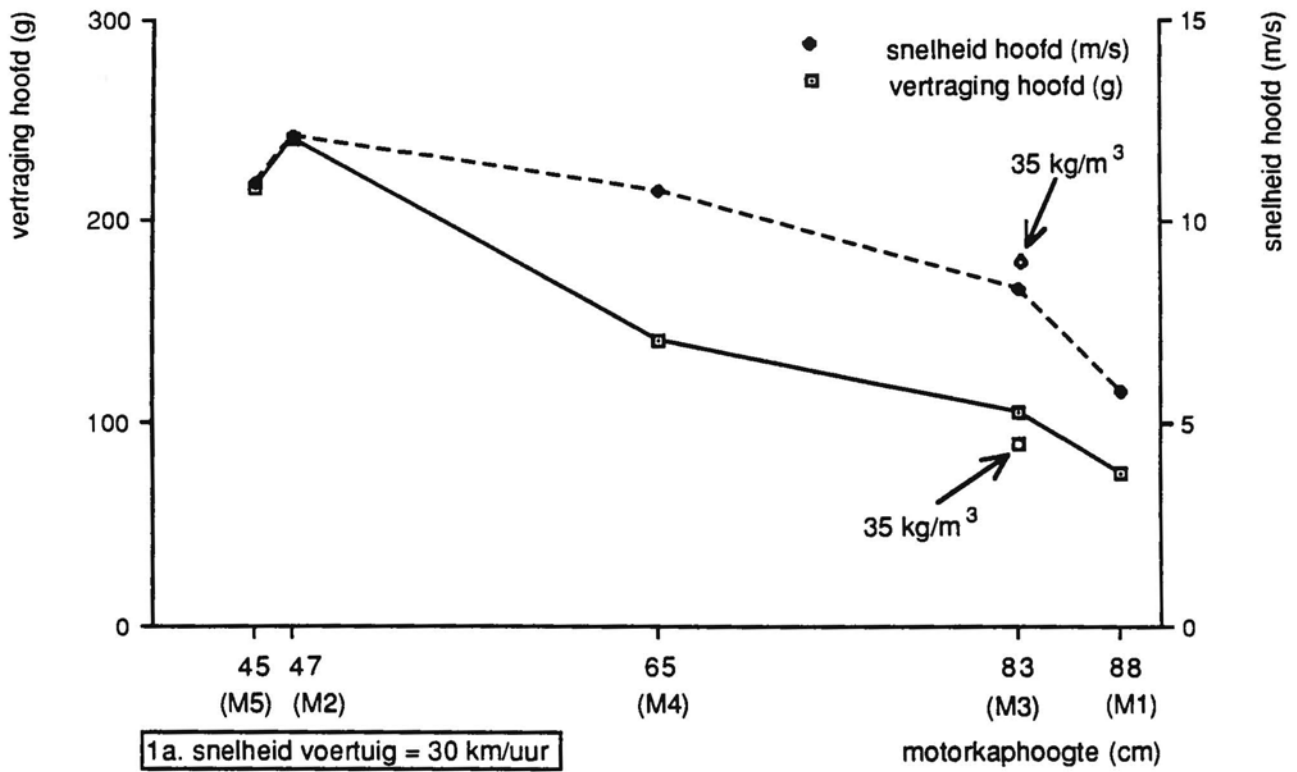
Afbeelding 2. Snelheid en vertraging van het hoofd van een volwassen fietser in racepositie bij zijdelingse aanrijdingen met botssnelheden van 30 en 40 km/uur.

Afbeelding 3. Snelheid en vertraging van het hoofd van een kind op fiets in normale zitpositie bij zijdelingse aanrijdingen met botssnelheden van 30 en 40 km/uur.

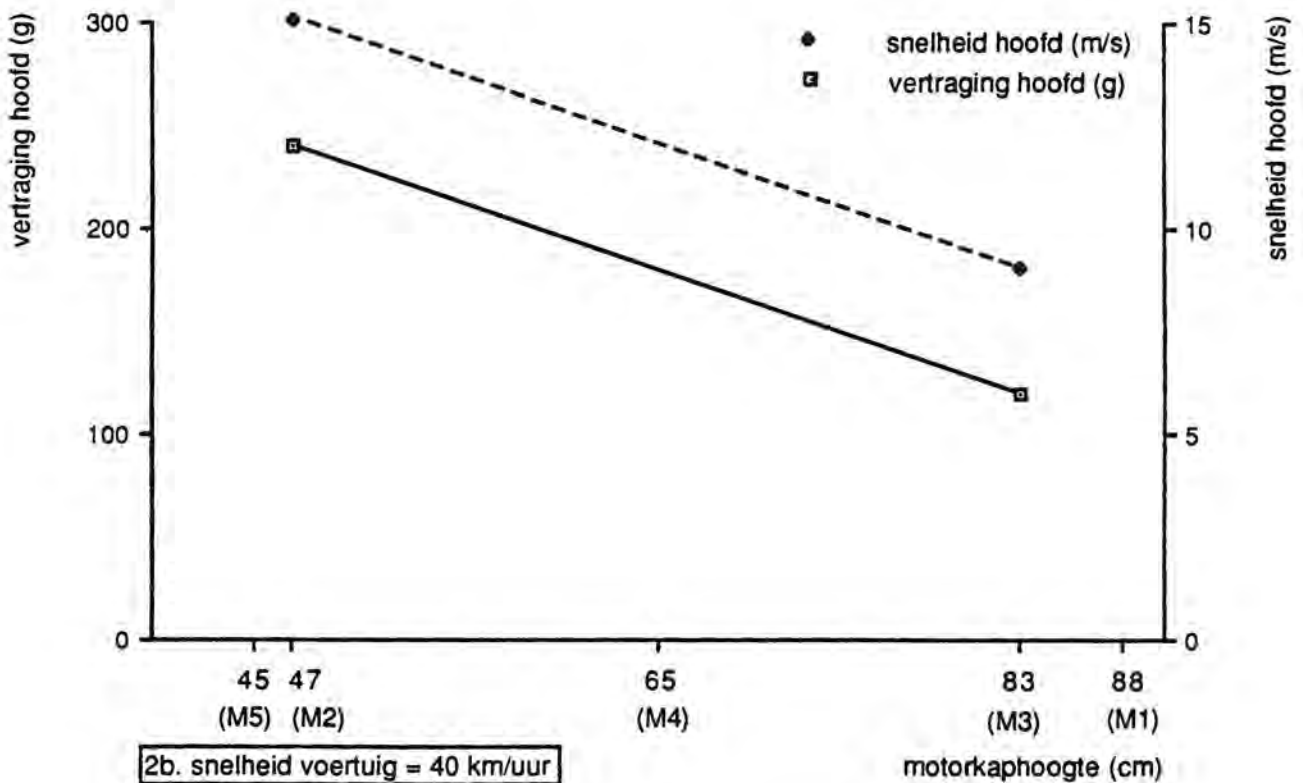
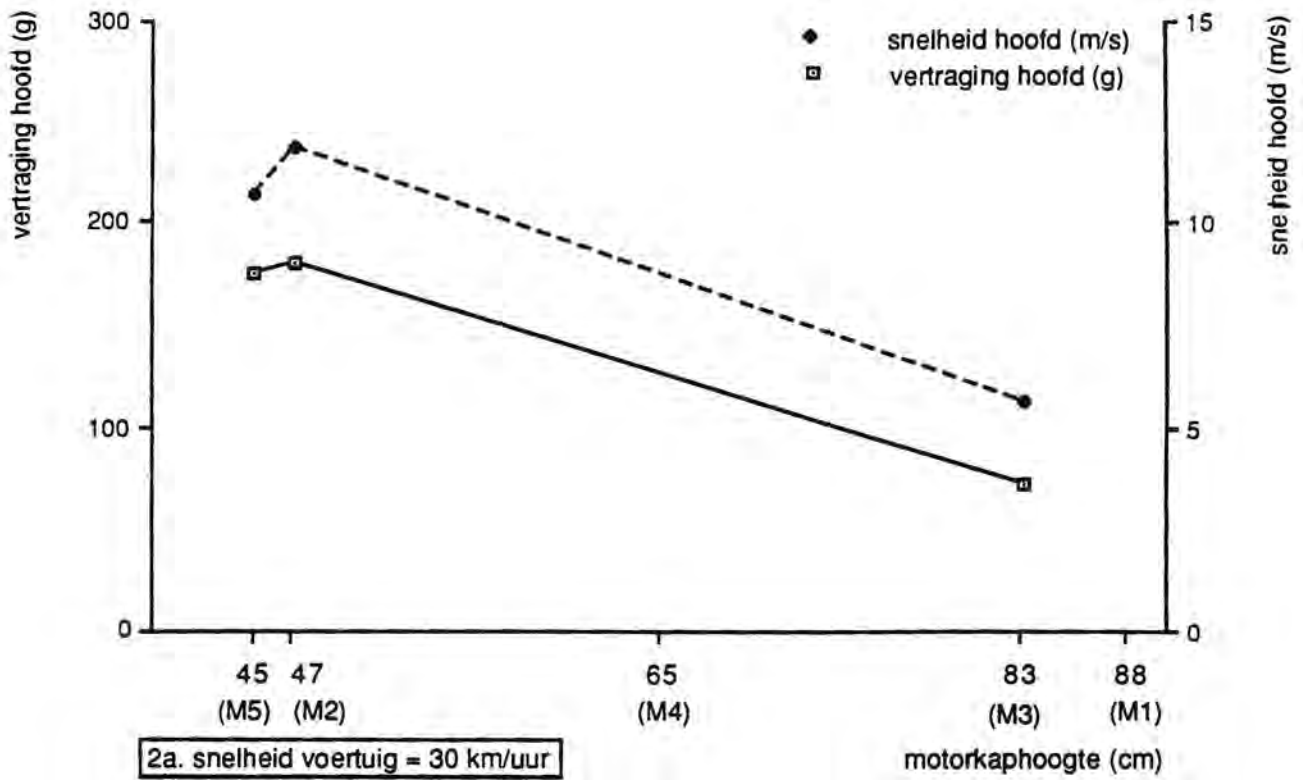
Afbeelding 4. Snelheid en vertraging van het hoofd van een kind op fiets in racepositie bij zijdelingse aanrijdingen met botssnelheden van 30 en 40 km/uur.

