

**Traffic & Transport**

Automotive Campus 30  
5708 JZ Helmond  
Postbus 756  
5700 AT Helmond

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 57 29  
F +31 88 866 88 62

**TNO-rapport**

TNO2021 R11596 | Eindrapport

## Evaluatiestudie speed-pedelec-helm en bromfietshelm voor snorfietspassagier en snorfietsbestuurder met passagier achterop

Datum	10 september 2021
Auteur(s)	Esra van Dam, Jeroen Uittenbogaard, Marika Hoedemaker
Aantal pagina's	51 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Ministerie van IenW
Projectnummer	060.47166

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Methode .....</b>	<b>4</b>
2.1	Achtergrond .....	4
2.2	Aanpak .....	4
2.3	Definitie scenario's en protectieniveau .....	5
2.4	Simulaties .....	9
2.5	Analyse .....	11
<b>3</b>	<b>Resultaten analyse .....</b>	<b>13</b>
3.1	Resultaten simulatiestudie .....	13
3.2	Analyse .....	32
<b>4</b>	<b>Discussie .....</b>	<b>42</b>
4.1	Aanpak .....	42
4.2	Definitie scenario's en protectieniveau .....	42
4.3	Simulaties .....	42
4.4	Analyse .....	43
<b>5</b>	<b>Samenvatting en conclusies .....</b>	<b>44</b>
5.1	Aanpak .....	44
5.2	Relevante ongevalsscenario's .....	45
5.3	Simulaties .....	45
5.4	Letselrisicocriteria en helmprotectieniveau .....	45
5.5	Analyse .....	46
5.6	Conclusies .....	49
<b>6</b>	<b>Ondertekening .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>51</b>

# 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) toegestaan kan worden als een veilig alternatief ter voorkoming van hoofdletsel voor alle snorfietsen. In een eerste 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 is dat de SEPAC-helm afdoende bescherming biedt tegen eventueel hoofdletsel op de historische snorfiets en het gemotoriseerd rijwiel. Naar aanleiding van dit onderzoek heeft 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. In dit onderzoek [3] is geconcludeerd dat de SEPAC-helm (volgens de gestelde criteria en aannames) een veilig alternatief ter voorkoming van hoofdletsel biedt voor de bestuurder van de snorfiets. Ter aanvulling wil het Ministerie van IenW laten onderzoeken of deze conclusie ook getrokken kan worden voor een eventuele passagier op de snorfiets, alsook voor de bestuurder wanneer er een passagier meerijdt.

In de literatuur is beperkt informatie beschikbaar over risico op hoofdletsel bij passagiers van brom- of snorfietsen t.o.v. het risico op hoofdletsel van de bestuurder (paragraaf 2.1). Een directe vertaling van de resultaten van het onderzoek voor de bestuurder [3] naar een conclusie voor de passagier is daardoor niet mogelijk. Om die reden is besloten een vergelijkbare simulatieanalyse uit te voeren als in [3], maar nu voor de bestuurder *en* passagier van de snorfiets, waardoor inzicht gegeven kan worden in het beschermingspotentieel van de twee typen helmen (SEPAC-helm en bromfietshelm) voor zowel de bestuurder als de passagier van de snorfiets. De informatie betreffende het protectieniveau van de twee typen helmen wordt zoveel als mogelijk overgenomen uit de voorgaande studie. Voor de gekozen ongevalsscenario's in [3] wordt geverifieerd of deze ook relevant zijn voor ongevallen waarbij een passagier van de brom- of snorfiets betrokken is. De analyse van de resultaten wordt volgens dezelfde aanpak uitgevoerd.

Net als in [3] is in deze studie alleen gekeken naar het letselrisico en de potentiële bescherming van het hoofd van de bestuurder en passagier van de snorfiets in het geval van een ongeval. Letsels aan overige lichaamsdelen vallen buiten de scope van het onderzoek.

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

Dit hoofdstuk licht de aanpak (methode) van de aanvullende studie toe. In grote lijnen is dezelfde aanpak aangehouden als in de voorgaande studie [3]. In dit rapport zal de aanpak voor die onderdelen worden samengevat. Voor een gedetailleerde beschrijving van de methode wordt verwezen naar [3].

In paragraaf 2.1 wordt toegelicht waarom gekozen is voor de huidige aanpak. Deze aanpak wordt verder toegelicht in paragraaf 2.2, waarna de verschillende stappen in de studie afzonderlijk worden toegelicht in paragraaf 2.3 t/m 2.5.

### 2.1 Achtergrond

In [3] is gekeken naar risico op hoofdletsel voor de bestuurders van snor- en bromfietsen. Passagiers zijn niet meegenomen in deze studie. Omdat vervoer van passagiers op snor- en bromfietsen een gangbaar fenomeen is, en deze ook betrokken zijn in ongevallen [4][5][6][7][8][9], is het voor het Ministerie IenW van belang ook voor deze groep te weten of de SEPAC-helm een veilig alternatief is.

Allereerst is gezocht of er in de literatuur informatie beschikbaar is welke een algemeen beeld kan geven van het risico op hoofdletsel van de passagier op een snor-, brom-, of motorfiets, ten opzichte van de bestuurder. Met deze informatie kan vervolgens een vertaling gemaakt worden van de resultaten voor de bestuurder uit [3] naar de passagier.

In de literatuur is geen eenduidig beeld te vinden over risico op hoofdletsel van de passagier ten opzichte van de bestuurder bij snor-, brom of motorfietsen. Evans et al [7] laat een hoger risico op hoofdletsel zien voor passagiers van motorfietsen ten opzichte van de bestuurders. Claret et al [8] of [9] daarentegen stellen dat de passagiers (van snor-, brom- motorfietsen) juist een lager risico hebben op hoofdletsel.

De data gebruikt in deze studies is niet gekoppeld tussen bestuurder en passagier, wat wil zeggen dat er niet gekeken is naar verschil in (hoofd)letselrisico bij de passagier en bestuurder in hetzelfde ongeval. Een ander nadeel van de gevonden studies is dat er niet altijd gecorrigeerd wordt voor helmgebruik terwijl het helmgebruik van passagiers lager lijkt dan bij bestuurders [7].

Omdat er uit de literatuur geen eenduidige conclusie getrokken kan worden over het letselrisico van de passagier van snor- of bromfietser ten opzichte van de bestuurder, is besloten voor de passagier een vergelijkbaar onderzoek uit te voeren als voor de bestuurder is gedaan. Middels een simulatieanalyse wordt het beschermingspotentieel van de SEPAC-helm en bromfietshelm voor de snorfietspassagier (en snorfietsbestuurder met passagier achterop) bekeken ten opzichte van het beschermingspotentieel van de bromfietshelm voor de bromfietspassagier (en bromfietsbestuurder met passagier achterop).

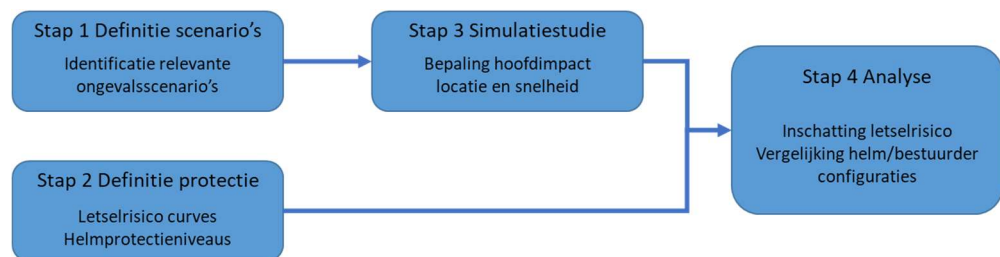
### 2.2 Aanpak

De aanpak van deze vervolgstudie is gelijk aan de voorgaande studie voor de bestuurders van de snorfiets zonder passagier. Voor een uitgebreidere beschrijving van de aanpak wordt daarom verwezen naar hoofdstuk 2 in [3].

Omdat het lastig is een absolute waarde te geven wanneer een helm voldoende veilig beschouwd kan worden is er ook in deze studie voor 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. Middels simulaties worden verschillende ongevallen van de bestuurder en passagier van de snorfiets en bromfiets 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 zo realistisch mogelijk beeld van de ongevalskinematica te krijgen. Uit de simulaties worden de hoofdimpactsnelheid en hoofdimpactlocatie bepaald. Gecombineerd met het beschermende effect van de helm kan op basis hiervan risico op hoofdletsel bepaald worden. Het beschermende effect van de helm wordt buiten de simulaties bepaald.

De studie kan onderverdeeld worden in 4 stappen. Een overzicht van deze stappen is weergegeven in Figuur 1. De resultaten van stap 1 en stap 2 kunnen grotendeels worden overgenomen uit [3]. Betreffende de relevante ongevalsscenario's zal moeten worden geverifieerd of deze mogelijk anders zijn voor ongevallen waarbij ook passagiers van snor- of bromfiets betrokken zijn. De helmprotectieniveaus en letselrisico curves zijn direct toepasbaar in deze studie. Deze twee stappen worden verder toegelicht in paragraaf 2.3.



Figuur 1 Overzicht van de stappen in de simulatiestudie

## 2.3 Definitie scenario's en protectieniveau

### 2.3.1 Simulatie 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.

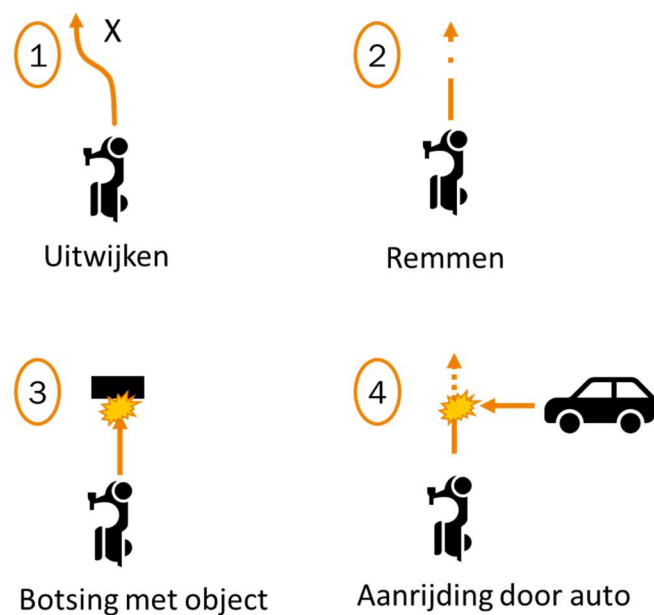
In [3] zijn relevante ongevalsscenario's bepaald aan de hand van een literatuurstudie en geverifieerd in een expertsessie. Ook parameter variaties binnen deze scenario's zijn zoveel mogelijk uit literatuur of de expertsessie afgeleid. De gevonden relevante ongevalsscenario's zijn onderverdeeld in 4 gegeneraliseerde simulatiescenario's, welke schematisch zijn weergegeven in Figuur 2. Door middel van de eerder genoemde variatie in parameters wordt gegarandeerd dat het merendeel van de relevante ongevalsscenario's meegenomen wordt. Voorbeelden van parameters die gevarieerd worden zijn de stuurhoek van de snor-/bromfiets, de houding van de bestuurder (en in deze studie ook de passagier) en frictie van het wegdek. Daarnaast zijn er parameters die specifiek zijn voor een bepaald scenario, waarin ook gevarieerd wordt, zoals de intensiteit van de uitwijkmanoeuvre in scenario 1, de grootte van het object waarmee botsing plaatsvindt in scenario 3, of de snelheid van de auto in scenario 4.

Een belangrijke parameter in de scenariodefinitie is de gereden snelheid van de snor- of bromfietser. Hoewel de literatuur uit het vorige onderzoek [3] een eenduidig beeld laat zien betreffende de werkelijk gereden snelheden van snorfietzers, is dit beeld

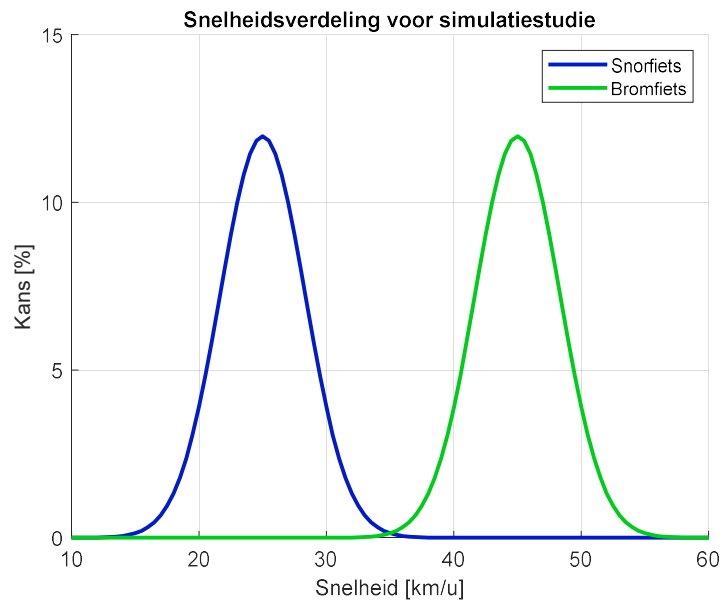
niet eenduidig voor de bromfietzers. Een eenduidige snelheidsverdeling opmaken uit deze gemeten data is, met name voor de bromfietzers, daardoor lastig. Om een eerlijk vergelijk te maken tussen letselrisico van snor- en bromfietzers is het wel belangrijk om een, op eenzelfde manier representatieve, snelheidsverdeling 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 3.

De houding van de passagier wordt in deze studie gevarieerd in samenhang met de variatie in houding van de bestuurder, om te voorkomen dat de bestuurder en passagier in elkaars ruimte zitten. Voor de passagier worden dezelfde parametervariëaties gekozen als voor de bestuurder (zitpositie, hoek onderrug en nek/hoofd), waarbij de hoek van de onderrug en nek van de passagier geschaald worden ten opzichte van deze hoeken bij de bestuurder ( $\text{hoek}_{\text{passagier}} = \text{hoek}_{\text{bestuurder}} / 1,75$ ). De passagier en bestuurder zitten dus altijd beide rechtop, beide naar voren gebogen, of beide naar achter gebogen.

Voor meer details over de gekozen scenario's en bijbehorende parametervariëaties wordt verwezen naar paragraaf 2.2 in [3].



