

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Methode	4
2.1	Aanpak.....	4
2.2	Definitie scenario's.....	5
2.3	Simulaties.....	11
2.4	Definitie protectieniveau.....	15
2.5	Analyse	22
2.6	Pass - Fail Criterium	23
3	Resultaten analyse	25
3.1	Resultaten simulatiestudie	25
3.2	Analyse	43
4	Discussie	49
4.1	Aanpak.....	49
4.2	Definitie scenario's.....	49
4.3	Definitie protectieniveau.....	50
4.4	Simulaties.....	51
4.5	Analyse	52
5	Samenvatting en Conclusie	53
5.1	Aanpak.....	53
5.2	Relevante ongevalsscenario's	53
5.3	Simulaties.....	54
5.4	Letselrisicocriteria en helmprotectieniveau.....	54
5.5	Analyse	54
5.6	Conclusie	56
6	Handtekening	57
7	Literatuur	58
Appendix A	Notulen Expertsessie Snorfietshelm, 27 januari 2021	61
Appendix B	Expertsessie Snorfietshelm – terugkoppeling snelheidsverdeling.....	68

1 Inleiding

Naar aanleiding van de voorgenomen helmplicht voor snorfietsers [1] leeft bij het Ministerie van IenW de vraag of, naast de bromfietshelm, ook de speed-pedelec-helm (in het vervolg SEPAC-helm, Speed Electrical Power Assisted Cycle) toegepast kan worden als een veilig alternatief ter voorkoming van hoofdletsel voor alle snorfietsen. In een voorgaande verkennende, karakteristieke studie op basis van analogie is onderzocht of een SEPAC-helm geschikt is voor gebruik voor een deel van de snorfietspopulatie, namelijk voor de historische snorfiets en het gemotoriseerd rijwiel [2]. De conclusie van deze studie was dat de SEPAC-helm afdoende bescherming biedt tegen eventueel hoofdletsel op de historische snorfiets en het gemotoriseerd rijwiel. Naar aanleiding van dit onderzoek wil het Ministerie van IenW laten onderzoeken of de SEPAC-helm ook voldoende veilig is voor de gehele snorfietspopulatie (dus niet enkel de historische snorfiets en het gemotoriseerd rijwiel), of dat voor de gehele snorfietspopulatie een bromfietshelm geadviseerd moet worden.

Het doel van deze studie is om het Ministerie van IenW inzicht te geven in het hoofdbeschermingspotentieel voor bestuurders van snorfietsen van zowel een SEPAC-helm (gegeven de bestaande normering NTA 8776: 2016) als een bromfietshelm (gegeven de bestaande normering ECE R22.05). Dit inzicht kan het Ministerie helpen bij beantwoording van de vraag of naast de bromfietshelm, ook de SEPAC-helm toegepast kan worden als een veilig alternatief ter preventie van hoofdletsel voor bestuurders van alle snorfietsen.

In deze studie wordt middels een simulatieanalyse inzicht gegeven in het beschermingspotentieel van beide typen helmen. In de simulatie zijn voor hoofdletselrisico relevante ongevalsscenario's geselecteerd en nagebootst. Deze scenario's zijn gebaseerd op data uit literatuur en geverifieerd in een expertsessie. De simulatieresultaten geven inzicht in het risico op hoofdletsel. Het risico op hoofdletsel voor de snorfietsers (met verschillende typen helmen) wordt vervolgens vergeleken met dat van de bromfietser om te bepalen of de SEPAC-helm als veilig alternatief toegepast kan worden voor alle snorfietsen ter preventie van hoofdletsel. In deze studie is alleen gekeken naar het letselrisico en de potentiële bescherming van het hoofd van de bestuurder van de snorfiets in het geval van een ongeval. Letsels aan overige lichaamsdelen vallen buiten de scope van dit onderzoek. Eventuele bijrijders zijn eveneens niet onderzocht in deze studie. Wanneer in dit rapport wordt verwezen naar de snorfietsers (of bromfietser), wordt dus de bestuurder van het voertuig bedoeld.

Dit rapport is als volgt gestructureerd: In hoofdstuk 2 is de gebruikte methode beschreven en in hoofdstuk 3 de resultaten. Een discussie over de gekozen aanpak en verschillende stappen van de studie is te vinden in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies uit deze studie.

2 Methode

In dit hoofdstuk is omschreven hoe de studie is vormgegeven. Een overzicht van de aanpak is beschreven in paragraaf 2.1. Vervolgens worden de verschillende stappen van de studie toegelicht in paragraaf 2.2 t/m 2.5. De resultaten worden beschreven hoofdstuk 3.

2.1 Aanpak

2.1.1 *Wat is veilig?*

Het Ministerie van IenW heeft TNO gevraagd te onderzoeken of naast de bromfietshelm, ook de SEPAC-helm toegepast kan worden voor alle snorfietzers, als een veilig alternatief ter preventie van hoofdletsel.

Om hierover een uitspraak te kunnen doen moet eerst vastgesteld worden wat als “veilig” beschouwd wordt. Het is niet eenvoudig hier een eenduidig antwoord op te geven. Is een helm veilig als er geen enkel (licht) hoofdletsel optreedt, bij welk ongeval dan ook, of zijn enkele (licht-) gewonden per jaar acceptabel? Om deze reden is ervoor gekozen het hoofdbeschermingspotentieel van de SEPAC-helm of bromfietshelm voor de snorfietser te bepalen ten opzichte van het hoofdbeschermingspotentieel van de bromfietshelm voor de bromfietser. Deze vergelijking is dus gebaseerd op de aanname dat de bromfietshelm voldoende hoofdbeschermingspotentieel biedt voor de bromfiets (en dus veilig is).

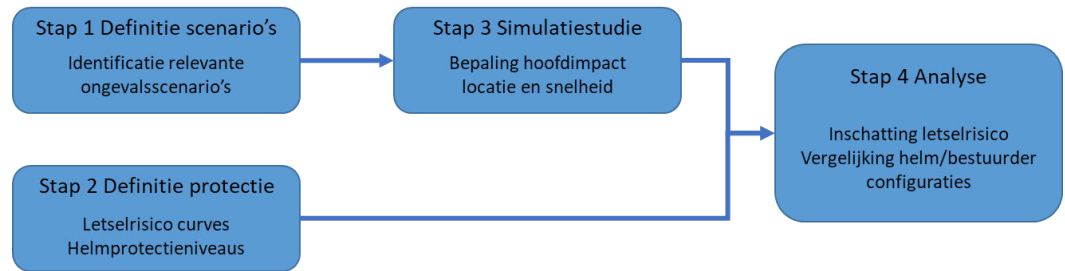
In dit onderzoek wordt in geval van een SEPAC-helm verwezen naar de norm NTA 8776:2016 en bij een bromfietshelm naar de norm ECE R22.05. Deze laatste is recentelijk vervangen door de ECE R22.06, echter voldoet het overgrote deel van de bromfietshelmen welke nu in omloop zijn aan de ECE R22.05.

2.1.2 *Simulatiestudie*

Het hart van deze studie zijn simulaties waarin verschillende soorten ongevallen van de bestuurder van de snorfiet en bromfiets worden doorgerekend. Vanwege het chaotische gedrag van een ongeluk (een kleine verandering in initiële condities kan een groot verschil in resultaat opleveren) is een groot aantal simulaties vereist om een eerlijk en nauwkeurig beeld van de ongevalskinematica te krijgen. Dit vereiste zorgt ervoor dat de simulaties snel doorgerekend moeten kunnen worden. De precieze krachtenoverdracht van de grond/object via de helm naar het hoofd is een complexe berekening. Dit betekent dat de helmen zelf niet kunnen worden meegenomen in de simulaties en het effect van de helm achteraf moet worden bepaald. Om dit te doen is een literatuurstudie en een helmtestserie nodig die de verbinding legt tussen de hoofdimpactsnelheid en -locatie, als resultaat uit de simulaties, en het risico op hoofdletsel. Om te bepalen in welke ongevalsscenario's snor- of bromfietzers terecht komen wordt voorafgaand aan de simulaties een literatuurstudie naar deze scenario's voorzien.

2.1.3 *Stappen in simulatiestudie*

De studie kan onderverdeeld worden in 4 stappen. Een overzicht van deze stappen is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Overzicht van de stappen in de simulatiestudie

Stap 1 heeft als doel een goed beeld te krijgen van de relevante ongevalsscenario's voor zowel snorfietzers als bromfietzers. Deze ongevalsscenario's kunnen vervolgens worden gebruikt in de simulatiestudie om simulatiescenario's op te zetten, welke zullen resulteren in hoofdimpactsnelheden en -locaties (Stap 3). Parallel aan stap 1 wordt onderzocht welke letselcriteria gebruikt kunnen worden die representatief zijn voor hoofd-/hersenletsel, en wordt voor deze letselcriteria het beschermingsniveau van de verschillende helmtypen bepaald (Stap 2). In Stap 4 (Analyse) worden de resultaten uit de simulatiestudie (Stap 3) en definitie van mate van protectie (Stap 2) gecombineerd om een inschatting te kunnen maken van het risico op hoofdletsel, voor zowel bromfietzers als snorfietzers (deze laatste met SEPAC-helm, dan wel bromfietshelm).

2.2 Definitie scenario's

Om een beeld te krijgen van het (hoofd)letselrisico dat snor- en bromfietzers lopen, is het belangrijk om te weten in welke ongevalsscenario's zij typisch terecht komen. Dit is de input voor de simulatiestudie waarin de hoofdimpactsnelheid en -locatie worden berekend.

Bij het definiëren van relevante ongevalsscenario's wordt niet alleen naar het type scenario gekeken (bijvoorbeeld eenzijdig ongeval, of ongeval met een andere verkeersdeelnemer), maar wordt ook gezocht naar de parametervariëaties die kenmerkend zijn voor dit scenario (bijvoorbeeld (een verdeling van) de snelheid waarmee de snor- of bromfietser rijdt, of de frictie van het wegdek).

De gevonden relevante ongevalsscenario's worden onderverdeeld in een beperkt aantal, gegeneraliseerde, simulatiescenario's. Door middel van de eerder genoemde variatie in parameters wordt gegarandeerd dat het merendeel van de relevante ongevalsscenario's meegenomen wordt.

Het onderscheid tussen de gegeneraliseerde simulatiescenario's wordt gemaakt op basis van een te verwachten verschil in val-kinematica van de bestuurder van de snor-/bromfiets. Zo kan het zijn dat twee verschillende scenario's uit de ongevalsliteratuur (bijvoorbeeld een frontale botsing of kop-staart botsing met een auto), in eenzelfde simulatiescenario ondervangen worden (met een verschillende impactsnelheid / vorm waarmee gebotst wordt), omdat de val-kinematica vergelijkbaar is in deze ongevalsscenario's. Andersom kan het voorkomen dat een ongevalsscenario dat in de literatuur beschreven wordt als één scenario (bijvoorbeeld aanrijding met een auto), voor de val-kinematica in twee verschillende scenario's gesplitst wordt (een snorfietser die in de flank van een auto rijdt resulteert in een ander val-kinematica dan wanneer de snorfietser in de flank wordt aangereden door de auto).

Om tot een relevante scenariodefinitie te komen is gebruik gemaakt van een beknopte literatuurstudie en een expertsessie. De literatuurstudie is gebruikt om een eerste indicatie te krijgen van relevante ongevalsscenario's voor snor- en bromfietzers, en de parametervariëaties binnen deze scenario's. De expertsessie is gebruikt om deze bevindingen te spiegelen met relevante experts en deze waar nodig aan te vullen of aan te scherpen.

De literatuurstudie en expertsessie zijn beschreven in paragraaf 2.2.1 en 2.2.2, respectievelijk. De afgeleide simulatiescenario's worden vervolgens beschreven in paragraaf 2.2.3.

2.2.1 *Literatuurstudie*

Bij het literatuuronderzoek is voornamelijk (maar niet uitsluitend) gezocht op informatie over gedrag en betrokkenheid bij ongevallen van snor- en bromfietzers binnen Nederland.

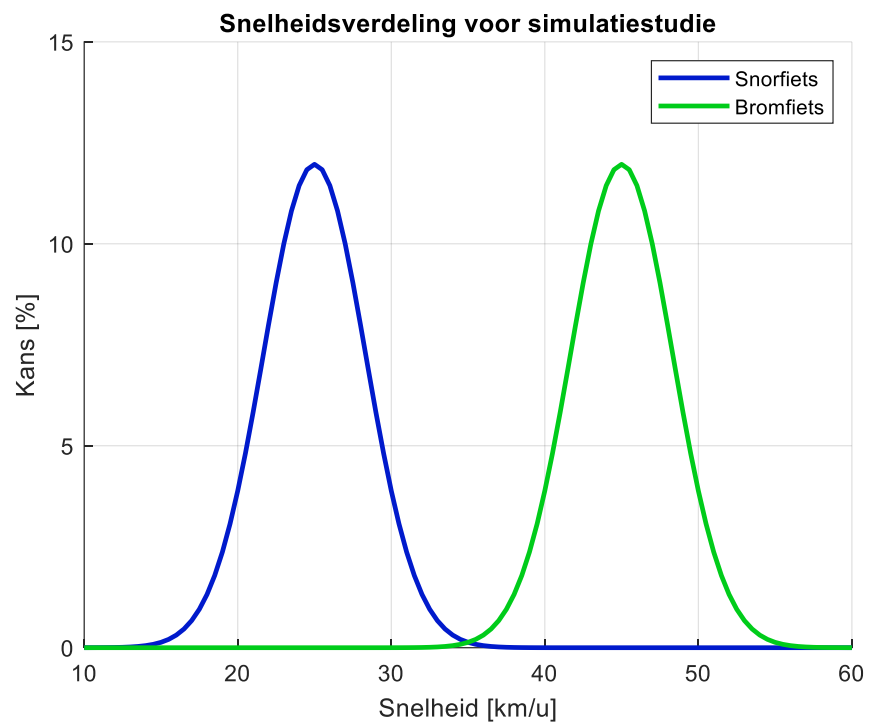
Daarnaast is de openbaar beschikbare data uit BRON gebruikt [3].

Uit literatuur komt naar voren dat naast meezijdige ongevallen, een aanzienlijk aandeel van de snor- en bromfietsongevallen enkelzijdige ongevallen betreft [3][4][5][6][7][8][9][10][11]. Bij meezijdige ongevallen (grotendeels 2 betrokken partijen) is de tegenpartij in geval van ongevallen met snor- en bromfietzers veelal een (bestel)auto [3][4][6][8][9][10][11]. Een groot deel hiervan betreft een flank-aanrijding (bijvoorbeeld op een kruispunt of rotonde, door afslaand verkeer, of verkeer uit een uitrit), of kop-staart aanrijdingen (veelal op een wegvak) [3][6][8][10][11]. Bij enkelzijdige ongevallen zijn botsingen met stilstaande objecten (bijvoorbeeld paaltjes) te zien, of het uit balans raken door een uitwijkmanoeuvre (voor andere verkeersdeelnemer of infrastructureel object) of plotselinge remactie [4][8][10][12][11].

Glad of nat wegdek komt in enkele gevallen voor [3][4][8].

Duidelijke verschillen tussen ongevalsscenario's voor snorfietzers en bromfietzers zijn niet gevonden in de literatuur.

Een belangrijke parameter in de scenariodefinitie is de gereden snelheid van de snor- en bromfietzers, omdat verwacht wordt dat deze een groot effect heeft op het letselrisico (een hogere snelheid betekent meer energie in het systeem, welke bij een botsing met object of grond geabsorbeerd moet worden). Snelheidsverdelingen voor snor- en bromfietzers zijn o.a. gemeten in Amsterdam [13] en Utrecht [14]. Voor snorfietzers is een vergelijkbare gemiddelde snelheid van 30-35 km/u gevonden in andere onderzoeken [5][6][15][16]. De gemiddelde snelheid voor de bromfietzers loopt in onderzoeken echter sterk uiteen (gemiddeld 37 km/u in [13] tot gemiddeld 54 km/u in [16]). Een eenduidige snelheidsverdeling opmaken uit deze gemeten data is, met name voor de bromfietzers, daardoor lastig. Om een eerlijk vergelijk te maken tussen letselrisico van snor- en bromfietzers is het wel belangrijk om een, op eenzelfde manier representatieve, snelheidsverdeling voor zowel brom- als snorfietzers te gebruiken. Om deze reden is in deze studie gekozen om de vergelijking in letselrisico te maken op basis van wettelijke toegestane snelheden. Met andere woorden, deze studie maakt een vergelijking van beschermende potentieel van SEPAC- en bromfietshelm voor de snorfietser, in vergelijking met de bromfietshelm voor de bromfietser, bij de snelheid waarvoor het voertuig bedoeld is. Als snelheidsverdeling is gekozen voor een normaalverdeling met gemiddelde de constructiesnelheid (25 km/u voor snorfietzen, 45 km/u voor bromfietzen) en 3*standaard deviatie op 10 km/u, zie Figuur 2.



Figuur 2 Snelheidsverdeling voor bromfietsen en snorfietsen welke gebruikt wordt in de simulatiestudie

2.2.2 *Expertsessie*

Op woensdag 27 januari 2021 heeft TNO een online expertsessie georganiseerd om input voor de scenariodefinitie te krijgen. Bij deze expertsessie zijn afgevaardigden uitgenodigd uit verschillende disciplines; verkeersveiligheid (SWOV, VeiligheidNL), gebruikersgroepen (RAI), gemeenten (Amsterdam), homologatie (TASS International) en letselchirurgen (UMCG). De notulen van deze expertsessie zijn bijgevoegd in Appendix A.

Tijdens de expertsessie is een eerste voorstel van 4 simulatiescenario's besproken, om te bepalen of deze worden herkend door de deelnemende experts als belangrijkste ongevalsscenario's voor snor- en bromfietzers. Daarnaast is er na de expertsessie additionele literatuur aangeleverd door de experts welke is gebruikt in het verder specificeren van de (parameter)variëaties in de simulatiescenario's. Ongevalsscenario's die niet uit de (beknopte) literatuurstudie naar boven kwamen maar wel genoemd zijn in de expertsessie, zijn bijvoorbeeld "uit de bocht vliegen" of "tegen een stoerprand aanrijden".

In de expertsessie zijn geen duidelijke verschillen naar voren gekomen tussen ongevalsscenario's voor bromfietzers en snorfietzers (vergelijkbaar met bevinding uit de literatuurstudie).

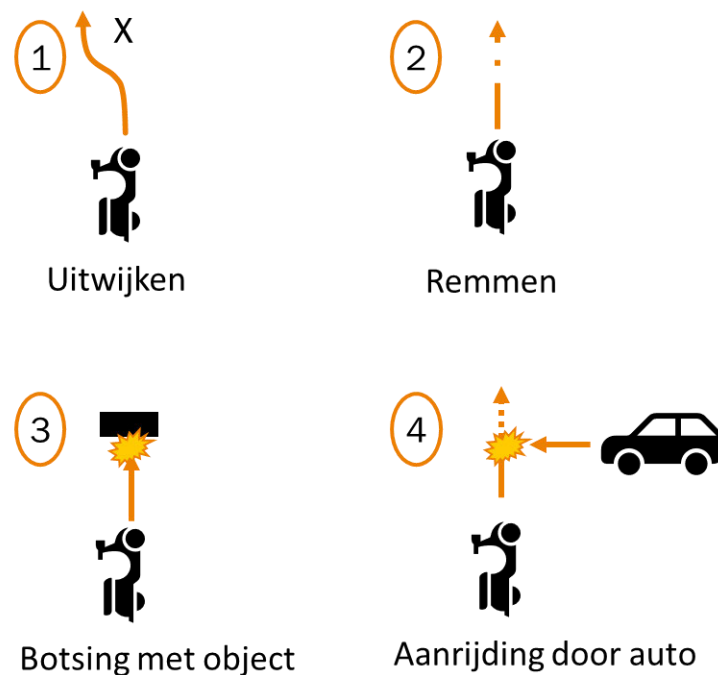
Hoewel er tijdens de expertsessie nog vanuit werd gegaan dat er als snelheidsverdeling voor de snor- en bromfietzers gekeken zou worden naar gemeten data op de openbare weg, bleek deze data in een later stadium onvoldoende beschikbaar (zie paragraaf 2.2.1). De experts zijn op de hoogte gebracht van deze wijziging in input voor de simulatiestudie (Appendix B).

2.2.3 *Simulatiescenario's*

Op basis van de literatuurstudie en expertsessie zijn 4 simulatiescenario's gedefinieerd, welke schematisch zijn weergegeven in Figuur 3. In paragraaf 2.2.3.1

t/m 2.2.3.4 worden de parametervariëaties in deze simulatiescenario's toegelicht en wordt aangegeven welke ongevalsscenario's daarmee worden gemodelleerd. Vervolgens worden in paragraaf 2.2.3.5 parametervariëaties besproken welke in alle vier de simulatiescenario's gevarieerd worden. De simulatiemodellen voor deze simulatiescenario's worden in meer detail besproken in paragraaf 2.3.1.

Zoals reeds genoemd in paragraaf 2.2.1 en 2.2.2 zijn er geen significante verschillen gevonden tussen ongevalsscenario's voor snor- of bromfietzers. Om die reden zullen de gekozen parameterwaarden steeds gebruikt worden voor zowel een bromfiets-simulatie als een snorfiets-simulatie (waarbij de snelheid uiteraard wel verschillend is, zie paragraaf 2.2.3.5).



Figuur 3 Scenario's gebruikt in de simulatiestudie

2.2.3.1 Simulatiescenario 1: Uitwijken

Het eerste scenario beschrijft een snor- of bromfietser die een uitwijkmanoeuvre uit moet voeren, daarbij evenwicht verliest en ten val komt. Er zijn in dit scenario geen andere objecten / verkeersdeelnemers gesimuleerd waarmee de snor-/bromfietser in aanraking kan komen.

De uitwijkmanoeuvre wordt in het simulatiemodel gemodelleerd als een ruk aan het stuur naar links of rechts, d.m.v. het opleggen van een initiële snelheid op de stuurhoek. Hoe hard deze ruk aan het stuur is, wordt gevarieerd (initiële hoeksnelheid uniform verdeeld tussen 10 rad/s en 20 rad/s, in beide richtingen).

Met dit scenario worden eenzijdige ongevallen gemodelleerd, waarbij de bestuurder uit moet wijken voor een andere verkeersdeelnemer, of een obstakel op de weg. Daarnaast benadert dit scenario ook het "uit de bocht vliegen", zoals genoemd in de expertsessie.

2.2.3.2 Simulatiescenario 2: Remmen

Het tweede scenario beschrijft een snor- of bromfietser die een (harde) remactie uitvoert, waardoor de bestuurder uit evenwicht raakt en ten val komt. Net als in

scenario 1 zijn in dit scenario geen andere objecten aanwezig waarmee de snor- of bromfiets in aanraking kan komen.

Het (harde) remmen wordt in het simulatiemodel gemodelleerd als het blokkeren van beide wielen.

Met dit scenario worden eenzijdige ongevallen gemodelleerd, waarbij de bestuurder een (plotselinge) reactie uit moet voeren (bijvoorbeeld om aanrijding met een andere verkeersdeelnemer of infrastructureel object te voorkomen). Meer algemeen benadert dit simulatiescenario het uit balans raken, zonder dat daar een (significante) stuuractie aan ten grondslag ligt.

2.2.3.3 *Simulatiescenario 3: Botsing met object*

In het derde scenario wordt botsing met een stilstaand, vast object gesimuleerd. Afhankelijk van de grootte van het object kan de bestuurder over het object heen vallen of juist er tegenaan. Het is ook mogelijk dat het voertuig het object slechts schampt waardoor deze uit balans raakt en omvalt.

De belangrijkste variatieparameters in dit simulatiescenario zijn de afmetingen van het object. De hoogte van het object is variabel tussen 0.1m en 1.8m. De breedte van het object varieert tussen 0.2m en 2m. Zowel hoogte als breedte van het object zijn uniform verdeeld tussen de genoemde grenswaarden en worden onafhankelijk van elkaar gekozen. De dikte van het object (in de rijrichting van het voertuig) is minder relevant voor de val-kinematica en wordt daarom constant gehouden (0.2m). Naast afmetingen van het object wordt ook de rijrichting van het voertuig gevarieerd. Daardoor rijdt de snor-/bromfiets niet alleen loodrecht op het object af, maar ook onder een hoek. Deze hoek wordt gevarieerd tussen -30° en $+30^\circ$ t.o.v. een loodrechte rijrichting tegen het object. Door de startpositie van het voertuig te variëren wordt ook het raakpunt van het voertuig met het object gevarieerd.

Met dit simulatiescenario wordt een breed scala aan ongevalsscenario's ondervangen, zoals een aanrijding met een infrastructureel object (paaltje, (lage) muur, stoeprand, uitstekende stoeptegels), of een andere (zwaardere) verkeersdeelnemer (zowel in de flank als een kop-staart of frontale aanrijding).

2.2.3.4 *Simulatiescenario 4: Aanrijding door auto*

Het laatste scenario beschrijft een aanrijding van de snor- of bromfiets in de flank, door een auto. Beide voertuigen hebben een voorwaartse snelheid in dit scenario.

Voor dit scenario is de auto vereenvoudigd tot een vorm voor de voorkant (motorkap) en voorruit, met een breedte van 1.8m. De motorkap is 70cm hoog en bevindt zich 15cm boven de grond. Dit is gebaseerd op de MPDB barrier (Mobile Progressive Deformable Barrier) die wordt gebruikt in Euro NCAP frontale botstesten [17]. De snelheid van de auto varieert van 10 km/u tot 30 km/u (uniform verdeeld).

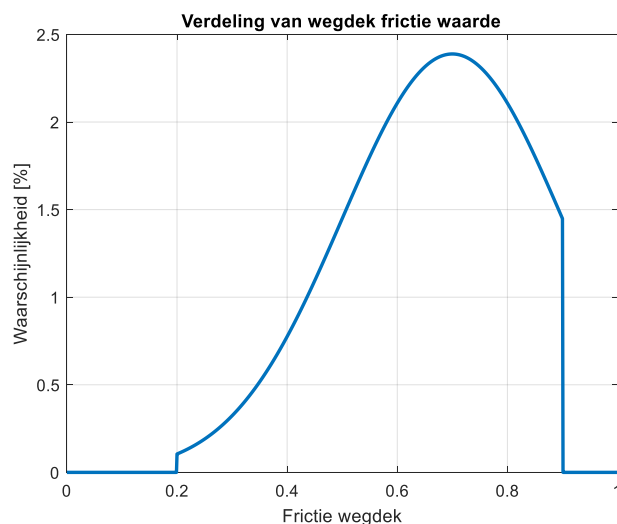
Naast snelheid van de auto wordt ook gevarieerd in het raakpunt van de snor-/bromfiets op de voorkant van de auto (uniform verdeeld over de breedte van de motorkap) en de rijrichting van de snor-/bromfiets t.o.v. het pad van de auto gevarieerd (uniform verdeeld tussen loodrecht t.o.v. het pad van de auto tot 30° richting de auto gedraaid).

Dit simulatiescenario ondervangt flank-aanrijdingen door (bestel)auto's, bijvoorbeeld op kruispunten, rotondes, of een uitrit. Om die reden is de snelheid van de auto relatief laag gekozen.

2.2.3.5 *Algemene parametervariëaties*

Naast de genoemde parametervariëaties in de verschillende simulatiescenario's, zijn er ook enkele parametervariëaties die gelijk zijn in alle vier de scenario's, namelijk:

- **Initiële snelheid** van de snor- of bromfiets; normaal verdeeld rondom constructiesnelheid (zoals besproken in paragraaf 2.2.1, Figuur 2). De snelheid wordt per simulatie gekozen door uniform te samplen in de percentielen (0 tot 100 percentiel). Vervolgens wordt dezelfde percentiel-waarde gebruikt in zowel de bromfiets-simulatie als de snorfiets-simulatie. Bijvoorbeeld; wanneer de 50 percentiel gekozen wordt, resulteert dit voor de snorfiets-simulatie in een initiële snelheid van 25 km/u en voor de bromfiets-simulatie in een initiële snelheid van 45 km/u.
- **Frictie** van het wegdek (om verschillende typen wegdek en mate van gladheid te modelleren); normale verdeling met gemiddelde 0.7 [-] (droog asfalt), een standaard deviatie van 0.2, met een minimum van 0.25 (sneeuw) en een maximum van 0.9 (banden met groot contactoppervlak op droog asfalt). Deze verdeling is afgebeeld in Figuur 4.
- **Houding** van de bestuurder; in de houding van de bestuurder worden kleine variaties gemaakt in:
 - zitpositie (benen niet altijd precies in het verlengde van het voertuig, maar ook gedraaid in een kleine hoek tot 9°, zowel naar links als rechts, uniform verdeeld)
 - hoek van de onderrug (neutrale houding zoals in Figuur 5 tot iets meer rechtop (12° naar achter t.o.v. neutraal) of naar voren (+28° naar voren t.o.v. neutraal), uniform verdeeld)
 - oriëntatie van nek / hoofd (neutrale houding zoals in Figuur 5 tot iets naar achteren gebogen (-12°) of naar voren gebogen (+46°), uniform verdeeld).
- **Laterale beweging** van het voertuig; het voertuig rijdt niet altijd precies rechtdoor, maar kan ook een (flauwe) bocht aan het maken zijn. Hiervoor wordt de laterale acceleratie van het voertuig gekozen uit een uniforme verdeling tussen -0.25 G en 0.25 G (gebaseerd op naturalistisch fietsgedrag [18]). Aan de hand van de gekozen laterale acceleratie worden de stuurhoek, de hang-hoek van de bestuurder en voertuig, en de hoeksnelheid van het voertuig bepaald, op basis van een eenvoudig fietsmodel [19].