Afbeelding 5. Snelheid en vertraging van het hoofd en vertraging van de borst van een volwassen fietser en een kind op fiets bij een zijdelingse aanrijding met een botssnelheid van 30 km/uur.

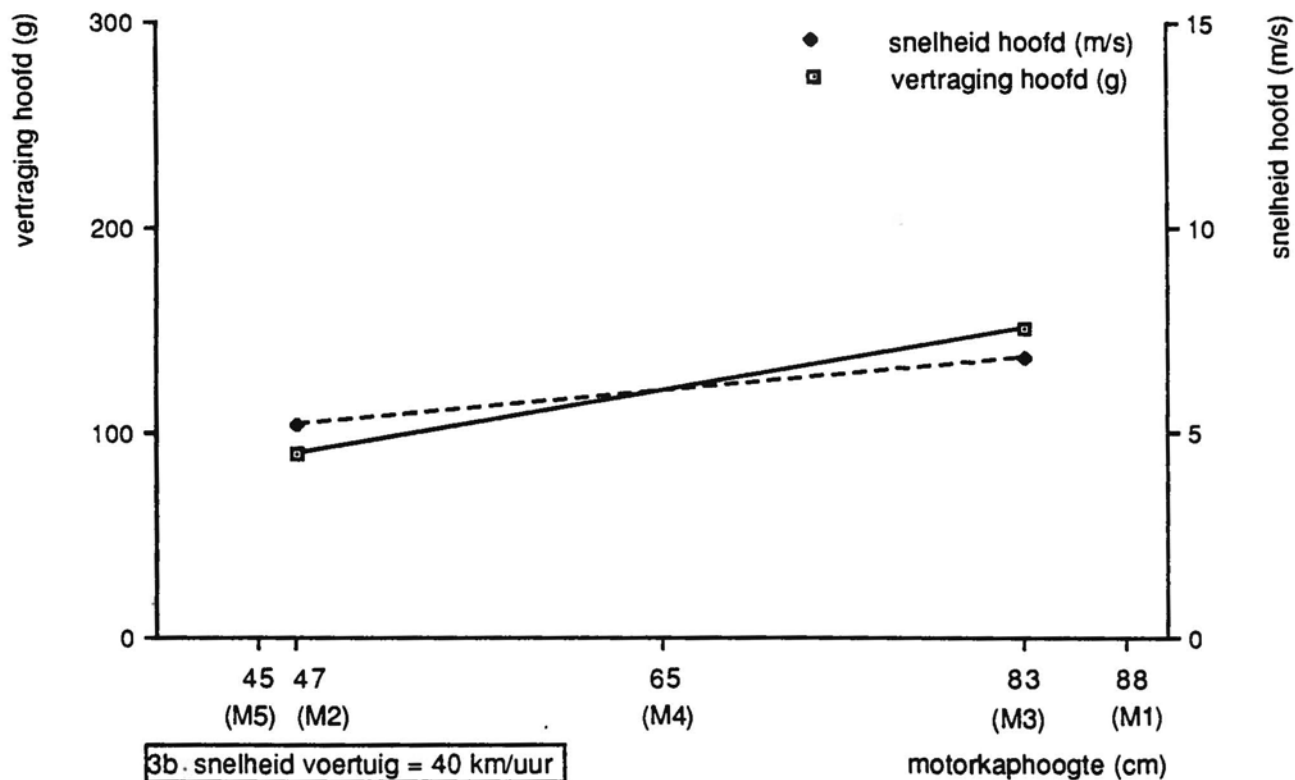
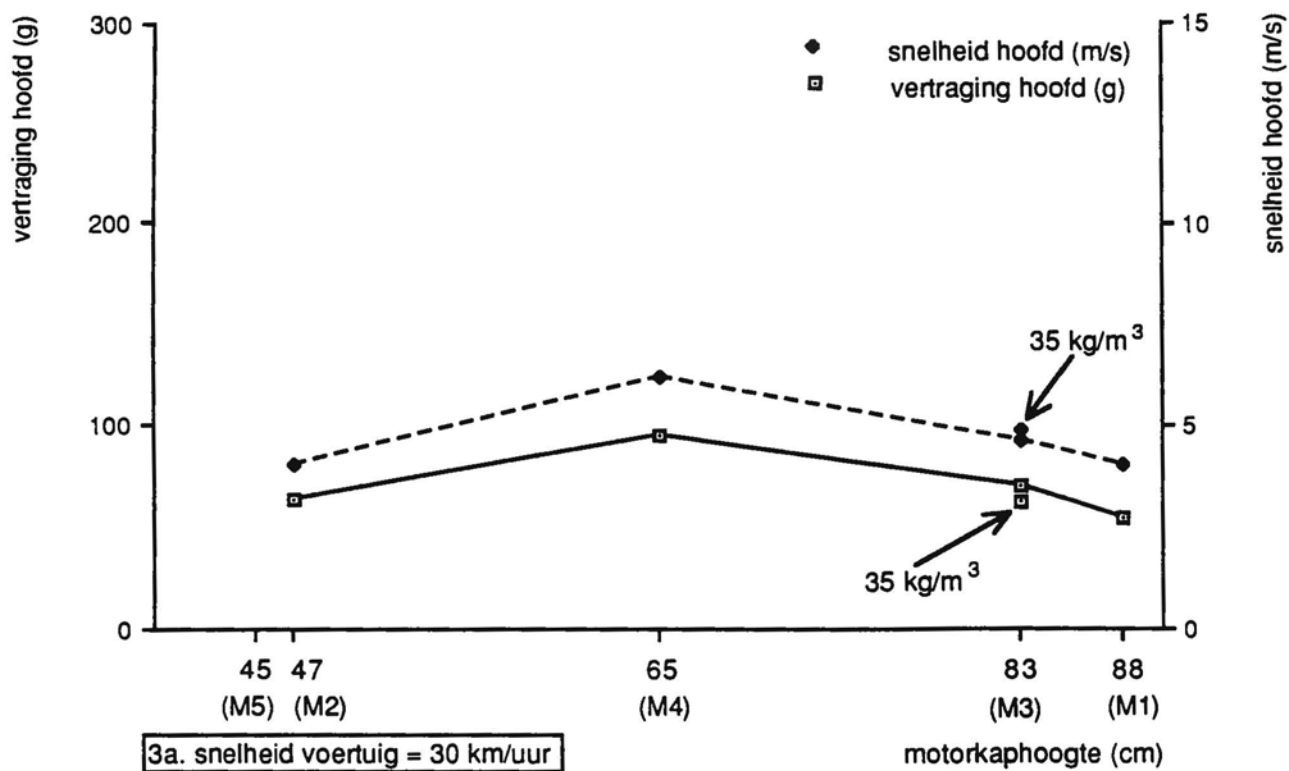
Afbeelding 6. Snelheid en vertraging van het hoofd van een volwassen fietser in normale zitpositie bij een zijdelingse en achteraanrijding met een botssnelheid van 30 km/uur.