Figuur 2 Scenario's gebruikt in de simulatiestudie



Figuur 3 Snelheidsverdeling voor bromfietsen en snorfietsen welke gebruikt wordt in de simulatiestudie

### 2.3.2 Literatuurscan ongevalsscenario's met passagier

In deze aanvullende studie is een beknopte literatuurscan uitgevoerd om te achterhalen de gevonden ongevalsscenario's uit [3] anders zijn wanneer er een passagier op de snor- of bromfiets zit. Hoewel er in verschillende ongevalsstudie wordt genoemd of er passagiers betrokken zijn bij het ongeval [4][5][6][7][8][9] is geen expliciet vergelijk gevonden tussen ongevalsscenario's waarbij passagiers zijn betrokken of niet.

Om deze reden is gekozen de simulatiescenario's en bijbehorende parameter variaties zoals gedefinieerd in [3] te hergebruiken in deze aanvullende studie.

### 2.3.3 Helm protectieniveau

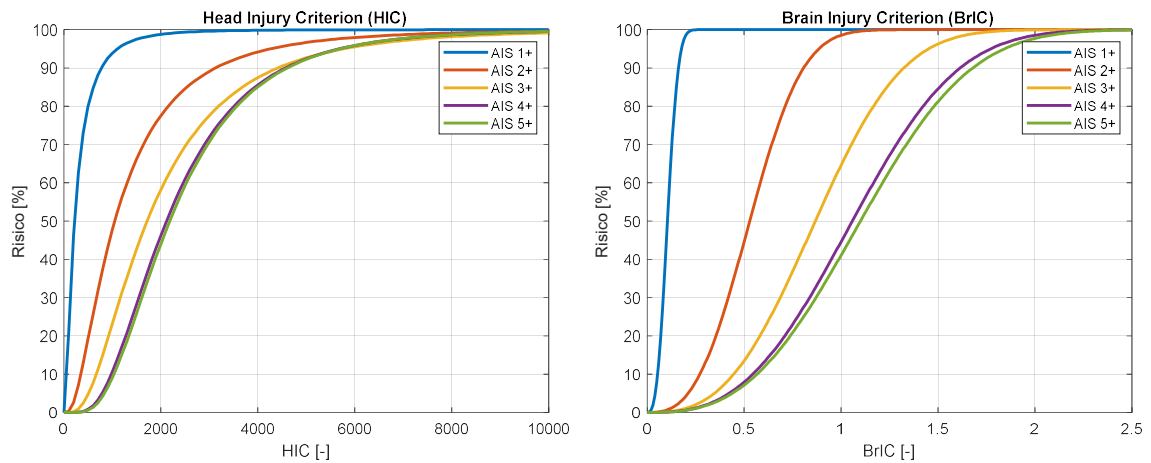
Op basis van een literatuurstudie zijn in [3] twee letselcriteria gekozen om een impact op het hoofd om te rekenen naar een risico op letsel; het Head Injury Criterium (HIC15), op basis van lineaire beweging, en Brain Injury Criterium (BrIC), op basis van rotationele beweging. De letselrisicocurves voor deze criteria, voor verschillende niveaus van letselernst (zogenaamde AIS-niveaus, Abbreviated Injury Scale) zijn weergegeven in Figuur 4. De formules om HIC en BrIC te berekenen staan in vergelijking [1] en [2].

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

$t_1$  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  $g$ .

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

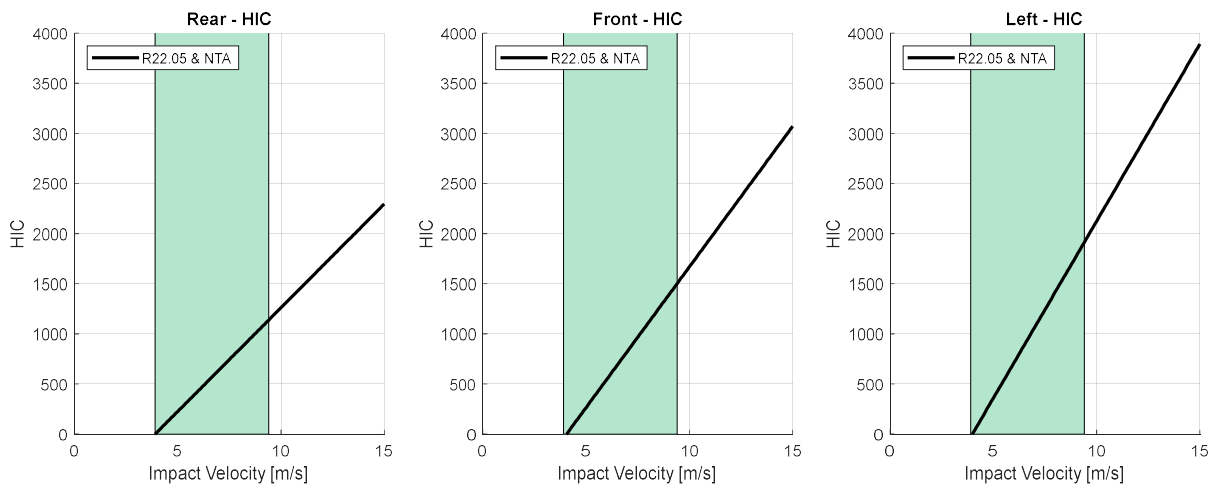
$\omega_x$ ,  $\omega_y$ , en  $\omega_z$  zijn de rotationele snelheid van het hoofd rondom zijn x-, y-, en z-as, respectievelijk.



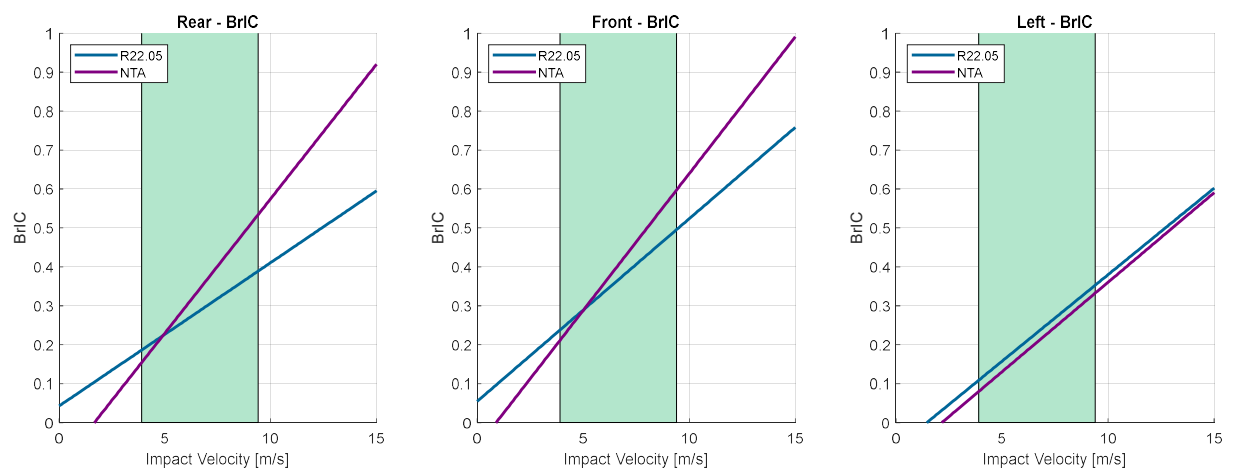
Figuur 4 Letselrisicocurves voor Head Injury Criterion (HIC15, left) [10] and Brain Injury Criterion (BrIC, right) [11]

De relatie tussen de hoofdimpactsnelheid en de letselcriteria, bij gebruik van de verschillende typen helmen, is in [3] bepaald door middel van fysieke testen. Voor deze testen zijn verschillende soorten SEPAC helmen (NTA 8776) en bromfietshelmen (R22.05) geselecteerd. De resulterende overdrachtsfuncties van impactsnelheid naar HIC15 of BrIC, voor verschillende locaties op de helm (voorkant, achterkant en zijkant) zijn te vinden in Figuur 5 en Figuur 6 voor HIC15 en BrIC, respectievelijk. Het groene gebied in de grafieken geeft het gebied aan waarvoor de fysieke testen zijn uitgevoerd, daarbuiten is de data geëxtrapoleerd. Voor het HIC15 letselcriterium is gevonden dat beide soorten helmen gelijkwaardig beschermen en dus één overdrachtsfunctie voor beide typen helmen gebruikt kan worden. Voor het BrIC letselcriterium is gevonden dat de SEPAC-helm beter beschermt dan de bromfietshelm bij hoofdimpactsnelheden onder 5 m/s, en minder goed bij hoofdimpactsnelheden boven 5 m/s. Deze overdrachtsfuncties uit [3] worden voor dit onderzoek overgenomen. In de overdrachtsfuncties van HIC15 is te zien dat bij een hoofdimpactsnelheid onder de 4 m/s, de HIC15 een waarde heeft van 0.





Figuur 5 Overdrachtsfuncties van impactsnelheid naar HIC15, voor de drie locaties, op basis van een lineaire fit in de helmtestdata, voor bromfietshelm (R22.05) en SEPAC-helm (NTA 8776) gecombineerd.

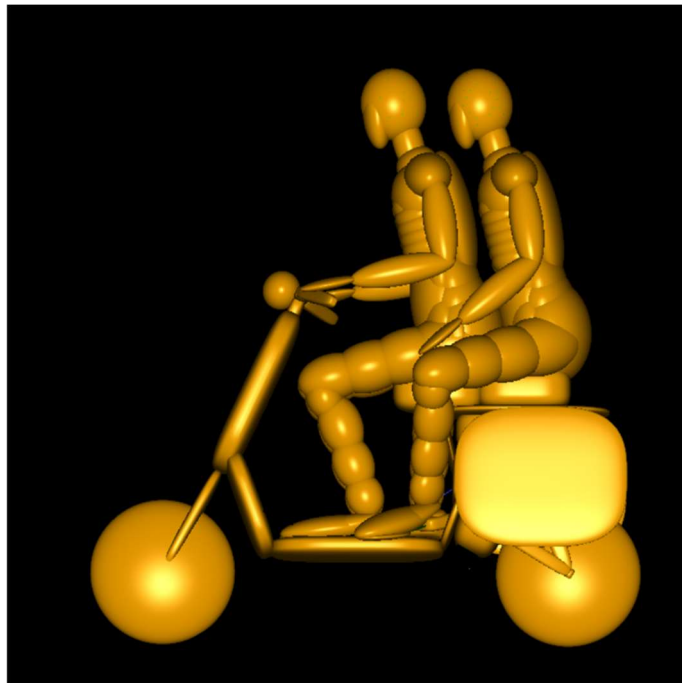


Figuur 6 Overdrachtsfuncties van impactsnelheid naar BrIC voor de, voor de drie locaties, op basis van een lineaire fit in de helmtestdata, voor bromfietshelm (R22.05) en SEPAC-helm (NTA 8776).

## 2.4 Simulaties

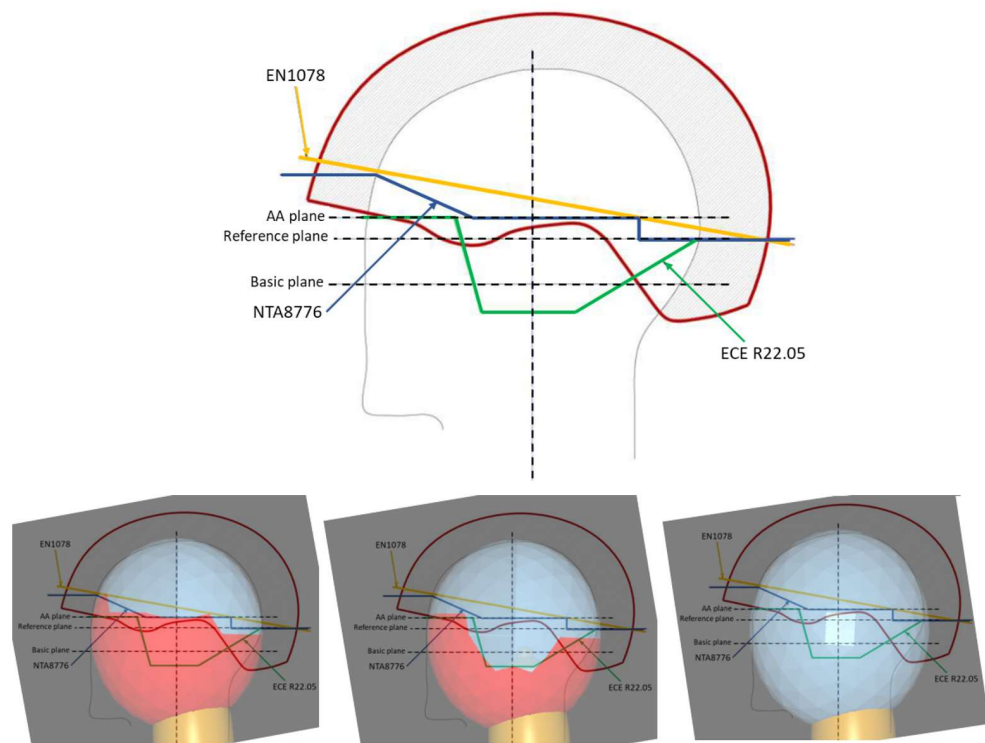
Net als in [3] zijn de simulaties in deze studie uitgevoerd door middel van de Monte Carlo simulatiemethode. Dit betekent dat voor iedere simulatiescenario uit paragraaf 2.3.1 niet één maar vele simulaties worden uitgevoerd met andere startcondities. De startconditie voor iedere simulatie wordt bepaald door op een willekeurige manier voor iedere parameter variatie een waarde te kiezen. Omdat de simulatiescenario's voor snorfietzen en bromfietzen hetzelfde zijn, is er voor gekozen dat voor iedere startconditie zowel de snorfietssimulatie als bromfietssimulatie wordt doorgerekend, waarbij het enige verschil dus de initiële snelheid is. Er wordt wel voor dezelfde percentiel snelheid gekozen uit de verdelingen in Figuur 3, bijvoorbeeld wanneer als startconditie de 50 percentiel snelheid wordt gekozen is dit 25 km/u in geval van de snorfietssimulatie en 45 km/u in geval van de bromfietssimulatie. Het voordeel van

het gelijk houden van de startcondities is dat er per simulatie een verschil in letselrisico kan worden berekend, wat verder zal worden besproken in paragraaf 2.5. De simulaties zijn uitgevoerd met het MADYMO software pakket. Zowel de bestuurder, passagier en snor-/bromfiets worden gerepresenteerd door middel van een ellipsoïde model, zoals te zien in Figuur 7. Uit iedere simulatie volgt de snelheid en de locatie van het hoofd van zowel bestuurder als passagier op het moment van impact, welke met de resultaten uit paragraaf 2.3.3 kunnen worden vertaald in risico op hoofdletsel voor beide berijders. De hoofdimpactsnelheid wordt zowel berekend door de botsing met de grond als met een eventueel object (scenario 3 en 4 uit Figuur 2). De hoofdimpactsnelheid wordt niet berekend bij een botsing met het voertuig of de andere berijder. Simulaties die na 4 seconden nog geen botsing van het hoofd van zowel bestuurder als passagier met de grond hebben (omdat ze bijvoorbeeld boven op hun voertuig of elkaar terecht komen) worden gestopt. In dit geval zal de hoofdimpactsnelheid uit de simulatie 0 m/s zijn.