Figuur 4 Verdeling waaruit de frictie van het wegdek voor de simulaties gesampled wordt.

2.3 Simulaties

De simulaties zijn opgedeeld in de verschillende simulatiescenario's zoals gedefinieerd in paragraaf 2.2.3. In deze simulatiescenario's zullen de simulaties worden uitgevoerd door middel van de Monte Carlo simulatiemethode. Dit betekent dat voor iedere simulatiescenario niet één maar vele simulaties worden uitgevoerd met andere startcondities. De startconditie voor iedere simulatie wordt bepaald door op een willekeurige manier voor iedere parameter variatie met bijbehorende verdeling (paragraaf 2.2.3.1 t/m 2.2.3.5) een waarde te kiezen. Het resultaat van al deze simulaties geeft op deze manier het hele gebied van mogelijke uitkomsten weer en geeft dus een zo volledig mogelijk beeld van wat er kan gebeuren in een ongevalsscenario. Omdat de simulatiescenario's voor snorfietsen en bromfietsen hetzelfde zijn, is er voor gekozen dat voor iedere startconditie zowel de snorfiets- als bromfiets simulatie wordt doorgerekend, waarbij het enige verschil dus de initiële snelheid is. Het voordeel hiervan is dat er per simulatie een verschil in letselrisico kan worden berekend, wat verder zal worden besproken in paragraaf 2.5. Het is wenselijk dat voor simulatiescenario 3 en 4 meer simulaties worden uitgevoerd, omdat in deze scenario's meer parameters worden gevarieerd.

Om deze vele simulaties mogelijk te maken wordt er gebruik gemaakt van het MADYMO software pakket. Hierin is het mogelijk om alle componenten in het model te definiëren als niet deformeerbare objecten, wat de doorrekeningsnelheid zeer hoog maakt. Zowel de bestuurder en snor-/bromfiets worden gerepresenteerd door middel van een ellipsoïde model. Het gevalideerde model van de bestuurder is gebaseerd op een gemiddelde man. Voor zowel de snorfiets als de bromfiets is hetzelfde type simulatiemodel gekozen. Dit is gebaseerd op een eerdere simulatiestudie van TNO waarin op een karakteristieke manier het valmechanisme is bestudeerd [47]. Het betreft een scootertype, waarvan zowel de wielen als het stuur kan draaien om zo een realistisch gedrag met de grond te creëren. Bovendien is het mogelijk om de voorvork te buigen om een frontale botsing te modelleren (welke is gevalideerd aan de hand van high-speed camera's). De totale massa van het model is 98,2kg, wat overeenkomt met de massa van een verscheidenheid aan scootertype snor- en bromfietsen die momenteel op de weg rijden. Zowel het model van de bestuurder als de snor-/bromfiets is te zien in Figuur 5.

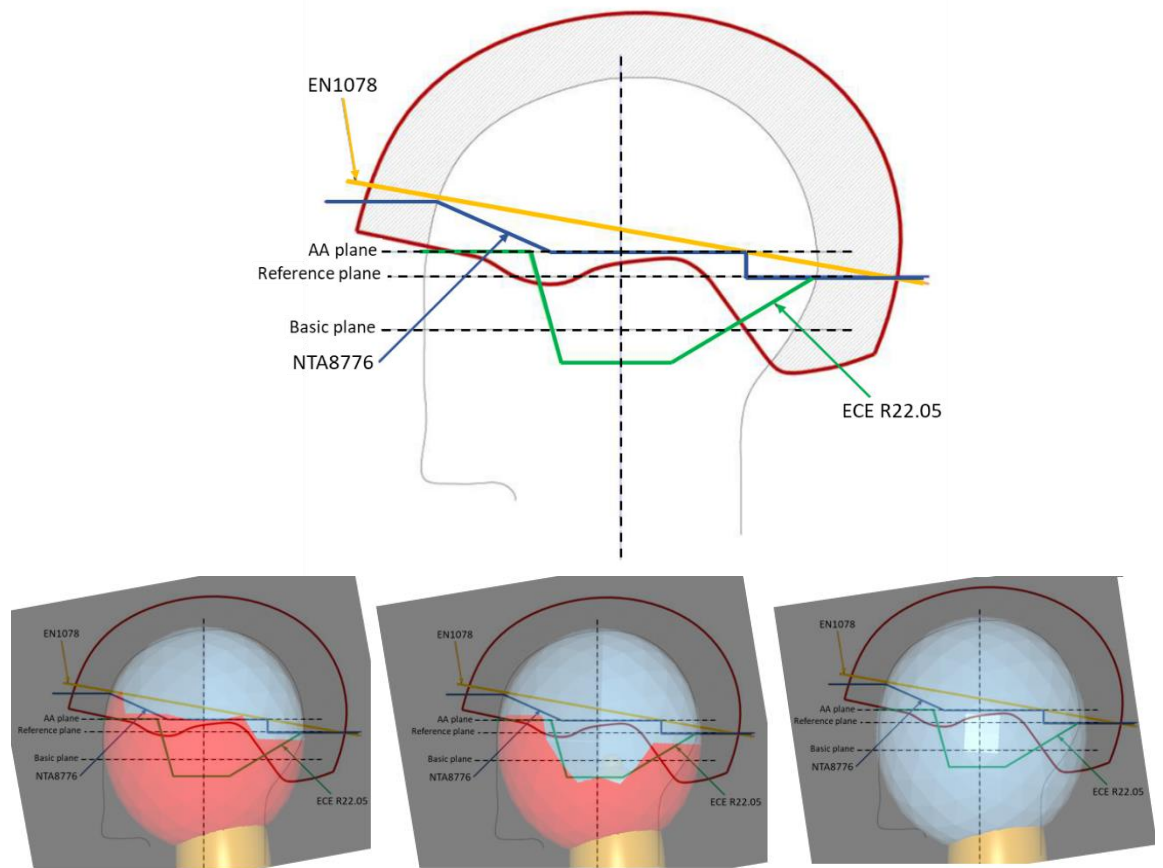
Uit iedere simulatie volgt de snelheid en de locatie van het hoofd op het moment van impact, welke met de resultaten uit stap 2 (paragraaf 2.4) kunnen worden vertaald in risico op hoofdletsel. De hoofdimpactsnelheid wordt zowel berekend door de botsing met de grond als met een eventueel object (scenario 3 en 4, paragraaf 2.2.3.3 en 2.2.3.4, resp.). Voor de uiteindelijke analyse wordt de hoogste snelheid uit deze twee impacts gekozen. Om de simulatietijd te beperken, wordt de simulatie 200ms na de botsing met de grond gestopt. Simulaties die na 4 seconden nog geen botsing van het hoofd met de grond hebben (omdat ze bijvoorbeeld boven op hun voertuig terecht komen) worden om dezelfde reden gestopt. In dit laatste geval zal de hoofdimpactsnelheid uit de simulatie 0 m/s zijn.



Figuur 5 Model van bestuurder en snor/bromfiets zoals gebruikt in de simulatiestudies.

De hoofdimpactlocatie is de plek op het hoofd waarmee als eerste contact is bij de botsing. Deze is opgedeeld in voorkant, achterkant, links en rechts. Bovendien zijn de onbeschermden delen van het hoofd, voor zowel de SEPAC-helm (NTA 8776) en bromfietshelm (R22.05) gedefinieerd in het model om een onbeschermd ongeval te kunnen identificeren (Figuur 6) [46]. Hiervoor is er aan het ellipsoïde model een extra laag toegevoegd precies over de oppervlakte van het hoofd. Deze laag is opgedeeld in kleine vakjes. Voor ieder van deze vakjes is bepaald of deze in het beschermende deel van de helm vallen, per type helm (blauwe vakjes in Figuur 6), of buiten het beschermd deel van de helm (rode vakjes in Figuur 6).

Opgemerkt wordt dat de eisen in de genoemde normen de minimale eisen zijn en dat helmfabrikanten kunnen kiezen voor een groter beschermingsgebied (zoals bijvoorbeeld de integraalhelm voor de R22.05 norm voor bromfietshelmen). Het is in deze studie niet onderzocht in hoeverre fabrikanten van de SEPAC-helm kiezen voor een groter beschermingsgebied dan de NTA 8776 norm voorschrijft. Om deze reden is voor de SEPAC-helm alleen het blauwe deel in Figuur 6 beschermd gekozen. Voor de bromfietshelm zal zowel de minimale bescherming als een volledige bescherming meegenomen worden, zoals te zien is in midden en rechts in van Figuur 6.



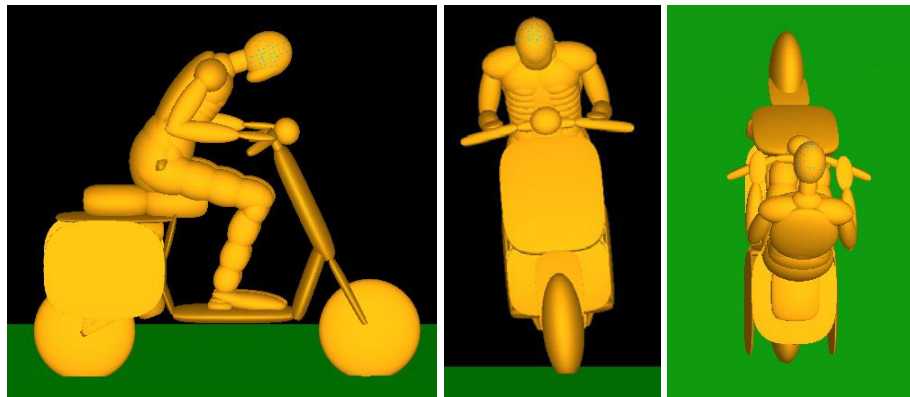
Figuur 6 Boven: Delen van het hoofd die beschermd moeten worden volgens de bromfietsnorm (R22.05, groen) en SEPAC-helm (NTA 8776, blauw). De rode lijn is een voorbeeld SEPAC-helm uit [46] (niet gebruikt in deze studie). Onder links: in lichtblauw het deel van het hoofd dat minimaal beschermd moet worden door een SEPAC-helm, onder midden: in lichtblauw het deel dat minimaal beschermd moet worden door een bromfietshelm volgens norm ECE R22.05, en onder rechts in lichtblauw het deel dat beschermd wordt bij dragen van een integraalhelm volgens R22.05 (het gehele hoofd).

2.3.1 Simulatiemodellen per scenario

Het simulatiemodel van de brom-/snorfiets (Figuur 5) is hetzelfde in de 4 simulatiescenario's. Afhankelijk van welk scenario wordt gesimuleerd kunnen extra variaties toegevoegd worden (zoals beschreven in paragraaf 2.2.3). Hieronder wordt per simulatiescenario een voorbeeld gegeven hoe het complete simulatiemodel (dus brom-/snorfiets en omgeving) eruit ziet. Het voorbeeld gaat voornamelijk in op zichtbare parameters. De initiële snelheid van het voertuig, of gladheid van het grondoppervlak, zijn bijvoorbeeld niet te zien in een figuur.

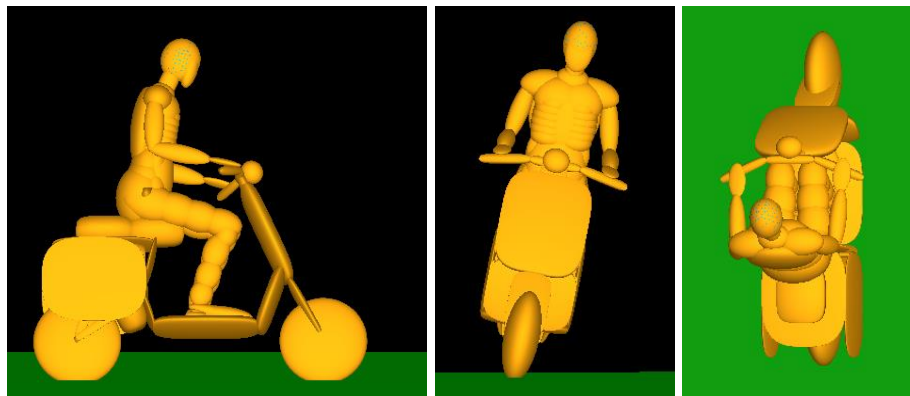
In Figuur 7 is een voorbeeld van het simulatiemodel gebruikt in scenario 1 (Uitwijken), aan de start van de simulatie. In deze simulatie zit de bestuurder naar voren gebogen in de onderrug (25°), en in de nek (30°), ten opzichte van de neutrale houding van de bestuurder zoals in zoals in Figuur 5. De laterale acceleratie is voor deze simulatie gekozen op 0.08 G, waardoor de bestuurder en voertuig een beetje naar rechts hangen (4.7°) en het stuur een kleine hoek maakt naar rechts (0.5° in geval van de bromfiets simulatie). Deze laatste is door de kleine hoek niet te zien in de figuur. Het voertuig rijdt hier dus vrijwel rechtuit. Gedurende de simulatie zal dat uiteraard veranderen als de bestuurder een ruk aan het stuur geeft (zoals uitgelegd in

paragraaf 2.2.3.1 gemodelleerd door het opleggen van een initiële hoeksnelheid op het stuur), in dit geval van 12 rad/s.



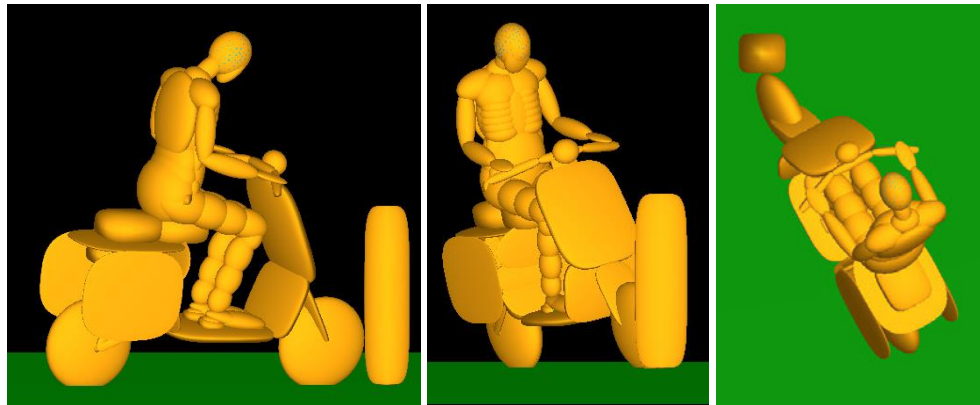
Figuur 7 Voorbeeld simulatiemodel in scenario 1; Uitwijken

In Figuur 8 is een voorbeeld van het simulatiemodel gebruikt in scenario 2 (Remmen), aan de start van de simulatie. De houding van de bestuurder is hier ongeveer de neutrale positie uit Figuur 5 (alleen de nek is iets naar voren gebogen, +13°). De laterale acceleratie voor deze simulatie is -0.19 G. Dit is in de figuur terug te zien in de hanghoek naar links (11°), welke is afgeleid van de laterale acceleratie. De kleine stuurhoek (4.7° in geval van de bromfiets simulatie) is minder goed te zien in de figuur.



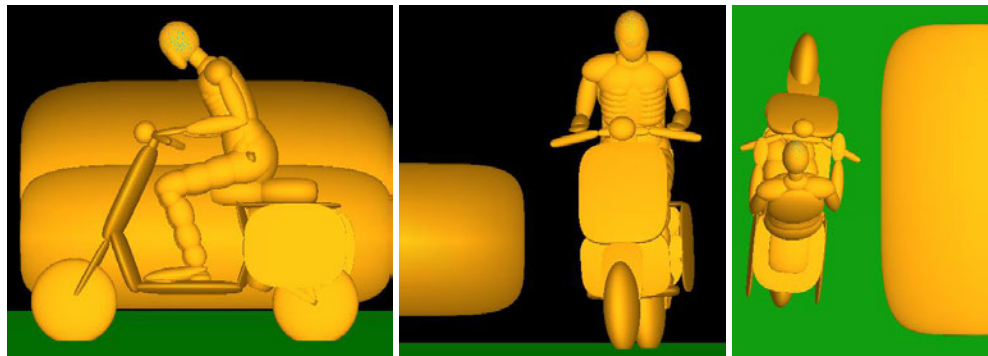
Figuur 8 Voorbeeld simulatiemodel in scenario 2; Remmen

Figuur 9 laat een voorbeeld zien van een simulatiemodel uit scenario 3 (Botsing met object) aan de start van de simulatie. In vergelijking met de neutrale positie uit Figuur 5 zit de bestuurder hier iets meer rechtop (rug 7° naar achter). De nek is voorovergebogen (+41° t.o.v. de neutrale positie). De laterale acceleratie is in deze simulatie gesampled op 0.24 G, de bestuurder maakt hier dus een bocht. Dit is terug te zien in de hanghoek van de bestuurder en voertuig (13° naar rechts). Voor de bromfiets simulatie komt dit neer op een stuurhoek van 1.0°. Het object in deze simulatie is 24 cm breed en 80 cm hoog (diepte standaard 20 cm, zoals beschreven in paragraaf 2.2.3.3). De rijrichting naar het object is in deze simulatie 29° t.o.v. loodrecht tot het object (goed te zien in Figuur 9, rechts.)



Figuur 9 Voorbeeld simulatiemodel in scenario 3; Botsing met object

Tenslotte laat Figuur 10 de start van een simulatie zien uit scenario 4; Aanrijding door auto. De bestuurder zit in deze simulatie iets verder voorovergebogen dan in de neutrale positie ($+14^\circ$). Ook de nek is $+14^\circ$ naar voren gebogen. Verder zit de bestuurder hier iets naar links gedraaid (8° , het best te zien in de rechter figuur). De laterale acceleratie in deze simulatie is 0.4 G, wat betekent dat de bestuurder zo goed als rechtdoor rijdt. De rijrichting van de brom-/snorfiets is 6° gedraaid t.o.v. loodrecht op de rijrichting van de auto. In dit voorbeeld raakt de brom-/snorfiets de auto op ongeveer een kwart van de rechterkant van de motorkap.



Figuur 10 Voorbeeld simulatiemodel in scenario 4; Aanrijding door auto

2.4 Definitie protectieniveau

Omdat de precieze krachtenoverdracht van een helm op het hoofd niet te modelleren is in het vereenvoudigde simulatiemodel (waarmee snel gerekend kan worden, zoals genoemd in paragraaf 2.1.2), wordt het beschermend effect van een helm buiten de simulaties bepaald.

De simulaties geven als output een hoofdimpactsnelheid en -locatie terug. Het doel van de stap "Definitie protectieniveau" is om een overdrachtsfunctie te bepalen van de hoofdimpactsnelheid (en -locatie), naar risico op hoofdletsel. Risico op letsel wordt in de letselbiomechanica bepaald aan de hand van letselcriteria. Deze letselcriteria maken het mogelijk om risico op letsel in te schatten aan de hand van meetbare, kinematische data (zoals hoofdimpactsnelheid).

Er wordt in deze studie vanuit gegaan dat de helm op de juiste manier wordt gedragen en dat de integriteit van de helm intact is (dus niet doorgedragen bij een eerdere val of ongeval).

De aanpak van deze stap is als volgt: Allereerst wordt er middels een literatuurstudie gezocht naar geschikte letselcriteria voor hoofdletsel (paragraaf 2.4.1). Vervolgens wordt er in de literatuur gezocht naar bestaande overdrachtsfuncties van hoofdimpactsnelheid (en -locatie) naar letselrisico, voor de helmen gebruikt in deze studie (SEPAC-helm (NTA 8776) en bromfietshelm (R22.05)) (paragraaf 2.4.2). Omdat uit deze literatuurstudie is gebleken dat informatie voor dergelijke overdrachtsfuncties onvoldoende beschikbaar zijn, zijn helmtesten uitgevoerd om de overdrachtsfuncties (helmprotectieniveau) te bepalen (paragraaf 2.4.3).

2.4.1 Literatuurstudie letselcriteria

In de literatuur zijn verschillende letselcriteria beschikbaar voor voorspellen van hoofd-/hersenletsel. Sommige daarvan zijn gebaseerd op lineaire bewegingen (LA/TA [20][21], HIC [20][22][24][25][26]), rotationele bewegingen (RA [27][28], RV [29][30], BrIC [31][32], RIC [33], PRHIC [33], UBrIC [35], RVCI [36]), of een combinatie van die twee (HIP [37], CC [34], GAMBIT [38], KLC [39], BITS [40], DAMAGE [41]).

Van deze criteria is HIC (Head Injury Criteria [22]) de meest gangbare en breed gedragen letselcriterium voor hoofdletsel. Omdat dit criterium gebaseerd is op lineaire versnellingen en geen rekening houdt met rotationele bewegingen (die wel degelijk een effect hebben op, met name, hersenletsel [31]) wordt daarnaast vaak het Brain Injury Criterium (BrIC, [32]) voorgesteld [42].

In deze studie wordt daarom zowel naar HIC als naar BrIC gekeken bij het bepalen van het letselrisico uit de simulatieresultaten. De formules om HIC en BrIC te berekenen staan in vergelijking [1] en [2].

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

Waar t_1 en t_2 zijn de start- en eindtijd van een 15 ms tijdsperiode (in geval van HIC15, welke in deze studie wordt gebruikt), $a(t)$ is de resulterende versnelling in het zwaartepunt (center of gravity, CoG) van het hoofd in de drie hoofdrichtingen (x , y en z) in g .

$$BrIC = \sqrt{\frac{\max(|\omega_x|)^2}{66.25 \text{ rad/s}} + \frac{\max(|\omega_y|)^2}{56.45 \text{ rad/s}} + \frac{\max(|\omega_z|)^2}{42.87 \text{ rad/s}}} \quad [2]$$

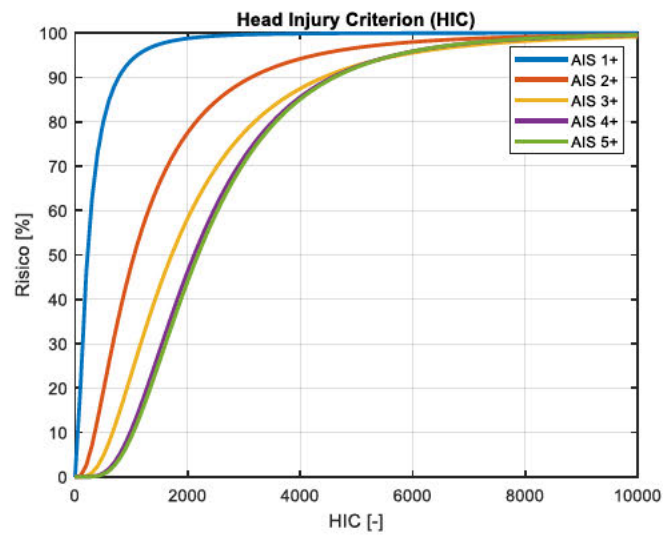
Waar ω_x , ω_y , en ω_z zijn de rotationele snelheid van het hoofd rondom zijn x -, y -, en z -as, respectievelijk.

Voor zowel HIC15 als BrIC zijn letselrisicocurves beschikbaar voor verschillende niveaus van letselernst (zogenaamde AIS-niveaus, Abbreviated Injury Scale). In deze schaal staat een AIS1 voor licht letsel (zoals hoofdpijn of een gebroken neus), een AIS5 staat voor kritisch letsel (zoals coma, of grote hersenbloeding), zie Tabel 1 [50].

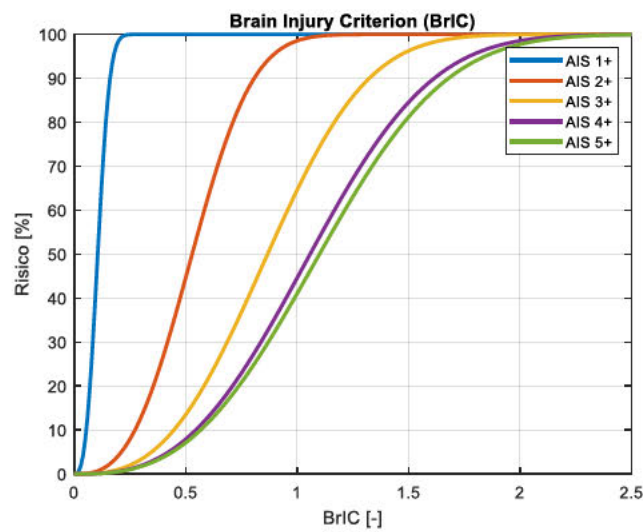
Tabel 1 AIS niveaus voor hoofd / hersenletsel (voorbeelden)

AIS	Niveau	Omschrijving
1	Licht	Hoofdpijn, duizeligheid, gebroken neus
2	Matig	Bewusteloos < 1u, simpele breuk
3	Serius	Bewusteloos < 6u, complexe breuk
4	Ernstig	Open breuk, kleine bloeding
5	Kritisch	Coma, grote bloeding

De letselrisicocurves voor HIC15 en BrIC die gebruikt worden in deze studie, voor de verschillende AIS-niveaus, zijn weergegeven in Figuur 11 en Figuur 12, respectievelijk. Hier zijn de curves te zien voor de AIS X+ risico's, wat betekent een risico van AIS X (1 t/m 5) of hoger.



Figuur 11 Letselrisicocurves voor Head Injury Criterion (HIC15) uit [22]

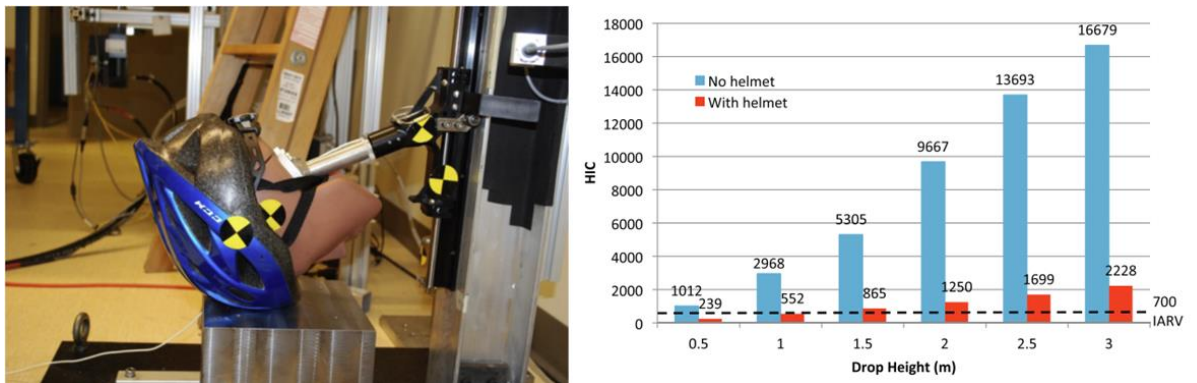


Figuur 12 Letselrisicocurves voor Brain Injury Criterion (BrIC) uit [32]

2.4.2 Literatuurstudie helmprotectieniveau

Om het letselrisico in te kunnen schatten aan de hand van de hoofdimpactsnelheid (en -locatie) uit de simulaties zijn overdrachtsfuncties nodig die het verband leggen tussen de hoofdimpactsnelheid en beide letselcriteria uit paragraaf 2.4.1, HIC15 en BrIC, voor de twee typen helmen die onderzocht worden in deze studie (SEPAC-helm (NTA 8776) en bromfietshelm (R22.05)).

In de literatuur blijkt deze informatie beperkt beschikbaar. Een studie die een dergelijke overdrachtsfunctie heeft bepaald voor één type fietshelm is die van [Beval persoonsgeve](#) et al. [43]. In deze studie zijn valtesten gedaan op een stalen blok met een Hybrid III headform van 0.5 tot 3m hoogte, in stappen van 0.5m met en zonder helm, met één type fietshelm (V15 Backtrail, Reebok-CCM Hockey, Montreal, QC, Canada). In Figuur 13 is de testopstelling voor deze testen te zien (links), alsook de gemeten HIC15 waarden met en zonder helm voor verschillende val hoogtes weergegeven in een grafiek (rechts). Valhoogtes kunnen worden omgerekend naar een impactsnelheid waardoor deze grafiek als overdrachtsfunctie kan worden gebruikt van impactsnelheid naar HIC15. De impactlocatie op het hoofd is in deze studie voor alle testen op het voorhoofd.

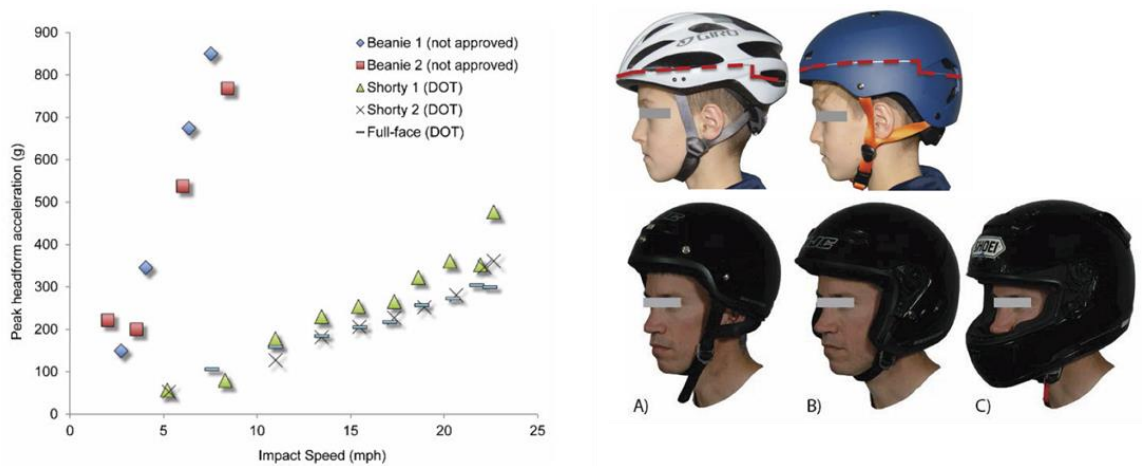


Figuur 13 Testopstelling (links) en resultaten (rechts) uit onderzoek van [Beval persoonsgeve](#) et al [43]

[Beval persoonsgeve](#) et al [45] toont verschillende piek lineaire acceleraties van het hoofd op basis van valtesten voor verschillende impact snelheden met 5 verschillende soorten helmen, waaronder 3 bromfiets (motor) helmen. De resultaten en verschillende typen helmen gebruikt in deze studie zijn te zien in Figuur 14.