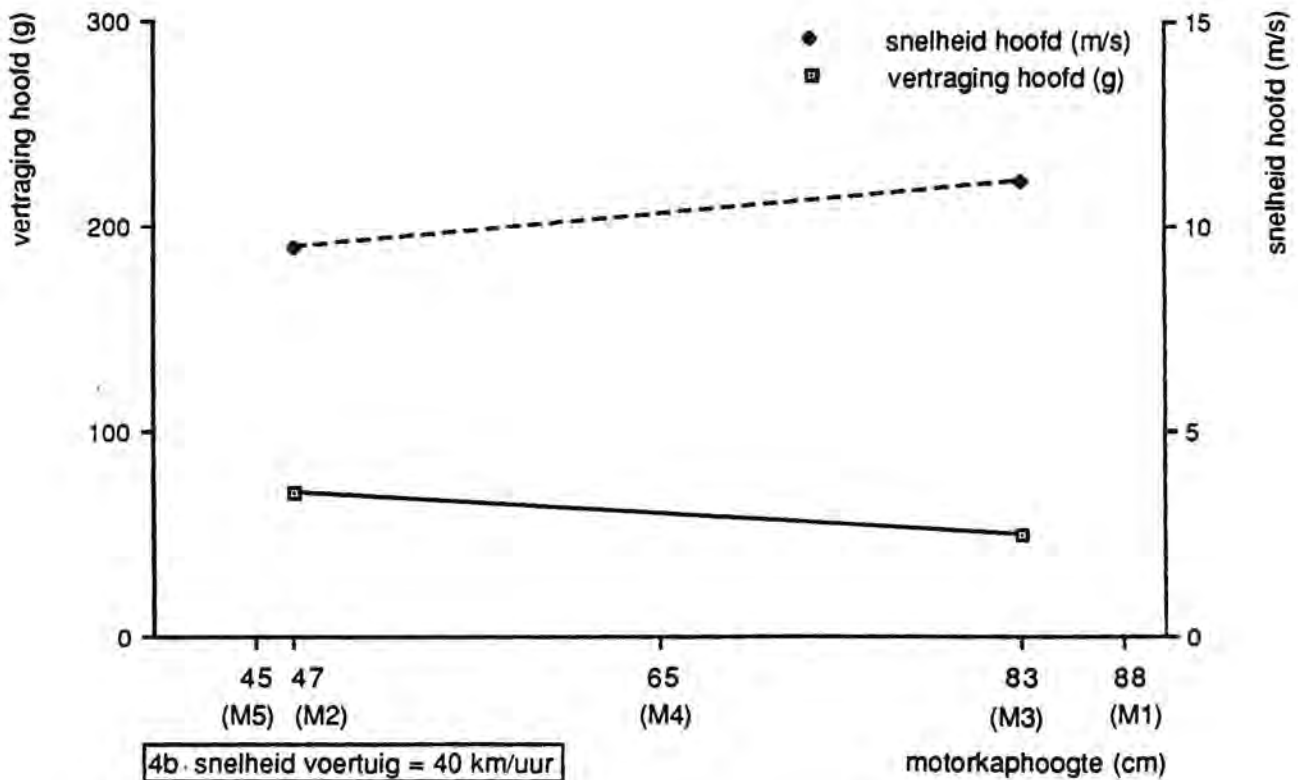
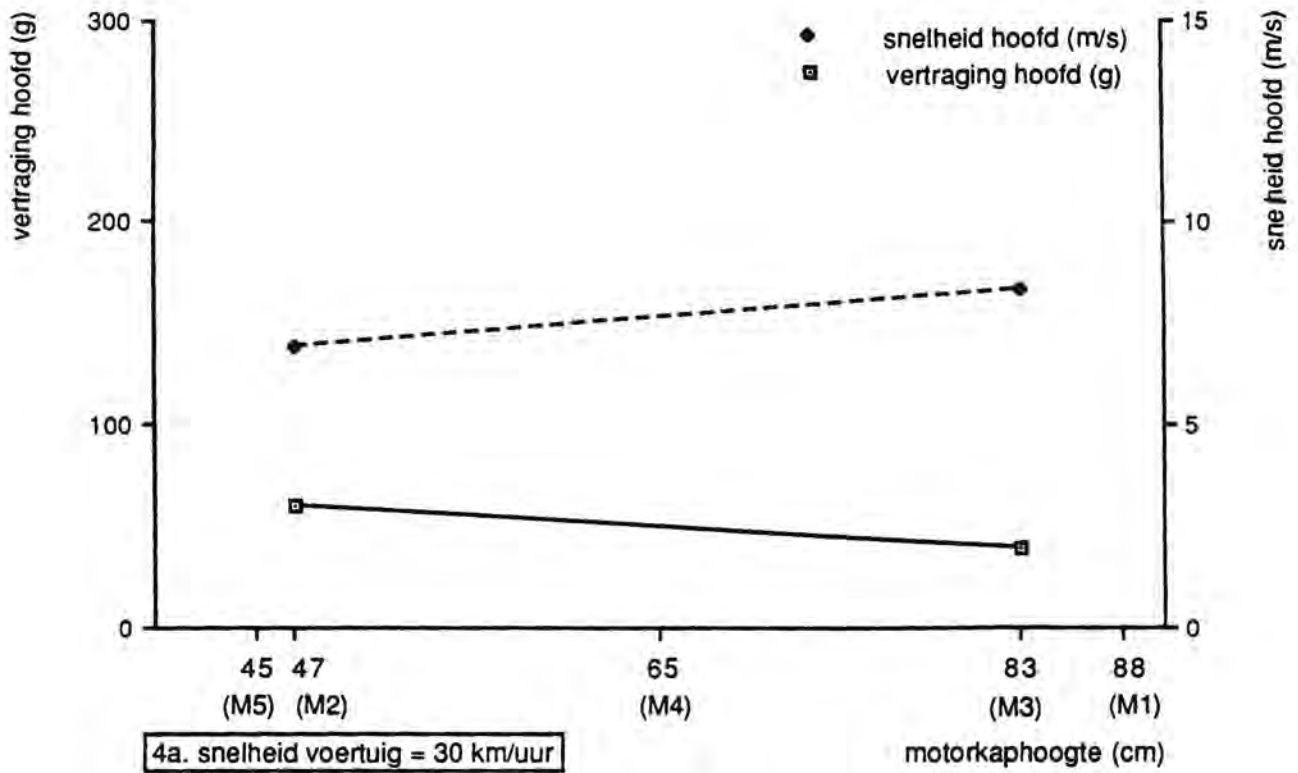
Afbeelding 1. Snelheid en vertraging van het hoofd van een volwassen fietser in normale zitpositie bij zijdelingse aanrijdingen met botsnelheden van 30 en 40 km/uur.



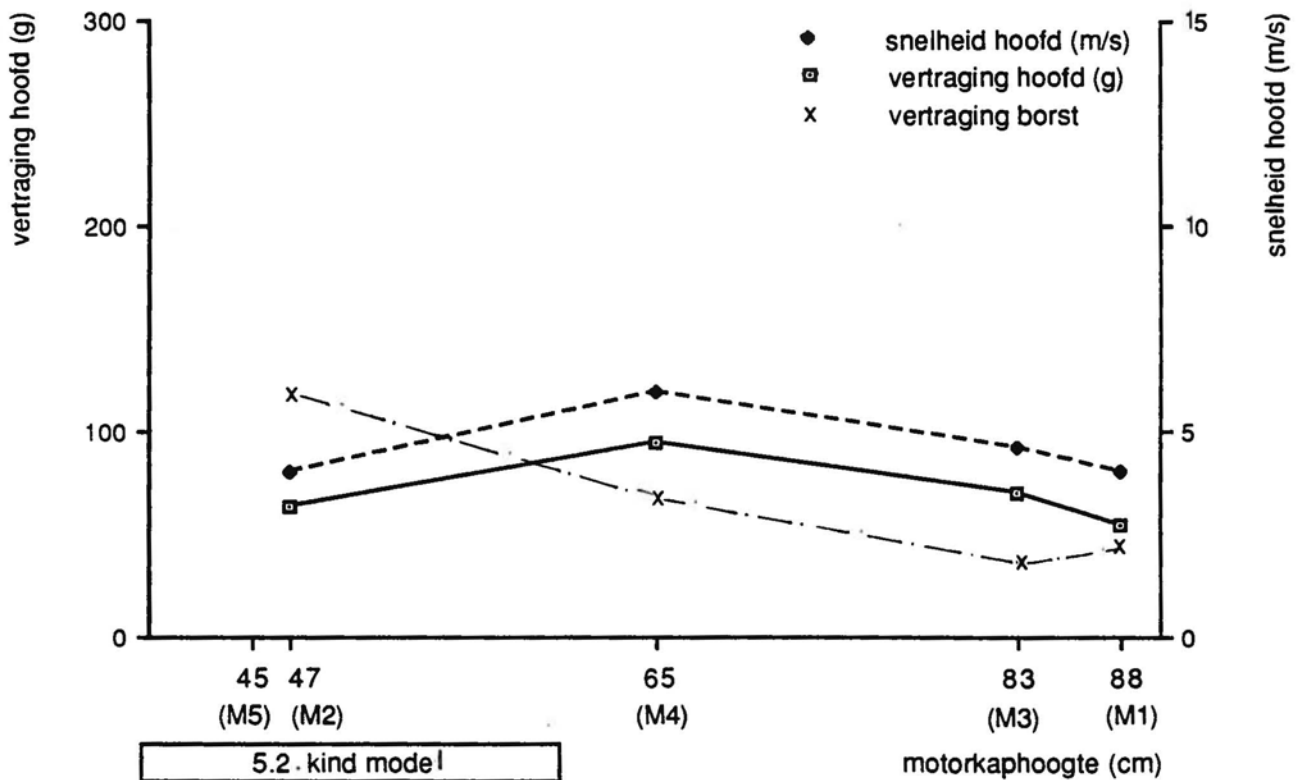
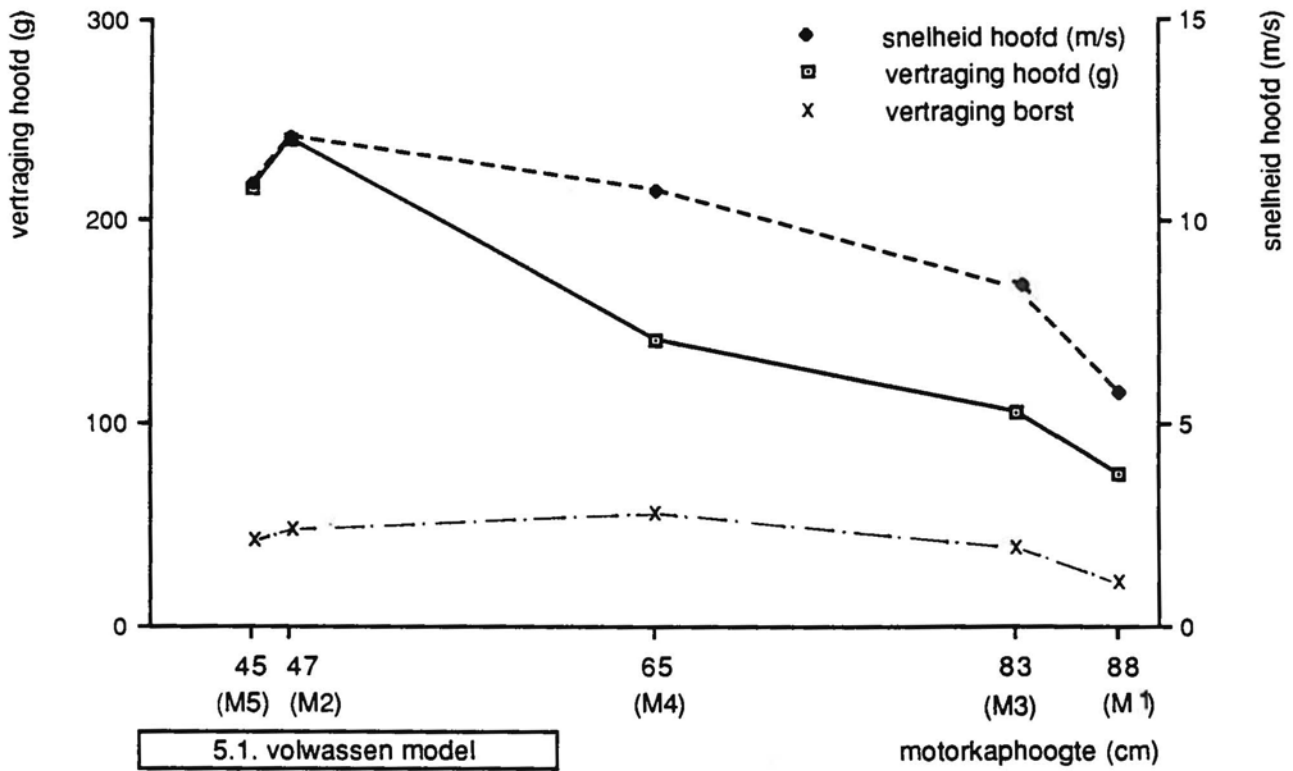
Afbeelding 2. Snelheid en vertraging van het hoofd van een volwassen fietser in racepositie bij zijdelingse aanrijdingen met botssnelheden van 30 en 40 km/uur.