Figuur 7 Model van snor-/bromfiets met bestuurder en passagier zoals gebruikt in de simulatiestudies

De hoofdimpactlocatie is de plek op het hoofd waarmee als eerste contact is bij de botsing. In scenario 3 en 4 wordt hiervoor het eerste contact gekozen met de grond, of het object / de auto, met de hoogste impactsnelheid. De hoofdimpactlocatie is opgedeeld in voorkant, achterkant, links en rechts. De onbeschermden delen van het hoofd, voor zowel de SEPAC-helm (NTA 8776) en bromfietshelm (R22.05) zijn gedefinieerd in het model om een onbeschermd ongeval te kunnen identificeren, zie Figuur 8 [12]. De rode delen in de onderste figuren geven het onbeschermd deel van het hoofd weer voor de drie typen helmen (SEPAC-helm (links), minimaal beschermende bromfietshelm volgens norm R22.05 (midden) en integraalhelm (rechts)), en de blauwe delen de beschermde delen van het hoofd. Om letselcriteria waarden te berekenen worden binnen de beschermende zone (blauw) de overdrachtsfuncties gebruikt, en buiten de beschermende zone (rood) de formules voor HIC/BrIC.



Figuur 8 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 [12] (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).

## 2.5 Analyse

Met de analyse worden de resultaten uit de simulaties gecombineerd met de helmprotectieniveaus. De aanpak voor de analyse is hetzelfde als in de voorgaande studie [3], voor details wordt daarom verwezen naar paragraaf 2.5 in dat rapport. Zoals in paragraaf 2.4 al is genoemd zijn alle simulaties van de snorfiets en bromfiets uitgevoerd met dezelfde startconditie (dezelfde waarden uit de parametervariaties), met als enige verschil de initiële snelheid. 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. 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 met de verschillende combinaties helmen.

In deze studie wordt een vergelijk gemaakt tussen, aan de ene kant de referentie bromfiets/helm combinatie:

1. De bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm, Figuur 8, rechts)
2. De bromfietspassagier met minimaal beschermende bromfietshelm (Figuur 8, midden):

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

- a. De snorfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm, Figuur 8, rechts)
- b. De snorfietspassagier met minimaal beschermende bromfietshelm (Figuur 8, midden)
- c. De snorfietspassagier met minimaal beschermende SEPAC-helm (Figuur 8, links)

Bovenstaande vergelijking wordt tevens gemaakt voor de snor- en bromfietsbestuurder in plaats van de -passagier. Anders dan in de vorige studie betreft het in dit geval bestuurders van de snor- en bromfiets *met een passagier achterop*. In totaal worden er dus 12 combinaties geanalyseerd in deze studie.

Omdat de simulatiescenario's en parametervariaties in de huidige en voorgaande studie gelijk zijn gebleven (paragraaf 2.3.2), kan er tevens een vergelijking worden gemaakt in letselrisico voor snor- en bromfietsbestuurders *met of zonder* passagier. Let wel, deze vergelijking is niet bedoeld om uitspraak te doen over het beschermingspotentieel van de verschillende typen helmen voor de snorfietsers. Derhalve valt deze vergelijking buiten de huidige studie. Een vergelijking tussen passagier en bestuurder valt ook buiten de scope van deze studie.

Om te bepalen of een snorfiets/helm combinatie als veilig kan worden beschouwd ten opzichte van de referentie bromfiets/helm combinatie worden dezelfde criteria gebruikt als in [3]:

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

### 3 Resultaten analyse

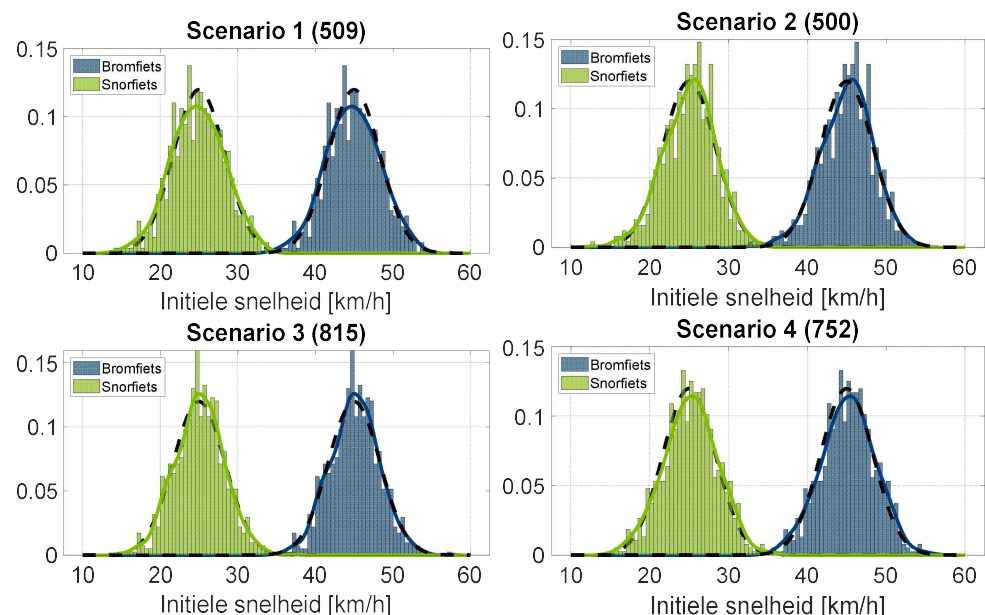
In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze simulatiestudie besproken. Per simulatiescenario worden algemene observaties met betrekking tot de (val)kinematica en de hoofdimpactsnelheid en -locatie gemaakt. Vervolgens wordt een gedetailleerde analyse besproken voor de combinatie bromfiets passagier - volledig beschermende bromfietshelm met snorfiets passagier - SEPAC-helm ("1" met "c" uit de 12 combinatie mogelijkheden zoals genoemd in paragraaf 2.5). Deze gedetailleerde analyse is beschreven in paragraaf 3.1. Het resultaat van de volledige analyse (alle 12 de combinaties uit paragraaf 2.5, i.e. voor zowel de passagiers als de bestuurder met passagier achterop, voor de verschillende letselniveaus (AIS1+ t/m AIS5+)), worden gepresenteerd in paragraaf 3.2.

#### 3.1 Resultaten simulatiestudie

Omdat dezelfde parametervariëaties zijn gekozen is het aantal uitgevoerde simulaties in deze studie gelijk aan [3], zie Tabel 1. De genoemde aantallen zijn het aantal simulatiecombinaties; dat betekent dat er in totaal 5152 simulaties zijn uitgevoerd (snor- + bromfiets). Voor de initiële snelheid van de snor- en bromfiets zijn dezelfde snelheden gebruikt als in [3], zie Figuur 9.

Tabel 1 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	729	2576



Figuur 9 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.

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 bromfietspassagier.

Vervolgens worden verschillende grafieken en histogrammen getoond van de gemeten hoofdimpactsnelheid en -locatie uit de simulaties. Met behulp van de helm overdrachtsfuncties uit paragraaf 2.3.3 worden de waarden voor de letselcriteria HIC15 en BrIC bepaald (Figuur 5 en Figuur 6, respectievelijk). 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 2.3.3 (Figuur 4) kunnen deze waarden voor de letselcriteria omgerekend worden naar risico op letsel, op verschillende niveaus van letselernst (AIS niveaus). In de gedetailleerde analyse (paragraaf 3.1) wordt als voorbeeld het letselniveau AIS 2+ besproken. Op basis van deze waarde kan het verschil in letselrisico voor de snor- en bromfietsers en passagiers worden bepaald.

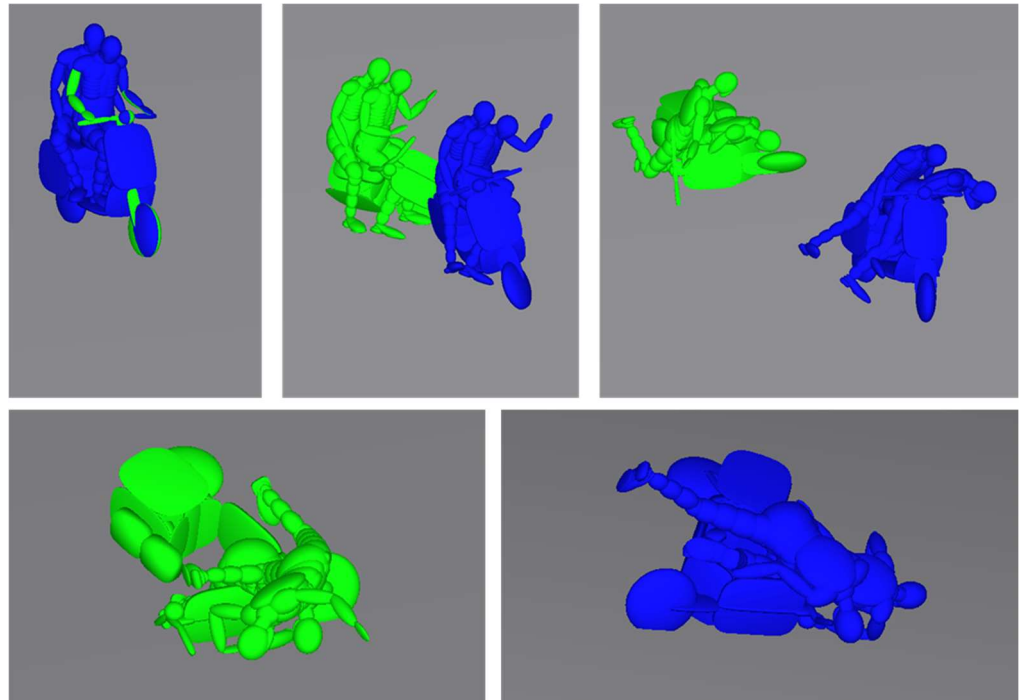
### 3.1.1 *Simulatiescenario 1 – Uitwijken*

Figuur 10 geeft een voorbeeld van een typische simulatie in het scenario 1, 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. Door de stuurbeweging schuift het voertuig onder de bestuurder en passagier uit waardoor de bestuurder en passagier voorover van het voertuig vallen. De passagier valt hierbij meestal over de bestuurder heen (tegen de bestuurder aan) en komt bovenop de bestuurder terecht.

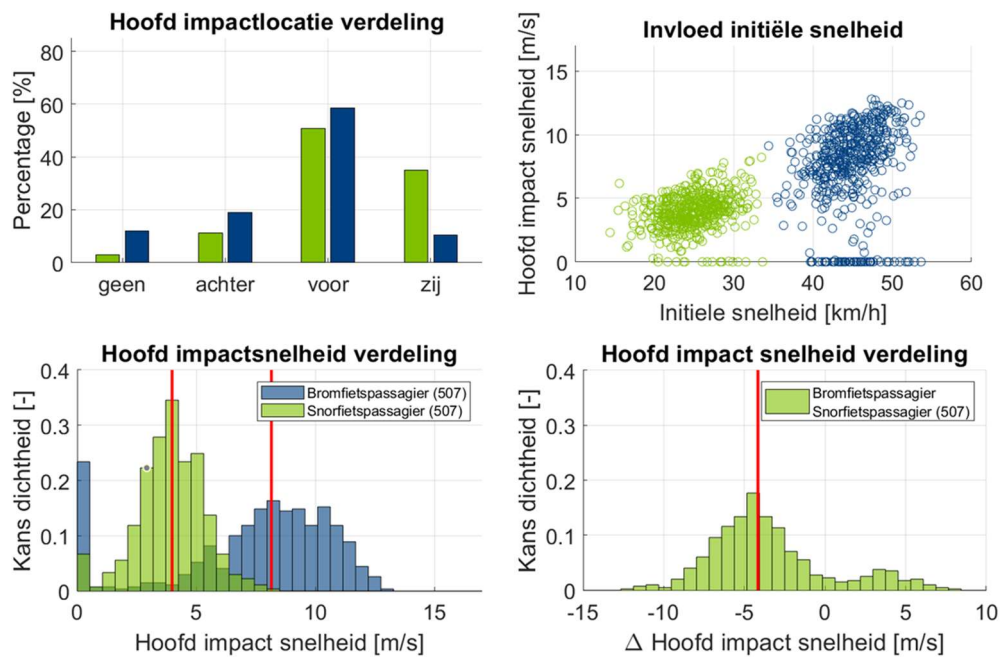
Naast dit typische voorbeeld is te zien dat de snorfietspassagier in dit scenario vaker aan de zijkant van de snorfiets valt in vergelijking met de bromfietspassagier.

Dit gedrag is ook zichtbaar in de resultaten van de hoofdimpactlocatie welke te zien zijn in de linker boven plot van Figuur 11. Doordat de snorfiets snel instabiel wordt en de passagier er voorover overheen valt, raakt deze in veruit de meeste gevallen met zijn voorkant van zijn hoofd de grond (~50-60%). De snorfietspassagier komt vaker op de zijkant van zijn hoofd terecht (~35%). Voor de bromfietspassagier is de verdeling tussen de overige impactlocaties (zij, achter en geen) meer verdeeld.

Voor de snorfiets valt op dat de bestuurder met een passagier achterop minder vaak "geen" impact heeft met de grond. Dit komt doordat de passagier vaak tegen de bestuurder aankomt en de bestuurder daardoor minder vaak op de snorfiets blijft hangen. De bestuurder met passagier achterop lijkt daarentegen vaker met de voorkant van zijn hoofd op de grond terecht te komen.