[Beval persoonsgeve](#) [44] beschrijft een studie met drie verschillende fietshelmen. Deze studie laat zien dat de gemeten HIC15 bij eenzelfde valhoogte niet alleen verschillend is voor verschillende helmen, maar ook afhankelijk is van de locatie waarop de helm (met hoofd) terecht komt.

Er kan worden geconcludeerd dat in de literatuur te weinig informatie te vinden is om rechtstreeks kwalitatieve conclusies te trekken over het beschermingsniveau van verschillende helmen. Er kan wel worden geconcludeerd dat helmen een bescherming bieden voor hoofdletsel en dat het beschermingsniveau verschillend is voor verschillende soorten en merken helmen. Uit een beknopt TNO onderzoek, uitgevoerd voor het opzetten van de NTA 8776, blijkt verder dat dezelfde helm verschillende bescherming kan bieden afhankelijk van de daadwerkelijke impactlocatie op de helm [46].



Figuur 14 Piek hoofdacceleratie voor verschillende impactsnelheden bij gebruik van verschillende typen helmen uit het onderzoek van [Sevat persico et al \[44\]](#)

Om tot een overdrachtsfunctie te komen die het helmprotectieniveau van de gesimuleerde ongelukken zonder helm, vertaalt naar letselrisico's met helm, worden daarom additionele helmtesten uitgevoerd die in de volgende paragraaf verder worden beschreven.

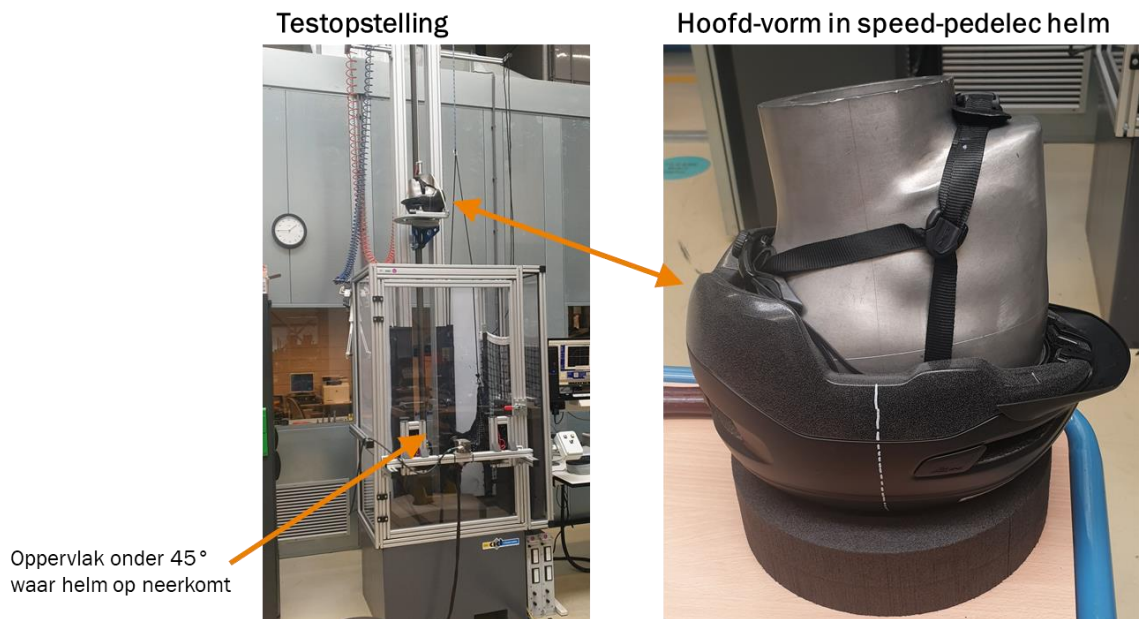
2.4.3 Helmtesten

De helmtesten uitgevoerd in deze studie hebben als doel een overdrachtsfunctie te maken tussen impactsnelheid en de letselcriteria HIC15 en BrIC. Omdat uit de literatuurstudie is gebleken dat de impactlocatie invloed kan hebben op deze overdrachtsfunctie zal deze worden bepaald op verschillende locaties op de helm. Hiervoor is gekozen voor standaard impactlocaties bij helmtesten: de voorkant, achterkant en zijkant (omdat symmetrie wordt aangenomen wordt alleen de linker zijkant getest).

De helmtesten zijn uitgevoerd door een daarvoor geaccrediteerd laboratorium (TASS International, Helmond). Bij deze testen valt de helm, met een hoofdvorm, van een gecontroleerde hoogte op een oppervlak. Tijdens de impact kunnen verschillende parameters (waaronder HIC15 en BrIC) in de hoofdvorm worden gemeten. Door de valhoogte te variëren kunnen verschillende impactsnelheden bereikt worden.

De testen zijn uitgevoerd met een schuin impactoppervlak (45° t.o.v. de valrichting, zogenaamde oblique impact), zodat de helm bij impact ook een rotationele versnelling (draaibeweging) krijgt en het mogelijk is in 1 test zowel de HIC15 als de BrIC te bepalen. Deze testopstelling is te zien in Figuur 15. Deze opstelling kan betrouwbaar en reproduceerbaar impactsnelheden produceren tussen 3.9 m/s en 9.4 m/s.

Voor de testen zijn per type helm (SEPAC-helm (NTA 8776) en bromfietshelm (R22.05)), twee verschillende helmen getest (in totaal dus 4 helmen). Voor zowel de bromfietshelm als de SEPAC-helm is gekozen voor een "Goed presterende" en "Minder goed presterende" helm. In het geval van de bromfietshelm is deze afweging gemaakt op basis van de Sharp helm [48]. Omdat een dergelijke rating niet beschikbaar is voor de SEPAC-helmen is hiervoor een keuze gemaakt op basis van adviezen van SEPAC gebruikers (online reviews) en consultatie met een homologatie expert. Figuur 16 laat de verschillende soorten helmen zien die zijn gebruikt in deze studie. Omdat iedere helm maximaal 1 keer per locatie getest kan worden zijn meerdere helmen van dezelfde soort gebruikt in deze testserie.



Figuur 15 Testopstelling voor helmtesten (links) en close-up van de hoofdvorm met in één van de SEPAC-helmen (rechts).

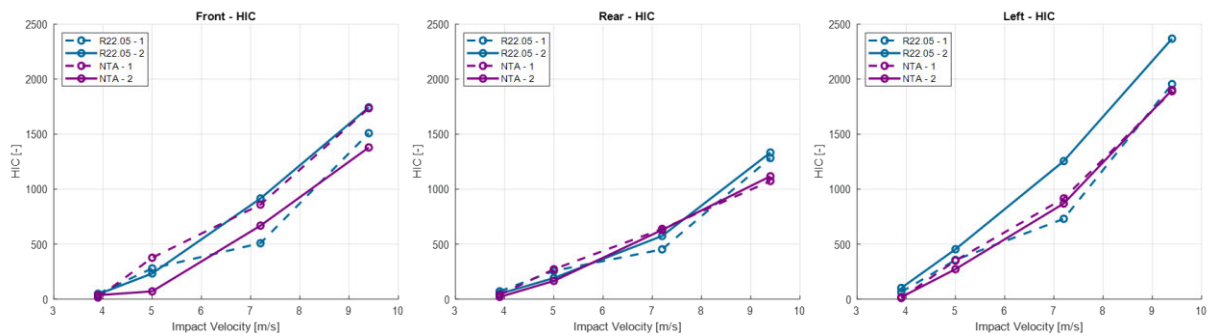


Figuur 16 Verschillende soorten helmen gebruikt in deze testserie; twee soorten bromfietshelmen, de HJC C70 (linksboven) en LS2 FF384 (rechtsboven) en twee soorten SEPAC-helmen, de Abus Pedelec 2.0 ACE (linksonder) en MET Grancorso (rechtsonder).

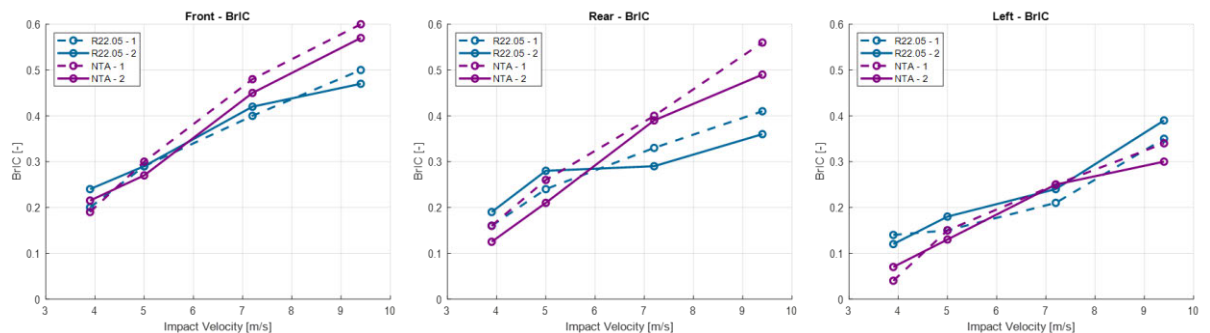
Voor iedere soort helm zijn testen uitgevoerd met de volgende impactsnelheden: 3.9, 5.0, 7.2 en 9.4 m/s. De resultaten voor de gemeten HIC15 en BrIC bij deze impactsnelheden, op de verschillende impactlocaties zijn weergegeven in Figuur 17 en Figuur 18 voor HIC15 en BrIC, respectievelijk. De overdrachtsfunctie wordt op basis van deze resultaten bepaald door een lineaire functie te fitten door de gemeten datapunten.

Voor HIC15 (Figuur 17) is in de testresultaten voor alle impactlocaties geen duidelijk verschil tussen de bromfietshelmen (blauw) en SEPAC-helmen (paars). Voor HIC15 wordt daarom per impactlocatie één generieke overdrachtsfunctie gekozen voor beide type helmen.

Voor BrIC (Figuur 18) is in de testresultaten voor alle impactlocaties wel een verschil te zien tussen de bromfietshelmen (blauw) en SEPAC-helmen (paars). Voor BrIC is daarom één overdrachtsfunctie per impactlocatie voor zowel de bromfietshelmen als de SEPAC-helmen.



Figuur 17 Helmttestresultaten: HIC15 waarden voor verschillende impactsnelheden op locaties voorkant ("Front", links), achterkant ("Rear", midden) en linker zijkant ("Left", rechts), voor de bromfietshelmen (blauw) en SEPAC-helmen (paars).

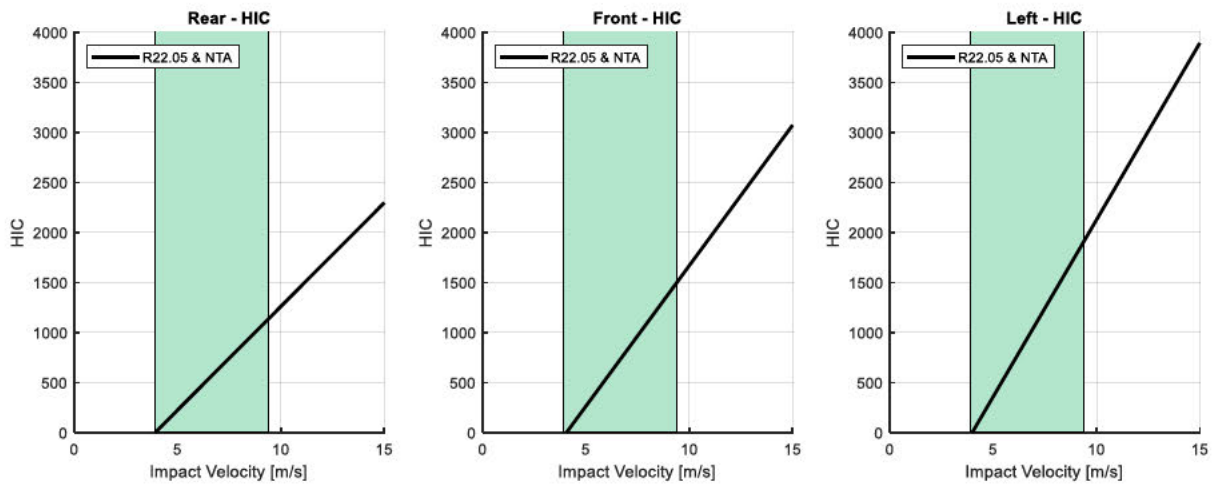


Figuur 18 Helmttestresultaten: BrIC waarden voor verschillende impactsnelheden op locaties voorkant ("Front", links), achterkant ("Rear", midden) en linker zijkant ("Left", rechts).

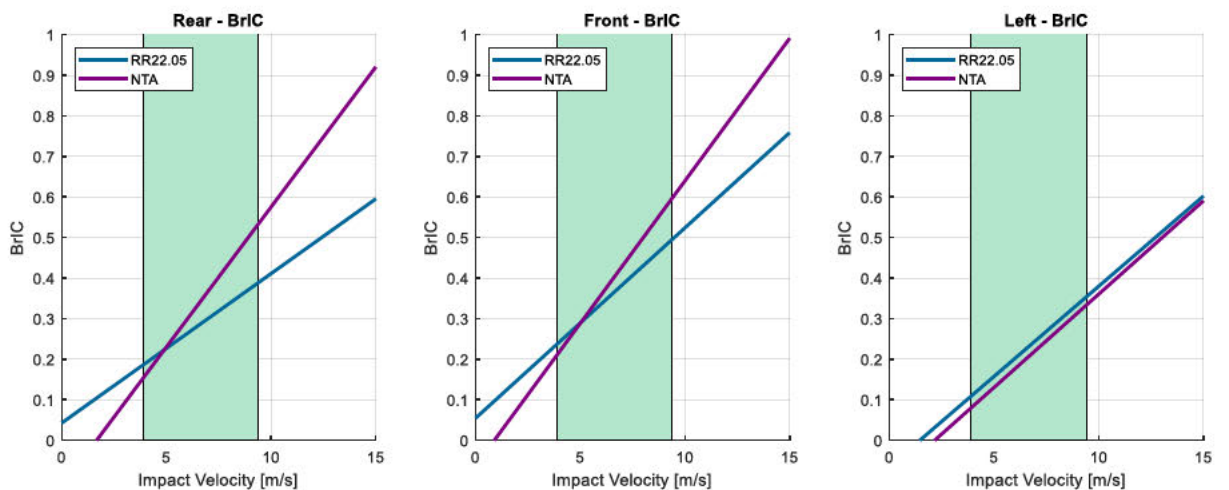
De overdrachtsfuncties voor HIC15 en BrIC zijn te vinden in Figuur 19 en Figuur 20, respectievelijk. Het groene gebied markeert de range van impactsnelheden waarin is getest (grenzen van de opstelling). Daarbuiten is de overdrachtsfunctie geëxtrapoleerd.

In de overdrachtsfuncties van HIC15 is te zien dat bij een hoofdimpactsnelheid onder de 4 m/s, de HIC15 een waarde heeft van 0.

In de overdrachtsfuncties voor BrIC (Figuur 20) is te zien dat de SEPAC-helm voor lagere impactsnelheden, op de voor- en achterkant van de helm, beter beschermt voor rotationele bewegingen dan de bromfietshelm (lagere BrIC). Iets boven een hoofdimpactsnelheid van 5 m/s ligt het omslagpunt; daarboven dempt een bromfietshelm de impact beter.



Figuur 19 Overdrachtsfuncties van impactsnelheid naar BrIC, voor de drie locaties, op basis van een lineaire fit in de helmtestdata, bromfietshelm (R22.05) en SEPAC-helm (NTA) gecombineerd.



Figuur 20 Overdrachtsfuncties van impactsnelheid naar BrIC voor de, voor de drie locaties, op basis van een lineaire fit in de helmtestdata, voor bromfietshelm (R22.05) en SEPAC-helm (NTA).

2.5 Analyse

In deze paragraaf wordt beschreven op welke manier de resultaten uit de simulatiestudie gecombineerd met de gekwantificeerde helmprotectieniveaus leidt tot een antwoord op de vraag of de SEPAC-helm als voldoende veilig kan worden beschouwd voor snorfietzers.

Zoals in paragraaf 2.2.3 is genoemd zijn alle simulaties van de snorfiet en bromfiets uitgevoerd met dezelfde startconditie (dezelfde waarden uit de parameter variaties). Het enige verschil is de initiële snelheid, welke wel is gebaseerd op dezelfde percentiel. Als er dus een startconditie wordt gecreëerd met een initiële snelheidspercentiel van 50%, wordt er op basis van Figuur 2 voor de snorfiet 25 km/h en voor de bromfiets 45 km/h gekozen.

De laterale acceleratie wordt net als de andere parameter variaties gelijk gekozen voor de snor- en bromfiets-simulatie. Zoals uitgelegd in paragraaf 2.2.3.5 worden de andere parameters gerelateerd aan het maken van een (flauwe) bocht berekend op basis van deze laterale acceleratie. Omdat de snelheid van snor- en bromfiets verschillend is, zal de stuurhoek bij de bromfiets in dezelfde simulatie kleiner zijn dan voor de snorfiets (om dezelfde laterale acceleratie te voelen heb je bij een lagere snelheid een kortere bocht nodig).

Het voordeel van het gelijk houden van de startcondities voor snor- en bromfietser is dat je op deze manier een simulatiecombinatie van de snorfiets en bromfiets creëert, waarbij het verschil in letsel per simulatiecombinatie kan worden berekend. De stappen in de analyse zijn dus als volgt (per startconditie in een gekozen simulatiescenario):

- Bereken de hoofdimpactsnelheid en -locatie voor zowel de snorfiets- als bromfiets-simulatie.
- Bereken op basis van de helm overdrachtsfuncties (Figuur 19 en Figuur 20) de HIC15 en BrIC waarde voor beide simulaties. Gebruik voor het onbeschermd deel van het gezicht (rode vlakken in Figuur 6) de waarde direct uit de simulatie.
- Bereken op basis van de letselrisicocurves het letselrisico voor de verschillende letselniveaus (AIS 1-5).
- Bereken het verschil in letselrisico voor de snorfietser en bromfietser per letselniveau.

Door dit te doen voor alle startcondities in een gekozen simulatiescenario kan er een verdeling worden gemaakt van het verschil in letselrisico voor de snorfietser en bromfietser voor de verschillende combinaties helmen. Voor alle letselniveaus (AIS 1-5) en beide letselcriteria (HIC15 en BrIC) zal er in deze studie een vergelijk worden gemaakt tussen, aan de ene kant de referentie bromfiets/helm combinatie:

1. De bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm)
2. De bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm (Figuur 6):

en aan de andere kant de te onderzoeken snorfiets/helm combinatie:

- a. De snorfietser met volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm)
- b. De snorfietser met minimaal beschermende bromfietshelm (Figuur 6)
- c. De snorfietser met minimaal beschermende SEPAC-helm (Figuur 6)

Het combineren van opties voor de bromfietser (1. of 2.) en de snorfietser (a., b., of c.) geeft in totaal 6 vergelijkingen.

2.6 Pass - Fail Criterium

Om te bepalen of een snorfiets/helm combinatie als veilig kan worden beschouwd ten opzichte van de referentie bromfiets/helm combinatie worden de volgende criteria opgelegd:

- Het merendeel van de simulatiecombinaties geeft een gelijk of lager letselrisico voor snorfiets/helm combinatie (dus 50% of meer) ten opzichte van de referentie.
- De totale verwachting van de simulatiecombinaties geeft een gelijk of lager letselrisico voor snorfiets/helm combinatie ten opzichte van de referentie.

Het eerste criteria geeft aan dat bij een gelijk letselrisico 50% van de simulaties een hoger letselrisico geeft en 50% een lager letselrisico. Het is dus niet de gedachte dat iedere simulatie een gelijke of lager letselrisico moet geven om volledig veilig te zijn. Er zijn namelijk simulaties waarbij bijvoorbeeld de bromfietser geen botsing met het hoofd heeft, terwijl de snorfietser dat wel heeft, of andersom.

- Als aan dit eerste pass-fail criterium wordt voldaan heeft de snorfiets/helm combinatie een gelijk of lager letselrisico per ongeval ten opzichte van de referentie bromfiets/helm combinatie.

Het tweede criterium geeft aan dat het gemiddelde letselrisico (verwachtingswaarde over langere termijn) lager moet zijn voor de snorfiets/helm combinatie. Hierbij wordt dus niet alleen gekeken of het letselrisico hoger of lager is, maar ook hoeveel hoger en lager dit risico is. Dit criterium bestaat om uit te sluiten dat, hoewel het merendeel van de situaties een lager risico heeft, de hogere letselrisico's groter zijn dan de lagere letselrisico's kleiner zijn.

- Als aan dit criterium wordt voldaan heeft de snorfiets/helm combinatie een gelijk of lager letselrisico over alle ongevallen ten opzichte van de referentie bromfiets/helm combinatie.

3 Resultaten analyse

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de simulatiestudie besproken. Er zullen per simulatiescenario algemene observaties worden gemaakt van de kinematica en hoofdimpactsnelheid en -locatie. Vervolgens wordt voor de combinatie bromfiets - volledig beschermende bromfietshelm met snorfiets - SEPAC-helm (uit de 6 combinatie mogelijkheden zoals genoemd in paragraaf 2.5) de gedetailleerde analyse gedaan voor het AIS2+ letsel niveau voor zowel de HIC15 als BrIC letselcriteria. Deze gedetailleerde analyse is beschreven in paragraaf 3.1. Uiteindelijk zal het resultaat van de volledige analyse (alle 6 de combinaties uit paragraaf 2.5, voor de verschillende letselniveaus (AIS1+ t/m AIS5+)), zoals staat beschreven in paragraaf 2.6, worden gepresenteerd (paragraaf 3.2).

3.1 Resultaten simulatiestudie

Tabel 2 laat per simulatiescenario zien hoeveel simulatiecombinaties zijn uitgevoerd. In totaal komt dit op 2576 simulatiecombinaties. Dit komt dus neer op 5152 simulaties in totaal (snor- + bromfiets). Zoals al genoemd in paragraaf 2.2.3 worden de startcondities (paramatervariaties) per simulatiecombinatie gelijk gehouden, enkel de initiële snelheid is verschillend voor de snor- of bromfiets. Figuur 21 laat de initiële snelheidsverdelingen zien van de snorfiets en bromfiets voor de verschillende simulatiescenario's. Deze figuren laten goed zien dat voor ieder simulatiescenario de snelheidsverdeling van de snorfiets en bromfiets dezelfde vorm heeft doordat er is gesampled in de percentiel die voor beide wordt gebruikt. De uitkomsten van de simulatiestudie worden in de volgende paragrafen apart besproken per simulatiescenario.

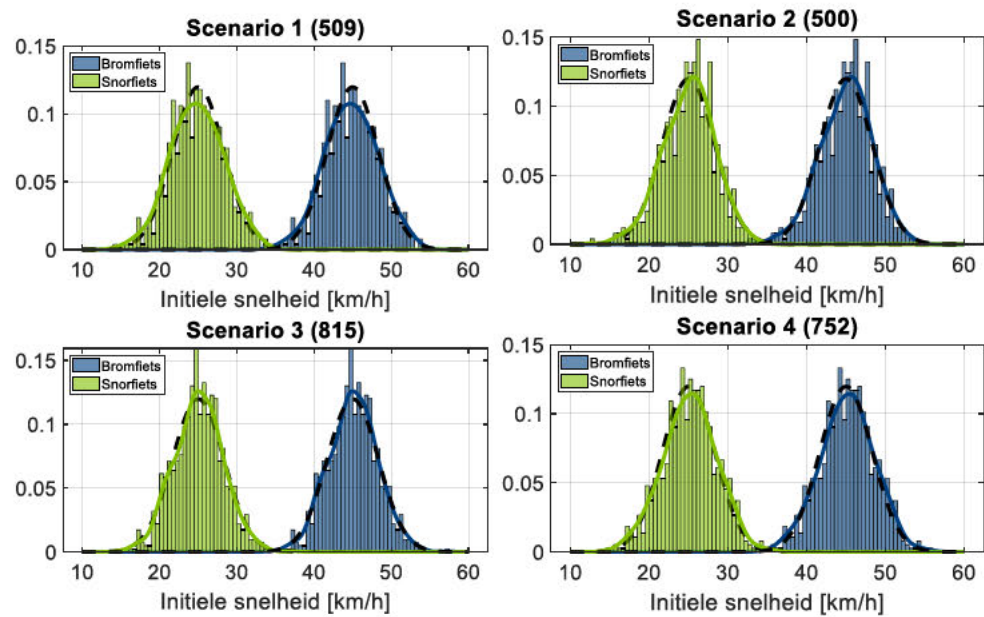
Tabel 2 Aantal uitgevoerde simulatiecombinaties voor de verschillende simulatiescenario's

Simulatiescenario	1 Uitwijken	2 Remmen	3 Botsing met object	4 Aanrijding door auto	totaal
#Simulatiecombinaties	509	500	815	752	2576

In de volgende paragrafen worden de resultaten per simulatiescenario toegelicht. Hier wordt ingegaan op typische val-kinematica voor het scenario, voor zowel de snor- als de bromfietser.

Vervolgens worden verschillende grafieken en histogrammen getoond van de gemeten hoofdimpactsnelheid en -locatie uit de simulaties. Met behulp van de helm overdrachtsfuncties uit paragraaf 2.4.3 (Figuur 19 en Figuur 20) worden de waarden voor de letselcriteria HIC15 en BrIC bepaald. Om de visualisatie overzichtelijk te houden worden in de histogrammen van de letselcriteria de hoogste waarden samengenomen in de laatste (meest rechtse) staaf in het histogram; voor HIC op een waarde van 3000, voor BrIC op een waarde van 1.

Met behulp van de letselrisicocurves uit paragraaf 2.4.1 (Figuur 11 en Figuur 12) kunnen deze waarden voor de letselcriteria omgerekend worden naar risico op letsel, op verschillende niveaus van letselernst (AIS niveaus). In dit hoofdstuk wordt als voorbeeld het letselniveau AIS 2+ besproken. Op basis van deze waarde kan het verschil in letselrisico voor de snor- en bromfietser worden bepaald.

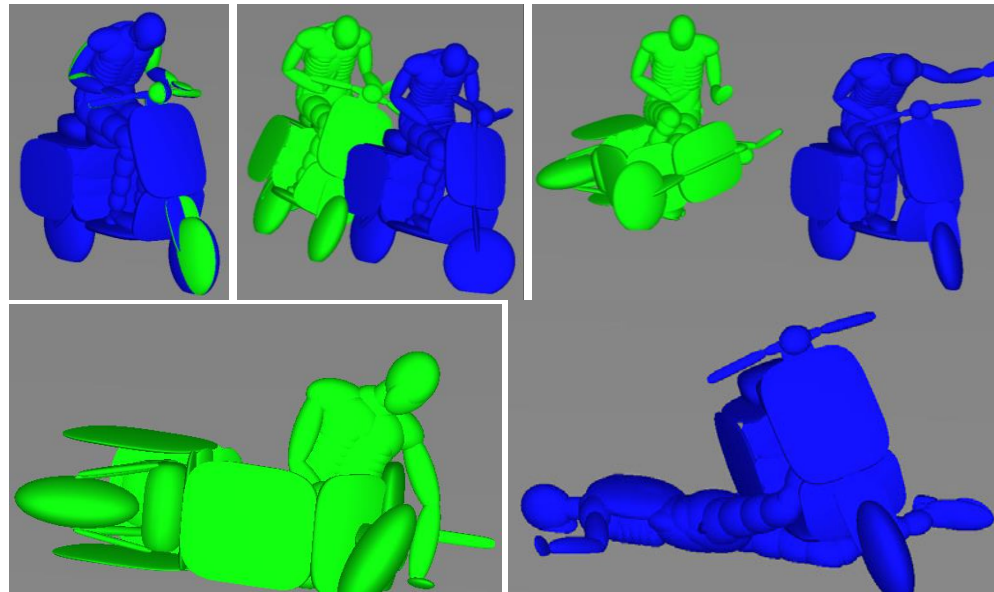


Figuur 21 Initiële snelheidsverdelingen van zowel de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw) simulaties voor de verschillende simulatiescenario's. De gekleurde lijnen laten de normaal verdelingen zien waarin de snelheden zijn gesampled. De zwarte stippellijn geeft de geschatte verdeling op basis van de gesampled snelheden.

3.1.1 Simulatiescenario 1 - Uitwijken

Figuur 22 geeft een voorbeeld van een typische simulatie in dit scenario waarbij een plotselinge uitwijkmanoeuvre wordt gedaan voor zowel de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw). In het eerste plaatje is te zien dat beide voertuigen in dezelfde positie beginnen (m.u.v. het stuurwiel doordat dezelfde laterale acceleratie bij een lagere snelheid tot een kortere bocht en dus een grotere stuuruitslag leidt). Vervolgens wordt er eenzelfde ruk aan het stuur gegeven (naar rechts in dit voorbeeld) welke bij een lagere snelheid sneller tot een instabiel voertuig leidt. De snorfiets schuift door de snelle sturbeweging als het ware onder de persoon uit waarbij deze voorover over de gevallen snorfiets heen valt. De bromfiets heeft door zijn hoge snelheid meer tijd nodig om tot vallen te komen en vertoont langer een slingerend gedrag. Dit heeft tot gevolg dat de persoon aan de zijkant eraf valt. Dit fenomeen, waarbij de bromfietser langer een slingerend gedrag vertoont en aan de zijkant van zijn bromfiets af valt, is vaker te zien in dit scenario.