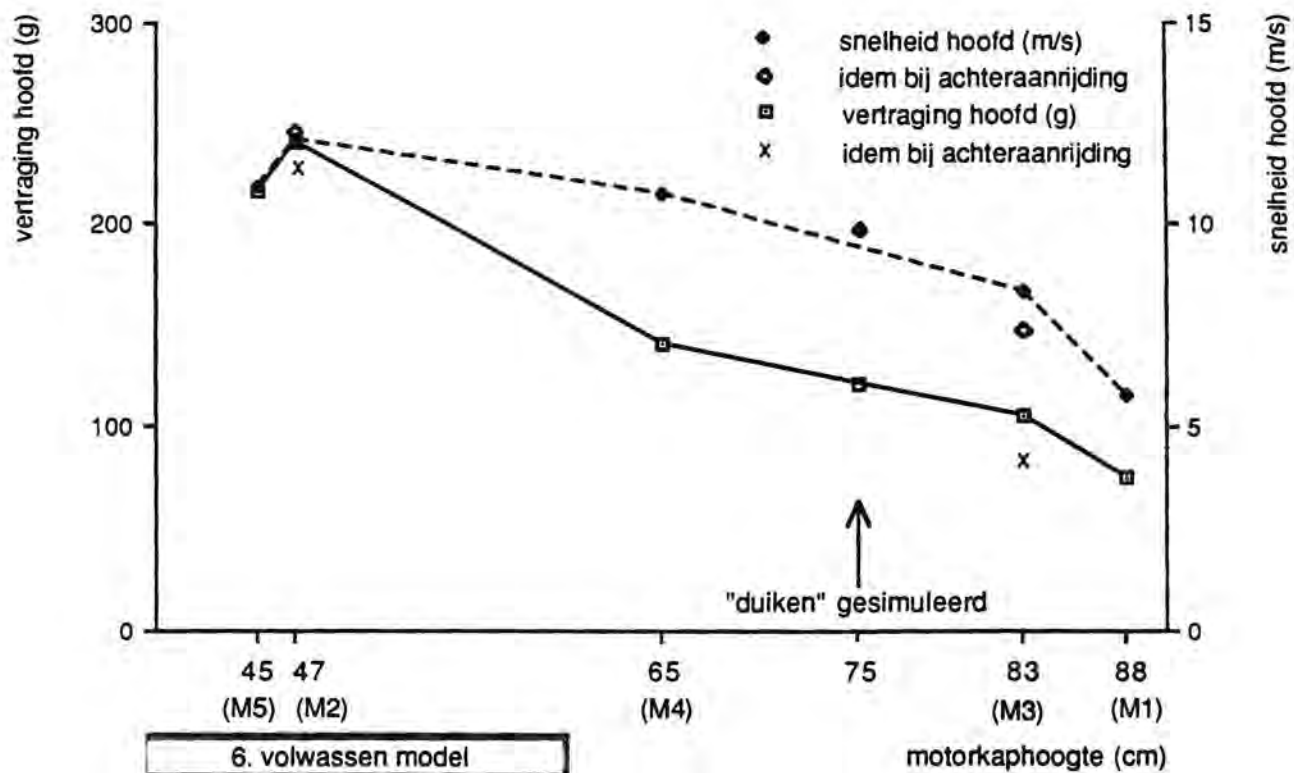
Afbeelding 3. Snelheid en vertraging van het hoofd van een kind op fiets in normale zitpositie bij zijdelingse aanrijdingen met botssnelheden van 30 en 40 km/uur.



Afbeelding 4. Snelheid en vertraging van het hoofd van een kind op fiets in racepositie bij zijdelingse aanrijdingen met botssnelheden van 30 en 40 km/uur.



Afbeelding 5. Snelheid en vertraging van het hoofd en vertraging van de borst van een volwassen fietser en een kind op fiets bij een zijdelingse aanrijding met een botssnelheid van 30 km/uur.



Afbeelding 6 Snelheid en vertraging van het hoofd van een volwassen fietser in normale zitpositie bij een zijdelingse en achteraanrijding met een botssnelheid van 30 km/uur.

BIJLAGEN 1 T/M 6

Bijlage 1. Afbeelding van dummyposities.

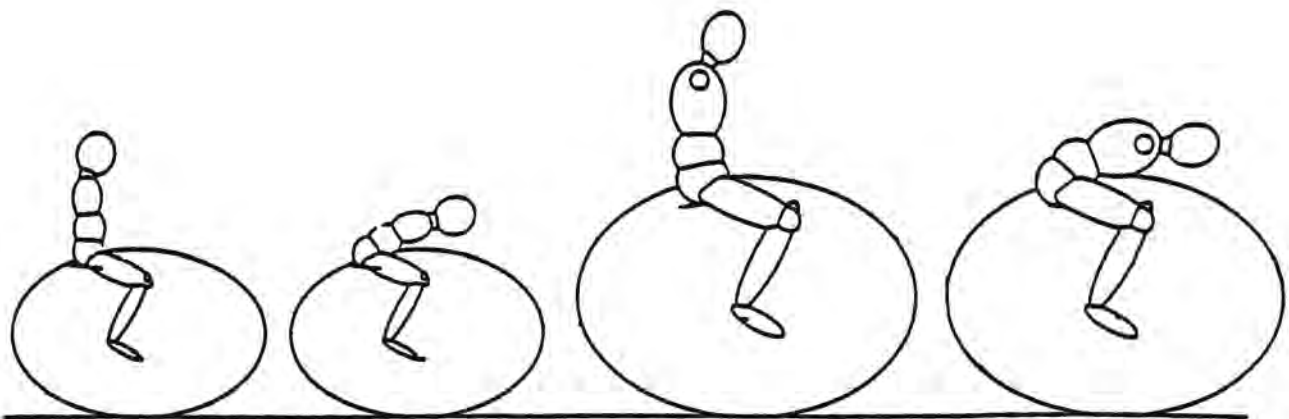
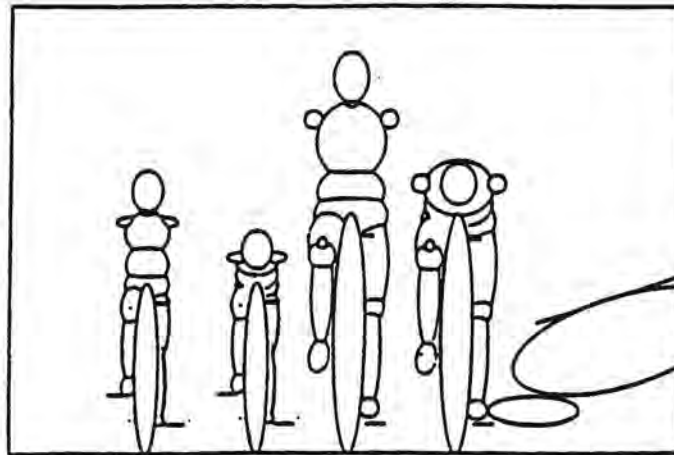
Bijlage 2. Voertuigfronten M1, M2, M3, M4, M5 en M3+SP.

Bijlage 3. Simulatieprogramma.

Bijlage 4. Resultaten run IW 306 voor de diverse lichaamsdelen.