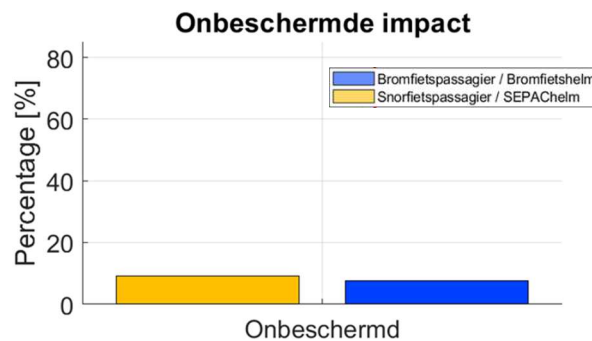
Figuur 10 Voorbeeld van een typische kinematica van scenario 1 voor de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw). Boven: tijdstip 0, 300 en 600ms. Onder: Eindpositie



Figuur 11 Resultaten simulatiescenario 1: Uitwijken. Boven links: Hoofdimpactlocatieverdeling. Snorfietspassagier in het groen en bromfietspassagier in blauw. Boven rechts: Hoofdimpactsnelheid tegen de initiële snelheid van het voertuig. Onder: Absolute (links) en relatieve (rechts) hoofdimpactsnelheidsverdeling voor snor- en bromfietspassagier. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan)

In de plot rechtsboven van Figuur 11 is de hoofdimpactsnelheid van de passagiers van de snorfiets en bromfiets uitgezet tegen de initiële snelheid van de voertuigen. Hierin is te zien dat over het algemeen een hogere initiële snelheid van het voertuig leidt tot een hogere hoofdimpactsnelheid.

De plot linksonder in Figuur 11 laat de aparte verdelingen zien van de hoofdimpactsnelheden van passagiers met de snorfiets en bromfiets. De rode lijn geeft de mediaan aan en laat dus zien dat bij de snorfiets 50% een hoofdimpactsnelheid van 4.0 m/s of lager verwacht kan worden t.o.v. 8.1 m/s bij de bromfiets. Als er gekeken wordt naar de verdeling van het verschil van hoofdimpactsnelheid per simulatiecombinatie in de plot rechtsonder in Figuur 11, is te zien dat bij 50% van de simulaties de hoofdimpactsnelheid van de snorfietspassagier minstens 3.5 m/s lager is dan die van de passagier van de bromfiets. In 85% van de simulaties is de hoofdimpactsnelheid van de passagier met de snorfiets lager dan met de bromfiets.

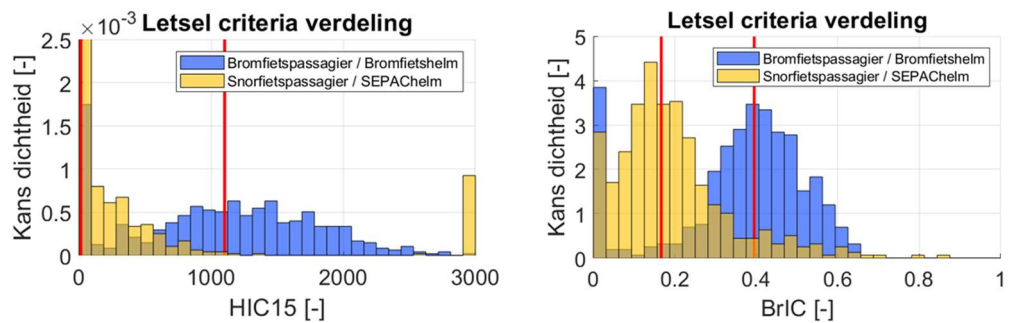


Figuur 12 Percentage van onbeschermd impact (buiten de helm zone) voor de passagier van de bromfiets met minimaal beschermende bromfietshelm (bij een volledig beschermende bromfietshelm worden deze impacts dus wel opgevangen door de helm) en passagier van de snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 1.

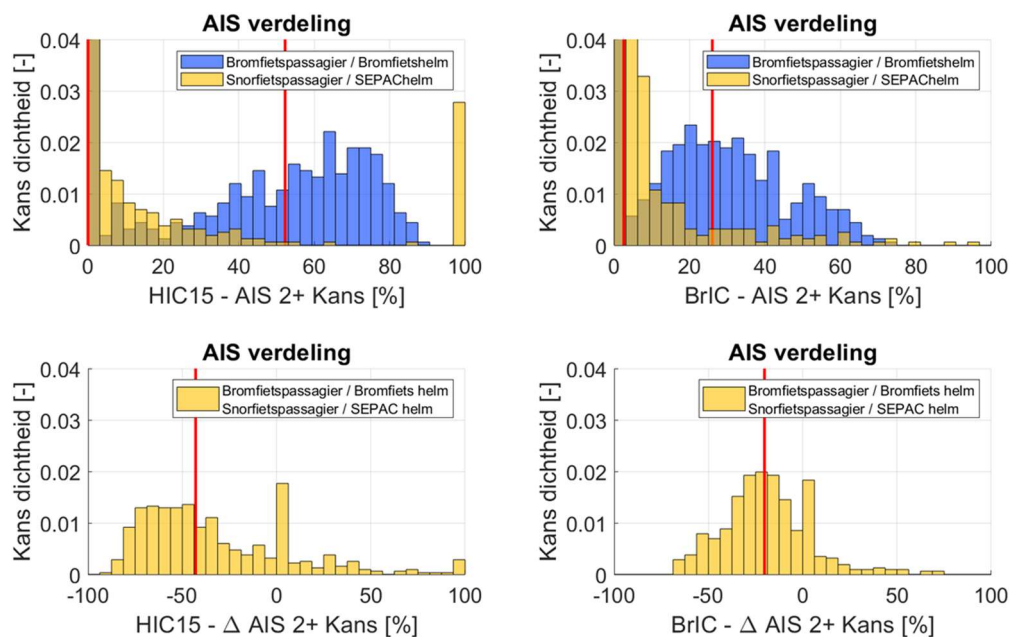
Figuur 12 laat het percentage impacts zien van het hoofd met het onbeschermd deel van de SEPAC-helm voor de snorfietspassagier, en minimaal beschermende bromfietshelm voor de bromfietspassagier, beide zoals afgebeeld in Figuur 8 (links en midden). Voor de passagiers van de snor- en bromfiets is dit percentage voor dit scenario vergelijkbaar (9% en 8% voor de passagier van snor- en bromfiets, respectievelijk).

In Figuur 13 is de verdeling te zien van de HIC15 en BrIC letselcriteria voor de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm (waarmee het onbeschermd deel van de minimale bromfietshelm afgebeeld in Figuur 12 dus wel beschermd is) en de snorfietspassagier met SEPAC-helm. Deze zijn verkregen m.b.v. de helm overdrachtsfuncties vanuit Figuur 5 en Figuur 6 en de simulatie output. Voor de snorfiets met SEPAC-helm zijn een klein aantal hoge waarden te zien voor de HIC15, welke wordt veroorzaakt door de 9% onbeschermd impact uit Figuur 12. Daarnaast is voor zowel de HIC als de BrIC een piek te zien bij waarde 0. Deze zijn het resultaat van de simulaties zonder hoofdimpact of met een lage hoofdimpactsnelheid waar de helm overdrachtsfuncties de horizontale as snijden (HIC15 <4m/s, geldt voor 50% van de simulaties voor de snorfietspassagier, zoals besproken bij Figuur 11). Hierdoor heeft meer dan 50% van de snorfietspassagiers in dit simulatiescenario een HIC15 van 0. De mediaan voor HIC15 ligt op 14 en 1102 voor de snor- en bromfietspassagier, respectievelijk. Voor de BrIC ligt de mediaan waarde op 0.17 en 0.39 voor de snor- en bromfietspassagier, respectievelijk.





Figuur 13 Verdeling van de HIC15 (links) en BrIC (rechts) letselcriteria voor de passagier van de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en passagier van de snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 1. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).



Figuur 14 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 passagier van de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en passagier van de snorfiets met SEPAC-helm. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

Beide verdelingen van HIC15 en BrIC kunnen m.b.v. de letselrisicocurves (Figuur 4) omgezet worden naar letselrisico voor een bepaald letselniveau. De bovenste plots in Figuur 14 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 bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm een groter letselrisico heeft t.o.v. de snorfietspassagier met SEPAC-helm. Voor de bromfietspassagier ligt de mediaan voor HIC en BrIC op 52% en 26%, respectievelijk. Voor de snorfietspassagier is dat 0% en 2.6%, respectievelijk.

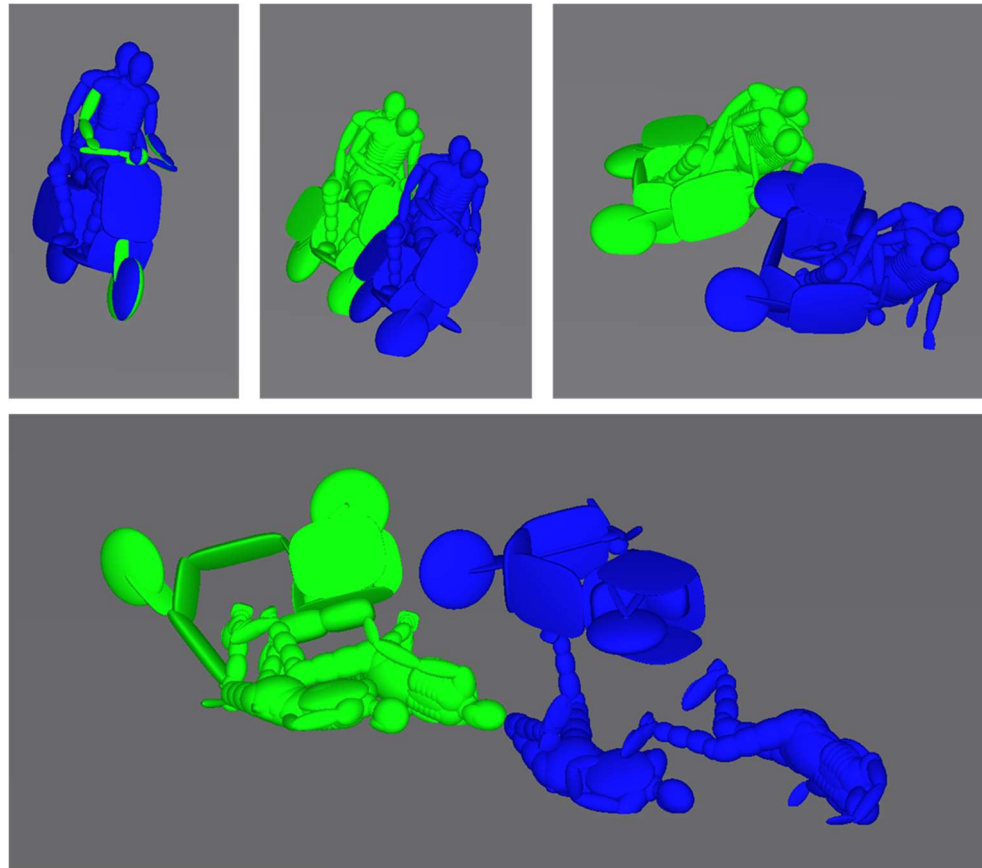
Als er gekeken wordt naar de verdeling van het verschil van AIS2+ letselrisico per simulatiecombinatie in de onderste plots van Figuur 14 is duidelijk te zien dat het merendeel van de simulatiecombinaties aangeeft dat de snorfiets met SEPAC-helm minder of gelijk letselrisico heeft vergeleken met de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm voor zowel de HIC15 (84%) als BrIC (81%) (deze

waarden zijn niet direct af te lezen uit de figuur, dit is het gedeelte van de data in de grafiek kleiner of gelijk aan 0). De piek bij verschil in HIC15 en BrIC waarden wordt voornamelijk veroorzaakt door de simulaties met een HIC en of BrIC van 0 voor zowel snor- als bromfietspassagier. De totale verwachting is in beide verdelingen ruim in het voordeel van de snorfietser met SEPAC-helm. Het gemiddelde geeft -32% voor de HIC15 en -19% voor de BrIC. Hiermee voldoet de snorfietser met SEPAC-helm aan de criteria gesteld in paragraaf 2.5 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.

### 3.1.2 *Simulatiescenario 2 – Remmen*

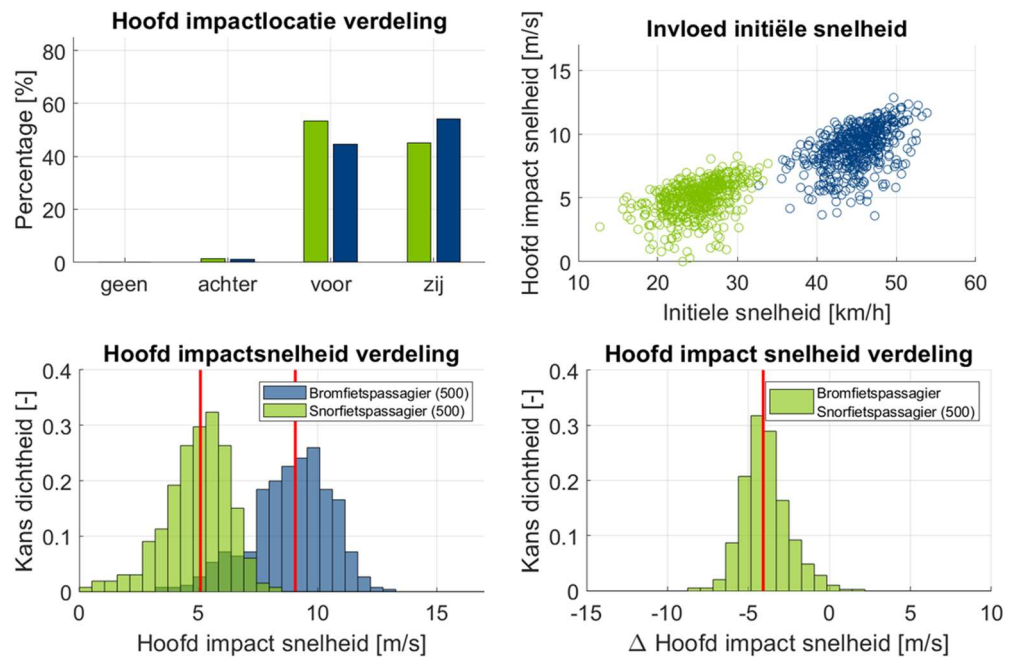
Figuur 15 geeft wederom een voorbeeld van een typische simulatie waarbij in dit scenario een remactie wordt uitgevoerd door zowel de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw). Beide voertuigen beginnen weer in dezelfde positie waarbij op dat moment de wielen worden geblokkeerd. Het verloop in kinematica is vergelijkbaar voor de snorfiets en bromfiets. Door het blokkeren van de wielen (harde remactie) wordt het voertuig snel instabiel. Afhankelijk van de bocht waarin het voertuig op dat moment rijdt vallen de passagier en bestuurder aan de zijkant (bij een scherpere bocht), of voorover (bij een meer rechtdoor gaande beweging) van het voertuig af. In het voorbeeld in Figuur 15 maken de snorfiets en bromfiets een relatief scherpe bocht naar links en dus hangen zij op het moment van remmen ook naar links. Wanneer de remactie wordt ingezet valt het voertuig al snel om naar links (glijdt onder de berijders uit) en zowel bestuurder als passagier vallen er aan de zijkant vanaf en raken daarbij meestal met de zijkant of voorkant van het hoofd als eerste de grond. Note: In de eindpositie in Figuur 15 liggen beide bestuurders met de voorkant van het hoofd op de grond. Dit is echter niet de locatie waar hun hoofd als eerste de grond heeft geraakt (dat was de linker zijkant), echter zijn zij door hun voorwaartse snelheid doorgerold op hun buik.