Dit gedrag is ook zichtbaar in de resultaten van de hoofdimpactlocatie welke te zien zijn in de linker boven plot van Figuur 23. Doordat de snorfiets snel instabiel wordt en de persoon erop er voorover heen valt, raakt deze in veruit de meeste gevallen met zijn voorkant van zijn hoofd de grond (~50%) of zelfs helemaal niet (~37%) doordat de snorfietser op de snorfiets blijft liggen, zoals geïllustreerd in Figuur 22. In de overige simulaties is de hoofdimpactlocatie verdeeld over de achterkant en beide zijkanten van het hoofd. Doordat de bromfietser over het algemeen aan de zijkant van de bromfiets af valt, is de hoofdimpactlocatie meer verdeeld. Door de voorwaartse snelheid valt deze vooral op de zij (~49%) en voorkant (~29%) af en toe op de achterkant (16%).



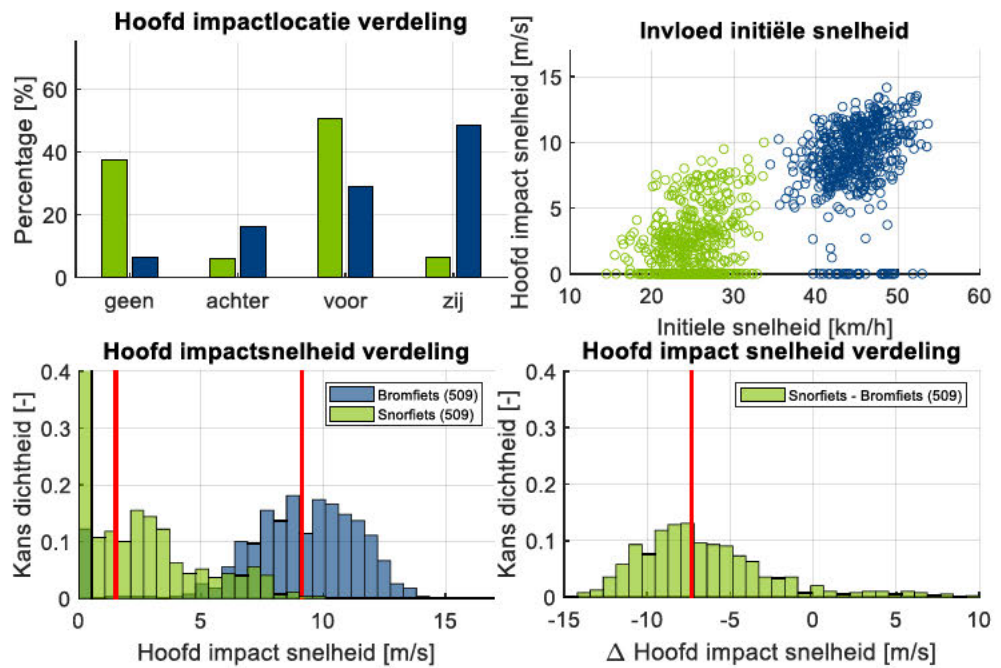
Figuur 22 Voorbeeld van een typische kinematica van scenario 1 voor de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw). Boven: tijdstip 0, 200 en 400ms. Onder: Eindpositie.

In de plot rechtsboven van Figuur 23 is de hoofdimpactsnelheid met de snorfiets en bromfiets uitgezet tegen de initiële snelheid van de voertuigen. Vooral voor de bromfiets is duidelijk te zien dat hoe hoger de initiële snelheid van het voertuig, hoe groter de hoofdimpactsnelheid over het algemeen is. Voor de snorfiets is die correlatie vooral te zien voor de hoofdimpactsnelheden boven de 5 m/s. Het is ook te zien dat deze snelheden een wat hogere trend hebben dan die van de bromfiets. Dit is weer te verklaren dat de bromfietser vaker aan de zijkant eraf valt en vaak nog wat afremt met de rest van het lichaam voordat het hoofd op de grond komt. Bij de snorfiets schiet de persoon sneller over het voertuig heen. Als de persoon wordt afgeremd door het voertuig tijdens de val is een vrij homogeen verdeelde hoofdimpactsnelheid te zien (onder de 5 m/s).

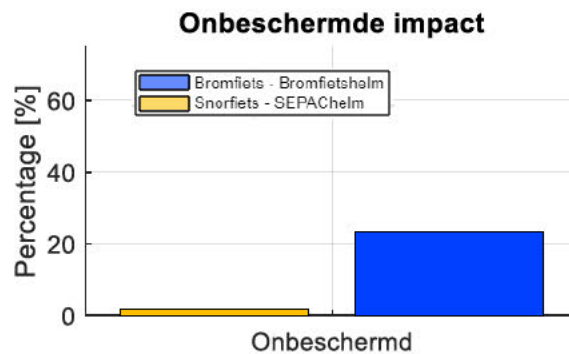
De plot linksonder van Figuur 23 laat de aparte verdelingen zien van de hoofdimpactsnelheden met de snorfiets en bromfiets. De rode lijn geeft de mediaan aan en laat dus zien dat bij de snorfiets 50% een hoofdimpact snelheid van 1.5 m/s of lager verwacht kan worden t.o.v. 9.1 m/s bij de bromfiets. De hoofdimpactsnelheid bij de snorfiets heeft wel een langere staart en bij 10% kan nog een hoofdimpactsnelheid verwacht worden van 6.0 m/s of hoger. Als er gekeken wordt naar de verdeling van het verschil van hoofdimpactsnelheid per simulatiecombinatie in de plot rechtsonder in Figuur 23, is te zien dat bij 50% van de simulaties de hoofdimpactsnelheid van de snorfietser minstens 7.3 m/s lager is dan die van de bromfietser. In totaal is in 94% van alle simulaties de hoofdimpactsnelheid met de snorfiets lager dan met de bromfiets.

Figuur 24 laat het percentage impacts zien van het hoofd met het onbeschermd deel van de SEPAC-helm voor de snorfietser, en minimaal beschermende bromfietshelm voor de bromfietser, beide zoals afgebeeld in Figuur 6 (links en midden). Te zien is dat de snorfietser met SEPAC-helm in maar 1,9% van alle simulaties op een onbeschermd deel valt tegenover 23,4% van de simulaties van de bromfietser met bromfietshelm. Er is niet een bepaald deel van het hoofd waar deze

vaker op het onbeschermd deel valt als verwacht mag worden uit de verdeling zoals te zien in de plot linksboven van Figuur 23.



Figuur 23 Resultaten simulatiescenario 1: Uitwijken. Boven links: Hoofdimpactlocatieverdeling. Snorfiets in het groen en bromfiets in blauw. Boven rechts: Hoofdimpactsnelheid tegen de initiële snelheid. Onder: Absolute (links) en relatieve (rechts) hoofdimpactsnelheidsverdeling voor snorfiets en bromfiets. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).



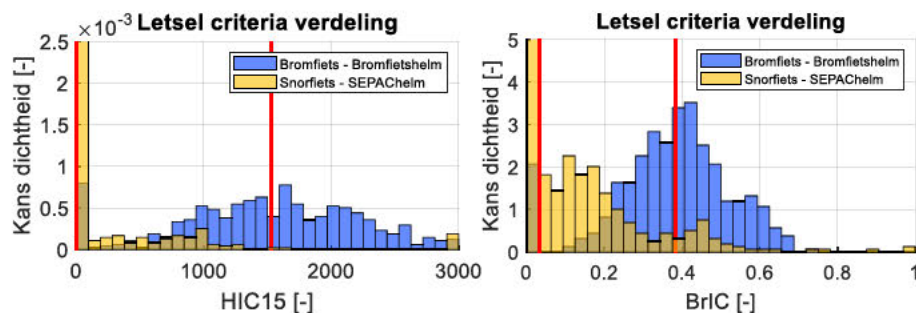
Figuur 24 Percentage van onbeschermd impact (buiten de helm zone) voor de bromfiets met minimale bromfietshelm (bij een volledig beschermende bromfietshelm worden deze impacts dus wel opgevangen door de helm) en snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 1.

In Figuur 25 is de verdeling te zien van de HIC15 en BrIC letselcriteria voor de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm (waarmee het onbeschermd deel van de minimale bromfietshelm afgebeeld in Figuur 24 dus wel beschermd is) en de snorfietser met SEPAC-helm. Deze zijn verkregen m.b.v. de helm overdrachtsfuncties vanuit Figuur 19 en Figuur 20 en de simulatie output voor het onbeschermd deel van het hoofd. Voor de snorfietser met SEPAC-helm zijn een klein aantal hoge waarden te zien voor zowel de HIC15 en de BrIC, welke komen door de onbeschermd impacts. De HIC15 en BrIC waarden kunnen hier dermate hoog zijn dat ze buiten het bereik van het staafdiagram vallen. Ze worden daardoor

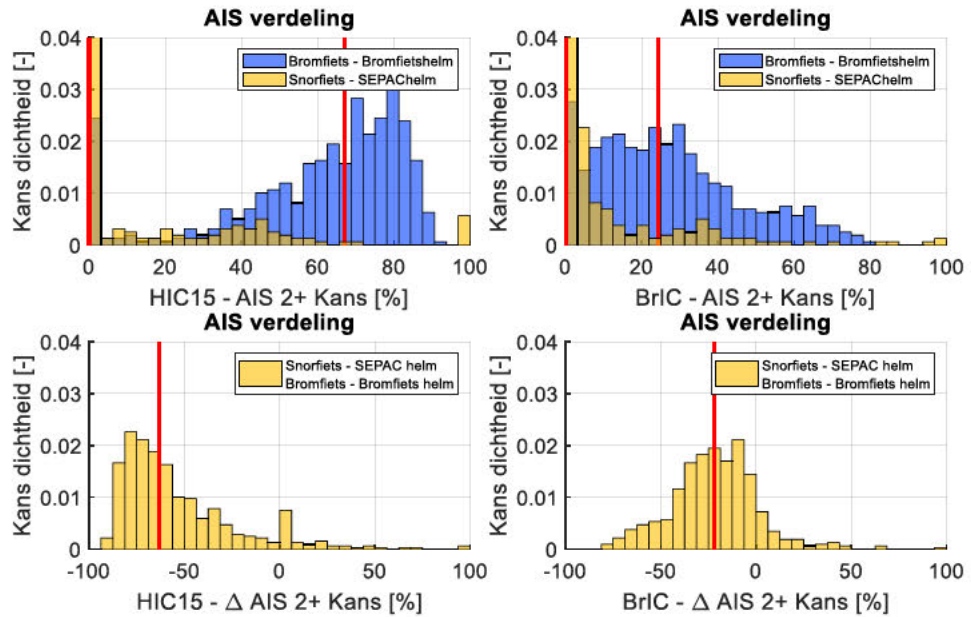
samengenomen in de laatste (meest rechter) staaf van het staafdiagram. Vooral de HIC15 gaat erg omhoog als het hoofd met een onbeschermd deel op de grond komt. Duidelijk te zien zijn de pieken bij 0, welke komen door de simulaties zonder hoofd impact of met een lage hoofdimpactsnelheid waar de helm overdrachtsfuncties de horizontale as snijden (HIC15 <4m/s; BrIC ~<1-2m/s). Door de lage hoofd impactsnelheden en groot aantal simulaties zonder hoofdimpact heeft meer dan 50% een HIC15 van 0 voor de snorfietser met SEPAC-helm. Voor de BrIC ligt de 50% op 0.03. Voor de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm liggen deze waarden substantieel hoger (mediaan 1527 en 0.38 voor HIC15 en BrIC, respectievelijk).

Beide verdelingen van HIC15 en BrIC kunnen m.b.v. de letselrisicocurves (Figuur 11 en Figuur 12) omgezet worden naar letselrisico voor een bepaald letselniveau. De bovenste plots in Figuur 26 geven de verdelingen van het AIS2+ niveau als voorbeeld voor zowel de HIC15 als BrIC letselcriteria. In deze verdelingen is het duidelijk te zien dat de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm een groter letselrisico heeft t.o.v. de snorfietser met SEPAC-helm. De mediaan ligt bij de eerstgenoemde op 67% voor de HIC15 en 24% voor de BrIC AIS2+ letselrisico, waar de laatstgenoemde beide op 0% liggen.

Als er gekeken wordt naar de verdeling van het verschil van AIS2+ letselrisico per simulatiecombinatie in de onderste plots van Figuur 26 is duidelijk te zien dat het merendeel van de simulatiecombinaties aangeeft dat de snorfietser met SEPAC-helm minder of gelijk letselrisico heeft voor zowel de HIC15 (95%) als BrIC (90%) vergeleken met de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm. Ook de totale verwachting is in beide verdelingen ruim in het voordeel van de snorfietser met SEPAC-helm. Het gemiddelde geeft -54% voor de HIC15 en -22% voor de BrIC. Hiermee voldoet de snorfietser met SEPAC-helm aan de criteria gesteld in paragraaf 2.6 voor simulatiescenario 1, AIS2+ letselniveau voor de HIC15 en BrIC letselcriteria. De uitkomsten van de criteria voor de andere letselniveaus en helmcombinaties worden gepresenteerd in paragraaf 3.2.



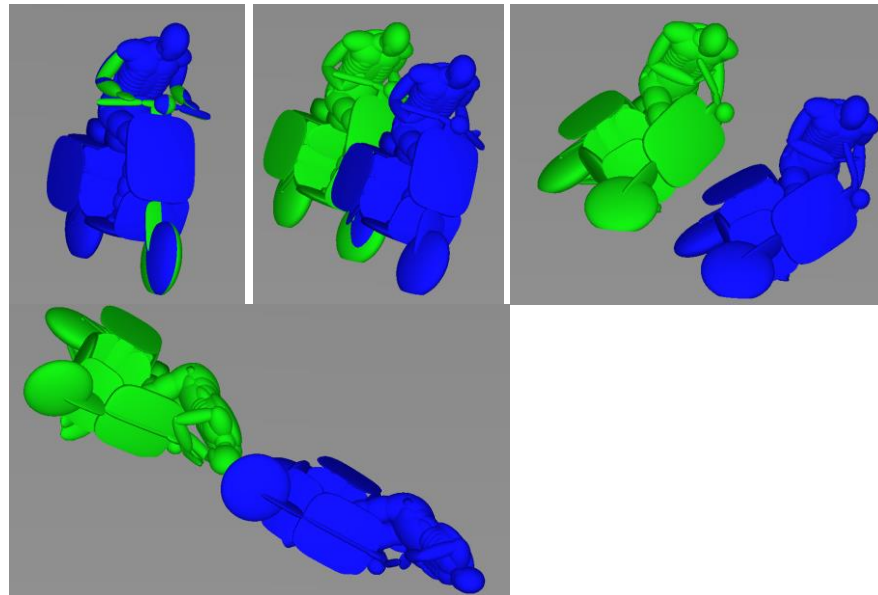
Figuur 25 Verdeling van de HIC15 (links) en BrIC (rechts) letselcriteria voor de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 1. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).



Figuur 26 Resultaten simulatiescenario 1: Uitwijken. Boven: verdeling van de AIS2+ letselrisico op basis van HIC15 (links) en BrIC (rechts). Onder: verdeling van het AIS2+ verschil in letselrisico op basis van de simulatiecombinaties. Alle plots voor de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en snorfiets met SEPAC-helm. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

3.1.2 Simulatiescenario 2 - Remmen

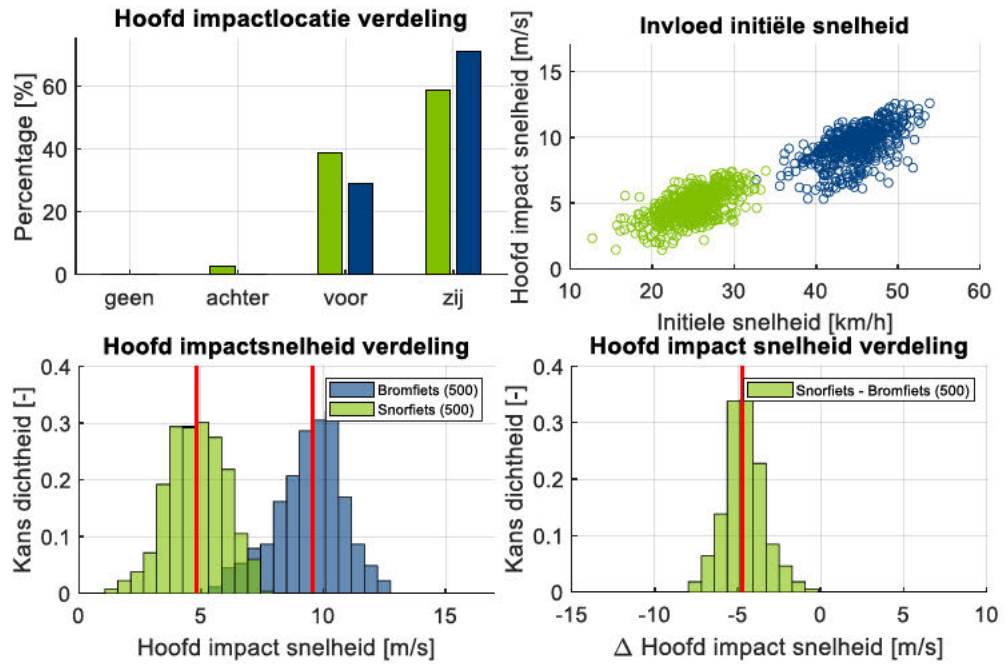
Figuur 27 geeft wederom een voorbeeld van een typische simulatie waarbij in dit scenario een remactie wordt uitgevoerd door zowel de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw). Beide voertuigen beginnen weer in dezelfde positie waarbij op dat moment de wielen worden geblokkeerd. Het verloop in kinematica is vergelijkbaar voor de snorfiets als voor de bromfiets. Het voertuig wordt snel instabiel en dit is vooral afhankelijk van de soort bocht waarin het voertuig zit. Hoe scherper de bocht, hoe sneller het voertuig instabiel wordt en omvalt. Nadat het voertuig omvalt, valt de bestuurder ook op de grond waarbij ze in veel gevallen nog redelijk wat voorwaartse snelheid hebben. Het lijkt er over het algemeen op dat de bromfietser wat verder naar de zijkant valt van zijn voertuig dan de snorfietser, welke dichterbij de snorfiets op de grond terecht komt.



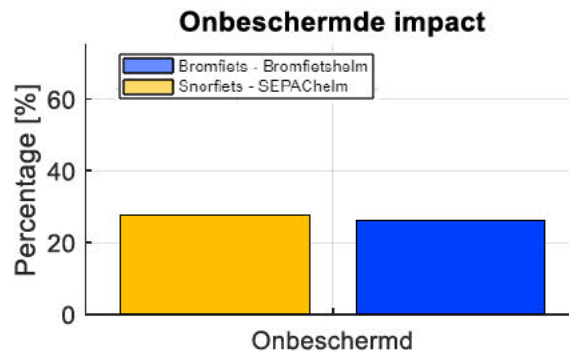
Figuur 27 Voorbeeld van een typische kinematica van de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw) in simulatiescenario 2. Boven: tijdstip 0, 200 en 400ms. Onder: Eindpositie.

In de plot linksboven van Figuur 28 is de hoofdimpactlocatie te zien voor de snorfietser en bromfietser. Het eerste wat opvalt is dat er geen simulaties zijn waar er geen impact met de grond is welke, voor de snorfietser, wel aanwezig waren in simulatiescenario 1. In scenario 1 draait het voertuig snel onder het lichaam van de persoon door de snelle stuurbeweging. In dit scenario valt het voertuig meer om naar de zijkant. Hieronder wordt de persoon dus niet meer opgevangen door het voertuig en zal er altijd een impact met de grond zijn. Verder is te zien dat over het algemeen een impact met de zijkant en voorkant van het hoofd verwacht kan worden voor zowel de snorfietser (59% en 39%) en de bromfietser (71% en 29%). De bromfietser valt dus vaker op de zijkant dan de snorfietser. Dit komt waarschijnlijk omdat de bromfietser wat meer impuls van de bromfiets meekrijgt door de hogere initiële snelheid en verder naar de zijkant valt, zoals ook al was opgemerkt bij de kinematica. De plot rechtsboven in Figuur 28 laat weer de initiële snelheid van beide voertuigen zien t.o.v. de hoofdimpactsnelheid van de bromfietser en snorfietser. Een duidelijke correlatie is zichtbaar; hoe hoger de initiële snelheid van het voertuig, hoe hoger de impactsnelheid van het hoofd op de grond. Dit laat zien dat het dus niet alleen gaat om omvallen, maar dat tijdens de val de voorwaartse snelheid nog een substantiële rol speelt.

De plot linksonder in Figuur 28 laat de verdelingen van de hoofdimpactsnelheid van de snorfietser en bromfietser zien. De verdelingen zijn relatief smal (weinig variatie) en er is daardoor duidelijk te zien dat de hoofdimpactsnelheid van snorfietser over het algemeen lager is dan die van de bromfietser met de mediaan van 4.8 m/s voor de snorfietser tegenover 9.6 m/s voor de bromfietser. De verdeling van het verschil in hoofdimpactsnelheid van alle simulatiecombinaties is te zien in de plot rechtsonder van Figuur 28. Ook deze verdeling is weer relatief smal en ligt volledig onder de 0 m/s, wat betekent dat in iedere simulatie de snorfietser een lagere hoofdimpactsnelheid heeft. Het midden en het gemiddelde van de verdeling ligt op -4.6 m/s en -4.7 m/s, wat ook nog aangeeft dat er geen grote uitschieters in de hoofdimpactsnelheden naar één kant te zien zijn.



Figuur 28 Resultaten simulatiescenario 2: Remmen. Boven links: Hoofdimpactlocatieverdeling. Snorfiets in het groen en bromfiets in blauw. Boven rechts: Hoofdimpactsnelheid tegen de initiële snelheid. Onder: Absolute (links) en relatieve (rechts) hoofdimpactsnelheidsverdeling voor snorfiets en bromfiets. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

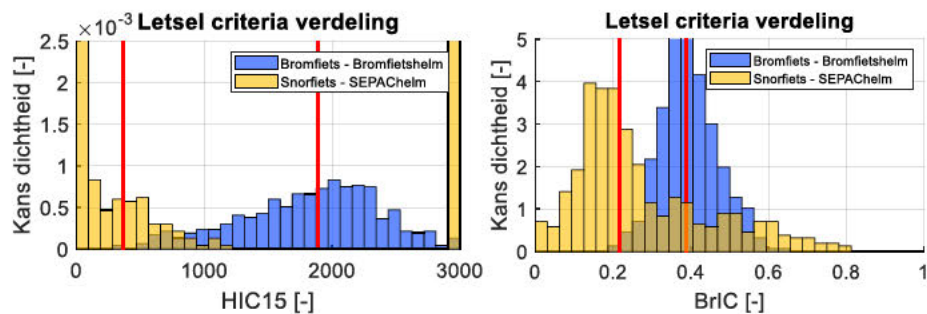


Figuur 29 Percentage van onbeschermd impact (buiten de helmzone) voor de bromfiets met bromfietshelm (bij een volledig beschermende bromfietshelm worden deze impacts dus wel opgevangen door de helm) en snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 2.

Figuur 29 laat het percentage impacts zien van het hoofd met het onbeschermd deel van de SEPAC-helm voor de snorfietser, en minimaal beschermende bromfietshelm voor de bromfietser, beide zoals afgebeeld in Figuur 6 (links en midden). Te zien is dat de snorfietser met SEPAC-helm en bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm in ongeveer een gelijk percentage (28% en 26%) op een onbeschermd deel komen. In de locatie van deze percentages zit wel een verschil. De snorfietser met SEPAC-helm komt in 97% van de onbeschermd impacts op de zijkant van het hoofd terecht. Bijna alle impacts met de voorkant van het hoofd zijn dus beschermd, wat betekent dat er op het voorste deel van de bovenkant wordt gevallen i.p.v. op het gezicht. Bij de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm is de verdeling van locatie van de onbeschermd

impacts vergelijkbaar met de algemene verdeling zoals te zien is in de plot linksboven van Figuur 28.

In Figuur 30 is de verdeling te zien van de HIC15 en BrIC letselcriteria voor de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm (waarmee het onbeschermd deel van de minimale bromfietshelm afgebeeld in Figuur 29 dus wel beschermd is) en de snorfietser met SEPAC-helm. Deze zijn weer verkregen m.b.v. de helm overdrachtsfuncties vanuit Figuur 19 en Figuur 20 en de simulatie output voor het onbeschermd deel van het hoofd. Bij de HIC15 verdeling zijn voor de snorfietser met SEPAC-helm 2 duidelijke pieken te zien; 1 op een HIC15 van 0 en 1 bij een maximale HIC15 in dit figuur. De eerste komt door alle simulaties met een hoofdimpactsnelheid onder de $\sim 4\text{m/s}$ waaronder de HIC15 0 wordt. De maximale waarden komen door de onbeschermd impacts welke vertalen naar een hoge HIC15 waarde. De rest van de verdeling ligt over het algemeen substantieel lager dan bij de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm (een mediaan van 360 tegenover 1890), wat komt door de hogere hoofdimpactsnelheid en de gelijke HIC15 overdrachtsfunctie 2 verschillende helmen. Bij de BrIC verdeling is er minder verschil. Hoewel de SEPAC-helm lagere BrIC waarden geeft bij een hoofdimpactsnelheid van ongeveer 4m/s of lager voor de voor- en achterkant van het hoofd, en de overdrachtsfunctie voor de zijkant locatie ongeveer gelijk is, zorgen de impacts met hogere snelheid aan de voorkant en het onbeschermd deel van de SEPAC-helm er toch voor dat de verdelingen dichterbij elkaar komen (mediaan van 0.22 tegenover 0.39).

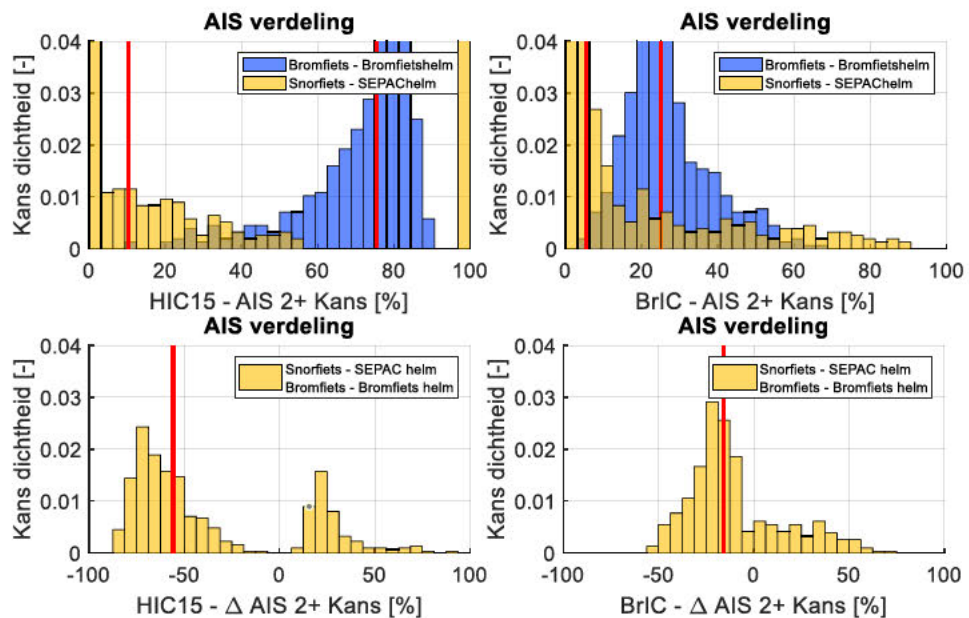


Figuur 30 Verdeling van de HIC15 (links) en BrIC (rechts) letselcriteria voor de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en snorfietser met SEPAC-helm, in simulatiescenario 2. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

Beide verdelingen van HIC15 en BrIC kunnen m.b.v. de letselrisicocurves (Figuur 11 en Figuur 12) omgezet worden naar letselrisico voor een bepaald letselniveau. De bovenste plots in Figuur 31 geven de verdelingen van het AIS2+ niveau als voorbeeld voor zowel de HIC15 als BrIC letselcriteria. In deze verdelingen is het duidelijk te zien dat over het algemeen de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm een groter letselrisico heeft t.o.v. de snorfietser met SEPAC-helm. De mediaan ligt bij de eerstgenoemde op 76% voor de HIC15 en 25% voor de BrIC AIS2+ letselrisico, waar bij de laatstgenoemde de 10% voor de HIC15 en 6% voor BrIC AIS2+ van toepassing zijn. Er zit in dit scenario wel een lange staart naar de hogere letselrisico's voor de snorfietser met SEPAC-helm voor de BrIC en zelfs een grote hoeveel simulaties met een 100% letselrisico voor de HIC15. Dit zijn allemaal simulaties waarmee de snorfietser met het onbeschermd deel van de SEPAC-helm de grond raakt.