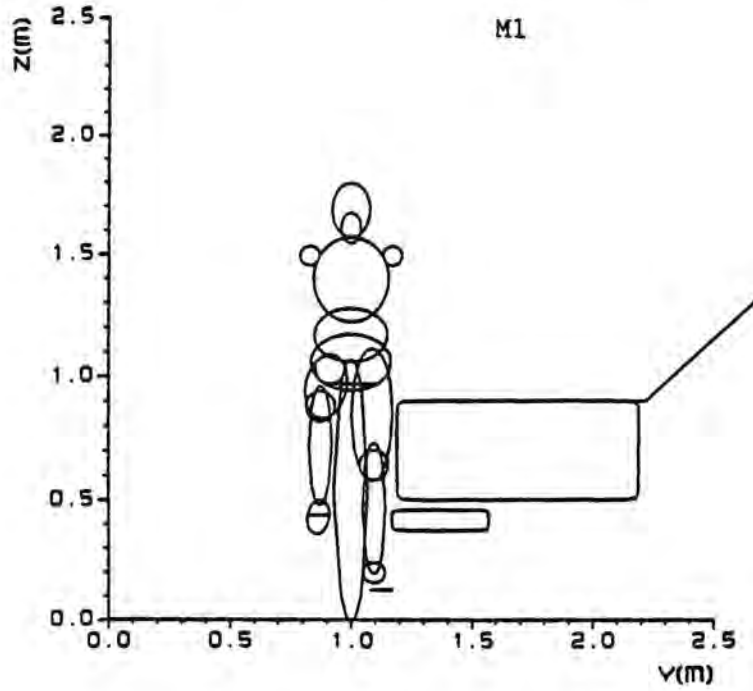
Bijlage 5. Resultaten simulaties.

Bijlage 6. Resultaten run IW 205 en IW 2000.

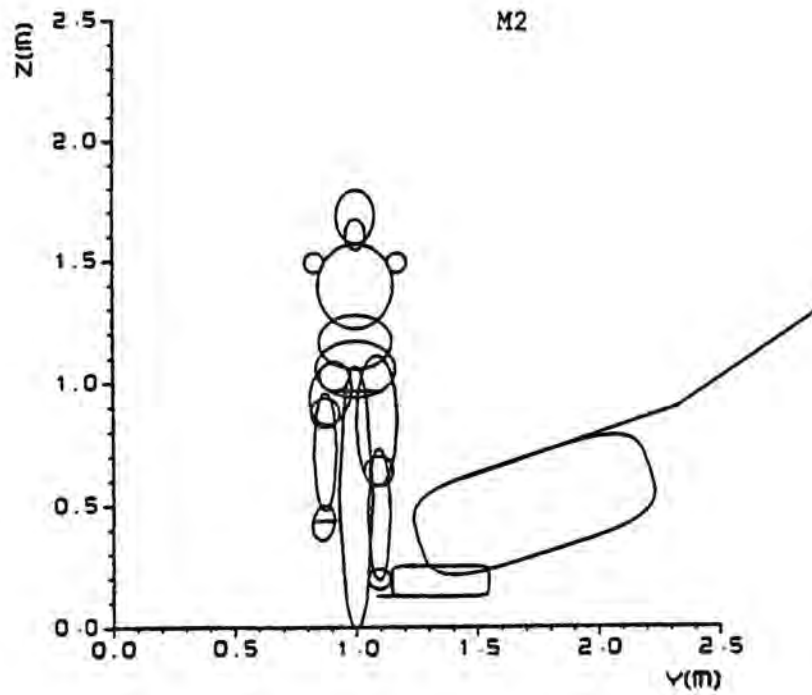


Voor- en zijaanzichten van gesimuleerde fietsers. Van links naar rechts
achtereenvolgens:

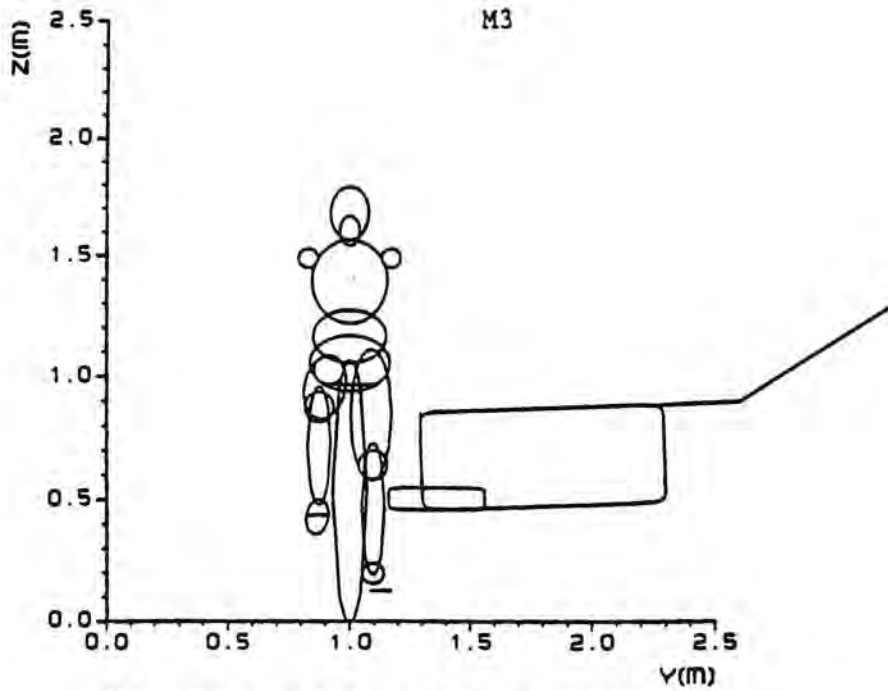
- kind op fiets in normale zitpositie (MADYMO-versie TNO P6 dummy)
- kind op fiets in racepositie (MADYMO-versie TNO P6 dummy)
- volwassen fietser in normale zitpositie (MADYMO-versie 572 dummy)
- volwassen fietser in racepositie (MADYMO-versie 572-dummy)



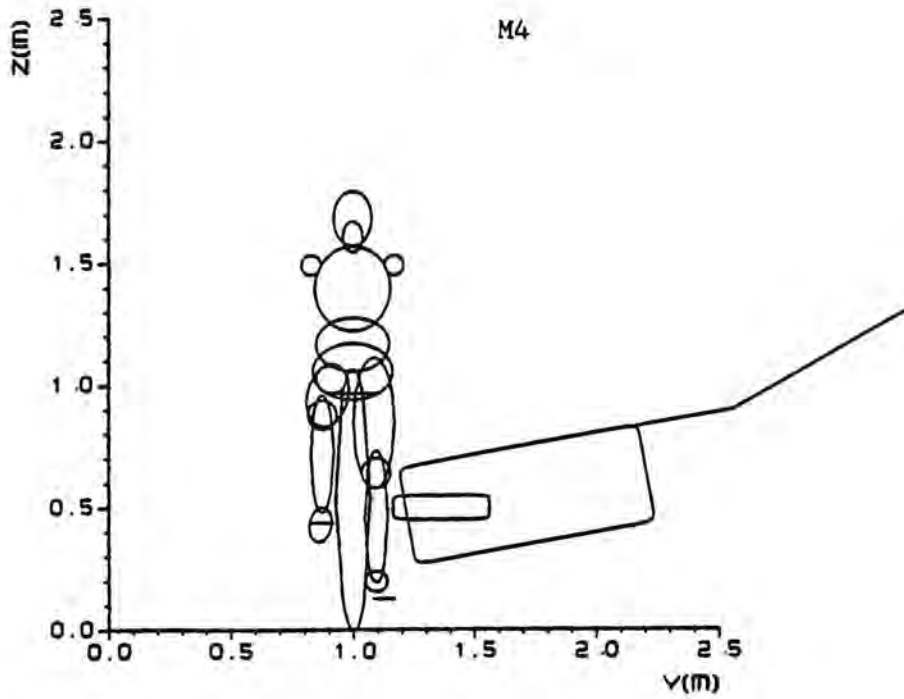
Vehicle model of Opel Kadett C.



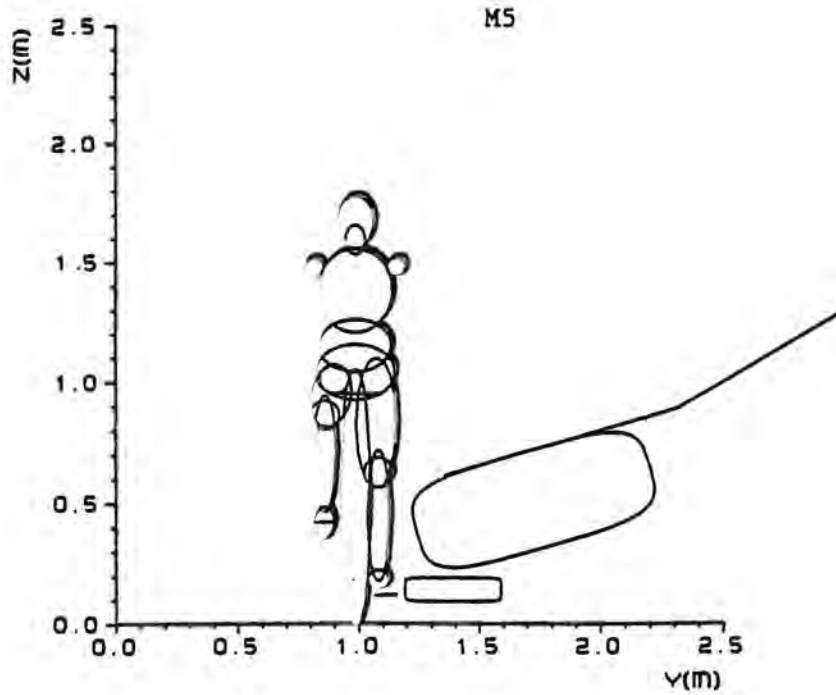
Vehicle model of Opel Kadett '85.