Deze tweedeling in hoofdimpactlocatie is goed terug te zien in de plot linksboven in Figuur 16, waarbij het overgrote deel van de simulaties een hoofdimpact op de voorkant van het hoofd (53% en 45% voor snor- en bromfietspassagier, respectievelijk), danwel de zijkant van het hoofd heeft (45% en 54% voor snor- en bromfietspassagier, respectievelijk). De bromfietser valt dus vaker op de zijkant dan de snorfietser. Mogelijk komt dit doordat de bromfietser wat meer impuls van de bromfiets meekrijgt door de hogere initiële snelheid en verder naar de zijkant valt. Impact met het achterhoofd komt in dit scenario maar zeer weinig voor (voor zowel snor- als bromfietspassagier iets meer dan 1%). Er zijn (vrijwel) geen simulaties waarbij het hoofd van de passagier geen impact heeft (0.2% en 0% voor snor- en bromfietspassagier, respectievelijk).



Figuur 15 Voorbeeld van een typische kinematica van de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw) in simulatiescenario 2. Boven: tijdstip 0, 250 en 500ms. Onder: Eindpositie.

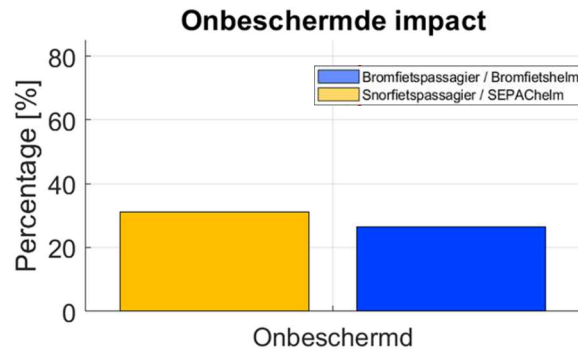
In de plot rechtsboven van Figuur 16 is wederom de hoofdimpactsnelheid van de passagiers van de snorfiets en bromfiets uitgezet tegen de initiële snelheid van de voertuigen. De trend in deze grafiek is vergelijkbaar voor de snor- en bromfietspassagier (hogere snelheid van het voertuig heeft hogere hoofdimpactsnelheid tot gevolg). In de plot is ook te zien dat de puntenwolk een grotere spreiding heeft onder de gemiddelde trend dan daarboven (meer spreiding richting lagere hoofdimpactsnelheden bij een vergelijkbare initiële voertuigsnelheid). Hierin zijn grofweg de simulaties te onderscheiden waarbij 1) de passagier niet (deels) opgevangen wordt door de bestuurder en 2) waar dit wel (gedeeltelijk) gebeurt. Omdat het voertuig in dit scenario snel instabiel wordt en onder de bestuurders uit glijdt worden zij er in een groot deel van de simulaties aan de zijkant afgeworpen. Wanneer de passagier hierbij niet afgeremd wordt door de bestuurder (weinig contact wrijving) dan komt deze relatief hard op de grond terecht (de zojuist genoemde situatie 1). Deze simulaties resulteren in de hogere datapunten in de plot. Daarnaast zijn er de simulaties waarbij de passagiers deels wordt afgeremd door de bestuurder en daardoor minder hard op de grond terecht komt (de zojuist genoemde situatie 2). De mate van afremmen kan verschillen van (licht) leunen / hangen tegen de bestuurder, tot (deels) op de bestuurder landen. Dit fenomeen veroorzaakt spreiding in hoofdimpactsnelheid van de passagier.



Figuur 16 Resultaten simulatiescenario 2: Remmen. Boven links: Hoofdimpactlocatieverdeling. Snorfietspassagier in het groen en bromfietspassagier in blauw. Boven rechts: Hoofdimpactsnelheid tegen de initiële snelheid van het voertuig. Onder: Absolute (links) en relatieve (rechts) hoofdimpactsnelheidsverdeling voor snor- en bromfietspassagier. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan)

De plot linksonder in Figuur 16 laat de aparte verdelingen zien van de hoofdimpactsnelheden van passagiers met de snorfiets en bromfiets. De rode lijn geeft de mediaan aan en laat dus zien dat bij de snorfiets 50% een hoofdimpactsnelheid van 5.0 m/s of lager verwacht kan worden t.o.v. 9.0 m/s bij de bromfiets. Als er gekeken wordt naar de verdeling van het verschil van hoofdimpactsnelheid per simulatiecombinatie in de plot rechtsonder in Figuur 16, is te zien dat bij 50% van de simulaties de hoofdimpactsnelheid van de snorfietspassagier minstens 4.0 m/s lager is dan die van de passagier van de bromfiets. In 99% van de simulaties is de hoofdimpactsnelheid van de passagier op de snorfiets lager dan op de bromfiets.

Figuur 17 laat het percentage impacts zien van het hoofd met het onbeschermd deel van de SEPAC-helm voor de snorfietspassagier, en minimaal beschermende bromfietshelm voor de bromfietspassagier (zoals in Figuur 8, links en midden). Voor de passagiers van de snor- en bromfiets is dit percentage voor dit scenario vergelijkbaar (31% en 26% voor de passagier van de snor- en bromfiets, respectievelijk). Als we inzoomen op deze onbeschermden impacts zien we dat deze relatief vaak op de zijkant van het hoofd plaatsvinden; twee-derde van de onbeschermden impacts voor de bromfietspassagier is op de zijkant van het hoofd. Voor de snorfietspassagier vindt zelfs meer dan driekwart van de impacts op de zijkant van het hoofd plaats.

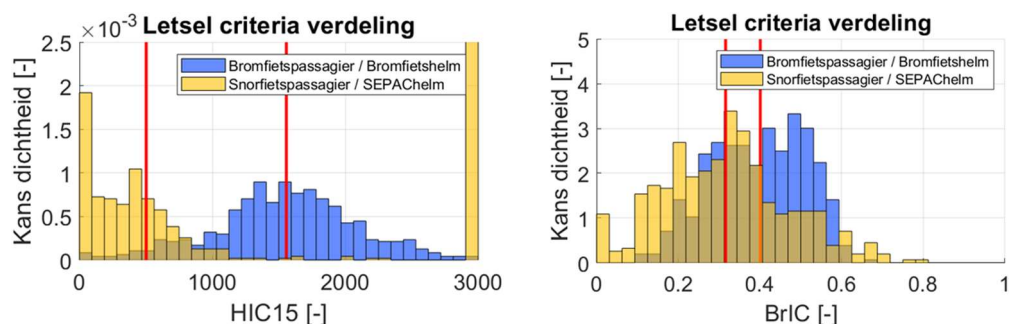


Figuur 17 Percentage van onbeschermd impact (buiten de helm zone) voor de passagier van de bromfiets met minimaal beschermende bromfietshelm (bij een volledig beschermende bromfietshelm worden deze impacts dus wel opgevangen door de helm) en passagier van de snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 2.

Figuur 18 laat wederom de verdeling zien van de HIC15 en BrIC letselcriteria voor de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm (waarmee het onbeschermd deel van de minimale bromfietshelm afgebeeld in Figuur 17 dus wel beschermd is) in blauw en de snorfietspassagier met SEPAC-helm in geel. Deze zijn verkregen m.b.v. de helm overdrachtsfuncties vanuit Figuur 5 en Figuur 6 en de simulatie output.

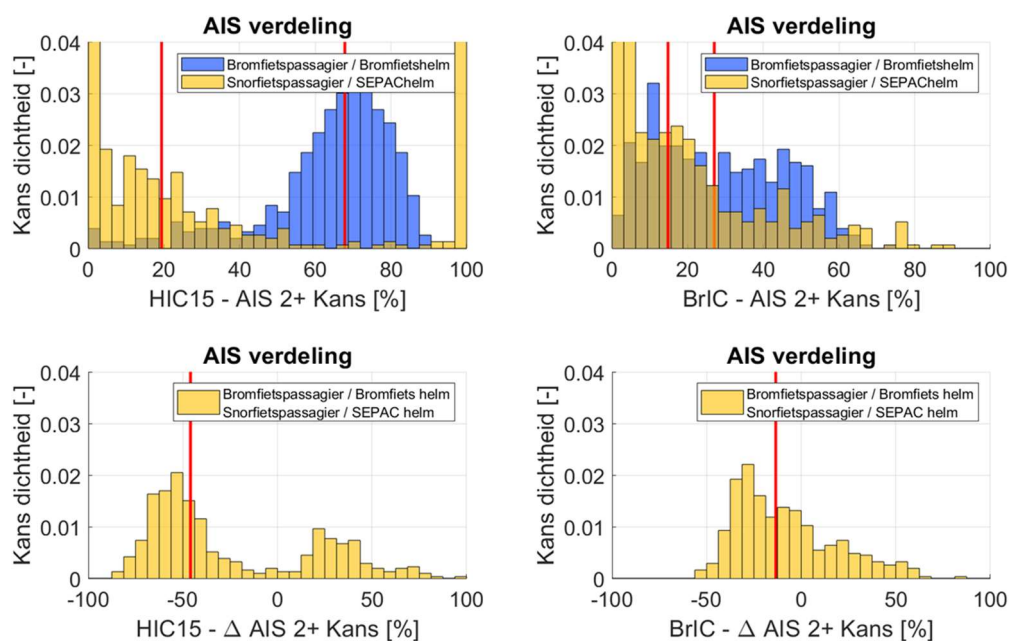
Voor de snorfiets met SEPAC-helm is een piek te zien bij hoge waarden voor de HIC15, welke wordt veroorzaakt door de 31% onbeschermd impact uit Figuur 12. De rest van de verdeling van HIC15 waarden voor de snorfietspassagier ligt over het algemeen lager dan die van de bromfietspassagier. Dit is ook te zien aan de mediaan van de HIC15 waarde; 503 en 1557 voor de snor- en bromfietspassagier, respectievelijk. Daarnaast is in de plot van HIC15 voor de snorfietspassagier een (kleinere) piek te zien op een HIC15 waarde van 0. Deze wordt veroorzaakt door de simulaties met een hoofdimpactsnelheid < 4 m/s.

Bij de BrIC verdelingen is het verschil tussen snor- en bromfietspassagier minder groot. 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 dichtbij elkaar komen (mediaan van 0.32 tegenover 0.40).



Figuur 18 Verdeling van de HIC15 (links) en BrIC (rechts) letselcriteria voor de passagier van de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en passagier van de snorfiets 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 4) omgezet worden naar letselrisico voor een bepaald letselniveau. De bovenste plots in Figuur 19 geven de verdelingen van het AIS2+ niveau als voorbeeld voor zowel de HIC15 als BrIC letselcriteria. In de AIS2+ verdeling voor HIC is 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 (mediaan op 19% en 68% risico voor snor- en bromfietspassagier, respectievelijk). Uitzondering hierop zijn met name de onbeschermde impacts bij de snorfietspassagier; daar ligt het HIC15 AIS2+ letselrisico hoger voor de snorfietspassagier met SEPAC-helm t.o.v. de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm. Voor de BrIC AIS2+ letselrisico overlappen de verdelingen wederom meer (mediaan op 15% en 27% risico voor snor- en bromfietspassagier, respectievelijk), al is voor de snorfietspassagier wel een groter aandeel in de lagere letselrisico's (<10%) te zien.



Figuur 19 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 passagier van de bromfietser met volledig beschermende bromfietshelm en passagier van de snorfietser met SEPAC-helm. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

De onderste plots van Figuur 19 laten de verdelingen van het verschil in AIS2+ letselrisico zien voor de HIC15 en BrIC letselcriteria. In de plot voor de HIC15 (linksonder) is te zien dat voor het grootste deel van de simulatiecombinaties de snorfietspassagier met SEPAC-helm een lager letselrisico heeft dan de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm (bijna 70% van de simulatiecombinaties, mediaan van het verschil ligt op -45%, gemiddeld verschil -25%). Het deel van de verdeling rechts van 0 (waarbij de snorfietspassagier dus een hoger risico heeft dan de bromfietspassagier) wordt voornamelijk veroorzaakt door de eerder genoemde onbeschermde impacts bij de snorfietspassagier. In de plot voor de BrIC (rechtsonder) is te zien dat voor het grootste deel van de simulatiecombinaties de snorfietspassagier met SEPAC-helm een lager letselrisico heeft dan de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm (bijna 70% van de simulatiecombinaties). Het verschil tussen snor- en bromfietspassagier

is minder groot dan voor HIC15 (mediaan van het verschil ligt op -13%, gemiddeld verschil -9%). Voor zowel het HIC15 als het BrIC letselcriterium, AIS2+ niveau, heeft de snorfietspassagier met SEPAC-helm in meer dan de helft van de simulaties een lager letselrisico dan de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm en ook het gemiddelde letselrisico voor de snorfietspassagier ligt lager. Daarmee voldoet de snorfietspassagier met SEPAC-helm aan de criteria gesteld in paragraaf 2.5 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.