Als er gekeken wordt naar de verdeling van het verschil van AIS2+ letselrisico per simulatiecombinatie in onderste plots van Figuur 31 is er een duidelijke tweedeling te

zien voor zowel de HIC15 als BrIC letselcriteria. Aan de ene kant is er duidelijk een verdeling te zien die aangeeft dat de snorfietser met SEPAC-helm minder AIS2+ letselrisico heeft t.o.v. de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm. Aan de andere kant is er een deel dat duidelijk het tegenovergestelde aangeeft. Deze tweedeling komt weer doordat de SEPAC-helm niet volledig beschermend is en de volledig beschermende bromfietshelm wel, waarbij dus meer letselrisico te zien is bij de eerst genoemde helm. Als er gekeken wordt naar de uitkomst van de gestelde criteria, is te zien dat de meerderheid van de simulaties nog steeds aangeeft dat de snorfietser met SEPAC-helm minder of gelijk letselrisico heeft voor zowel de HIC15 (72%) als BrIC (75%) vergeleken met de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm. Ook de totale verwachting is in beide verdelingen nog in het voordeel van de snorfietser met SEPAC-helm. Het gemiddelde geeft -36% voor de HIC15 en -10% voor de BrIC. Hiermee voldoet de snorfietser met SEPAC-helm aan de criteria gesteld in paragraaf 2.6 voor simulatiescenario 2, AIS2+ letselniveau voor de HIC15 en BrIC letselcriteria. De uitkomsten van de criteria voor de andere letselniveaus en helmcombinaties worden gepresenteerd in paragraaf 3.2.

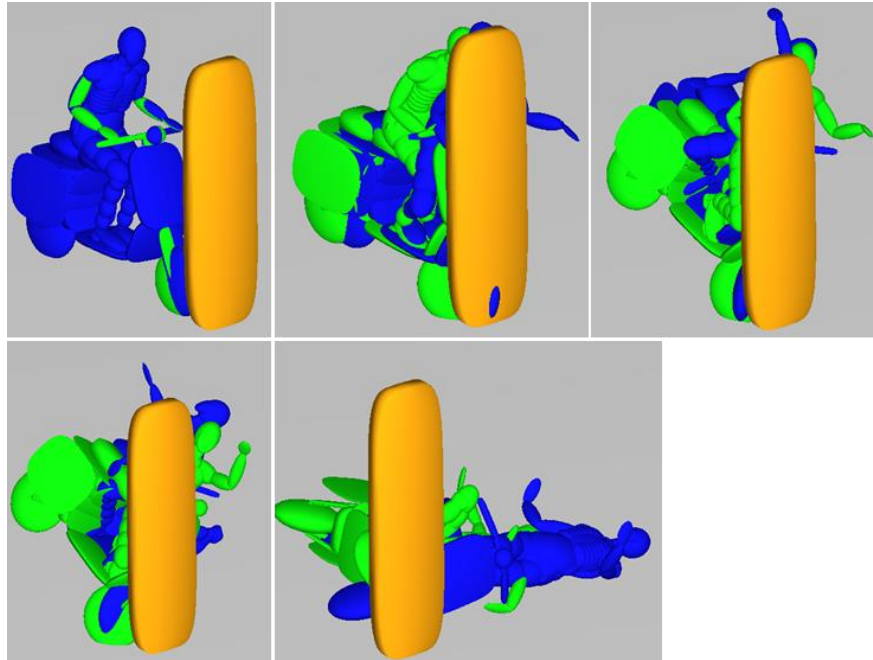


Figuur 31 Resultaten simulatiescenario 2: Remmen. Boven: verdeling van de AIS2+ letselrisico op basis van HIC15 (links) en BrIC (rechts). Onder: verdeling van het AIS2+ verschil in letselrisico op basis van de simulatiecombinaties. Alle plots voor de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en snorfietser met SEPAC-helm. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

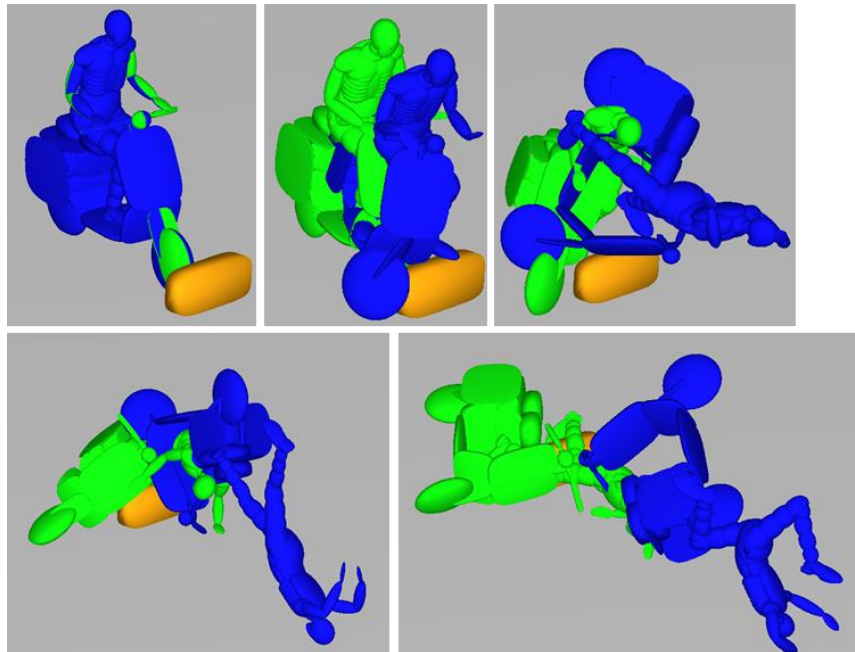
3.1.3 Simulatiescenario 3 – Botsing met object

In dit simulatiescenario zijn grofweg 3 verschillende kinematica te onderscheiden welke voornamelijk afhankelijk zijn van de hoogte van het object en de initiële snelheid. (Dit zijn geen discrete groepen en overlap is mogelijk. Ook zijn er simulaties die niet in 1 van de 3 groepen past. Daarom worden alle resultaten samen gepresenteerd.) Als eerste is te zien bij een objecthoogte van ~1.3m of hoger dat de persoon op het voertuig niet over het object heen vliegt en een impact van het hoofd heeft met het object. Vervolgens is er een onderscheid te zien tussen de bromfietser en snorfietser vanwege van hun initiële snelheid. Als het object lager is dan ~1.3m voor de snorfietser en ~0.4m voor de bromfietser, vliegt de bestuurder over het object heen en komt als eerste met het hoofd op de grond. De derde kinematica is alleen te

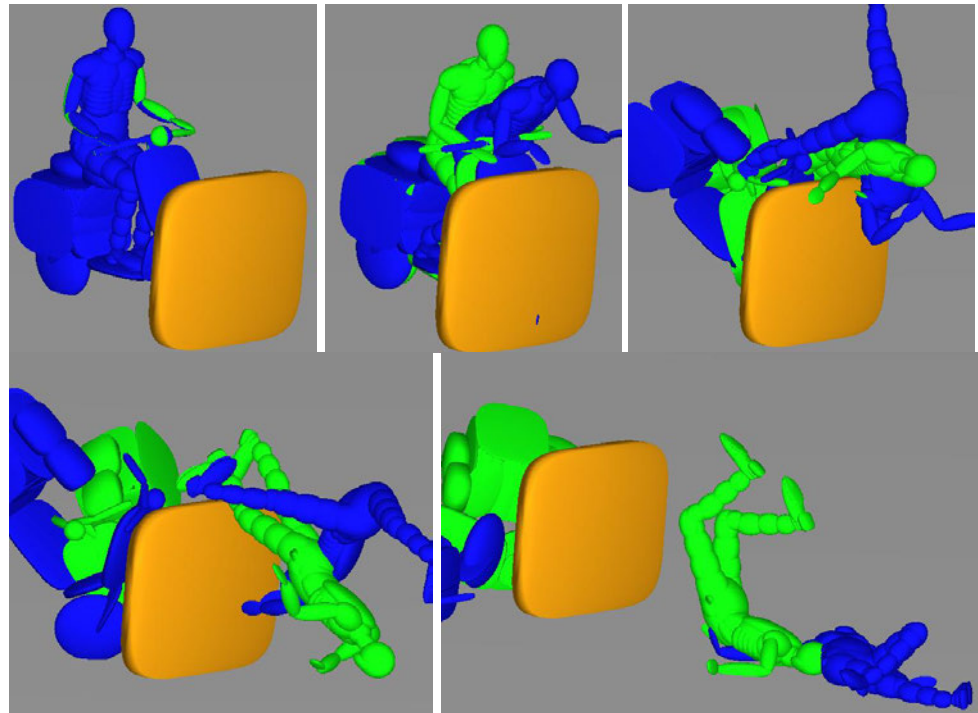
zien bij de bromfietser, waar bij een objecthoogte tussen de ~0.4m en ~1.3m, de bromfietser als het ware een salto maakt en eerst met een ander deel van het lichaam de grond substantieel impact voordat het hoofd op de grond komt. Het percentage van hoe vaak de drie verschillende kinematica voorkomen is ongeveer 27%, 18% en 55% van alle simulaties, respectievelijk. Van alle drie de verschillende kinematica is een typisch voorbeeld te zien in Figuur 34 t/m Figuur 36.



Figuur 32 Voorbeeld van een typische kinematica 1 van de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw) in simulatiescenario 3. Boven: tijdstip 0, 100 , 300 en 500ms en eindpositie.



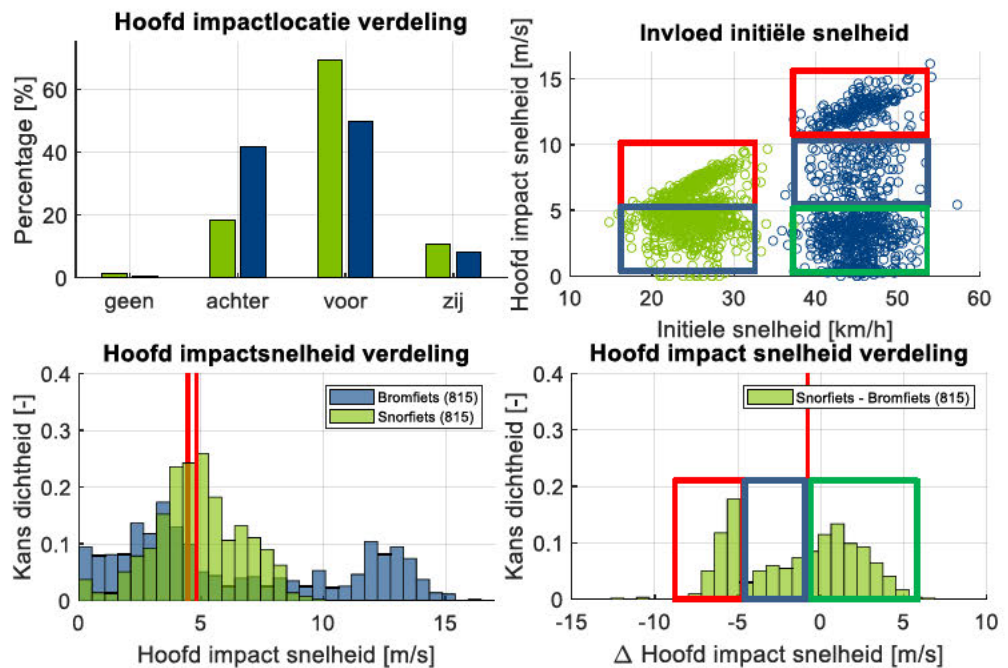
Figuur 33 Voorbeeld van een typische kinematica 2 van de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw) in simulatiescenario 3. Boven: tijdstip 0, 100 , 300 en 500ms en eindpositie.



Figuur 34 Voorbeeld van een typische kinematica 3 van de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw) in simulatiescenario 3. Boven: tijdstip 0, 100 , 300 en 500ms en eindpositie.

In de plot rechtsboven van Figuur 35 is de hoofdimpactsnelheid te zien t.o.v. de initiële snelheid van het voertuig. De verschillende kleuren rechthoeken geven grofweg de verschillende kinematica weer. In de rode rechthoeken zijn de hoofdimpactsnelheden te zien van de eerste kinematica voor zowel de snorfietser als de bromfietser. Hierbij rijden ze tegen een hoog object aan en komen vrijwel direct met het hoofd in botsing met datzelfde object. De hoofdimpactsnelheid is in deze kinematica ook vrijwel gelijk aan de initiële snelheid en dus substantieel hoger voor de bromfietser. De blauwe rechthoeken laten de impacts zien waarbij de persoon over het object heen vliegt en als eerste met het hoofd de grond raakt. Hoewel dit er voor de bromfietser beduidend minder zijn dan voor de snorfietser, is duidelijk te zien dat ze een hogere hoofdimpactsnelheid hebben. De laatste kinematica bestaat alleen voor de bromfietser; hierbij vliegt deze ook over het object, maar wordt eerst opgevangen door een ander deel van het lichaam. Hierdoor zijn de hoofdimpactsnelheden lager dan die van de snorfietser die in een gelijke situatie door de lagere initiële snelheid wel eerst met het hoofd op de grond komt (kinematica 2). In de plot linksboven van Figuur 35 zijn de hoofdimpactlocaties weergegeven voor alle simulaties bij elkaar. Dit geeft aan dat de snorfietser vaker met de voorkant van het hoofd een botsing heeft en de bromfietser vaker met de achterkant. Als er gekeken wordt naar de verschillende kinematica dan komt voor zowel de snorfietser als bromfietser de voorkant van het hoofd in 90% van de gevallen tegen het object. In kinematica 2 is het weer de voorkant van het hoofd dat als eerste de grond raakt bij de snorfietzers, maar ook een substantieel deel met de achter- en zijkant. Bij de bromfietzers is dit bijna gelijk verdeeld over alle locaties (voor, achter en zijkant). Bij kinematica 3 is voor de bromfietser te zien dat deze in ~70% van de gevallen met de achterkant van hoofd de eerste impact maakt. Hierbij maakt de bromfietser een salto, komt op de rug terecht en valt met het achterhoofd op de grond. In ~30% gebeurt dit met de voorkant van het hoofd. Hierbij draait de bromfietser nog verder door, nadat deze met het lichaam op de grond is gekomen.

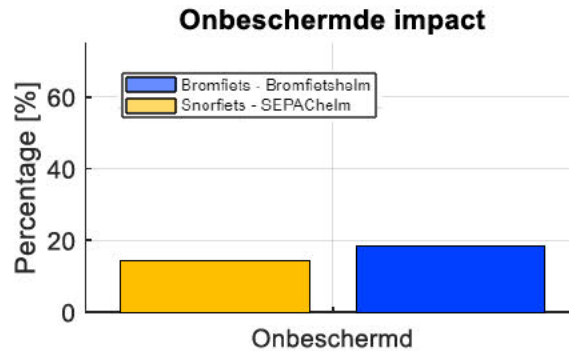
De plot linksonder in Figuur 35 geeft de verdeling weer van beide hoofdimpactsnelheden. Duidelijk te zien zijn weer de globaal verschillende kinematica. Rechtsonder is het verschil per simulatie van de hoofdimpactsnelheid te zien, hierbij zijn weer de verschillende kinematica aangegeven. Aan de meest negatieve kant zijn de simulaties van de impact met het object te zien, waarbij het verschil bijna gelijk is aan het verschil in initiële snelheid ($-20 \text{ km/h} = -7.7 \text{ m/s}$). Dan is er nog een deel tussen de -5 en 0 m/s van kinematica 2. Kinematica 3 laat zien dat door de salto en daardoor afremmende werking van het lichaam, de bromfietser een lagere hoofdimpact snelheid heeft. In totaal is te zien dat ongeveer de helft van de simulaties een lagere (kinematica 1 en 2) hoofdimpactsnelheid geeft en de andere helft een hogere (kinematica 3) hoofdimpactsnelheid.



Figuur 35 Resultaten simulatiescenario 3: Botsing met object. Boven links: Hoofdimpactlocatieverdeling. Snorfiets in het groen en bromfiets in blauw. Boven rechts: Hoofdimpactsnelheid tegen de initiële snelheid. Onder: Absolute (links) en relatieve (rechts) hoofdimpactsnelheidsverdeling voor snorfiets en bromfiets. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan). 3 beschreven kinematica grofweg aangegeven in gekleurde rechthoeken (1 = rood, 2 = blauw en 3 = groen)

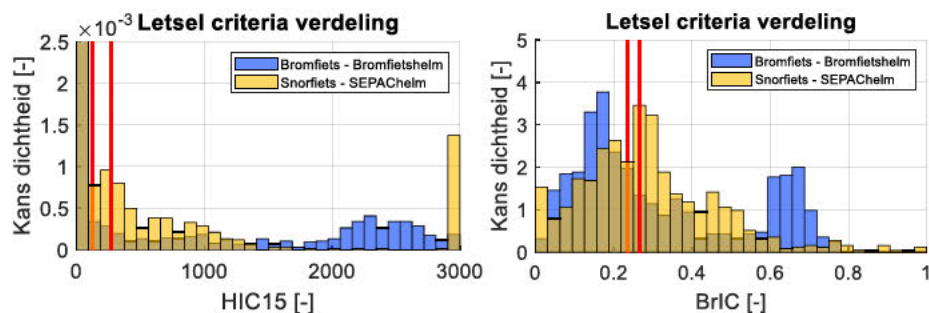
Figuur 36 laat zien dat het aantal onbeschermd impacts van de snorfietser met SEPAC-helm (14%) iets minder is dan voor de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm (18%). Er is een groter verschil zichtbaar als er wordt gekeken naar de onbeschermd impacts per soort kinematica. In de eerste kinematica is namelijk te zien dat de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm in 27% van de impacts met een onbeschermd deel, veelal het gezicht, het object raakt. Voor de snorfietser met SEPAC-helm is dit 18%. Dit verschil komt door de lagere initiële snelheid van de snorfiets. Hierdoor heeft de snorfietser gemiddeld iets meer tijd om voorover te buigen en de impact op te vangen met de voorkant van de helm i.p.v. het object te raken met het gezicht. In de tweede kinematica is het relatieve aantal onbeschermd impacts ongeveer gelijk met 9%. De snorfietser met SEPAC-helm komt vooral de onbeschermd voorkant en zijkant in botsing met het object of grond, terwijl de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm ook vaker de onbeschermd achterkant wordt geraakt. In kinematica

3 is het percentage onbeschermden impacts ongeveer 14% voor de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm. Hierbij gaat het vooral om het doordraaien na de salto en de impact met het lichaam, zodat het gezicht de grond later of niet raakt.



Figuur 36 Percentage van onbeschermden impacts (buiten de helm zone) voor de bromfiets met bromfietshelm (bij een volledig beschermende bromfietshelm worden deze impacts dus wel opgevangen door de helm) en snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 3.

In Figuur 37 is de verdeling te zien van de HIC15 en BrIC letselcriteria voor de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm (waarmee het onbeschermden deel van de minimale bromfietshelm afgebeeld in Figuur 36 dus wel beschermd is) en de snorfiets met SEPAC-helm. Deze zijn weer verkregen m.b.v. de helm overdrachtsfuncties vanuit Figuur 19 en Figuur 20 en de simulatie output voor het onbeschermden deel van het hoofd. Bij de HIC15 verdeling is een hoge piek te zien bij een HIC15 van 0. Dit zijn alle beschermende impacts met een hoofdimpactsnelheid van 4 m/s of lager. Voor de snorfiets met SEPAC-helm is er ook een hoge piek te zien bij de laatste staaf in het histogram. Hierin zitten alle onbeschermden impacts. De rest van de simulaties ligt verdeeld, waarbij kinematica 2 voor beide en kinematica 1 voor de snorfiets met SEPAC-helm substantieel lager zijn dan de HIC15 waarden voor de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm met kinematica 1. De 50% grens ligt op een HIC15 van 266 en 123 voor de snorfiets met SEPAC-helm en de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm, respectievelijk.

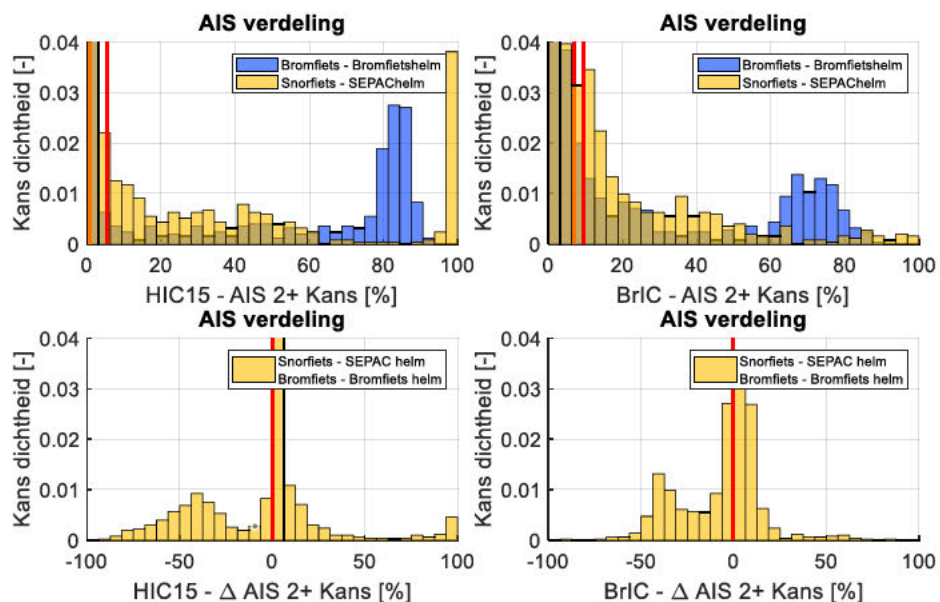


Figuur 37 Verdeling van de HIC15 (links) en BrIC (rechts) letselcriteria voor de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 3. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

Bij de BrIC letselcriteria is een hogere piek bij 0 voor de snorfiets met SEPAC-helm te zien, omdat de SEPAC-helm beter beschermd bij lage hoofdimpactsnelheden. De onbeschermden impacts leiden hier niet altijd tot een BrIC van 1, maar zijn wel hoger. Bij de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm is duidelijk de piek te zien van kinematica 1 bij een BrIC van ongeveer 0.7. Verder is het resultaat van

kinematica 3 ook goed te zien, waarbij de BrIC verdeling lager ligt dan die van de snorfietser met SEPAC-helm.

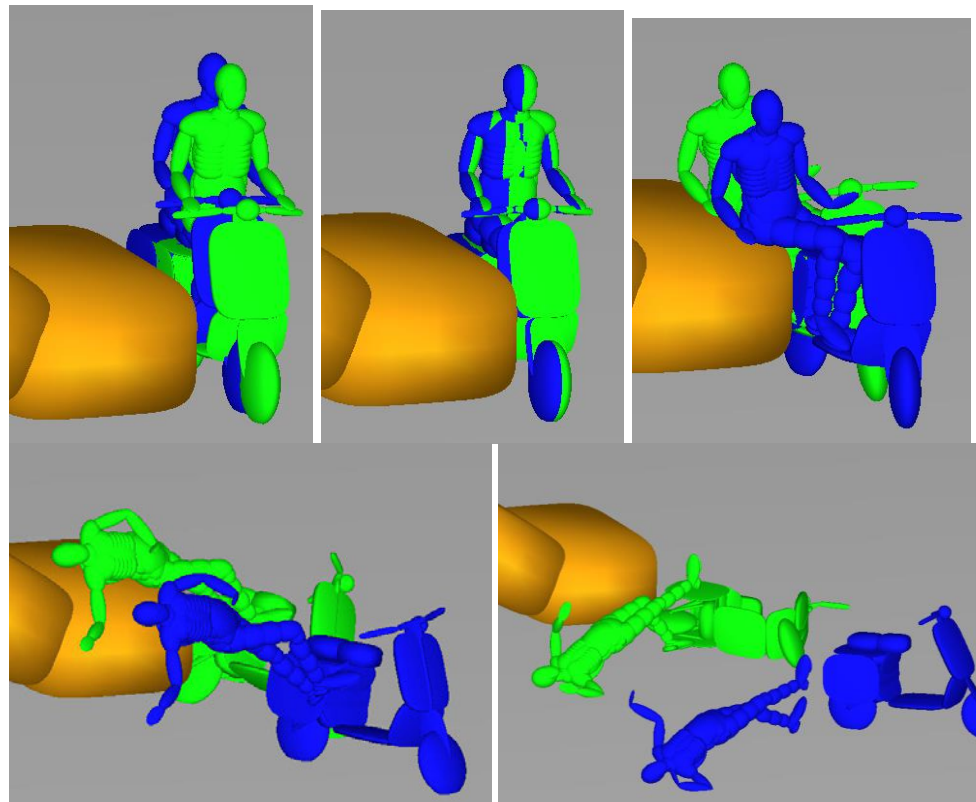
Beide verdelingen van HIC15 en BrIC kunnen m.b.v. de letselrisicocurves (Figuur 11 en Figuur 12) omgezet worden naar letselrisico voor een bepaald letselniveau. De bovenste plots in Figuur 38 geven de verdelingen van het AIS2+ niveau als voorbeeld voor zowel de HIC15 als BrIC letselcriteria. Voor de snorfietser met SEPAC-helm zijn duidelijk weer de lage en hoge piek te zien met de HIC15 AIS2+ letselrisico van 0 en 100%. De bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm heeft een piek bij ongeveer 85% AIS2+ letselrisico vanwege kinematica 1 en weer de hoge 0% letselrisico vanwege kinematica 3. De overige simulaties liggen er tussenin op een lager niveau dan van de snorfietser met SEPAC-helm. Bij de BrIC AIS2+ letselrisico is dezelfde trend te zien met als uitzondering de 100% AIS2+ piek voor de snorfietser met SEPAC-helm. De onderste plots van Figuur 38 laten de verdelingen van het verschil in AIS2+ letselrisico zien voor de HIC15 en BrIC letselcriteria. Voor beide zit een grote piek op 0, waarbij een gelijk letselrisico bestaat van voornamelijk 0%. De negatieve waarden geven aan dat de snorfietser met SEPAC-helm een lager letselrisico heeft dan de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm, welke voortkomen uit kinematica 1 en 2. Kinematica 3 en de onbeschermde impacts geven de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm minder AIS2+ letselrisico. Het percentages simulaties met een gelijk of minder letselrisico voor de snorfietser is 58% en 53% met het gemiddelde op -7% en -7% voor het AIS2+ letselrisico voor de HIC15 en BrIC, respectievelijk. Hiermee voldoet de snorfietser met SEPAC-helm net aan de criteria gesteld in paragraaf 2.6 voor simulatiescenario 2, AIS2+ letselniveau voor de HIC15 en BrIC letselcriteria. De uitkomsten van de criteria voor de andere letselniveaus en helmcombinaties worden gepresenteerd in paragraaf 3.2.



Figuur 38 Resultaten simulatiescenario 3: Botsing met object. Boven: verdeling van de AIS2+ letselrisico op basis van HIC15 (links) en BrIC (rechts). Onder: verdeling van het AIS2+ verschil in letselrisico op basis van de simulatiecombinaties. Alle plots voor de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm en snorfietser met SEPAC-helm. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

3.1.4 Simulatiescenario 4 – Aanrijding door auto

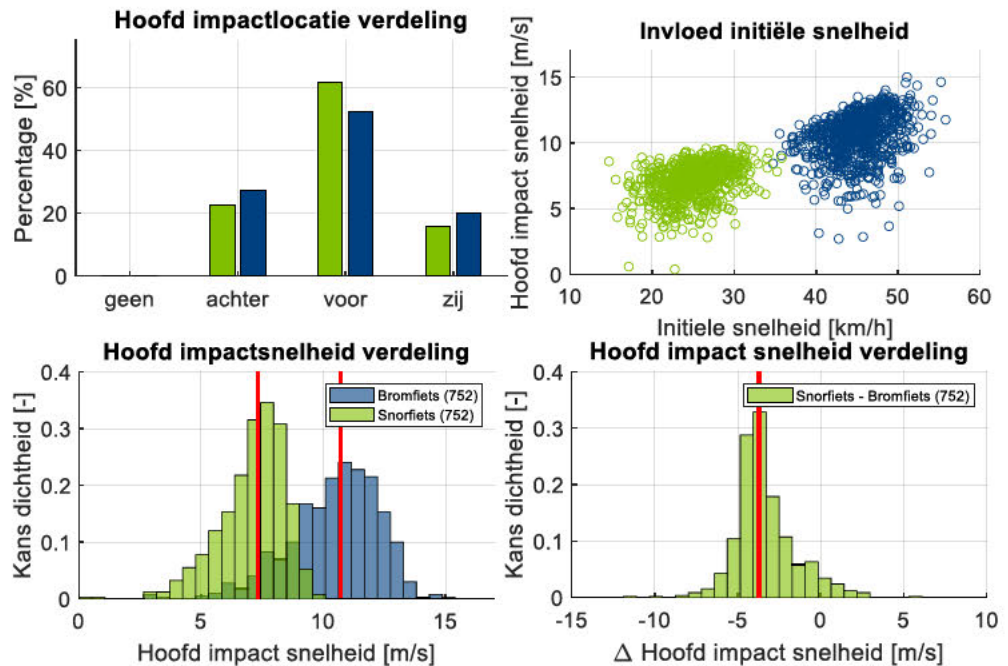
In Figuur 39 is een typische kinematica te zien van simulatiescenario 4 van de snorfietser en bromfietser. De kinematica van beide is vergelijkbaar. In de initiële positie begint de bromfietser iets verder terug, omdat de simulatie zo is opgezet dat ze op het moment van impact dezelfde positie hebben. Tijdens de impact wordt het voertuig en onderlichaam van de persoon door een auto aangereden. Hierdoor valt de persoon rechts van het voertuig af. Hoe verder het impactpunt op de auto naar links ligt en hoe lager de initiële snelheid van het voertuig, hoe groter de kans dat de persoon met het hoofd de auto raakt. Dit gebeurt dus vaker voor de snorfietser (~15%) dan voor de bromfietser (~7%).



Figuur 39 Voorbeeld van een typische kinematica van de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw) in simulatiescenario 1. Tijdstip 0, 42 (moment van impact), 150ms, 350, 600ms (vergelijkbaar met eindpositie).