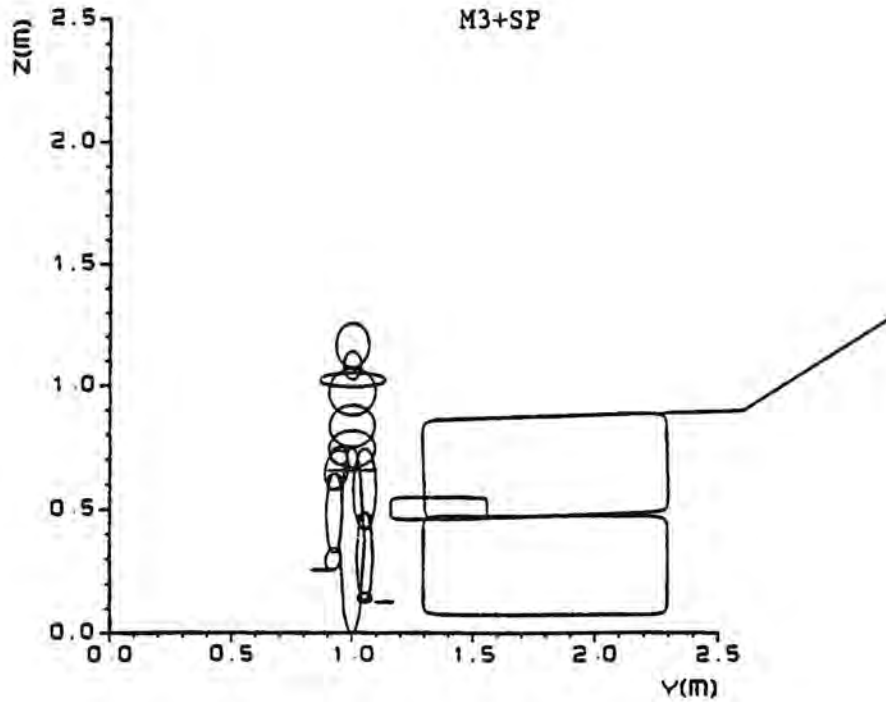
Vehicle model of Volvo 760.



Vehicle model of Citroen CX.



Vehicle model of Safe '90.



Spoiler attached to Volvo 760 model
in child dummy simulations.

Simulatie- nummer		Bots- snelheid	Bots- type	Auto- model	Dummy/fiets model	Snelheid fiets	Stijfheid auto
SWOV	TNO	km/uur	1)	2)	3)	km/uur	4)
1	105	30	F1	M1	1	0	50
2	205	30	F1	M2	1	0	50
3	306	30	F1	M3	1	0	50
4	406	30	F1	M4	1	0	50
5	505	30	F1	M5	1	0	50
6	607	30	F1	M2	2	0	50
7	702	30	F1	M3	2	0	50
8	801	30	F1	M5	2	0	50
9	900	30	F1	M3+SP	3	0	50
10	1001	30	F1	M3+SP	4	0	50
11	1100	40	F1	M1	1	0	50
12	1200	40	F1	M3	1	0	50
13	1300	40	F1	M2	1	0	50
14	1401	40	F1	M3	2	0	50
15	1501	40	F1	M2	2	0	50
16	1600	30	F1	M3	1	20	50
17	1700	40	F1	M2	1	20	50
18	1800	30	F1	M2	1	20	50
19	1900	30	F1	M3	1	0	35
20	2000	30	F1	M2	3	0	50
21	2100	30	F1	M2	4	0	50
22	2200	40	F1	M2	3	0	50
23	2300	40	F1	M2	4	0	50
24	2400	40	F1	M3+SP	3	0	50
25	2501	40	F1	M3+SP	4	0	50
26	2600	30	F1	M2	3	20	50
27	2700	30	F1	M3+SP	3	20	50
28	2800	30	F1	M3+SP	3	0	35
29	2900	30	F1	M1	3	0	50
30	3001	30	F1	M4+SP	3	0	50
31	3100	30	F1	M2	1	0	50*
32	3200	30	F1	M3	1	0	50**
33	3300	30	F3	M2	1	0	50
34	3400	30	F3	M3	1	0	50
35	3500	30	F1	M3	1	0	50***

* (als 2, zonder remmen)

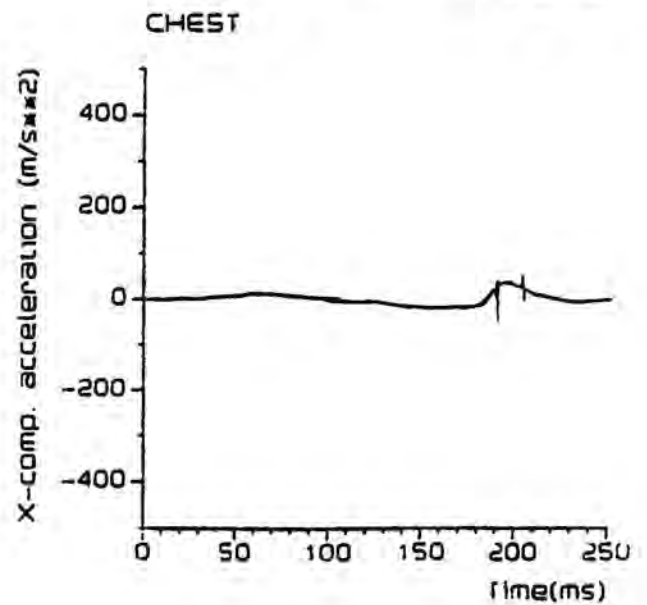
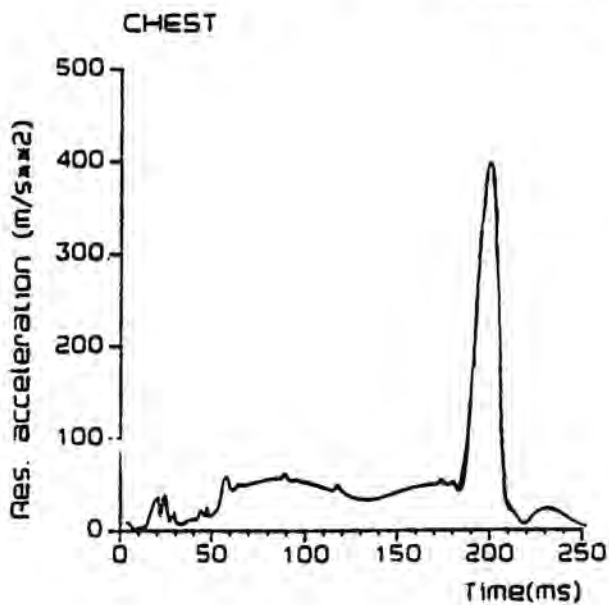
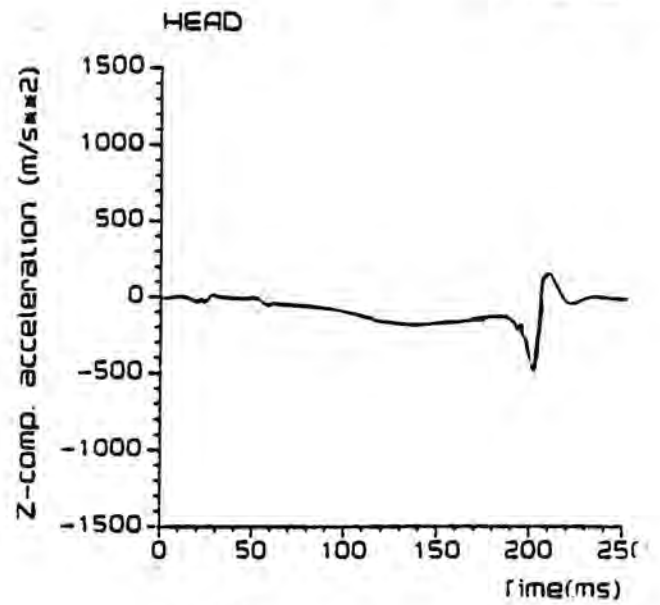
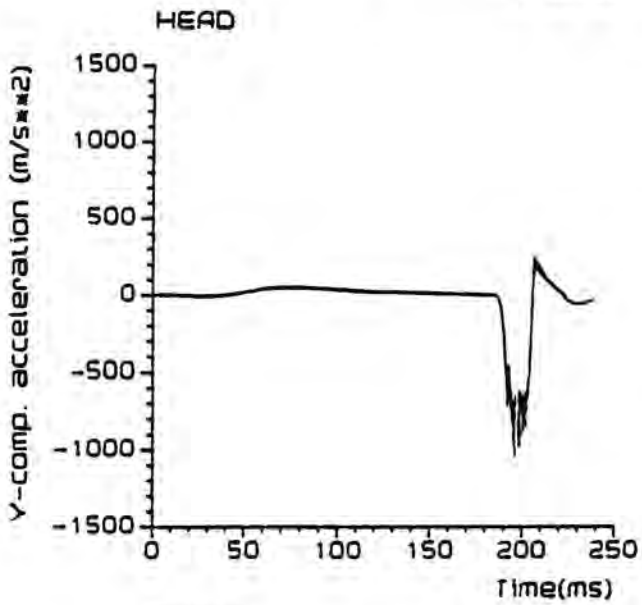
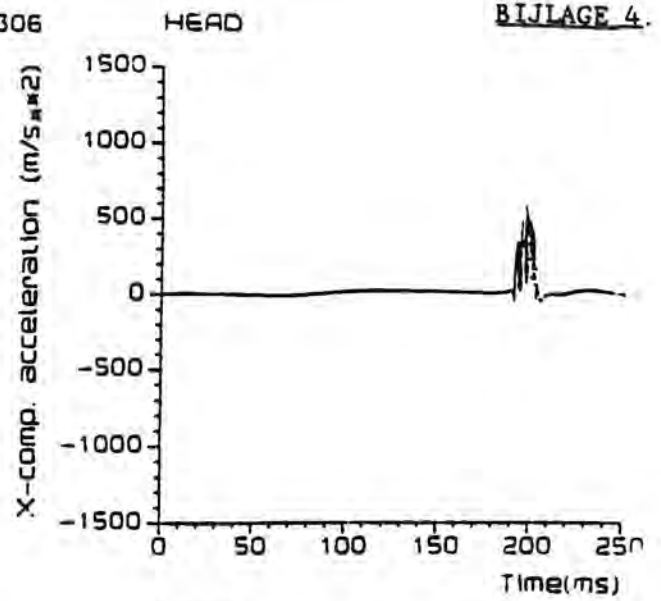
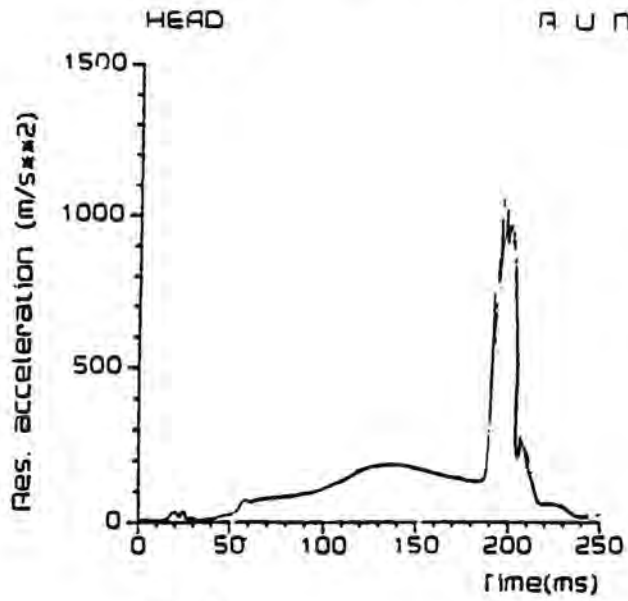
** (als 3, zonder remmen)