### 3.1.3 *Simulatiescenario 3 – Botsing met object*

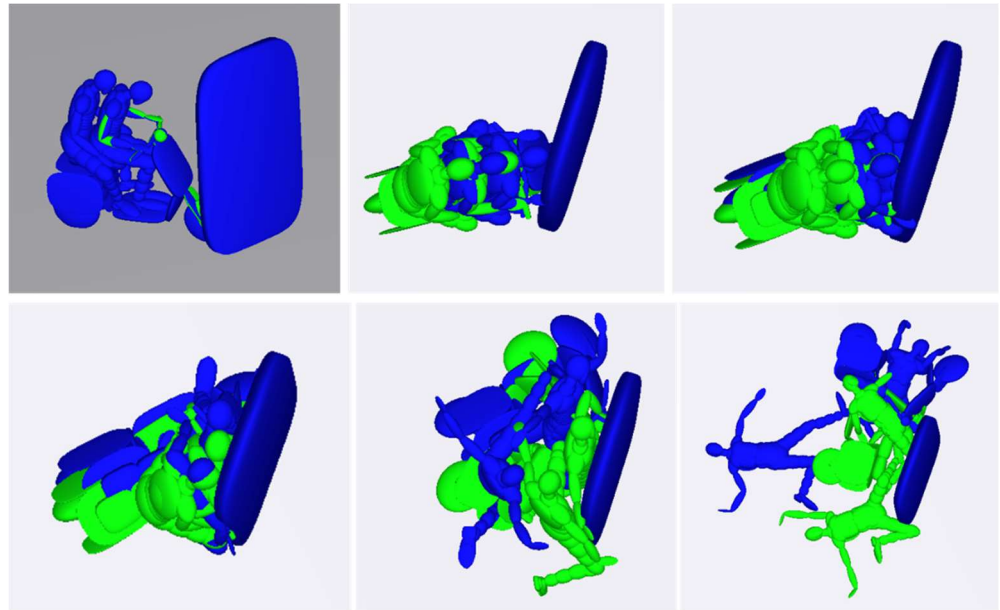
In dit simulatiescenario botst het voertuig tegen een stilstaand object waarvan de afmetingen variëren. Deze parametervariatie zorgt, naast de parametervariaties die ook aanwezig zijn in de voorgaande simulatiescenario's zoals voertuigsnelheid, rijrichting en houding van de berijders, voor een grote verscheidenheid aan valkinematica van de bestuurder en passagier. De drie typische kinematica voor dit scenario beschreven in het voorgaande onderzoek (rechtstreekse hoofdimpact tegen het object ("kinematica 1"), val over het object landing op het hoofd ("kinematica 2") en val over het object landing op de rug ("kinematica 3") [3]) zijn ook hier zichtbaar, echter is er door de interactie tussen bestuurder en passagier meer spreiding in de resulterende hoofdimpactsnelheid. Met name bij de snorfietspassagier is veel overlap in de verschillende kinematica en de resulterende hoofdimpactsnelheid (geen duidelijke groepen te onderscheiden).

De hogere hoofdimpactsnelheden (grootweg boven de 6 m/s) worden veroorzaakt door voornamelijk twee valmechanismen. De eerste vindt plaats wanneer er tegen een laag object wordt gebotst (hoogte tot ~25 cm), waardoor het voertuig uit balans raakt en omvalt. De relatief hoge hoofdimpactsnelheid wordt veroorzaakt doordat er maar weinig interactie (contact) is tussen passagier en bestuurder tijdens de val. De impact van het hoofd van de passagier is in deze situatie bijna altijd met de grond (niet het object), meestal met de voorkant van het hoofd, en in het geval van de snorfietspassagier ook vaak met de zijkant van het hoofd. Deze situatie komt overeen met "kinematica 2" uit [3]. Het tweede valmechanisme vindt plaats bij hoge objecten (hoogte vanaf ~1.5 m) waar het voertuig tegenaan botst. De hoogte van het object zorgt ervoor dat de passagier met het hoofd rechtstreeks tegen het object botst (vergelijkbaar met "kinematica 1" uit [3]). De hogere hoofdimpactsnelheden worden wederom bereikt wanneer er weinig interactie is tussen passagier en bestuurder. Wanneer deze interactie er wel is verlaagt dit de hoofdimpactsnelheid (aanzienlijk). Het "salto" valmechanisme ("kinematica 3" uit [3]) zien we ook in deze simulatiestudie terug voor de bromfietspassagier, bij de middelhoge objecten (~0.4 m tot ~1.5 m). De bromfietspassagier maakt als het ware een salto en raakt daarbij eerst met een ander deel van het lichaam substantieel de grond voordat het hoofd op de grond komt. De hoofdimpactsnelheid is daardoor relatief laag. Net als in [3] is dit gedrag alleen te zien bij de bromfiets.

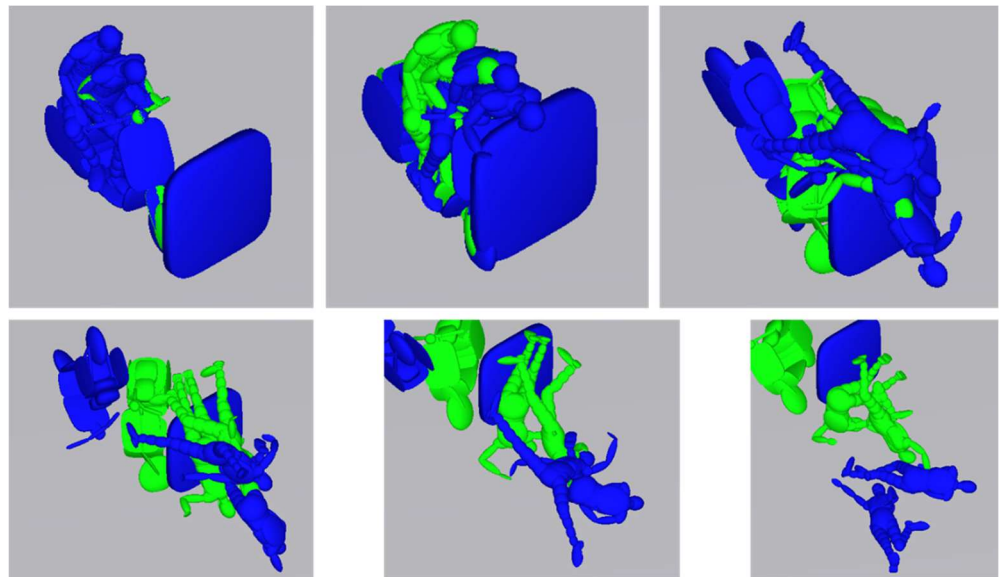
Figuur 20 laat een voorbeeld zien van een simulatie met kinematica 1. Hierbij is in het geval van de bromfietspassagier relatief weinig interactie met de bestuurder door de schuine impact hoek met het object en de relatief hoge snelheid (initiële snelheid van de bromfiets is voor dit scenario 48 km/u). De passagier op de snorfiets wordt door de lagere initiële snelheid van het voertuig (28 km/u) beter opgevangen door de bestuurder en raakt daardoor minder hard het object. De impact op de grond is voor de snorfietspassagier in dit geval harder en wordt daarom meegenomen als maximale hoofdimpactsnelheid voor dit scenario. In dit voorbeeld is de



hoofdimpactsnelheid 4.5 m/s voor de snorfietspassagier (achterkant van het hoofd met de grond) en 11.8 m/s voor de bromfietspassagier (voorkant van het hoofd met het object).



Figuur 20 Voorbeeld van een typische kinematica 1 van de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw) in simulatiescenario 3. Boven: tijdstip 0 ms, 42 ms (impact hoofd bromfietsbestuurder) en 70 ms (impact hoofd bromfietspassagier en snorfietsbestuurder). Onder: tijdstip 118 ms impact hoofd snorfietspassagier met object), 300 ms en eindpositie. Het figuur linksboven is een zijaanzicht, de overige figuren zijn bovenaanzichten.

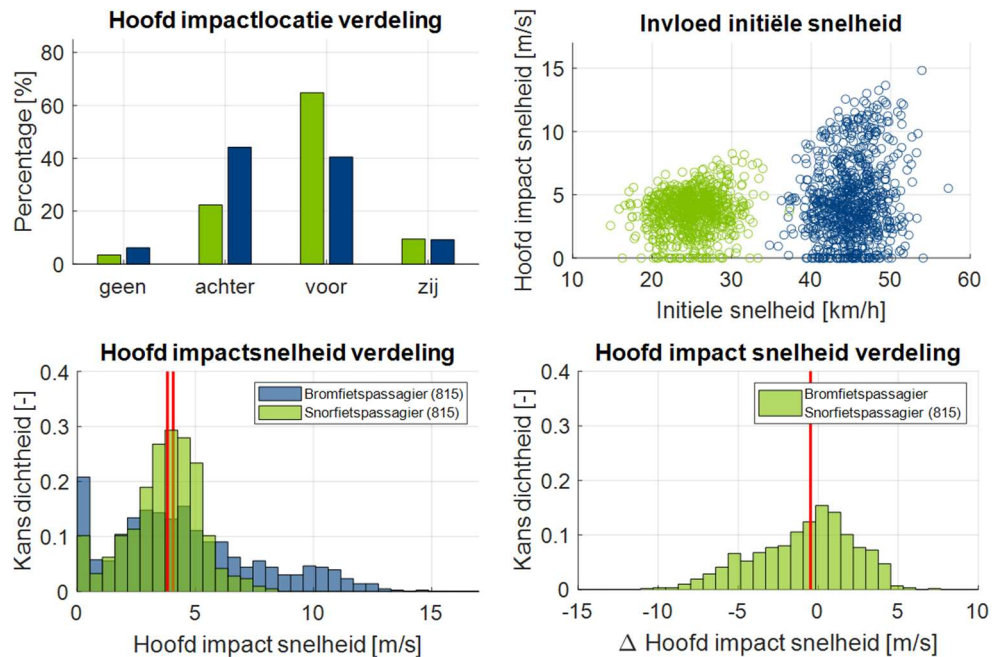


Figuur 21 Voorbeeld van kinematica 2 voor de snorfietspassagier (groen) en kinematica 3 voor de bromfietspassagier (blauw). Boven: tijdstip 0 ms, 100 ms en 300 ms. Onder: tijdstip 600 ms, 800 ms en eindpositie.

Figuur 21 laat een voorbeeld zien van een simulatie met kinematica 2 voor de snorfietspassagier en kinematica 3 voor de bromfietspassagier. Zowel de bestuurder als passagier van de snorfiets vallen hier over het object heen. de snorfietspassagier



duikt in deze simulatie over de bestuurder en komt met zijn hoofd op de grond terecht. De bromfietspassagier wordt door de hogere initiële snelheid van het voertuig van de bromfiets af geworpen en maakt als het ware een salto. Hij landt daarbij eerst op zijn rug (op de bestuurder in dit voorbeeld) en raakt daarna pas met zijn hoofd de grond. Dit voorbeeld resulteert in een hoofdimpactsnelheid van 4.9 m/s voor de snorfietspassagier (op de voorkant van het hoofd) en 0.5 m/s voor de bromfietspassagier (op de achterkant van het hoofd).



Figuur 22 Resultaten simulatiescenario 3: Uitwijken. Boven links: Hoofdimpactlocatieverdeling. Snorfietspassagier in het groen en bromfietspassagier in blauw. Boven rechts: Hoofdimpactsnelheid tegen de initiële snelheid van het voertuig. Onder: Absolute (links) en relatieve (rechts) hoofdimpactsnelheidsverdeling voor snor- en bromfietspassagier. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan)

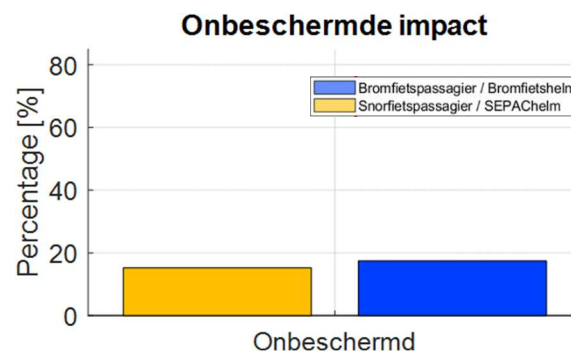
In de plot linksboven in Figuur 22 is de verdeling van de hoofdimpactlocatie voor zowel de snor- als bromfietspassagier weergegeven. Hierin is te zien dat het grootste deel van de impacts plaatsvindt op de voor- of achterkant van het hoofd. Het aandeel achterkant is groter bij de bromfietspassagier vanwege het hiervoor genoemde "salto" valmechanisme. In het grootste deel van de simulaties is de (maximale) hoofdimpact met de grond, niet met het object (91% van de simulaties voor snorfietspassagier, 89% van de simulaties voor de bromfietspassagier). Wanneer er een impact is met het object betreft dit meestal een impact met de voorkant van het hoofd.

De plot rechtsboven in Figuur 22 laat de hoofdimpactsnelheid ten opzichte van de initiële snelheid van het voertuig zien. Zoals hierboven al genoemd worden de hogere hoofdimpactsnelheden (boven ~6 m/s) veroorzaakt door een rechtstreekse impact van het hoofd met het object (met weinig interactie met de bestuurder) of een val over het object (wederom met weinig interactie met de bestuurder). Wanneer er meer interactie is met de bestuurder zakt de hoofdimpactsnelheid, afhankelijk van de mate van interactie (wordt de impact zo goed als volledig opgevangen door de bestuurder of schampen ze slechts met schouder / hoofd). De spreiding in de resulterende hoofdimpactsnelheid is groot; 0-6 m/s voor de snorfietspassagier en 0-8 m/s voor de

bromfietspassagier. Het salto valmechanisme van de bromfietspassagier resulteert in een relatief lage hoofdimpactsnelheid tot maximaal zo'n 5 m/s. Voor zowel de snorals de bromfietspassagier zien we enkele simulaties waarbij geen impact met het hoofd plaatsvindt, bijvoorbeeld omdat de passagier op het voertuig of de bestuurder blijft liggen (3% en 6% van de simulaties bij de snor en bromfietspassagier, respectievelijk).

De plot links onder in Figuur 22 geeft de verdeling weer van beide hoofdimpactsnelheden. Daarin is goed te zien dat de spreiding in hoofdimpactsnelheid voor de bromfietspassagier groter is dan voor de snorfietspassagier. De bromfietspassagier heeft een iets groter aantal in de lagere hoofdimpactsnelheden (tot ~3 m/s) en de hogere hoofdimpactsnelheden (vanaf ~6 m/s). De mediaan van de verdeling (rode lijn) is vergelijkbaar voor snor- en bromfietspassagier (3.8 en 4.1 m/s, respectievelijk).