De plot linksboven in Figuur 40 laat de hoofdimpactlocatie zien. Hier is goed te zien dat zowel de snorfietser als bromfietser voornamelijk op de voorkant van het hoofd wordt geraakt. Dit percentage is iets hoger voor de snorfiets, omdat deze nog vaker op de auto komt voordat hij de grond raakt. Door de wrijving met de auto draait de snorfietser iets meer, waardoor de kans op een impact met de voorkant van het hoofd iets groter wordt. In de plot rechtsboven van Figuur 40 staat de hoofdimpactsnelheid t.o.v. de initiële snelheid. Duidelijk is te zien dat hoe hoger de initiële snelheid is, hoe hoger de hoofdimpactsnelheid is. Wat ook opvalt, en ook te zien is in de verdeling van de hoofdimpactsnelheid in de plot linksonder in Figuur 40, is dat de hoofdimpactsnelheden over het algemeen hoger zijn dan in de andere scenario's. Dit komt omdat de persoon extra impuls van de auto krijgt, wat resulteert in een hogere snelheid van de persoon en dus een hoger hoofdimpactsnelheid tot gevolg heeft. Over het algemeen is deze extra snelheid gelijk voor de bromfietser en snorfietser,

aangezien het een loodrechte botsing is en de voertuigen weinig (verschil) in laterale snelheid hebben. Omdat de snorfietser een lagere initiële snelheid heeft krijgt deze er dus relatief meer snelheid bij. Dit komt naar voren in een vlakker correlatie tussen de initiële snelheid en hoofdimpactsnelheid dan bijvoorbeeld te zien is in scenario 2 (plot rechtsboven in Figuur 28). De plot rechtsonder in Figuur 40 laat het verschil in het hoofdimpactsnelheid tussen de snorfietser en bromfietser. In 95% van de simulaties is deze lager voor de snorfietser.

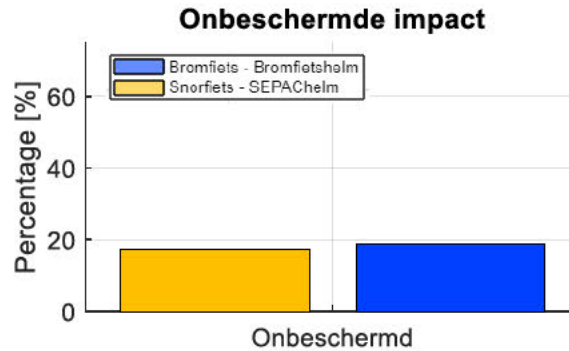


Figuur 40 Resultaten simulatiescenario 4: Aanrijding door auto. Boven links: Hoofdimpactlocatieverdeling. Snorfietser in het groen en bromfietser in blauw. Boven rechts: Hoofdimpactsnelheid tegen de initiële snelheid. Onder; Absolute (links) en relatieve (rechts) hoofdimpactsnelheidsverdeling voor snorfietser en bromfietser. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

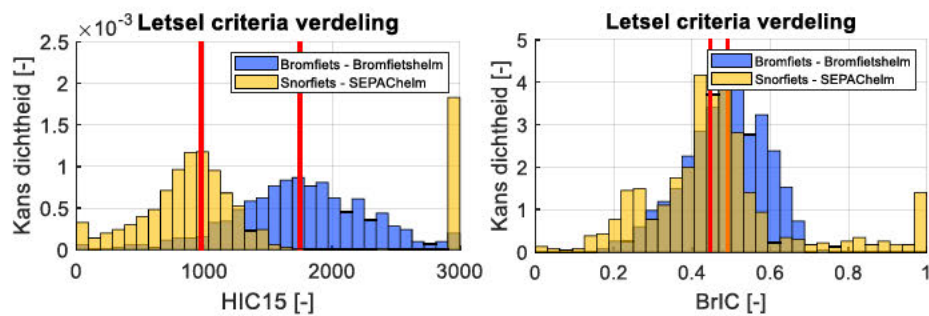
Figuur 41 laat zien dat de snorfietser met SEPAC-helm (~17%) ongeveer net zo vaak een onbeschermd impact heeft als de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm (~19%). De onbeschermd impact van de snorfietser met SEPAC-helm gebeurt relatief vaker met de auto (~31%) vergeleken met alle simulaties. Dit is niet het geval voor de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm. De locaties van de onbeschermd impact zijn voor beide vooral met de voorkant (gezicht) en zijkant van het hoofd.

In Figuur 42 is de verdeling te zien van de HIC15 en BrIC letselcriteria voor de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm (waarmee het onbeschermd deel van de minimale bromfietshelm afgebeeld in Figuur 36 dus wel beschermd is) en de snorfietser met SEPAC-helm. Deze zijn weer verkregen m.b.v. de helm overdrachtsfuncties vanuit Figuur 19 en Figuur 20 en de simulatie output voor het onbeschermd deel van het hoofd. Bij zowel de HIC15 en BrIC is een piek te zien in de laatste staaf/staven van de snorfietser met SEPAC-helm vanwege de onbeschermd impacts. Ook is te zien dat de verdeling van de snorfietser met SEPAC-helm over het algemeen lager ligt dan van de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm voor zowel het HIC15 als BrIC criterium (mediaan van 974 en 1748 voor HIC15 en 0.45 en 0.49 voor BrIC, respectievelijk). Dit verschil is

groter voor het HIC15 letselcriterium. Dit komt omdat zowel de SEPAC als bromfietshelm dezelfde bescherming biedt voor het HIC15 letselcriterium. Voor de hogere hoofdimpactsnelheden, zoals gevonden in dit scenario, geeft de SEPAC-helm hogere BrIC waarden dan de bromfietshelm. Vandaar dat de verdelingen met het BrIC letselcriterium dichterbij elkaar liggen.



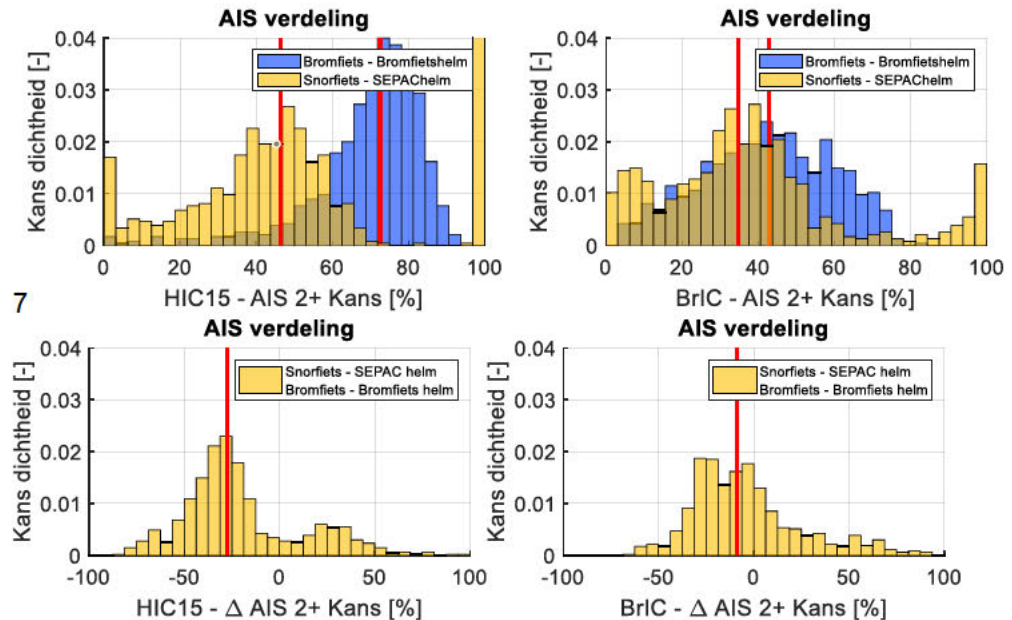
Figuur 41 Percentage van onbeschermd impact (buiten de helm zone) voor de bromfiets met bromfietshelm (bij een volledig beschermende bromfietshelm worden deze impacts dus wel opgevangen door de helm) en snorfiets met SEPAC-helm in simulatiescenario 4.



Figuur 42 Verdeling van de HIC15 (links) en BrIC (rechts) letselcriteria voor de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 4. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

Beide verdelingen van HIC15 en BrIC kunnen m.b.v. de letselrisicocurves (Figuur 11 en Figuur 12) weer omgezet worden naar letselrisico voor een bepaald letselniveau. De bovenste plots in Figuur 43 geven de verdelingen van het AIS2+ niveau als voorbeeld voor zowel de HIC15 als BrIC letselcriteria. De HIC15 AIS2+ geeft weer een piek bij 0% en 100% letselrisico voor de simulaties met een hoofdimpactsnelheid onder de 4m/s en onbeschermd impact respectievelijk (vooral van toepassing op de snorfietsers met SEPAC-helm). De letselrisico liggen voor de HIC15 AIS2+ substantieel uit elkaar met 47% en 73% letselrisico, voor snor- en bromfiets, respectievelijk. De BrIC AIS2+ verdelingen liggen dichterbij elkaar met een letselrisico van 35% voor de snorfiets met SEPAC-helm en 43% voor de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm. Het letselrisico van de snorfiets met SEPAC-helm heeft door de onbeschermd impact wel een duidelijke staart in het hogere risico. In de onderste plots staan de verdelingen van het verschil in letselrisico voor de HIC15 en BrIC letsel criteria. Aan de vorm en mediaan van de verdelingen is wederom te zien dat de SEPAC-helm minder bescherming biedt dan de bromfietshelm bij hogere impactsnelheden, wanneer gekeken wordt naar de BrIC. Het percentage simulaties met een gelijk of minder letselrisico is 78% en 65% met het gemiddelde op -20% en -4% voor het AIS2+ letselrisico voor de HIC15 en BrIC,

respectievelijk. Hiermee voldoet de snorfietser met SEPAC-helm net aan de criteria gesteld in paragraaf 2.6 voor simulatiescenario 2, AIS2+ letselniveau voor de HIC15 en BrIC letselcriteria. De uitkomsten van de criteria voor de andere letselniveaus en helmcombinaties worden gepresenteerd in paragraaf 3.2



Figuur 43 Resultaten simulatiescenario 4: Aanrijding door auto. Boven: verdeling van de AIS2+ letselrisico op basis van HIC15 (links) en BrIC (rechts). Onder: verdeling van het AIS2+ verschil in letselrisico op basis van de simulatiecombinaties. Alle plots voor de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en snorfietser met SEPAC-helm. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

3.2 Analyse

Tabel 3 en Tabel 4 vatten alle resultaten van de uitkomsten van de gestelde pass-fail criteria samen, waarbij Tabel 3 de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm als referentie heeft en Tabel 4 de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm. Iedere tabel heeft de letselniveaus (AIS 1-5+) en letselcriteria (HIC15 en BrIC) op de rijen staan. In de kolommen is de snorfietser met 3 verschillende helmen te vinden: volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm), minimaal beschermende bromfietshelm (minimale eisen R22.05) en SEPAC-helm. Voor iedere snorfietser met bijbehorende helm staat de gemiddelde waarde en percentage onder of gelijk aan 0 voor de verdeling van het verschil in letselrisico (letselrisico snorfietser min letselrisico bromfietser). Als het gemiddelde onder of gelijk aan 0 is deze groen gekleurd en anders rood. Voor het percentage onder 0 geldt dit bij 50% of hoger. In Tabel 3 zijn de besproken voorbeelden uit de vorige paragrafen omljnd.

Er is te zien dat voor alle scenario's, alle letselniveaus en beide letselcriteria het merendeel van de simulaties aangeeft dat de snorfietser met SEPAC-helm minder letselrisico heeft. Dit percentage is per simulatiescenario en per letselcriterium ongeveer gelijk voor alle letselniveaus. Dit komt omdat de letselrisicocurves altijd stijgend zijn. Dit betekent dat als je minder kans hebt op letsel bij AIS2+ je dit ook zal hebben bij AIS 5+. Het enige verschil zit hem in de kansen die 0 zijn bij AIS4+ en AIS5+ en 1 zijn bij AIS 1+, waarbij soms meerdere simulaties hetzelfde risico letsel

hebben. Hierdoor kan het percentage dan iets verschillen. De gemiddelde waarde van het verschil in letselrisico hangt erg af op welk deel je zit van je letselrisicocurve. Als het verschil van een letselcriteria in een steiler deel van de letselrisicocurve zit, wordt deze harder meegenomen in het gemiddelde en zal het dus meer die kant uitslaan. Het grotere lagere verschil in risico voor de snorfietser zit over het algemeen op het AIS1+ en AIS2+ letselniveau, waar dus de HIC15 en BrIC waarden op het steilste van de letselrisicocurve zitten. Bij de hogere letselniveaus zitten de HIC15 en BrIC waarde op het vlakke stuk in het begin van de letselrisicocurve waardoor de verschillen minder groot zijn en de onbeschermdere hardere impacts gemiddeld meer invloed hebben.

Tabel 3 Uitkomst van de 2 criteria (gemiddelde <0 & merendeel <0) per simulatiescenario, per letsel niveau (AIS 1-5) en per letselcriteria (HIC15 & BrIC) voor de snorfietser met de volledig beschermende bromfietshelm, minimaal beschermende bromfietshelm en SEPAC-helm t.o.v. de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm.

Referentie: bromfiets - bromfiets helm(I)													
		snorfiets - bromfiets helm (I)		snorfiets - bromfiets helm (O)		snorfiets - SEPAC helm (O)		snorfiets - bromfiets helm (I)		snorfiets - bromfiets helm (O)		snorfiets - SEPAC helm (O)	
		Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0
scenario 1						scenario 2							
AIS1+	HIC15	-75%	96%	-75%	96%	-74.6%	95%	-50%	100%	-50%	97%	-41.9%	72%
	BrIC	-42%	91%	-42%	91%	-56.0%	91%	-10%	100%	-10%	98%	-13.2%	78%
AIS2+	HIC15	-55%	96%	-55%	96%	-53.7%	95%	-58%	100%	-56%	97%	-36.3%	72%
	BrIC	-23%	91%	-23%	91%	-21.7%	90%	-22%	100%	-20%	97%	-10.2%	75%
AIS3+	HIC15	-39%	96%	-38%	96%	-37.0%	95%	-46%	100%	-44%	97%	-20.9%	72%
	BrIC	-7%	91%	-7%	91%	-6.4%	90%	-6%	100%	-6%	97%	-2.3%	75%
AIS4+	HIC15	-29%	96%	-28%	96%	-27.2%	95%	-38%	100%	-35%	97%	-10.8%	72%
	BrIC	-4%	91%	-4%	91%	-3.7%	90%	-4%	100%	-3%	97%	-1.3%	75%
AIS5+	HIC15	-27%	96%	-27%	96%	-25.5%	95%	-36%	100%	-33%	97%	-8.9%	72%
	BrIC	-4%	91%	-4%	91%	-3.3%	90%	-3%	100%	-3%	97%	-1.1%	75%
scenario 3						scenario 4							
AIS1+	HIC15	-1%	70%	4%	60%	4.3%	58%	-12%	94%	-9%	81%	-8.8%	78%
	BrIC	8%	56%	9%	54%	1.7%	56%	-1%	90%	-1%	87%	-1.2%	82%
AIS2+	HIC15	-17%	70%	-8%	60%	-6.7%	58%	-31%	94%	-22%	81%	-20.1%	78%
	BrIC	-13%	56%	-8%	51%	-6.6%	53%	-22%	89%	-14%	79%	-4.2%	65%
AIS3+	HIC15	-17%	70%	-7%	60%	-5.3%	58%	-31%	94%	-19%	81%	-16.6%	78%
	BrIC	-5%	56%	-3%	51%	-2.7%	53%	-8%	89%	-3%	79%	1.1%	65%
AIS4+	HIC15	-16%	71%	-5%	61%	-3.6%	59%	-28%	94%	-16%	81%	-12.7%	78%
	BrIC	-3%	56%	-2%	51%	-1.6%	53%	-5%	89%	-1%	79%	1.2%	65%
AIS5+	HIC15	-16%	71%	-5%	61%	-3.2%	60%	-28%	94%	-15%	81%	-11.6%	78%
	BrIC	-3%	56%	-2%	51%	-1.5%	53%	-4%	89%	-1%	79%	1.2%	65%

Tabel 4 Uitkomst van de 2 criteria (gemiddelde <0 & merendeel <0) per simulatiescenario, per letsel niveau (AIS 1-5) en per letselcriteria (HIC15 & BrIC) voor de snorfiets met de volledig beschermende bromfietshelm, minimaal beschermende bromfietshelm en SEPAC-helm t.o.v. de bromfiets met minimaal beschermende bromfietshelm.

Referentie: bromfiets - bromfiets helm(O)													
		snorfiets - bromfiets helm (I)		snorfiets - bromfiets helm (O)		snorfiets - SEPAC helm (O)		snorfiets - bromfiets helm (I)		snorfiets - bromfiets helm (O)		snorfiets - SEPAC helm (O)	
		Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0
scenario 1						scenario 2							
AIS1+	HIC15	-76%	97%	-76%	96%	-75.2%	95%	-51%	100%	-50%	99%	-42.4%	81%
	BrIC	-42%	91%	-42%	91%	-56.0%	92%	-10%	100%	-10%	99%	-13.2%	84%
AIS2+	HIC15	-62%	97%	-62%	96%	-60.7%	95%	-64%	100%	-62%	99%	-43.0%	81%
	BrIC	-38%	91%	-37%	91%	-36.3%	91%	-39%	100%	-38%	99%	-27.4%	82%
AIS3+	HIC15	-50%	97%	-50%	96%	-48.8%	95%	-58%	100%	-55%	99%	-32.7%	81%
	BrIC	-23%	91%	-23%	91%	-22.3%	91%	-19%	100%	-19%	99%	-15.4%	82%
AIS4+	HIC15	-44%	97%	-43%	96%	-41.8%	95%	-53%	100%	-50%	99%	-25.7%	81%
	BrIC	-18%	91%	-18%	91%	-17.5%	91%	-13%	100%	-13%	99%	-10.6%	82%
AIS5+	HIC15	-42%	97%	-42%	96%	-40.6%	95%	-51%	100%	-49%	99%	-24.3%	81%
	BrIC	-17%	91%	-17%	91%	-16.5%	91%	-12%	100%	-12%	99%	-9.8%	82%
scenario 3						scenario 4							
AIS1+	HIC15	-8%	72%	-3%	68%	-2.4%	67%	-13%	97%	-10%	86%	-9.7%	84%
	BrIC	8%	58%	8%	57%	1.3%	59%	-1%	93%	-1%	91%	-1.2%	87%
AIS2+	HIC15	-26%	72%	-17%	68%	-15.5%	67%	-37%	97%	-29%	86%	-26.5%	84%
	BrIC	-17%	58%	-13%	56%	-11.3%	58%	-33%	93%	-25%	85%	-15.2%	75%
AIS3+	HIC15	-27%	73%	-17%	69%	-15.5%	67%	-41%	97%	-29%	86%	-26.8%	84%
	BrIC	-11%	58%	-9%	56%	-8.2%	58%	-21%	93%	-16%	85%	-11.9%	75%
AIS4+	HIC15	-27%	73%	-16%	69%	-14.5%	68%	-41%	97%	-28%	86%	-24.9%	84%
	BrIC	-8%	58%	-7%	56%	-6.4%	58%	-16%	93%	-13%	85%	-10.4%	75%
AIS5+	HIC15	-27%	73%	-16%	70%	-14.2%	68%	-40%	97%	-27%	86%	-24.2%	84%
	BrIC	-8%	58%	-6%	56%	-6.1%	58%	-15%	93%	-12%	85%	-10.1%	75%

3.2.1 Scenario 1: Uitwijken

De resultaten van scenario 1 laten zien dat voor alle letselniveaus en beide letselcriteria 90-95% van alle simulaties de snorfiets met SEPAC-helm een lager letselrisico heeft dan de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm. Dit percentage gaat ongeveer 1% omhoog als er vergeleken wordt met de bromfiets met minimaal beschermende bromfietshelm. Als de snorfiets een bromfietshelm wordt opgezet is er ook ongeveer 1% extra aantal simulaties die minder letselrisico laten zien.

Als er gekeken wordt naar het gemiddelde van de snorfiets met SEPAC-helm is te zien dat het lagere letselrisico afloopt van AIS1+ van -75% voor HIC15 en -56% voor BrIC naar ongeveer -3% voor beide op AIS5+ met de volledig beschermende bromfietshelm en -40% en -17% met de minimaal beschermende bromfietshelm. Dit lagere letselrisico verschil per letselniveau komt, zoals hierboven beschreven, omdat het verschil wordt genomen op het vlakke deel waar er al een laag absoluut letselrisico is. Het grotere negatieve verschil in letselrisico tussen de minimaal en volledige beschermende bromfietshelm als referentie, komt omdat de harde onbeschermd impacts met de minimaal beschermende bromfietshelm ook worden meegenomen en die komen vooral tot uiting in de hogere letselniveaus. Als de snorfiets een bromfietshelm wordt opgezet wordt het letselrisico verschil ongeveer nog 1% extra lager voor de HIC15 op alle letselniveaus. Voor de BrIC is de bromfietshelm juist minder voordelig (14-2%) bij de lagere (AIS1-3+) letselniveaus (omdat de SEPAC-helm beter presteert bij lage hoofdimpactsnelheden). Bij de hogere letselniveaus krijgt de snorfiets wel een lager letselrisico van 1 – 1.5% vergelijkbaar met de HIC15 bij het dragen van een bromfietshelm.

3.2.2 Scenario 2: Remmen

Een vergelijkbaar beeld is te zien in de resultaten van scenario 2. In dit scenario is in 72-78% van de simulaties een lager letselrisico te zien voor alle letselniveaus en beide letselcriteria voor de snorfietser met SEPAC-helm met als referentie de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm. Als er wordt vergeleken met de minimaal beschermende bromfietshelm stijgt dit percentage naar 81-84%. Omdat in dit scenario de onbeschermden impacts voor de snorfietser vooral gebeuren op de zijkant van het hoofd en omdat de beide soorten bromfietshelmen een goede bescherming geven aan de zijkant stijgt dit percentage naar 97-100% als de bromfietshelm bij de snorfietser wordt opgezet, afhankelijk van de gekozen referentie.

Ook in dit scenario loopt het gemiddelde verschil in letselrisico voor de snorfietser met SEPAC-helm af van ongeveer -42% bij AIS1+ voor HIC15 en BrIC naar -1% en -10% voor AIS5+ met als referentie respectievelijk de volledig en minimaal beschermende bromfietshelm. Het opzetten van een bromfietshelm (maakt niet veel uit welke) bij de snorfietser zorgt voor een extra gemiddeld lager letselrisico van 8 tot 15% en 8 tot 25% voor de HIC15 AIS1+ tot AIS5+ voor de volledig en minimaal beschermende bromfietshelm, respectievelijk. Voor de BrIC AIS1+ is een iets minder beschermende werking te zien van de bromfietshelm met ongeveer 3%, weer vanwege de betere bescherming van BrIC letselrisico van de SEPAC-helm bij lagere hoofd impactsnelheden. Vanaf AIS2+ is er wel een positieve werking van de bromfietshelm op het gemiddelde van ongeveer 10% bij AIS2+ tot 1-2% bij AIS5+, afhankelijk van de referentie bromfietshelm.

3.2.3 Scenario 3: Botsing met object

In scenario 3 heeft in een kleine meerderheid van de simulaties de snorfietser met SEPAC-helm 53-60% en 58-67% minder letselrisico dan met de bromfietser met volledig en minimaal beschermende bromfietshelm, respectievelijk. Dit percentage is vergelijkbaar (-2 tot 2%) als een minimaal beschermende bromfietshelm wordt opgezet bij de snorfietser en wordt groter met ongeveer 10% en 4% voor de HIC15 en 5% en 2% voor de BrIC letselrisico's, afhankelijk van de referentie bromfietshelm, als een volledig beschermende bromfietshelm wordt opgezet. De gemiddelde waarde van het verschil in letselrisico van de snorfietser met SEPAC-helm is op zijn laagst bij AIS2+ met ongeveer -7% en loopt terug tot -3 en -2% bij AIS5+ voor de HIC15 en BrIC, respectievelijk, als vergeleken wordt met de volledig beschermende bromfietshelm. Als vergeleken wordt met de minimaal beschermende bromfietshelm is dat -16 en -11% bij AIS2+ en -14 en -6% bij AIS5+ voor de HIC15 en BrIC, respectievelijk. Wordt er een minimaal beschermende bromfietshelm bij de snorfietser opgezet daalt het gemiddelde letselrisico met 1 tot 2% en voor zowel de HIC15 als BrIC op alle letselniveaus. Bij een volledig beschermende bromfietshelm is dit nog eens 1-3% voor de BrIC en 10% voor de HIC15 gerelateerde letselrisico's. De grote winst in de HIC15 zit vooral in het beschermen van het gezicht in de botsing met het object in geval van een volledig beschermende bromfietshelm.

Bij het gemiddelde verschil in letselrisico bij het AIS1+ letselniveau is een andere trend te zien. Hier is duidelijk te zien dat zowel voor de HIC15 als de BrIC het gemiddelde boven de 0% letselrisico zit. Voor beide geldt een vergelijkbare verklaring met een eigen nuance. Zowel de snorfietser als bromfietser hebben te maken met grofweg 3 verschillende kinematica voornamelijk afhankelijk van de hoogte van het object, zoals is beschreven in paragraaf 3.1.3. Ten eerste (~27%) zijn er de simulaties waarbij er met het hoofd tegen het object wordt gereden en ten tweede (~18%) en derde (~55%) wanneer over het object heen wordt gevlogen en

het hoofd een impact maakt met de grond. Het verschil tussen de tweede en derde kinematica is dat bij de tweede de bromfietser en snorfietser op een gelijke manier op de grond komen en bij de derde niet (voornamelijk d.m.v. een salto). Met de eerste en tweede kinematica heeft de bromfietser door zijn hoge initiële snelheid een hogere hoofdimpactsnelheid. In de derde kinematica is te zien dat de bromfietser vaker een volledige salto maakt en daardoor ook vaak een lagere hoofdimpactsnelheid heeft (hij landt eerst op zijn rug).

De overdrachtsfuncties uit Figuur 19 en Figuur 20 geven voor iedere simulatie met een hoofdimpactsnelheid van 4 m/s of lager een HIC15 van 0 en dus 0% letselrisico. Dit geldt voor 45% van de bromfietzers en 30% van de snorfietzers. Het gemiddelde verschil in letselrisico wordt dus in minimaal door 15% van de simulaties al meer door de snorfietser beïnvloed (bromfietser is in dit scenario dus in het voordeel, geldt voor alle letselniveaus, dus ook voor AIS 1+). Voor letselniveau AIS1+ maakt het daarnaast niet veel verschil of je met 45 km/h (2000-3000 HIC15) tegen het object rijdt of met 25 km/h (1000-1500 HIC15). Beide geven namelijk bijna 100% kans op een AIS1+ letsel. Hoewel in het merendeel van de simulaties de snorfietser met SEPAC-helm een lager risico heeft dan de bromfietser met bromfietshelm, zorgen enkele hoge impacts voor de snorfietser ervoor dat het gemiddelde verschil in risico in het nadeel uitpakt voor de snorfietser met SEPAC-helm (> 0%). Wanneer de SEPAC-helm het gezicht volledig zou beschermen zou het gemiddelde net onder de 0% zakken.

In 15% van de gevallen maakt de snorfietser met SEPAC-helm een impact met het onbeschermd deel. Wanneer de minimaal beschermende bromfietshelm wordt opgezet verandert het gemiddelde niet, terwijl wanneer de volledig beschermende versie wordt opgezet het gemiddelde onder de 0% eindigt. Bovendien, als de snorfietser wordt vergeleken met de minimaal beschermende bromfietshelm bij de bromfietser (Tabel 4), zakt het gemiddelde ver onder de 0%, omdat de bromfietser ook in 18% van de gevallen een onbeschermd impact maakt.

Een vergelijkbaar fenomeen speelt ook bij de BrIC AIS1+ letselniveau, maar in andere verhoudingen. Voor de BrIC geldt namelijk dat de SEPAC-helm beter beschermt tot een hoofdimpactsnelheid van ~5 m/s en dat de BrIC zelfs 0 wordt bij een hoofdimpactsnelheid lager dan 1.5 - 2 m/s. Aan de andere kant wordt de AIS1+ letselrisico al 100% bij een BrIC van 0.2. Dit betekent niet alleen dat alle impacts van het hoofd met het object al een 100% letselrisico hebben, maar ook een groot deel van de impacts met de grond. Omdat de hoofdimpactsnelheid door de 'salto' voor de bromfietser een stuk lager liggen blijft een groter deel onder die 0.2, precies in het steile stuk van de letselrisicocurve waar het verschil wordt gemaakt. Verder hebben de onbeschermd impacts van de snorfietser met SEPAC-helm wel invloed, maar dit verschil is niet zo groot dat het gemiddelde boven de 0% letselrisico stijgt. Dit is ook te zien als de snorfietser met SEPAC-helm wordt vergeleken met de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm. Beide hebben vergelijkbaar aandeel onbeschermd impacts en het gemiddelde is nog steeds boven 0% letselrisico. Als de snorfietser één van de twee bromfietshelmen op zou zetten, wordt het gemiddelde zelfs nog hoger. Dit komt omdat de snorfietser hogere BrIC waarden krijgt bij de lagere snelheden precies in het AIS1+ gebied. Een bromfietshelm opzetten helpt in dit geval dus niet om het letselrisico omlaag te krijgen.

3.2.4 Scenario 4: Aanrijding door auto

In scenario 4 heeft 65% tot 82% en 75% tot 87% van de simulaties de snorfietser met SEPAC-helm een lager letselrisico wanneer vergeleken wordt met de bromfietser met minimaal en volledig beschermende bromfietshelm, respectievelijk. Als bij de

snorfietser de minimaal beschermende bromfietshelm wordt opgezet worden deze percentages vergroot naar 79-81% en 85-91% en met de volledig beschermende bromfietshelm naar 89-94% en 93-97%.