*** (als 3 met "duiken")

- 1) Botstype F1: front auto/zijkant fiets
Botstype F3: front auto/achterkant fiets (zie Huijbers, 1984)
- 2) M1: 'Opel Kadett type C' M2: 'Opel Kadett model '85'
M3: 'Volvo' 760" M4: 'Citroën CX'
M5: 'Safe '90' SP: 'spoiler'
- 3) 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
- 4) Dichtheid van het purschuim in kg/m³

Resultaten run IW 306 voor de diverse lichaamsdelen.

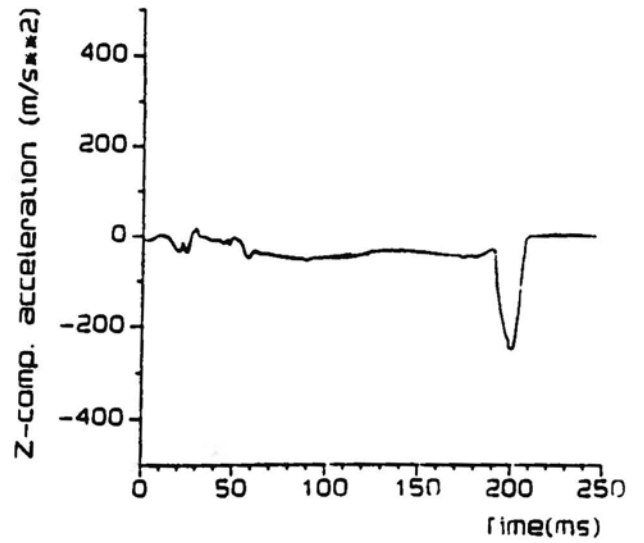
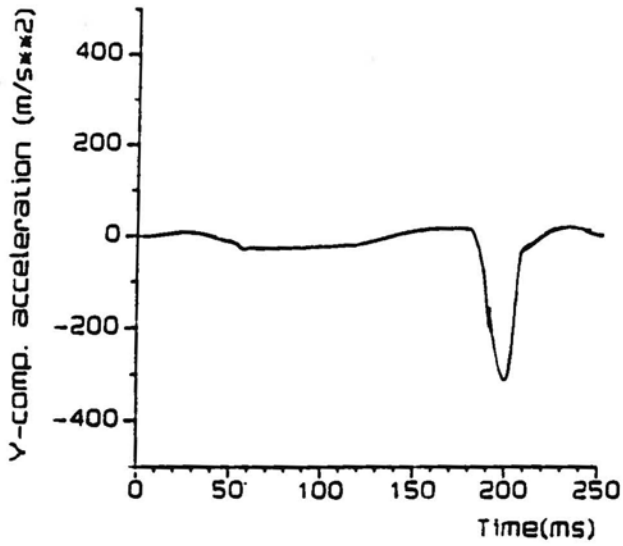
BIJLAGE 4.