De plot rechtsonder laat het verschil in hoofdimpactsnelheid per simulatie tussen snor- en bromfietspassagier zien. De grote variatie in dynamica en resulterende hoofdimpactsnelheid in dit simulatiescenario zorgen voor een verdeling van deze verschillen zonder opvallende pieken. De mediaan van het verschil in hoofdimpactsnelheid ligt maar net onder 0 (-0.5 m/s) wat aangeeft dat het verschil in hoofdimpactsnelheid voor de snorfietspassagier slechts in geringe mate lager is dan die voor de bromfietspassagier.



Figuur 23 Percentage van onbeschermd impact (buiten de helm zone) voor de passagier van de bromfiets met minimaal beschermende bromfietshelm (bij een volledig beschermende bromfietshelm worden deze impacts dus wel opgevangen door de helm) en passagier van de snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 3.

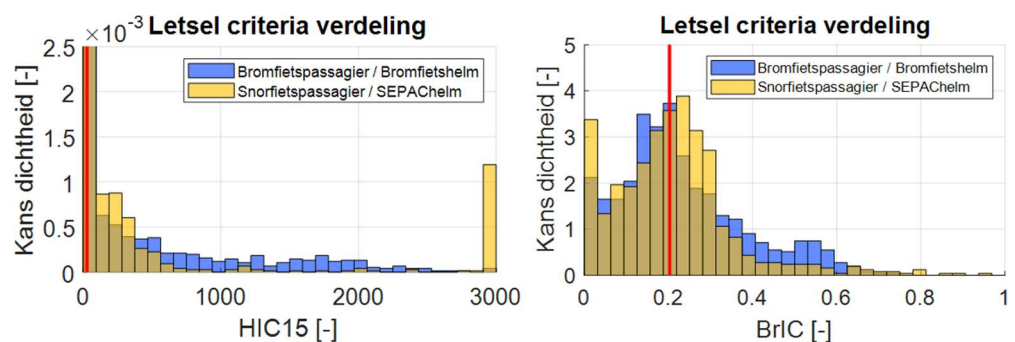
Figuur 23 laat zien dat het aantal onbeschermd impact van de snorfiets met SEPAC-helm (15%) iets minder is dan voor de bromfiets met minimaal beschermende bromfietshelm (17%). Voor de snorfietspassagier met SEPAC-helm is 70% van de onbeschermd impact op de voorkant van het hoofd (gezicht), 29% op de zijkant en 1% op de achterkant van het hoofd. Wanneer deze percentages worden vergeleken met de impactlocaties in de plot linksboven in Figuur 22 valt op dat een relatief groot aandeel van de onbeschermd impact plaatsvindt op de zijkant van het hoofd. Voor de bromfietspassagier met minimaal beschermende bromfietshelm is de verdeling van de impactlocaties voor onbeschermd impact 77%, 10% en 13% op de voorkant, zijkant en achterkant van het hoofd, respectievelijk.

Figuur 24 laat wederom de verdeling zien van de HIC15 en BrIC letselcriteria voor de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm (waarmee het onbeschermd deel van de minimale bromfietshelm afgebeeld in Figuur 8 dus wel beschermd is) in blauw en de snorfietspassagier met SEPAC-helm in geel. Deze zijn

weer verkregen m.b.v. de helm overdrachtsfuncties vanuit Figuur 5 en Figuur 6 en de simulatie output.

Bij de HIC15 verdeling is voor zowel de snor- als bromfietspassagier 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 snorfietspassagier met SEPAC-helm is er daarnaast een piek te zien bij de laatste staaf in het histogram. Hierin zitten alle onbeschermden impacts. Voor de rest van de simulaties zijn de HIC15 waarden verdeeld. De 50% grens ligt voor beide passagiers laag; op een HIC15 van 20 en 29 voor de snorfietspassagier met SEPAC-helm en de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm, respectievelijk.

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 mediaan (50% grens) ligt voor beide passagiers op een BrIC van 0.20.

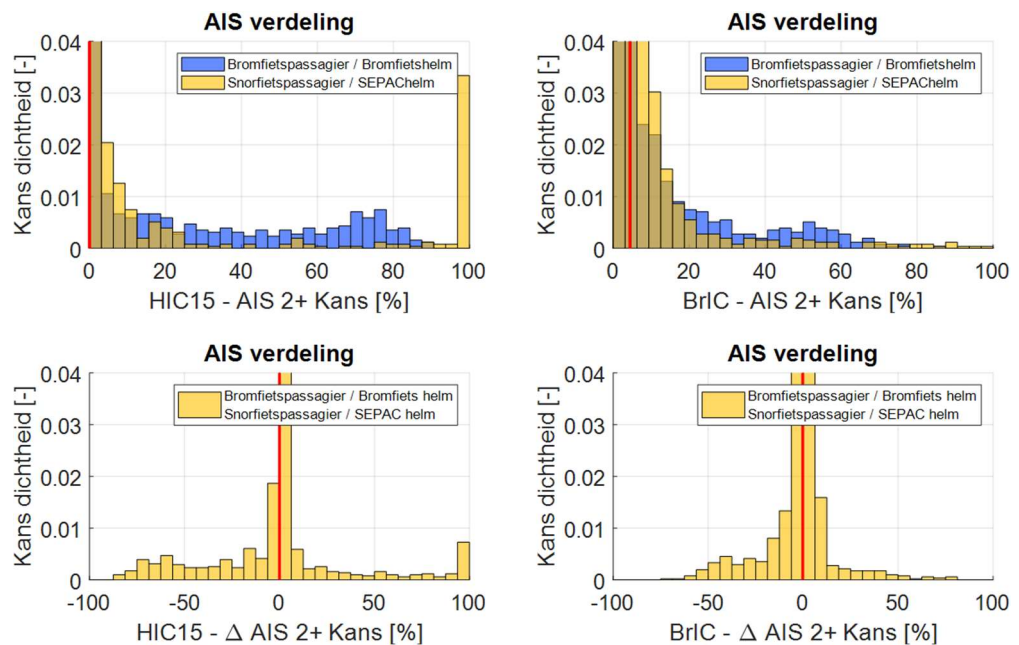


Figuur 24 Verdeling van de HIC15 (links) en BrIC (rechts) letselcriteria voor de passagier van de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en passagier van de snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 3. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

Beide verdelingen van HIC15 en BrIC kunnen m.b.v. de letselrisicocurves (Figuur 4) omgezet worden naar letselrisico voor een bepaald letselniveau. De bovenste plots in Figuur 25 geven de verdelingen van het AIS2+ niveau als voorbeeld voor zowel de HIC15 als BrIC letselcriteria. Voor de snorfietspassagier met SEPAC-helm zijn duidelijk weer de lage en hoge piek te zien met de HIC15 AIS2+ letselrisico van 0 en 100% (plot linksboven in Figuur 25). De bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm heeft een kleine piek bij ongeveer 70%-80% AIS2+ letselrisico vanwege de rechtstreekse impacts met object of de grond (weinig interactie met de bestuurder) en weer de hoge 0% letselrisico vanwege de simulaties met lage hoofdimpactsnelheid. De snorfietspassagier heeft een grotere kans op een 100% letselrisico en op de lagere letselrisico's tot ~15% AIS2+ HIC15 (histogram van de snorfietspassagier is voor die letselkans percentages hoger). Op de overige letselkans percentages heeft de bromfietspassagier een grotere waarschijnlijkheid. Een vergelijkbaar beeld is te zien bij het BrIC AIS2+ letselrisico (plot rechtsboven in Figuur 25), met uitzondering van de piek bij 100% kans op letsel voor de snorfietspassagier met SEPAC-helm.

De onderste plots van Figuur 25 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 voor beide berijders (van voornamelijk 0%). Het percentages simulaties met een gelijk of minder letselrisico voor de snorfiets is 64% en 54% met het gemiddelde op -1.2% en -2.6% voor het AIS2+ letselrisico voor de HIC15 en BrIC, respectievelijk. Hiermee voldoet de snorfiets met SEPAC-helm net aan de criteria gesteld in paragraaf 2.5 voor simulatiescenario 2, AIS2+

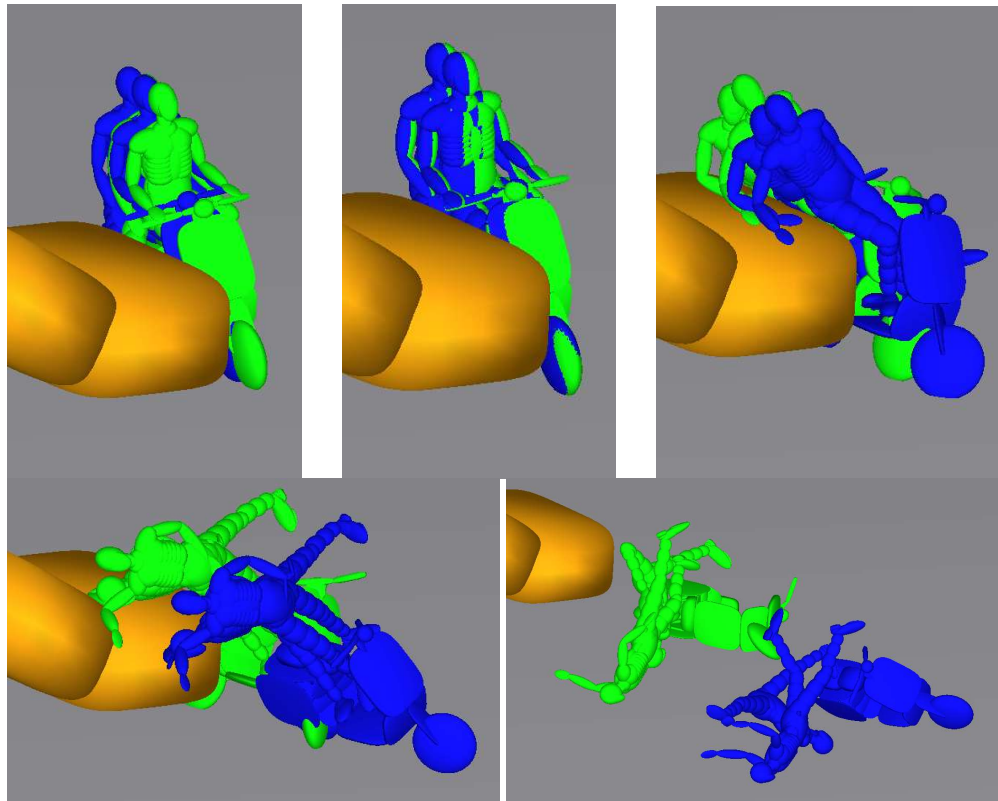
letselniveau voor de HIC15 en BrIC letselcriteria. De uitkomsten van de criteria voor de andere letselniveaus en helmcombinaties worden gepresenteerd in paragraaf 3.2.



Figuur 25 Resultaten simulatiescenario 3: 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 passagier van de bromfiet met volledig beschermende bromfietshelm en passagier van de snorfiet met SEPAC-helm. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

#### 3.1.4 Simulatiescenario 4 – Aanrijding door auto

In Figuur 26 is een typische kinematica te zien van simulatiescenario 4 van de snorfietser en bromfietser inclusief passagiers. De kinematica van beide is vergelijkbaar. In de initiële positie begint de bromfietser iets verder terug vanwege zijn hogere initiële snelheid dan de snorfietser. Hierdoor hebben ze op het moment van impact dezelfde positie t.o.v. de auto. 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. Voor de passagier gebeurt dit ook nog eens vaker dan voor de bestuurder, omdat deze verder naar achteren zit. Voor de snorfietser bestuurder en passagier wordt de hoogste hoofdimpactsnelheid gevonden op de auto in respectievelijk 14% en 28% van de simulaties en bij de bromfietser bestuurder en passagier in respectievelijk 5% en 15% van de simulaties.

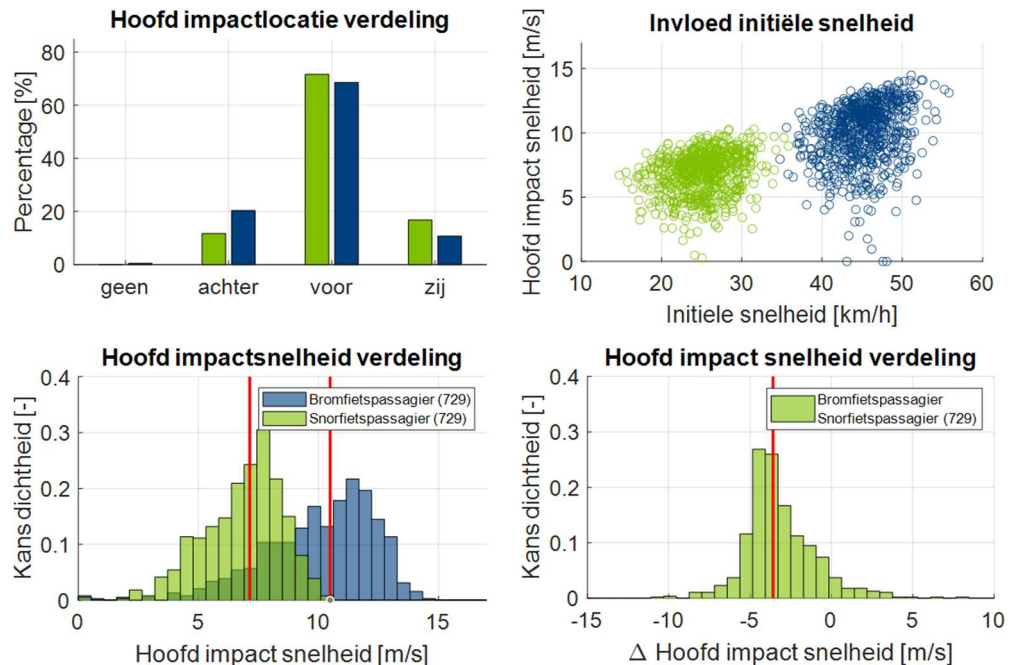


Figuur 26 Voorbeeld van een typische kinematica van de snorfiets (groen) en bromfiets (blauw) in simulatiescenario 4. Tijdstip 0, 35 (moment van impact), 110, 250, 550ms.