Het grootse gemiddelde letselrisico verschil ligt voor zowel de HIC15 als BrIC bij het AIS2+ letselniveau, omdat hier voor beide letselcriteria de verdeling voor de snorfietser met SEPAC-helm in het steilste deel van de letselrisicocurve zitten en omdat veel bromfietzers een hoog AIS2+ letselrisico krijgen, vergelijkbaar met de onbeschermden impacts van de snorfietser met SEPAC-helm, waardoor het gemiddelde verschil gedempt wordt. Voor het AIS1+ niveau gaat het gemiddelde verschil iets omhoog, omdat heel veel impacts met de snorfietser met SEPAC-helm ook een 100% letselrisico krijgen en er minder simulaties overblijven om het verschil te maken. Voor zowel de HIC15 als BrIC blijft het gemiddelde verschil nog wel onder de 0% letselrisico. Voor de AIS3+ - 5+ gaat het gemiddelde verschil ook omhoog, maar dit komt omdat de onbeschermden impacts van de snorfietser met SEPAC-helm nog steeds 100% letselrisico geven, terwijl die van de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm substantieel afnemen. Het gemiddelde verschil wordt dus groter. Bij de HIC15 blijft het gemiddelde nog steeds onder de 0% letselrisico, terwijl voor de BrIC deze net boven de 0% letselrisico uit komt (~1%). Dit verschil komt omdat de hogere letselniveaus bij HIC15 dichterbij de lage niveaus liggen dan het geval is bij BrIC. Als er wordt vergeleken met de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm, kan worden gezien dat deze afname een stuk kleiner is en dat ook de AIS3+ en AIS5+ van de BrIC ruim onder de 0% letselrisico uitkomt. Als er bij de snorfietser de minimaal beschermende bromfietshelm wordt opgezet wordt een extra lager letselrisico verwacht van ~3% en 10-2% (afhankelijk van letselniveau) voor de HIC15 en BrIC, respectievelijk, vanwege het iets grotere beschermingsgebied van die helm, maar vooral vanwege de betere bescherming tegen BrIC bij hoge hoofdimpactsnelheden. Bij een volledig beschermende bromfietshelm wordt nog eens een extra lager letselrisico verwacht van 8-13% en 8-2% (afhankelijk van letselniveau) voor de HIC15 en BrIC respectievelijk.

4 Discussie

In dit hoofdstuk worden de keuzes en bevindingen uit deze studie bediscussieerd. Deze discussiepunten zijn onderverdeeld over de verschillende stappen van de studie (paragraaf 4.2 t/m paragraaf 4.5), of toebedeeld aan de algemene aanpak van de studie (paragraaf 4.1). Een samenvattende conclusie van deze studie is te vinden in het volgende hoofdstuk.

4.1 Aanpak

De aanleiding van deze studie was de vraag van Ministerie van IenW of naast de bromfietshelm, ook de SEPAC-helm toegepast kan worden voor alle snorfietsen als een veilige alternatief ter preventie van hoofdletsel. Omdat “veilig” geen absolute waarde heeft, is er in deze studie voor gekozen de onderzoeksvraag te definiëren als een vergelijking van het hoofdbeschermingspotentieel van de SEPAC-helm voor de snorfietser, met het hoofdbeschermingspotentieel van de bromfietshelm voor de bromfietser. Waarbij deze laatste als referentie voor “veilig” wordt aangenomen. Met behulp van een simulatiestudie met relevante ongevalsscenario's wordt een kwantitatieve uitspraak gedaan m.b.t. het verschil in letselrisico. Een groot voordeel van een dergelijke simulatiestudie is dat deze in een relatief korte tijd uitgevoerd kan worden, in vergelijking met bijvoorbeeld uitgebreide ongevalsanalyses / dieptestudies waarbij over een langere periode ongevallen worden gemonitord.

Dit onderzoek resulteert in een vergelijking van risico op hoofdletsel voor snorfietsers, vergeleken met de bromfietser met bromfietshelm. Deze resultaten zijn geldig voor het domein waarin onderzocht is (de gekozen simulatiescenario's, parametervariëaties, helmkarakteristieken, etc.). Door dit domein zo goed mogelijk te laten overlappen met de werkelijkheid (variatie in type helmen, representatieve ongevalsscenario's, afstemming met experts) geeft een dergelijke studie een goede indicatie van wat er verwacht kan worden in werkelijkheid.

4.2 Definitie scenario's

In dit onderzoek is een vertaling gemaakt van ongevalsscenario's, gevonden in literatuur, naar relevante simulatiescenario's. Relevante simulatiescenario's worden onderscheiden op basis van te verwachten verschil in val-kinematica.

Uit de literatuurstudie naar relevante ongevalsscenario's is gebleken dat er niet altijd voldoende informatie aanwezig is in de ongevalsdata om goed onderscheid te kunnen maken tussen de verschillende simulatiescenario's. Zo kan een ongeval in de literatuur beschreven worden als aanrijding tussen snorfietser en auto op een kruispunt. Hier is echter niet gespecificeerd of de snorfietser tegen de auto rijdt, of de auto tegen de snorfietser. Voor de val-kinematica kunnen deze twee variaties echter zeer verschillend zijn.

Daarnaast is informatie om de parametervariëaties te kunnen kiezen (bijvoorbeeld gladheid van het wegdek, of impacthoek van de aanrijding) gering aanwezig in de literatuur. Er zijn enkele dieptestudies beschikbaar in literatuur (zoals [8]) waarin relatief veel detail beschikbaar is over (de situatie van) het ongeval. Nadeel van deze onderzoeken is dat ze vaak een beperkt aantal ongevallen meenemen, wat het lastiger maakt iets over de representativiteit te zeggen.

Bij het definiëren van de simulatiescenario's en parametervariëaties, moet rekening worden gehouden met de mogelijkheden in het gebruikte simulatiemodel. Wanneer het niet mogelijk is een bepaalde parameter mee te nemen in de simulatie, is het ook niet nodig hier een parametervariëatie voor te kiezen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de structuur van het grondoppervlak (frictie wordt wel meegenomen, maar bijvoorbeeld niet de vorm van tegels) of van een object (boom heeft een andere structuur dan een lantaarnpaal).

De opzet van de studie laat ruimte voor verschillende simulatiescenario's, of parametervariëaties, voor snor- en bromfietzers. Uit de literatuurstudie en expertsessie zijn echter geen significante verschillen naar voren gekomen, ondanks het feit dat bromfietzers (o.a.) een andere plek op de weg hebben dan snorfietzers. Dit bood in de analyse de mogelijkheid om simulatiecombinaties van snor- en bromfietser direct met elkaar te vergelijken.

Vóór afronding van de literatuurstudie m.b.t. definitie van simulatiescenario's was de insteek om realistisch gereden snelheden zoals gemeten op de openbare weg te gebruiken als input voor de simulaties. De literatuurstudie gaf echter onvoldoende uitsluitel over, met name, de verdeling van gereden snelheid van bromfietzers. Om een eerlijk vergelijk te maken tussen snor- en bromfietzers is het nodig om snelheidsverdelingen te kiezen die op eenzelfde manier representatief zijn voor heel Nederland (dus zowel binnen- als buiten bebouwde kom wanneer dit verschil kan hebben op de gereden snelheid en indien mogelijk in verschillende regio's). Met de beschikbare data uit de literatuur was het in deze studie niet mogelijk om een goed gefundeerde, naturalistische snelheidsverdeling te verkrijgen. Om deze reden is in deze studie gekozen om de vergelijking in letselrisico te maken op basis van wettelijke toegestane snelheden ("waar het voertuig voor bedoeld is"). De basis is hierbij voor zowel snor- als bromfiets gelijk (constructiesnelheid) en hij geldt in heel Nederland.

4.3 Definitie protectieniveau

In de literatuurstudie naar letselcriteria is een verscheidenheid aan criteria voor hoofd- en hersenletsel bekeken. De literatuur is het erover eens dat er naast lineaire bewegingen ook rotationele bewegingen moet worden meegenomen bij inschatten van hoofd-/ hersenletsel. De HIC15 voor lineaire bewegingen en BrIC voor rotationele bewegingen zijn hierbij het meest gangbaar. Bijkomend voordeel is dat er voor deze letselcriteria, letselrisicocurves voor verschillende letselniveaus (letselernst) beschikbaar zijn. Deze letselrisicocurves zijn bepaald voor de "gemiddelde mens". Er wordt dus geen onderscheid maken in bijvoorbeeld leeftijd of geslacht.

Om het aantal uit te voeren helmtesten te beperken zijn deze uitgevoerd op een testopstelling met een schuin impactoppervlak (onder 45°). Op deze manier kan zowel de HIC15 als BrIC gemeten worden als functie van de impactsnelheid.

Deze opstelling is gelimiteerd tot een minimale en maximale impactsnelheid van 3.9 en 9.4m/s, respectievelijk. Omdat er uit de simulaties lagere en hogere hoofdimpactsnelheden komen is de overdrachtsfunctie voor deze hogere snelheden geëxtrapoleerd.

Voor de testen zijn per helmtype (SEPAC-helm of bromfietshelm) 2 soorten helmen getest; een kwalitatief goede, en minder goede helm. In de testresultaten was een spreiding tussen de overdrachtsfuncties zichtbaar. Het is niet bekend hoe deze

spreiding (en daarmee de overdrachtsfuncties) veranderen wanneer andere helmen gekozen worden.

Zoals aangegeven zijn alle helmtesten uitgevoerd op een impactoppervlak van 45°. In de simulatie komt het hoofd van de bestuurder onder verschillende hoeken in aanraking met de grond of het object. Deze impacthoek van het hoofd wordt in de huidige studie niet meegenomen in de overdrachtsfunctie van hoofdimpactsnelheid naar letselcriterium (HIC15 of BrIC). Het is in deze studie niet onderzocht wat het effect op de overdrachtsfunctie is van andere impacthoeken.

De overdrachtsfuncties worden in de analyse gebruikt om een hoofdimpactsnelheid om te zetten naar waarden voor HIC15 en BrIC, op de plaatsen waar het hoofd de grond of het object raakt in het gebied dat wordt beschermd door de helm. Iedere simulatie krijgt zo een waarde voor HIC15 en BrIC, ongeacht of er ook daadwerkelijk rotationele snelheid is (bepaalt BrIC, zie vergelijking [2]) of een lineaire acceleratie (bepaalt HIC15, zie vergelijking [1]).

4.4 Simulaties

Het simulatiemodel gebruikt in deze studie is een ellipsoïde model. Doordat in dit model alle onderdelen opgebouwd zijn uit niet-vertormbare ellipsoïden kan de simulatie snel doorgerekend worden. Het gevalideerde model van de bestuurder is gebaseerd op een algemeen mensmodel zoals in de automotive veel gebruikt wordt (een zogenaamde 50th percentiel man). Er wordt in gedrag van dit model geen onderscheid gemaakt in geslacht, grootte, gewicht of leeftijd.

Het vereenvoudigde ellipsoïde model van de bestuurder is niet actief. Dat wil zeggen dat het niet actief beweging uit kan voeren, of bijvoorbeeld zijn spieren aan kan spannen. Met behulp van zogenaamde “restraints” in het model is bijvoorbeeld wel te modelleren dat de bestuurder, tot een bepaalde kracht / beweging, zijn handen aan het stuur houdt. Het is echter niet mogelijk om het model zijn arm of been uit te laten steken om zichzelf op te vangen, iets wat een mens (met name bij lagere snelheden) mogelijk wel zal doen. Er is in het gevalideerde model wel passieve spierkracht aanwezig (het model moet dus niet gezien worden als een dood object).

Dezelfde hardheid is in het model gebruikt voor het hele hoofd (schedelkarakteristiek). Hoewel het gezicht in werkelijkheid een zachtere karakteristiek heeft dan de rest van het hoofd, is dit verschil in het vereenvoudigde ellipsoïde model niet aanwezig. Met name versnellingen gemeten op het hoofd kunnen daardoor (onrealistisch) hoge waarden laten zien. Dit is terug te zien in de HIC15 waarden voor een impact op het hoofd in een onbeschermd gebied (buiten de helm). Het HIC15 letselcriterium is immers gebaseerd op lineair versnellingen. De HIC15 waarden die direct uit het simulatiemodel berekend worden resulteren vrijwel altijd in een 100% risico op (ernstig) letsel (voor alle letselniveaus, AIS1+ t/m AIS5+) en geven dus mogelijk een overschatting van het letselrisico. De gemeten snelheden in de simulaties hebben minder last van de harde karakteristiek van het hoofd en geven een meer realistische waarde terug. De BrIC die uitgerekend wordt op de onbeschermden delen van het hoofd (gebaseerd op snelheid en niet versnelling) heeft geen last van deze overschatting.

Voor de snor- en bromfiets is maar één model gebruikt. Omdat moderne snor- en bromfietsen van het scooter-type weinig van elkaar verschillen is dit geen onrealistische aanname.

Het simulatiemodel van de snor-/bromfiets heeft niet de mogelijkheid om een remkracht op de wielen te zetten. Om die reden is ervoor gekozen de wielen te blokkeren, wat een harde remactie nabootst. Ondanks dat dit geen één-op-één kopie is met wat er in de werkelijkheid gebeurt, geeft dit nog steeds een goed beeld van de kinematica bij plotselinge (harde) remacties.

Objecten buiten de snor-/bromfiets en bestuurder zijn gesimplificeerd. Zo is in scenario 3 een rechthoekig object gebruikt (met afgeronde randen → ellipsoïde) van verschillende afmetingen. Er zijn dus geen specifieke objecten exact nagemaakt (zoals een amsterdammertje, of de achterkant van een bestelwagen). Het effect van deze details op de val-kinematica wordt echter kleiner geschat dan het variëren van andere parameters in het scenario zoals de afmetingen van het object (hoog vs. laag, breed vs. smal) en de snelheid van het voertuig. Om dezelfde reden is ook de voorkant van de auto uit scenario 4 zeer versimpeld gemodelleerd (zie Figuur 10).

Op het detailniveau waarin de snor-/bromfiets en de bestuurder in de simulaties gemodelleerd zijn, is dit model symmetrisch. In de analyse wordt geen onderscheid gemaakt tussen impact op de helm aan de linker- of rechterkant. In geval van impact op beschermd gebied van het hoofd wordt zowel voor de linker- als rechterkant de overdrachtsfunctie van de helm voor “zijdig” gebruikt. In de uitsplitsing van hoofdimpactlocatie wordt deze om die reden ook samengevoegd.

4.5 Analyse

In de simulaties zijn de hoeveelheid details en parametervariëaties relatief beperkt gehouden. Op deze manier is het mogelijk met een beperkt aantal simulaties de hele parametervariëatie (en combinaties daarbinnen) representatief mee te nemen in de simulaties. Let wel, een “beperkt” aantal simulaties betekent voor deze studie dat er nog steeds minimaal 500 simulaties per simulatiescenario en per voertuig zijn uitgevoerd. Omdat er in de simulatiescenario's 3 en 4 (botsing) een hogere dynamiek wordt verwacht, en er meer parameters zijn om te variëren, is voor die scenario's een hoger aantal simulaties uitgevoerd. Het is mogelijk een maat te geven voor de convergentie van de verschillende scenario's (hoeveel verandert het resultaat als ik *nog* meer simulaties draai?), bijvoorbeeld m.b.v. de zogenaamde bootstrap methode. Deze maat is in deze studie niet bepaald.

De gekozen scenario's en parametervariëaties bakenen het domein af waarin onderzocht is, en daarmee waarover een uitspraak kan worden gedaan. Het kiezen van andere scenario's of andere parametervariëaties kan andere resultaten geven. Wanneer er bijvoorbeeld in scenario 3 alleen hoge objecten bekeken worden, zal het veel vaker voorkomen dat de bestuurder recht tegen het object aanrijdt (kinematica type 1 in paragraaf 3.1.3) en zal de bestuurder een lager letselrisico hebben bij het dragen van een volledig beschermende bromfietshelm. Om die reden is in dit onderzoek middels literatuurstudie en spiegeling in een expertsessie een zo compleet mogelijk beeld verkregen van wat relevante scenario's en parametervariëaties zijn.

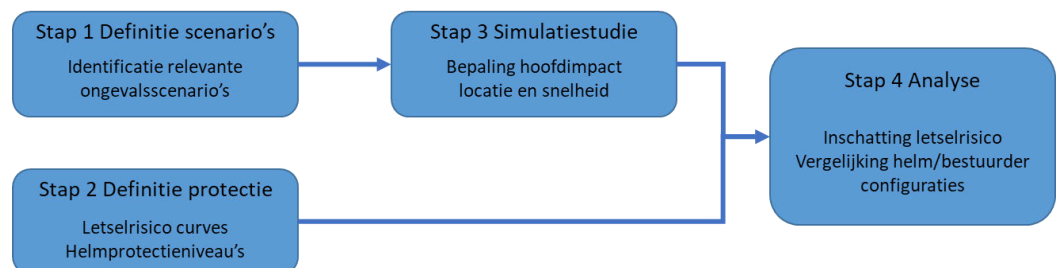
5 Samenvatting en Conclusie

Dit onderzoek heeft TNO uitgevoerd om het Ministerie van IenW inzicht te geven in het hoofdbeschermingspotentieel voor snorfietsbestuurders van zowel een speedpedelec-helm, oftewel SEPAC-helm (Speed Electrical Power Assisted Cycle (SEPAC), gegeven de bestaande normering NTA 8776: 2016) als een bromfietshelm (gegeven de bestaande normering ECE R22.05). Dit inzicht kan het Ministerie helpen bij beantwoording van de vraag of naast de bromfietshelm, ook de SEPAC-helm toegepast kan worden als een veilig alternatief ter preventie van hoofdletsel voor bestuurders van alle snorfietsen. In deze studie is middels een simulatieanalyse inzicht gegeven in het beschermingspotentieel van beide typen helmen. Deze studie richt zich uitsluitend op de bestuurder van de snorfiets en het risico op hoofdletsel; eventuele bijrijders, of letsel aan andere lichaamsdelen dan het hoofd, is buiten de scope van deze studie.

In de volgende paragrafen zijn de conclusies van het onderzoek samengevat.

5.1 Aanpak

Het is lastig een eenduidige definitie te geven wanneer een helm veilig is voor de snorfietsers. Om deze reden is er in de studie voor gekozen het beschermingspotentieel van beide typen helmen (SEPAC-helm en bromfietshelm) voor de snorfietsers te vergelijken met het beschermingspotentieel van de bromfietshelm voor de bromfietser. Middels een simulatie analyse, waarin relevante, risicovolle ongevalsscenario's zijn gesimuleerd, is inzicht verkregen in risico op hoofdletsel. Als referentiewaarde voor aanvaardbaar risico is letselrisico van de bromfietser met bromfietshelm aangenomen. De stappen die in deze studie zijn gevolgd zijn weergegeven in Figuur 44.



Figuur 44 Overzicht van de stappen in de simulatiestudie

5.2 Relevante ongevalsscenario's

Als eerste stap in de studie is een literatuurstudie uitgevoerd naar de belangrijkste ongevalsscenario's en parameters voor snor- en bromfietzers. Hieruit kwam naar voren dat er geen substantieel verschil gevonden is in soort ongevallen tussen snor- en bromfietzers. Vier verschillende simulatiescenario's zijn uiteindelijk gedefinieerd: Uitwijken, Remmen, Botsing met Object en Botsing door auto. De literatuurstudie en de expertsessie leverde geen eenduidig en bruikbaar beeld op met betrekking tot de

natuurlijk gereden snelheden van de snor- en, voornamelijk, bromfietzers. Daarom is ervoor gekozen om de snelheid van de snor- en bromfietzen in de simulaties te kiezen rondom de wel bekende en eenduidige constructiesnelheid (snelheden waarvoor de voertuigen zijn ontworpen).

5.3 Simulaties

Het verloop van een ongeval is vaak afhankelijk van veel verschillende factoren (parameters). Om zo goed mogelijk het hele spectrum van factoren mee te nemen in de simulaties is ervoor gekozen om gebruik te maken van Monte-Carlo simulaties. Bij Monte-Carlo simulaties worden de parameters binnen een bepaald werkgebied op een random manier gekozen om op die manier een zo volledig mogelijk beeld te krijgen. Voor zowel de snorfietser als bromfietser worden dezelfde parameters (op de initiële snelheid na) per simulatie gebruikt om zo een simulatiecombinatie te creëren. Hierdoor is het in de analyse mogelijk om het verschil in letselrisico te berekenen per simulatiecombinatie (verschil in letselrisico voor snor- en bromfietser).

5.4 Letselrisicocriteria en helmprotectieniveau

Het is in het snelle simulatiemodel niet mogelijk (het effect van) een helm mee te nemen. Om toch de letselcriteria uit te rekenen wordt uit de simulatie de hoofdimpactsnelheid en hoofdimpactlocatie gehaald. Het beschermende effect van de helmen wordt buiten de simulatie bepaald. Door gebruik te maken van letselrisicocurves kan de vertaalslag gemaakt worden van de hoofdimpactsnelheden en -locaties uit de simulaties, naar risico op hoofdletsel. De letselrisicocurves zijn verkregen uit een voor deze studie uitgevoerde literatuurstudie. Er is zowel een lineair criterium (HIC15) als rotationeel criterium (BrIC) meegenomen. Deze letselcriteria hebben beide hun eigen letselrisicocurves voor licht letsel (AIS1+) t/m kritisch letsel (AIS5+).

De relatie tussen de hoofdimpactsnelheid en de letselcriteria, bij gebruik van de verschillende typen helmen, is bepaald door middel van fysieke testen. Bij deze testen zijn meerdere (op de markt beschikbare) SEPAC- en bromfietshelmen onderworpen aan karakteristieke testen. Er is getest op verschillende impactlocaties op de helm. Dit leverde het volgende inzicht op: De beschermende werking van helmen is verschillend voor de verschillende impactlocaties. Voor het HIC15 letselcriterium is gevonden dat beide soorten helmen gelijkwaardig beschermen. Voor het BrIC letselcriterium is gevonden dat de SEPAC-helm beter beschermt dan de bromfietshelm bij lage-, en minder goed bij hoge hoofdimpactsnelheden.

5.5 Analyse

In de analyse is gekeken naar verschillende combinaties voor bestuurder en helm:

- De snorfietser met
 - SEPAC-helm (volgens norm NTA 8776)
of
 - volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm)
of
 - een minimaal beschermende bromfietshelm (“pothelm”, minimale eisen in norm ECE R22.05)

Vergeleken met

- De bromfietser met
 - volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm)
 - of*
 - een minimaal beschermende bromfietshelm (“pothelm”, minimale eisen in norm ECE R22.05)

In Figuur 6 is weergegeven welke delen van het hoofd bij de verschillende helmtypen beschermd zijn (blauw) of onbeschermd (rood) in de analyse van deze studie.

De **hoofdimpactsnelheid** en **-locatie** uit de simulaties, samen met het **protectieniveau** van de verschillende helmtypen en de **letselrisicocriteria** geven uiteindelijk een letselrisico voor de snorfietser en bromfietser. De combinatie van de snorfietser + helm wordt gezien als veilig wanneer aan de volgende twee criteria wordt voldaan:

- Het merendeel van de simulaties geeft een gelijk of lager letselrisico voor snorfietser/helm combinatie (dus 50% of meer) ten opzichte van de bromfietser/helm combinatie.
- De totale verwachting (= gemiddelde) van het letselrisico voor de snorfiets/helm combinatie is gelijk of lager dan van de bromfietser/helm combinatie.

De resultaten laten zien dat voor bijna alle combinaties van simulatiescenario's, letselniveaus en letselcriteria de **snorfietser met SEPAC-helm** vergeleken met de **bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm** (integraalhelm) **voldoet aan de gestelde criteria**. Alleen bij simulatiescenario 3 bij het lage letselniveau en simulatiescenario 4 bij het hoge letselniveau komt de totale verwachting van het **letselrisico voor de snorfietser met SEPAC-helm hoger uit dan voor de bromfietser met volledig beschermende helm**.

In het eerste geval (scenario 3) is dit voornamelijk te wijten aan lagere hoofdimpactsnelheden bij de bromfietser, omdat deze dankzij zijn snelheid een salto maakt en eerst met de rest van het lichaam op de grond komt na een botsing met een halfhoog object. De snorfietser komt daarentegen vaker eerst met zijn hoofd op de grond, wat een hoge impact als gevolg heeft. Een volledig beschermende bromfietshelm zou voor het reduceren van de gemiddelde HIC waarde in dit geval helpen, met name omdat er dan geen onbeschermden delen van het hoofd zijn die rechtstreeks de grond raken. Een volledig of minimaal beschermende bromfietshelm gaat in dit scenario niet helpen om de gemiddelde BrIC waarde omlaag te krijgen, omdat voor de gevallen met een relatief lage hoofdimpactsnelheid in dit scenario (lager dan 5 m/s) de SEPAC-helm beter lijkt te beschermen.

In het tweede geval (scenario 4) maken de onbeschermden impacts het verschil. Als er namelijk vergeleken wordt met de minimaal beschermende bromfietshelm, is de totale verwachting ruim binnen het gestelde criterium. Als er wordt aangenomen dat ongeveer 10% van de bromfietzers niet met een volledig, maar minimaal beschermende bromfietshelm rijdt, geeft het gewogen gemiddelde tussen die 2 vergelijkingen een veilig resultaat, volgens de in deze studie gekozen definities.

Wanneer we als referentie de snorfietser met bromfietshelm nemen (in plaats van de bromfietser met bromfietshelm) kiezen, is te zien dat in het merendeel van de simulaties nog steeds de snorfietser met SEPAC-helm een gelijke tot betere bescherming biedt voor de snorfietser. De totale verwachting van het letselrisico is in dit geval wél hoger voor de snorfietser met SEPAC-helm, ten opzichte van de

referentie snorfietser met bromfietshelm. Dit geeft aan dat, hoewel de SEPAC-helm volgens het gekozen criterium “even veilig als de bromfietshelm voor de bromfietser” als voldoende veilig kan worden beschouwd voor de snorfietser, de bromfietshelm (integraalmodel en “pothelm”) wel een betere bescherming biedt dan de SEPAC-helm voor de snorfietser.

5.6 Conclusie

Het antwoord op de vraag van het Ministerie van I&W of, naast de bromfietshelm, ook de SEPAC-helm toegepast kan worden voor alle snorfietsen als een veilig alternatief ter voorkoming van hoofdletsel, kan positief worden beantwoord.

Deze studie laat zien dat de SEPAC-helm een vergelijkbare tot betere bescherming biedt voor de snorfietser, dan de bromfietshelm voor de bromfietser. De SEPAC-helm biedt volgens de gestelde criteria en aannames dus een veilig alternatief ter voorkoming van hoofdletsel voor de bestuurder van de snorfiets. De bromfietshelm (integraal en “pothelm”) biedt echter een nog betere bescherming voor de snorfietser dan de SEPAC-helm.

De getrokken conclusies gelden alleen bij de gekozen simulatiescenario's inclusief de gekozen waarden voor de parameter variaties. Een dominante parameter die veel invloed heeft op de resultaten, is de constructiesnelheid van beide voertuigen.