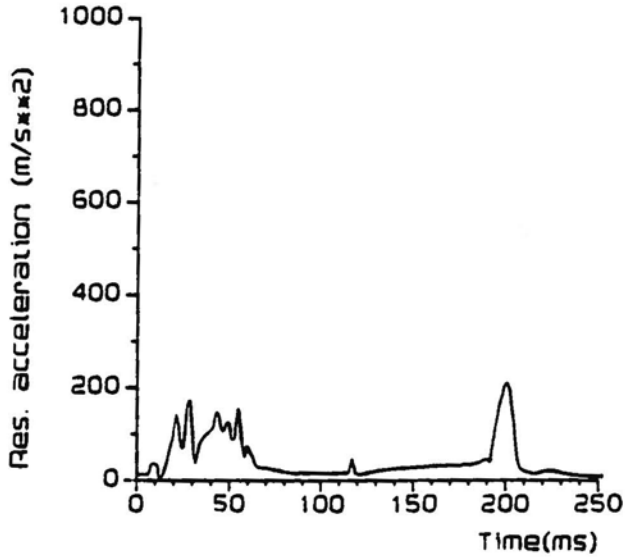
CHEST

R U N 306

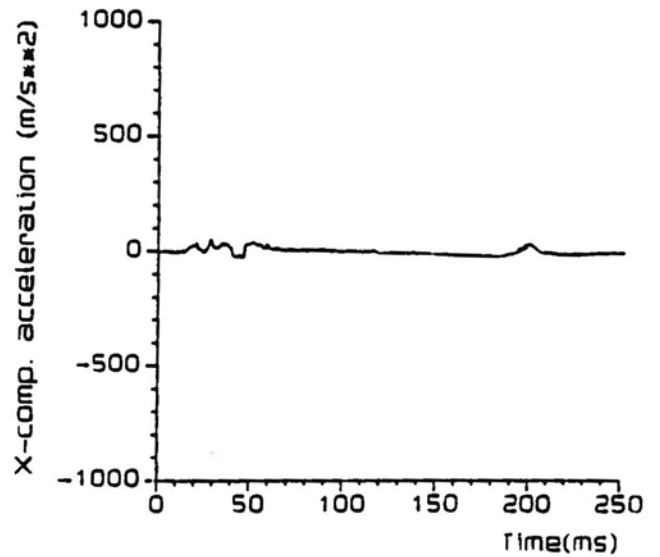
CHEST



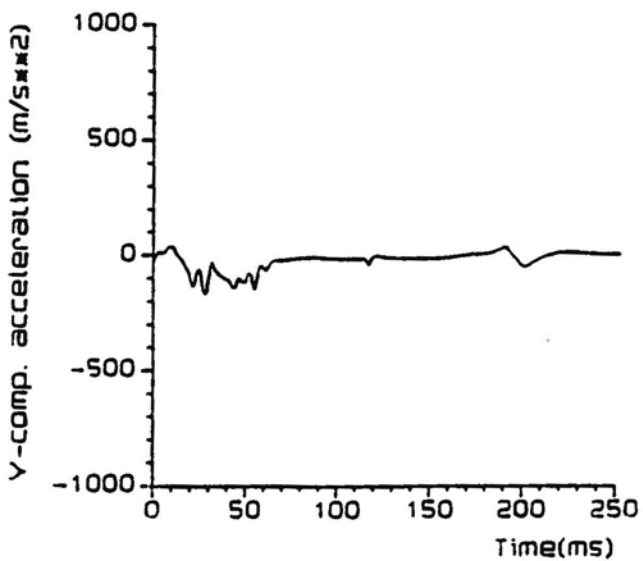
PELVIS



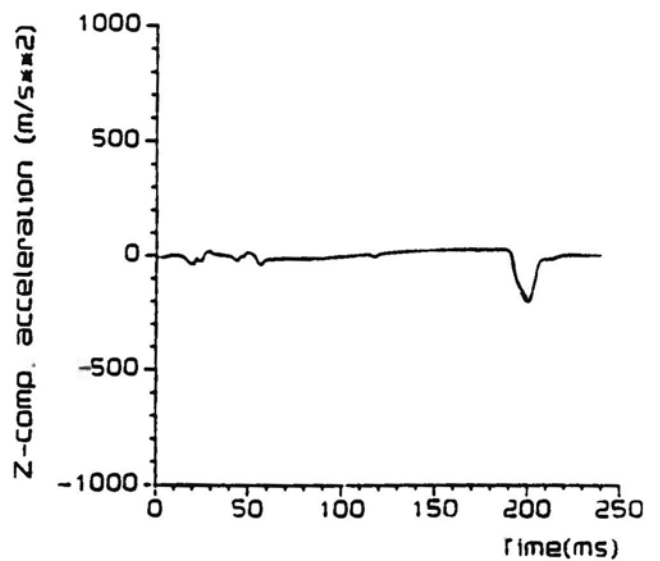
PELVIS



PELVIS



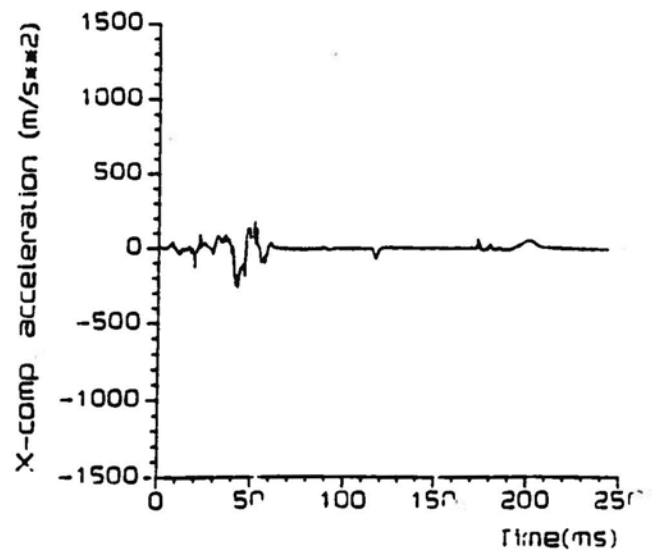
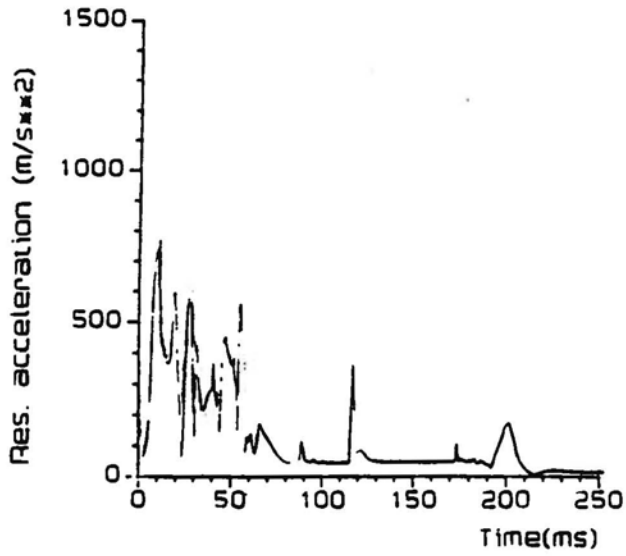
PELVIS



KNEE LEFT

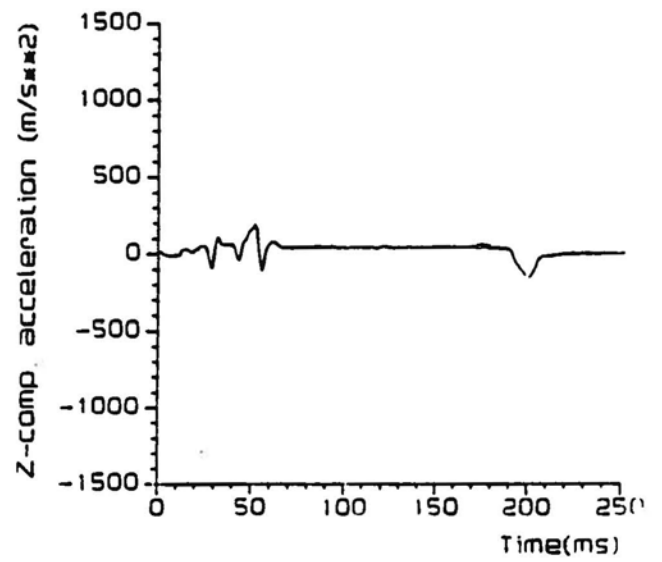
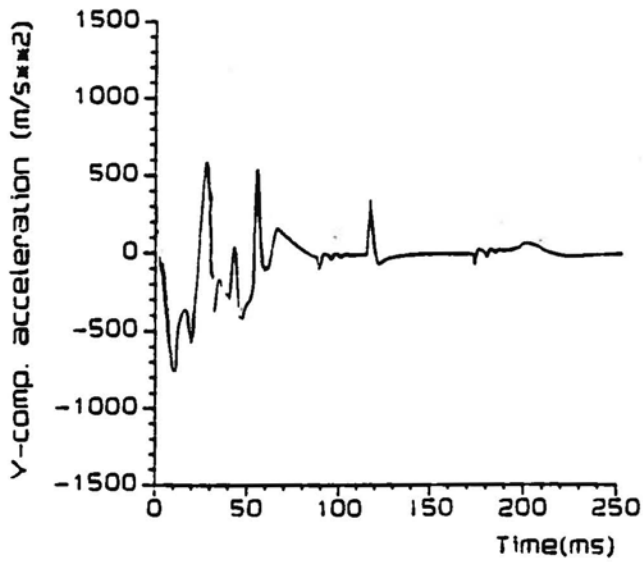
R U N 306

KNEE LEFT



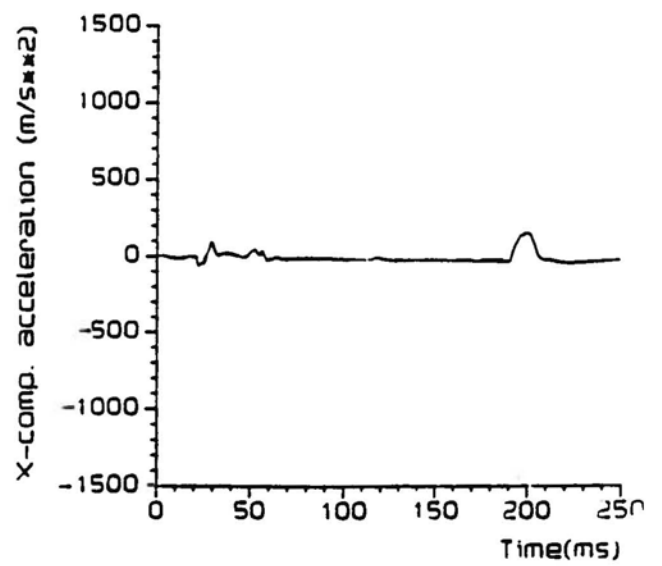
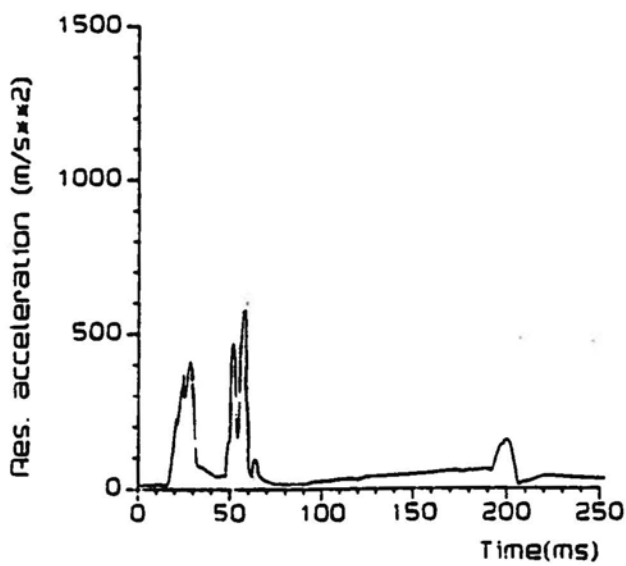
KNEE LEFT

KNEE LEFT



KNEE RIGHT

KNEE RIGHT



RESULTATEN SIMULATIES

BIJLAGE 5

Simulatie- nummer		Snelheid hoofd (m/s)	Max. vertragingen (result.)				Opmerkingen
SWOV	TNO		hoofd (g)	borst (g)	heup (g)	knie (g)	
1	105	5,8	75	23	30	75	
2	205	12,1	240	50	40	40	
3	306	8,3	105	40	21	57	
4	406	10,7	140	58	22	84	
5	505	10,9	215	48	32	68	
6	607	11,8	180	58	45	45	
7	702	5,6	72	16	15	75	
8	801	10,7	175	40	43	70	
9	900	4,6	70	37	56	165	
10	1001	8,3	39	37	40	170	
11	1100	7,4	55	15	38	118	
12	1200	12,6	140	55	28	110	
13	1300	13,1	260	95	53	63	
14	1401	9,0	120	23	24	120	
15	1501	15,1	240	65	70	65	
16	1600	9,1	55	18	20	80	fiets: 20 km/uur *)
17	1700	19,2	130	60	25	65	fiets: 20 km/uur *)
18	1800	14,7	52	25	18	40	fiets: 20 km/uur *)
19	1900	9,0	89	40	18	82	
20	2000	4,0	63	120	30	115	
21	2100	6,9	60	77	44	105	
22	2200	5,2	90	170	54	150	
23	2300	9,5	70	92	90	150	
24	2400	6,8	150	92	65	220	
25	2501	11,1	50	36	60	200	
26	2600	9,3	30	37	15	110	fiets: 20 km/uur *)
27	2700	7,2	135	52	78	200	fiets: 20 km/uur
28	2800	4,7	62	40	55	220	
29	2900	4,0	55	45	90	160	
30	3001	6,2	95	68	55	160	
31	3100	12,8	255	63	42	40	niet remmen
32	3200	8,6	110	41	22	77	niet remmen
33	3300	12,2	230	44	30	90	achteraanrijding
34	3400	7,4	85	40	23	65	achteraanrijding
35	3500	9,8	120	57	23	70	"duiken" gesim.

*) hoofd naast motorkap

Resultaten run IW 205 en IW 2000.

BIJLAGE 6