6 Handtekening

Helmond, 09-04-2021	TNO
Bevat persoonsgegevens 	Bevat persoonsgegevens 

7 Literatuur

- [1] Kamerstuk 29 398, Nr 839
- [2] Bevat persoonsgegevens "Helm: historische snorfiets en gemotoriseerd rijwiel", TNO 2020 M11731, 17 November 2020
- [3] BRON, Bestand geRegistreerde Ongevallen Nederland data verkrijgbaar via <https://data.overheid.nl/dataset/9841-verkeersongevallen---bestand-geregistreerde-ongevallen-nederland>
- [4] VeiligheidNL, "Verkeersongevallen 2017, Ongevalscijfers", mei 2019
- [5] Bevat persoonsgegevens "Effecten van mogelijke gedragsregels voor speed-pedelecs", Rijkswaterstaat, December 2014
- [6] Bevat persoonsgegevens, "Evaluatie verkeersveiligheidseffecten 'Bromfiets op de Rijbaan'", Adviesdienst Verkeer en Vervoer, september 2001
- [7] Bevat persoonsgegevens, "'Bromfiets op de rijbaan': van proef tot maatregel", SWOV R-94-69, 1994
- [8] Bevat persoonsgegevens et al., "Snorfietsongevallen op het fietspad: karakteristieken en scenario's van ongevallen op wegvakken en kruispunten", SWOV, R-2017-12A, 2017
- [9] Bevat persoon et al., "Achtergronden bij De Staat van Verkeersveiligheid 2020", SWOV R-2020-27A, 2020
- [10] Bevat persoonsgegevens et al., "Diepteanalyse van de karakteristieken en profielen van ernstige bromfietsongevallen binnen de bebouwde kom", VIAS institute, Rapport nr 2017-R-07, Januari 2018
- [11] Bevat persoonsgegevens, "Diepteanalyse ongevalsmechanismen verkeersslachtoffers snoren bromfietsen", Veiligheid NL, Notitie Februari 2017
- [12] Bevat persoon et al, GDV, "Unfälle mit leichten, motorisierten Zweirädern", 2013
- [13] Bevat persoonsgegevens et al, Bevat persoon, "Monitoring Snelheid Brom- en Snorscooters Amsterdam", September 2014
- [14] Bevat persoon et al, "Samenstelling van het brommerpark in de gemeente Utrecht, Brommer-kentekenscan september 2014", TNO Rapport TNO-2015-R10060, Januari 2015
- [15] Bevat persoonsgegevens et al, "Educated Guess van gevolgen voor verkeersslachtoffers door maatregel Snorfiets op de rijbaan (SOR) in Amsterdam", SWOV rapport D-2013-11, 2013
- [16] Bevat persoonsgegevens "Notitie Fietsongevallen, botsingen tussen fietsers", Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart, Juni 2010
- [17] Euro NCAP, "MPDB Frontal Impact Testing Protocol", European New Car Assessment Programme, Version 1.1.1, October 2019
- [18] Bevat persoon et al, "Cyclist's Choice of Speed, Radius and Lateral Acceleration While Negotiating a Curve: A Closed Course Pilot Study", Accident Reconstruction Journal, Vol 25, No 6, November 2015
- [19] Bevat persoonsgegevens, "Simple Understanding of Kinematic Bicycle Model", Feb 2020, webpage: <https://dingyan89.medium.com/simple-understanding-of-kinematic-bicycle-model-81cac6420357>
- [20] Bevat persoonsgegevens, "Therapeutic approaches for the prevention of secondary brain injury", European Journal of Anaesthesiology, Volume13, Issue3, 1996
- [21] Bevat persoonsgegevens "A review of the severity index". In: 15th Stapp car crash conference, Coronado, CA, November 1971, SAE International
- [22] Bevat persoonsgegevens et al, "The position of the United States delegation to the ISO Working Group 6 on the use of HIC15 in the automotive environment",

- Government/Industry Meeting and Exposition, Washington, D.C., May 1985, Technical Paper no. 851246, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.
- [23] Bevat persoon, et al, "Head injury risk assessment for forehead impacts", SAE Technical Papers, February 1996
- [24] Bevat persoon et al., "A note on the head injury criterion (HIC) as a predictor of the risk of skull fracture", Proceedings of the 37th Association for the Advancement of Automotive Medicine: 303-10., 1993
- [25] Bevat persoonsgegevens, 1998
- [26] Bevat persoonsgegevens et al. "A new biomechanical assessment of mild traumatic brain injury. Part 2 – Results and conclusions. Montpellier, France, 20–22 September 2000. pp. 223-233., Zurich, Switzerland: IRCOBI
- [27] Bevat persoonsgegevens 1988
- [28] Bevat persoonsgegevens, "Non-invasive brain injury evaluation", US Patent App. 12/454,538, 2009
- [29] Bevat persoon et al, "Investigation of head injury mechanisms using neutral density technology and high-speed biplanar x-ray", Proceedings of the 45th Stapp Car Crash Conference, pp. 337-368. Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 2001
- [30] Bevat persoonsgegevens, "Evaluation of head injury criteria using a finite element model validated against experiments on localized brain motion, intracerebral acceleration, and intracranial pressure", International Journal of Crashworthiness 11(1):65-79, 2006
- [31] Bevat persoonsgegevens, et al., "Kinematic Rotational Brain Injury Criterion (BRIC)", Proc. 22nd ESV Conference, 2011.
- [32] Bevat persoonsgegevens et al, "Development of Brain Injury Criteria (BrIC)", Stapp Car Crash Journal, Vol 57, November 2013, pp. 243-266
- [33] Bevat persoonsgegevens et al, "Mild traumatic brain injury predictors based on angular accelerations during impacts", Ann. Biomed. Eng., Vol. 40, pp. 114–126, 2012
- [34] Bevat persoonsgegevens et al, "Brain Injury Prediction: Assessing the combined probability of concussion using linear and rotational head acceleration. Annals of Biomedical Engineering 41(5): 873–882, 2013
- [35] Bevat persoonsgegevens et al, "Development of a Metric for Predicting Brain Strain Responses Using Head Kinematics", Annals of Biomedical Engineering, Vol. 46, No 7, July 2017
- [36] Bevat persoonsgegevens, "Investigation on an Injury Criterion Related to Traumatic Brain Injury Primarily Induced by Head Rotation", SAE 2015 World Congress & Exhibition, 2015-01-1439, 2015
- [37] Bevat persoonsgegevens, et al, "A proposed new biomechanical head injury assessment function - the maximum power index", Stapp Car Crash J. 44:215–247, 2000
- [38] Bevat persoonsgegevens, et al, "A generalized model for brain injury threshold (GAMBIT)", Zurich, Switzerland, September 1986, pp. 121–131. Zurich, Switzerland: IRCOBI
- [39] Bevat persoonsgegevens "Predictors for traumatic brain injuries evaluated through accident reconstructions", Stapp Car Crash Journal, Vol. 51, 2007
- [40] Bevat persoonsgegevens et al., "Development of a comprehensive injury criterion for moderate and mild traumatic brain injuries", International Journal of Automotive Engineering, Vol. 7, 69-75, 2016
- [41] Bevat persoonsgegevens et al, "Development of a Second-Order System for Rapid Estimation of Maximum Brain Strain", Annals of Biomedical Engineering, Vol. 47, No 9, September 2019

- [42] **Bevat persoons** et al, "New Risk Curves for NHTSA's Brain Injury Criterion (BrIC): Derivation and Assesment", Stapp Car Crash Journal, Vol 60, p. 301-362, November 2016
- [43] **Bevat persoonsgegevens** et.al, "Bicycle helmets are highly effective at preventing head injury during head impact: Head-form accelerations and injury criteria for helmeted and unhelmeted impacts", Accident Analysis and Prevention 70, 2014
- [44] **Bevat persoonsgegevens**, "Biomechanical Assessment of Cycling Helmets: the Influence of Headform and Impact Velocity based on Bicycle Collisiosns assoviated with Injury Claims", Master of Science theses in Kinesiology, Ontario 2015
- [45] **Bevat persoonsgegevens** "Biomechanics of head injuries and helmet protection", ADVOCATE, June 2018
- [46] **Bevat persoonsgegevens** et.al., "Speed-pedelec helmet argumentation for NTA 8776 as formulated in the NEN workgroup", TNO report TNO-2016-R11261, 2016
- [47] **Bevat persoonsgegevens** "Simulation study: Falling behaviour of speed-pedelec riders", TNO report TNO 2015 R11310, 2015
- [48] Sharp helm rating, URL <https://sharp.dft.gov.uk/sharp-testing/>)
- [49] Koninklijke RAI Vereniging, "Analyse rijdend park scooters 2020", Februari 2021
- [50] https://aci.health.nsw.gov.au/get-involved/institute-of-trauma-and-injury-management/data/injury-scoring/abbreviated_injury_scale

- Opgemerkt wordt dat het wellicht zinvol kan zijn naar de leeftijdsverdeling van snor/bromfietser te kijken (snorfietzers doorgaans hogere leeftijd). Letselrisico voor oudere doelgroepen zou eventueel meegenomen kunnen worden in geval er letselrisico informatie beschikbaar is specifiek voor deze doelgroepen.
 - In WP3 worden aan de genoemde simulaties voor snor- en bromfietsscenario's uitgevoerd (enkele duizenden). In deze simulaties draagt de bestuurder geen helm. Uit deze simulaties kan de impactintensiteit (bijvoorbeeld snelheid of acceleratie) en impactlocatie van het hoofd bepaald worden (omdat het vele simulaties betreft komt hier een verdeling van impact intensiteit en locatie uit).
 - In WP4 worden de simulatieresultaten uit WP3 en beschermingspotentieel en letselrisico criteria uit WP2 gecombineerd in de analyse. Op basis van deze analyse kan een inschatting gegeven worden van de impactlocatie (op basis van simulaties) en van het letselrisico voor een snorfietser met speed-pedelec helm, danwel bromfietshelm, vergeleken met het letselrisico voor een bromfietser met bromfietshelm.
 - Aanpak en resultaten worden vastgelegd middels een rapportage (WP5).
- Voorgestelde scenario's
 - Er worden 4 scenario's voorgesteld door TNO [sheet 12]:
 - Uitwijkmanoeuvre (voor stilstaand (infrastructureel) object, andere verkeersdeelnemer) --> controleverlies --> vallen
 - Te lage snelheid --> vallen
 - Botsing met object (omvat zowel botsing met stilstaand object (bijvoorbeeld paaltje, of geparkeerde auto) of bewegend object (afslaande fietser, passerende auto, overstekende voetganger))
 - Botsing door object (snor/bromfiets wordt in de flank aangereden door andere verkeersdeelnemer)
 - Verschillende parameters kunnen in deze scenario's gevarieerd worden, zoals bijvoorbeeld de snelheid van de snor- of bromfiets, de frictie van het wegdek, of de grootte van het object waarmee de aanrijding plaatsvindt.
 - Plaats op de weg wordt niet expliciet meegenomen als parameter, maar impliciet wel doordat bepaalde scenario's voor de snor- of bromfietser meer of minder vaak voorkomt vanwege zijn plaats op de weg.
- Vragen voor deze expertsessie [sheet 13]
 - Vraag 1: Missen we nog relevant onderzoek uit de literatuur of databronnen?
 - Onderscheid tussen snor- en bromfiets is niet altijd te maken in de beschikbare data / literatuur.
 - Mogelijk kan informatie gedeeld worden uit regionale registraties uitgevoerd door VeiligheidNL.
 - Er zijn ongevalsstudies met snor/bromfietsen uit België (daar type A/B, niet exact hetzelfde als onze brom/snorfietsen, maar volgens SWOV is het vermogen van de snorfiets vergelijkbaar).
 - Mogelijk is er interessante data te halen uit trauma rapporten (onderscheid tussen brom/snor waarschijnlijk niet aanwezig)
 - Informatie over gemeten snelheden brom/snorfietsers in rapport Rijkswaterstaat
 - Vraag 2: Kunnen jullie je vinden in de gedefinieerde simulaties-scenario's? Ondervangen we met deze scenario's de relevante brom en snorfietsongevallen?
 - De 4 scenario's worden herkend door de deelnemende experts als belangrijkste relevante scenario's voor brom- en snorfietseren.

- Er wordt een suggestie gedaan om te kijken of "de controle verliezen over het voertuig", al dan niet bij een glad wegdek, in scenario 1 of 2 ondervangen kan worden. Hetzelfde geldt voor "uit de bocht vliegen" en "plotseling remmen".
- Het belang van scenario parameters / factoren kiezen welke een effect hebben op hoofdletsel wordt onderkend. Snelheid is hier de belangrijkste. Vanuit staand vallen geeft lage traumatische impact, die niet specifiek is voor snorfietsen (hetzelfde als voor vallen van een keukentrapje). Daarom hoeft vanuit stilstand vallen volgens het UMCG niet meegenomen te worden in het onderzoek.
- Bij het kiezen van de range van snelheden die meegenomen wordt in de simulaties wordt geadviseerd niet alleen de wettelijk toelaatbare snelheden mee te nemen, maar ook de daadwerkelijk gereden hogere snelheden. Volgens SWOV zijn data van RWS beschikbaar over de daadwerkelijk gemeten snelheden in de praktijk van snorfietsen.
- Vraag 3: Zien jullie belangrijke verschillen tussen brom- en snorfietsscenario's waar we rekening mee moeten houden?
 - Tijdens de expert sessie zijn geen significante verschillen tussen ongevalscenario's tussen snor- en bromfietsen genoemd
- Vraag 4: Welke parameters zijn in jullie ogen weer relevant om mee te nemen in de simulatie-parameter variaties? En waarom?
 - Wat betreft snelheid die gebruikt wordt in de simulaties is besproken een brede verdeling van snelheden mee te nemen, waar zowel toegestane constructiesnelheid, als gemeten snelheden onder vallen. Bij het analyseren van de resultaten kan een onderscheid gemaakt worden tussen het meenemen van de complete snelheidsverdeling, of bijvoorbeeld tot aan de constructiesnelheid.
 - Hoogte van object in scenario 3+4 relevant.
- Andere input / feedback
 - De open structuur van een speed-pedelec helm zorgt voor minder goede verdeling van impact in vergelijking met bromfietshelmen
 - Er wordt opgemerkt dat, mocht een speed-pedelec helm toegestaan worden voor snorfietsers, er mogelijk twee type helmen op de weg komen (in geval snorfiets op de weg gaat rijden, zoals in Amsterdam)
 - LEV voertuigen krijgen mogelijk in de toekomst ook een blauwe kentekenplaat
 - Er wordt opgemerkt dat de nieuwste variant bromfietshelmen (type 6) ook getest wordt op rotationele acceleraties. Deze helmen zijn echter nog niet/nauwelijks te zien in het straatbeeld. TNO geeft aan dat er bij eventuele helmtesten een veel gebruikte helm gekozen zal worden (dus type 5) maar dat deze ook voor rotationele acceleraties getest zal worden (dus volgens nieuwste protocol van type 6)


Slides op volgende pagina

AGENDA
EXPERT SESSIE


1. WELKOM: INTRODUCTIE & DOEL
2. VRAAGSTELLING & KADER – MIN I&W
3. ONDERZOEK: ACHTERGROND & OPZET
4. INPUT: REFLECTIE TNO STUDIE
5. AFSLUITING

TNO innovation for life


1. WELKOM
VOORSTELRONDE




› TNO project team



› Opdrachtgever - IenW



› Genodigden Experts



woensdag 27 januari 2021

TNO innovation for life 3

1. WELKOM
DOEL VAN DE EXPERTSESSIE



- › Inhoudelijke expert sessie
 - › Informeren experts
 - › Inbreng expertkennis
 - feitelijke data en kennis onderbouwing onderzoek (huidige kennisniveau)
 - focus: scenario's simulatiestudie
- › Regels/Randvoorwaarden
 - › Open inhoudelijke discussie (geen politieke discussie)
 - › Opbouwende feedback
 - › Ruimte voor vragen en opmerkingen

woensdag 27 januari 2021

TNO innovation for life 4

2. VRAAGSTELLING & KADER AANLEIDING, VRAAGSTELLING

- › **Aanleiding**
 - › Voorgenomen helmplicht voor snorfietsers
- › **Vraagstelling:**
 - › Kan naast de bromfietshelm ook de speed-pedelec-helm toegepast kan worden voor alle snorfietsen als een veilige alternatief ter preventie van hoofdletsel.
- › **Onderzoek TNO**
 - › Inzicht geven in het hoofdbeschermingspotentieel (ter preventie van hoofdletsel bij impact) voor alle snorfietsers van beide typen helmen (bromfietshelm en speed-pedelec-helm),
 - › Middels een analysestudie
 - › Tijdslijn: start (wk 2) – eindrapportage (wk 14)

woensdag 27 januari 2021

TNO innovation for life 5

3. ONDERZOEK ACHTERGROND: TNO & HELMEN

- › EU Helmen **Netwerk 20...**
 - › COST HOPE Action (<https://www.horizon-helmets.eu/>)
- › Speed pedelec onderzoek 2015/2016
 - › Simulatie studie (Rapport: TNO 2015 R11310)
 - › Speed pedelec helm normering (NEN NTA) (Rapport: TNO 2016 R11261)
- › Snorfietsonderzoek 2020
 - › Helm: historische snorfiets & gemotoriseerd rijwiel (analogie studie) (Memo: TNO2020M11731)

woensdag 27 januari 2021

TNO innovation for life 6

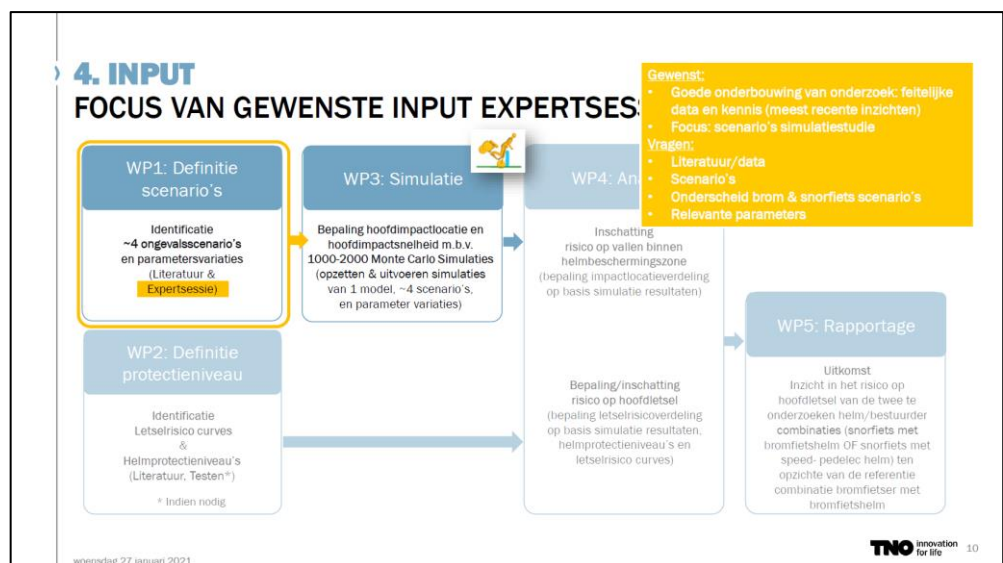
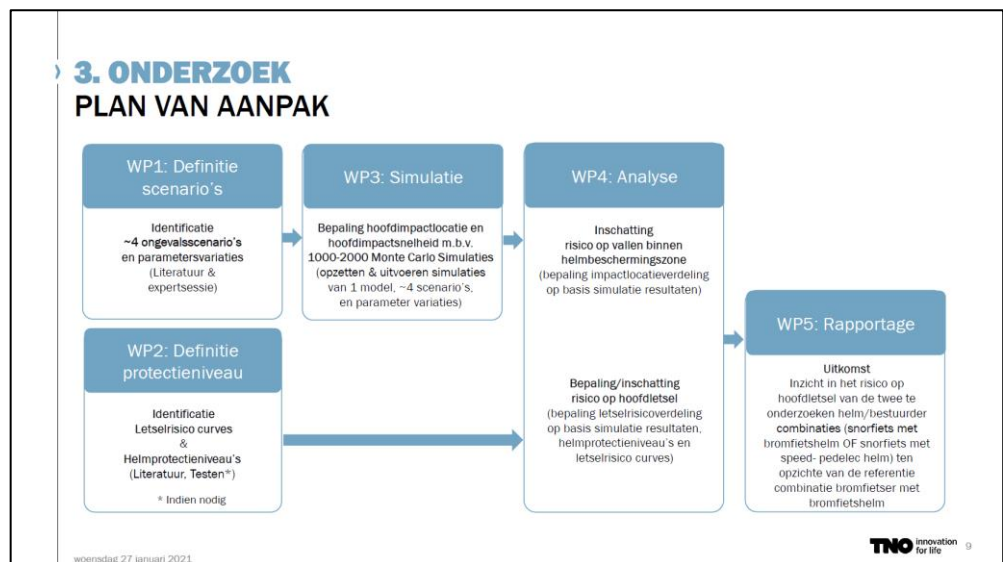
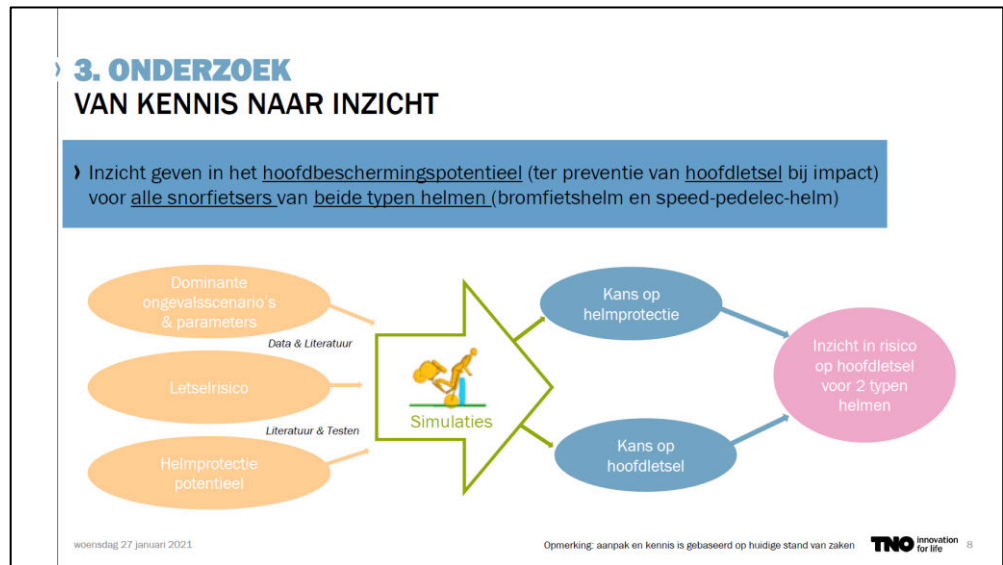
3. ONDERZOEK VRAAGSTELLING & DEELVRAGEN

› Inzicht geven in het hoofdbeschermingspotentieel (ter preventie van hoofdletsel bij impact) voor alle snorfietsers van beide typen helmen (bromfietshelm en speed-pedelec-helm)

- › Type ongevallen
- › Ernst
- › Frequentie
- › Hoofdimpact locatie
- › Hoofdletsel
- › Hoofdprotectieniveau
- › Vergelijk brom- en snorfiets
- › Representatieve snorfiets
- › Inzicht:
- › Wat is veilig?
- › Gebrek aan data
- › Welke data?
- › Bromfietshelm (ECE 22-06)
- › Helm?
- › Speed-pedelec helm (NTA 8776:2016)

woensdag 27 januari 2021

TNO innovation for life 7

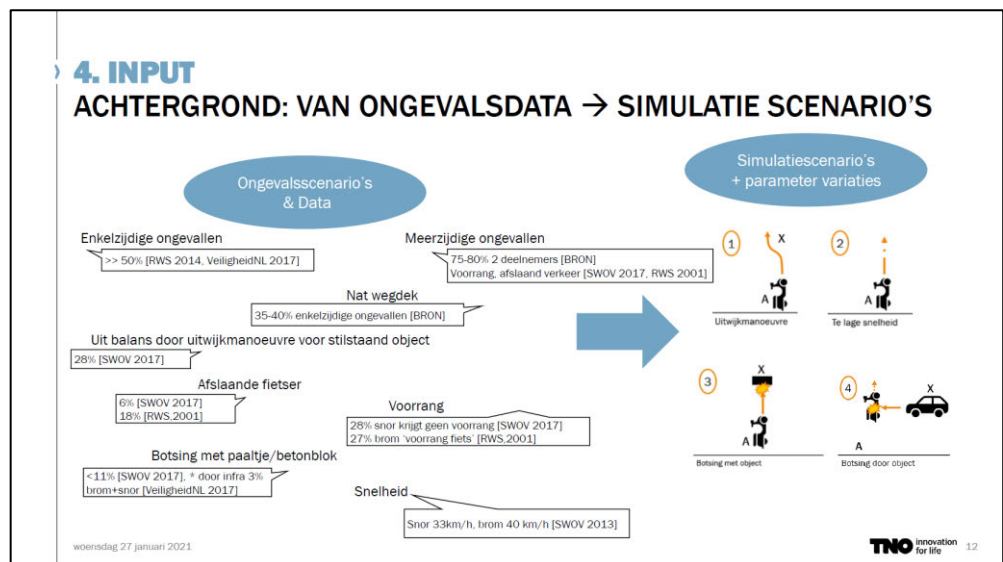


4. INPUT

ACHTERGROND: GEVONDEN LITERATUUR

Referentie	Inhoud	Wel bruikbaar	Niet bruikbaar	Opmerkingen
	Verkeersongevallen-meldingen van de politie gekoppeld aan het digitale wegennet	Grote aantallen, heel NL	Weinig details (door ontbreken data, al dan niet i.v.m. AVG)	Beperte informatie over scenario (object type, aantal partijen, weg oppervlak, kernwoord scenario)
RWS, 2001	Evaluatie verkeersveiligheidseffecten 'Bromfiets op de rijbaan'	Scenario's (steekwoorden) bromfiets ongevallen		
RWS, 2014	Veiligheidsaspecten van de speed-pedelec	Snor- en bromfiets apart bekijken, verschillen en overeenkomsten genoemd. Combineren van verschillende onderzoeken / data bronnen → meer detail	Te weinig detail voor onderbouwing concrete scenario's	Met name par 4.1, risico's brom- en snorfietsers, en bijlage 5, relevant voor dit onderzoek
SWOV, 2013	Gevolgen van snorfiets op de rijbaan			Gemeten snelheden snor/trom in A'dam
SWOV, 2017	Diepteonderzoek 36 snorfietsongevallen in regio Den Haag, 2015/2016	Gedetailleerde beschrijving aanleiding ongeval en resulterend letsel	Beperkt aantal, enkel snorfietsen	
SWOV, 2018, 2019, 2020	Aantal ernstige verkeersgewonden 2017-2019		Niet uitgesplitst op vervoerswijze	Niet gebruikt
VeiligheidNL, 2017	Verkeersongevallen 2017, trends afgelopen 10 jaar	Data vanuit SEH. Info over letseltype	Snor- en bromfiets vaak gecombineerd Scenario data meer detail voor fiets/auto, dan voor snor/trom	Met name bijlage 2, tabel 4+5
VeiligheidNL, 2018	Verkeersongevallen 2018, trends afgelopen 10 jaar		Beknopter dan 2017, daardoor niet bruikbaar	

woensdag 27 januari 2021 TNO innovation for life 11



- ### 4. INPUT
- #### VRAGEN AAN/FEEDBACK VAN EXPERTS
1. Missen we nog relevant onderzoek uit de literatuur of databronnen?
 2. Kunnen jullie je vinden in de gedefinieerde simulaties-scenario's?
 - › Ondervangen we met deze scenario's de relevante brom en snorfietsongevallen?
 3. Zien jullie belangrijke verschillen tussen brom- en snorfietsscenario's waar we rekening mee moeten houden?
 4. Welke parameters zijn in jullie ogen weer relevant om mee te nemen in de simulatie-parameter variaties? En waarom?
 5. Mogen we naar jullie refereren in rapportage?
 - Expertsessie verslag als opmaat naar vernoeming in rapportage (bijlage: deelnemerslijst en algemene conclusies)
- woensdag 27 januari 2021 TNO innovation for life 13

Appendix B Expertsessie Snorfietshelm – terugkoppeling snelheidsverdeling

Mail verstuurd aan experts 4 maart 2021

Beste experts,

Tijdens de expertsessie snorfietshelm op woensdag 27 januari is o.a. gesproken over welke snelheid(sverdeling) we in deze studie gaan gebruiken voor de ongevalssimulaties. Graag brengen we jullie op de hoogte van een wijziging t.o.v. wat er destijds besproken is.

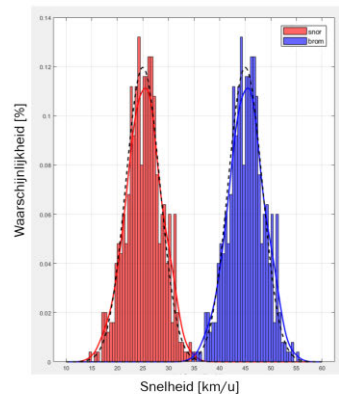
Er is tijdens de expertsessie afgesproken dat we een realistisch gereden snelheidsverdeling gebruiken zoals die is gemeten op de openbare weg. Hieruit was het dan mogelijk om na afloop, indien gewenst, enkel de constructiesnelheden te extraheren.

Bij het doorspitten van de literatuur (o.a. door jullie aangeleverd) is het ons duidelijk geworden dat:

- Er beperkt data beschikbaar is over de verdeling van de snelheid van brom- en snorfietsers (gemiddelden worden meestal wel genoemd)
 - o Onderzoek van Bevat persoonsge 2014 (metingen in A'dam voor brom- en snorfiets) geeft naast gemiddelden ook een spreiding
- Met name de gemiddelde snelheid van de bromfietsers behoorlijk verschilt tussen de gevonden onderzoeken
 - o Gemiddelde snelheden gemeten voor bromfietsen variëren van 54 km/u (Bevat persoonsgegeven, 2010), 40 km/u (SWOV, 2013), 37 km/h (Bevat persoons 2014) (gemiddelde snelheid voor de snorfiets in die studies is 34 km/u, 33 km/u en 31 km/u, resp.)

Omdat wij hier geen goed onderbouwde snelheidsverdeling voor zowel brom- als snorfietsers uit kunnen halen, welke tevens toestaat om een vergelijk te maken tussen brom- en snorfietsers (in de studie wordt de bromfietsers met bromfietshelm als referentie genomen om de snorfietsers met bomfietshelm, danwel speed-pedelec helm, te evalueren), is in overleg met onze opdrachtgevers bij lenW besloten om een snelheidsverdeling rondom de constructiesnelheid te kiezen. Om ervoor te zorgen dat hogere snelheden die we terugzien in metingen niet genegeerd worden, kiezen we een spreiding rondom te constructiesnelheid tot aan de snelheid waarbij een WOK-status wordt toegekend aan de brom- danwel snorfiets. In onderstaande figuur is deze snelheidsverdeling weergegeven.

› SNELHEIDSVERDELING RONDOM CONSTRUCTIESNELHEID



donderdag 4 maart 2021

- › Normaalverdeling
 - › Gemiddelde: constructiesnelheid (25 km/u, 45 km/u)
 - › Spreiding: WOK status op 3*standaard deviatie (3 std ~ 10 km/u)
 - › Sampling uit deze verdeling, op basis van percentiles (percentile is gelijk voor brom- en snorfiets, maar resulteert dus in andere absolute snelheid)
- › Legenda
 - › Zwarte stippellijn: normaalverdeling
 - › blauw / rood histogram: voorbeeld sample data (N = 500)
 - › Blauwe / rode lijn: fitted distribution (op sample data)
- › Zelfde normaalverdeling wordt gebruikt in alle 4 de scenario's
- › Er wordt per scenario opnieuw gesampled → sampled snelheidsdata kan iets verschillen tussen scenario's

TNO innovation
for life

We hopen jullie hiermee voldoende op de hoogte te hebben gesteld.

Vriendelijke groet,
Namens het project team,