De plot linksboven in Figuur 27 laat de hoofdimpactlocatie zien. Hier is goed te zien dat zowel de snorfietspassagier als bromfietspassagier voornamelijk op de voorkant van het hoofd wordt geraakt. Dit geldt voor zowel de impact met de auto als met de grond. Het verschil in impact locatie van de snorfietspassagier en bromfietspassagier komt doordat de snorfietspassagier vaker de impact met de hoogste hoofdimpactsnelheid heeft met de auto heeft zoals hierboven beschreven. De impact met de auto gebeurt bijna uitsluitend met de voor en zijkant van het hoofd, terwijl de impact met de grond (doordat er meer tijd is om de roteren) ook gebeurt met de achterkant van het hoofd. In de plot rechtsboven van Figuur 27 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 27, 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 deze persoon en wat dus een hogere hoofdimpactsnelheid tot gevolg heeft. Over het algemeen is deze extra snelheid gelijk voor de bromfietser en snorfietsers, aangezien het een loodrechte botsing is en de voertuigen weinig (verschil in) laterale snelheid hebben. Omdat de snorfietsers een lagere initiële snelheid heeft krijgt deze er dus relatief meer snelheid bij. Dit komt naar voren in een vlakkere correlatie tussen de initiële snelheid en hoofdimpactsnelheid dan in de andere scenario's. Verder is ook te zien dat er een groot deel van de snelheden lager ligt dan de mediaan, voor zowel de snorfiets- als bromfiets passagier wat de gemiddelde hoofdimpactsnelheid omlaag brengt. De gemiddelde hoofdimpactsnelheid bij de bestuurder met passagier is ook hoger dan de bij de bestuurder zonder passagier. Dit komt doordat tijdens de botsing de passagier impuls



overbrengt aan de bestuurder, wat uiteindelijk de gemiddelde hoofdimpactsnelheid van de passagier omlaag brengt en die van de bestuurder (met passagier) omhoog. De plot rechtsonder in Figuur 27 laat het verschil in het hoofdimpactsnelheid tussen de snorfietser en bromfietser. In 93% van de simulaties is deze lager voor de snorfietser.

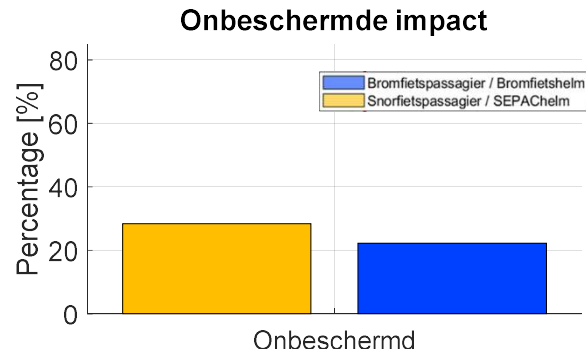


Figuur 27 Resultaten simulatiescenario 4: Aanrijding door auto. Boven links: Hoofdimpactlocatieverdeling. Snorfietserpassagier in het groen en bromfietserpassagier in blauw. Boven rechts: Hoofdimpactsnelheid tegen de initiële snelheid van het voertuig. Onder: Absolute (links) en relatieve (rechts) hoofdimpactsnelheidsverdeling voor snor- en bromfietserpassagier. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

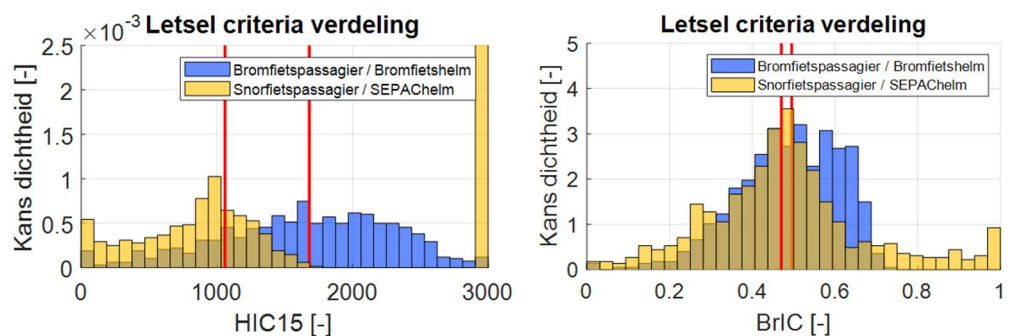
Figuur 28 laat zien dat de snorfietserpassagier met SEPAC-helm in ongeveer 28% van de simulaties een onbeschermd impact heeft. Voor de snorfietserbestuurder is dat respectievelijk 17% en 19% zonder en met passagier. De bromfietserpassagier met minimaal beschermende bromfietshelm komt met 22% iets minder vaak onbeschermd terecht, hoewel dit nog steeds meer is als de bromfietserbestuurders zonder en met passagier (18% en 10%).

In Figuur 29 is de verdeling te zien van de HIC15 en BrIC letselcriteria voor de bromfietserpassagier met volledig beschermende bromfietshelm (waarmee het onbeschermd deel van de minimale bromfietshelm afgebeeld in Figuur 28 dus wel beschermd is) en de snorfietserpassagier met SEPAC-helm. Deze zijn weer verkregen m.b.v. de helm overdrachtsfuncties vanuit Figuur 5 en Figuur 6 en de simulatie output voor het onbeschermd deel van het hoofd. Vooral bij HIC15, maar ook wel bij de BrIC is een piek te zien in de laatste staaf/staven van de snorfietserpassagier met SEPAC-helm vanwege de onbeschermd impacts. Ook is te zien dat de verdeling van de snorfietserpassagier met SEPAC-helm over het algemeen lager ligt dan van de bromfietserpassagier met volledig beschermende bromfietshelm voor vooral het HIC15- en in mindere mate BrIC criterium (mediaan van 1060 en 1681 voor HIC15 en 0.47 en 0.50 voor BrIC, respectievelijk). Dit verschil is groter voor het HIC15 letselcriterium, 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.



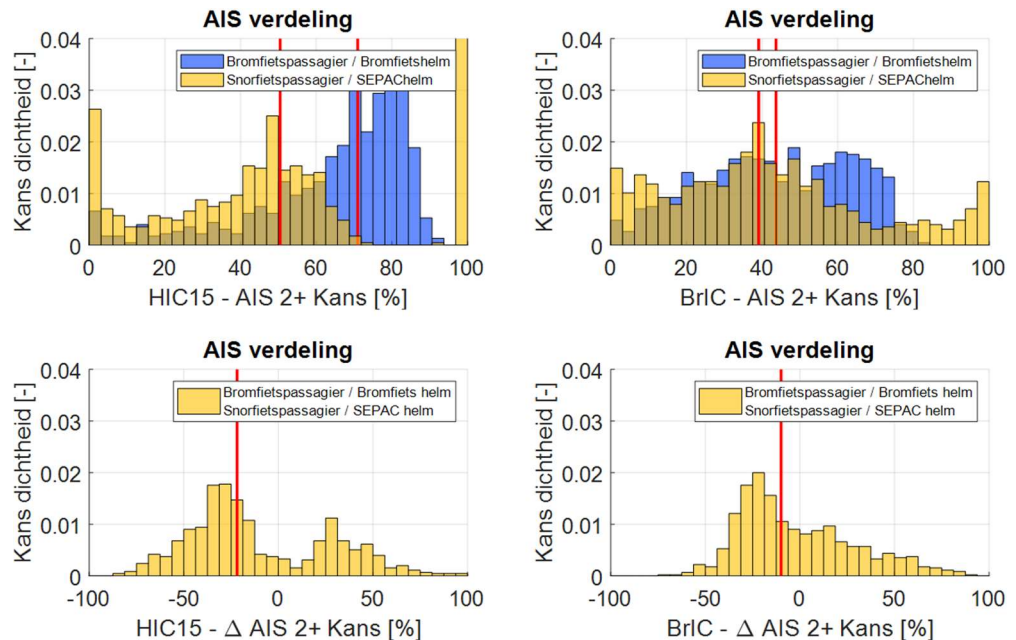
Figuur 28 Percentage van onbeschermd impact (buiten de helm zone) voor de passagier van de bromfiets met minimaal beschermende bromfietshelm (bij een volledig beschermende bromfietshelm worden deze impacts dus wel opgevangen door de helm) en passagier van de snorfiets met SEPAC-helm, in simulatiescenario 4.



Figuur 29 Verdeling van de HIC15 (links) en BrIC (rechts) letselcriteria voor de passagier van de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en passagier van de 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 4) weer omgezet worden naar letselrisico voor een bepaald letselniveau. De bovenste plots in Figuur 30 geven de verdelingen van het AIS2+ niveau als voorbeeld voor zowel het 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 snorfietspassagier met SEPAC-helm). De mediaan van het letselrisico liggen voor de HIC15 AIS2+ substantieel uit elkaar met 51% en 71% en dichterbij elkaar voor de BrIC AIS2+ met een letselrisico van 39% en 44% voor de snorfietspassagier met SEPAC-helm en bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm. Het letselrisico van de snorfietspassagier 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 AIS2+ 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 voor de snorfietspassagier is 66% en 60% met het gemiddelde op -10% en -2% voor het AIS2+ letselrisico voor de HIC15 en BrIC, respectievelijk.

Hiermee voldoet de snorfietspassagier met SEPAC-helm net aan de criteria gesteld in paragraaf 2.5 voor simulatiescenario 2, AIS2+ letselniveau voor zowel de HIC15 en BrIC letselcriteria. De uitkomsten van de criteria voor de andere letselniveaus en helmcombinaties worden gepresenteerd in paragraaf 3.2.



Figuur 30 Resultaten simulatiescenario 4: 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 passagier van de bromfiets met volledig beschermende bromfietshelm en passagier van de snorfiets met SEPAC-helm. Rode lijn geeft 50% aan (mediaan).

### 3.2 Analyse

Tabel 2 t/m Tabel 5 vatten alle resultaten van de uitkomsten van de gestelde pass-fail criteria samen voor alle 8 combinaties zoals besproken in paragraaf 2.5. Tabel 2 en Tabel 3 bevatten de analyse over de snorfietspassagier met als referentie de bromfietspassagier en Tabel 4 en Tabel 5 de analyse over de snorfietsbestuurder met passagier met als referentie de bromfietsbestuurder met passagier. In Tabel 2 en Tabel 4 heeft de referentie de volledig beschermende bromfietshelm op en in Tabel 3 en Tabel 5 de 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 snorfietspassagier of snorfietsbestuurder met passagier met 3 verschillende helmen te vinden: volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm), minimaal beschermende bromfietshelm (minimale eisen R22.05) en SEPAC-helm. Voor ieder type helm bevat de tabel twee kolommen; één voor ieder criterium om dat helm type als “veilig” te beschouwen zoals genoemd in paragraaf 2.5. De linker van deze twee kolommen geeft het gemiddelde verschil in letselrisico tussen snor- en bromfietsberijder met de genoemde typen helmen aan (veilig criterium 1 uit paragraaf 2.5). De rechter van de twee kolommen noemt het percentage van de simulaties waarbij het letselrisico voor de snorfietsberijder lager is dan voor de bromfietsberijder, wederom met de genoemde typen helmen (veilig criterium 2 uit paragraaf 2.5). Als het gemiddelde (linker kolom, criterium 1) onder of



gelijk aan 0 is deze groen gekleurd en anders rood. Voor het percentage onder 0 (rechterkolom, criterium 2) kleurt het vak in de tabel groen bij een waarde van 50% of hoger en rood bij een waarde lager dan 50%. In Tabel 2 zijn de besproken voorbeelden uit de vorige paragrafen omljnd.

Uit deze tabellen kunnen de volgende algemene observaties worden gedaan (meer gedetailleerde analyse per scenario volgt in de paragrafen hieronder).

Er is te zien dat voor alle scenario's, alle letselniveaus en beide letselcriteria het merendeel van de simulaties aangeeft dat de snorfietsers met SEPAC-helm minder letselrisico heeft (percentages in rechter kolommen).

Daarnaast is te zien dat deze percentages per simulatiescenario en per letselcriterium ongeveer gelijk zijn voor alle letselniveaus. Dit komt omdat de letselrisicocurves altijd stijgend zijn. Dit betekent dat als je minder kans hebt op letsel van niveau AIS2+ je ook minder kans hebt op letsel van niveau AIS 5+. Het verschil tussen de snor- en bromfietsberijder verandert dan weinig.

De gemiddelde waarde van het verschil in letselrisico (percentages in linker kolommen) 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, geeft eenzelfde stap in HIC of BrIC waarde een groter verschil in letselrisico en heeft daarmee dus een groter effect op de gemiddelde waarde. Het grotere, lagere risico voor de snorfietsberijder zit over het algemeen op het AIS1+ en AIS2+ letselniveau, waar dus de HIC15 en BrIC waarden voor zowel snor- als bromfietsberijder op het steilste deel van de letselrisicocurve zitten. Bij de hogere letselniveaus zitten de HIC15 en BrIC waarden voor zowel snor- als bromfietsberijder over het algemeen op het vlakke stuk in het begin van de letselrisicocurve waardoor de verschillen minder groot zijn. De onbeschermdede harde impacts, die vaak een hoog letselrisico geven voor alle letselniveaus, hebben in deze gevallen dus relatief meer invloed op de gemiddelde waarden, waardoor deze sneller boven de gestelde criteria uitkomt (rood kleurt).

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

Referentie: bromfiets passagier - bromfiets helm(I)													
		snorfiets passagier - bromfiets helm (I)		snorfiets passagier - bromfiets helm (O)		snorfiets passagier - SEPAC helm		snorfiets passagier - bromfiets helm (I)		snorfiets passagier - bromfiets helm (O)		snorfiets passagier - SEPAC helm	
		Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0
<b>scenario 1</b>													
AIS1+	HIC15	-52%	91%	-51%	89%	-46.9%	84%	-42%	99%	-36%	87%	-27.9%	69%
	BrIC	-5%	84%	-5%	83%	-14.7%	82%	-11%	94%	-9%	87%	-8.1%	72%
AIS2+	HIC15	-40%	91%	-38%	89%	-31.9%	84%	-50%	99%	-40%	87%	-24.5%	69%
	BrIC	-22%	84%	-21%	82%	-18.9%	81%	-21%	94%	-16%	84%	-8.6%	69%
AIS3+	HIC15	-26%	91%	-24%	89%	-17.5%	84%	-38%	99%	-27%	87%	-10.0%	69%
	BrIC	-7%	84%	-6%	82%	-5.6%	81%	-6%	94%	-5%	84%	-2.4%	69%
AIS4+	HIC15	-18%	91%	-16%	89%	-9.1%	84%	-29%	99%	-18%	87%	0.0%	69%
	BrIC	-4%	84%	-4%	82%	-3.3%	81%	-4%	94%	-3%	84%	-1.4%	69%
AIS5+	HIC15	-17%	91%	-14%	89%	-7.8%	84%	-27%	99%	-16%	87%	1.7%	69%
	BrIC	-4%	84%	-3%	82%	-3.0%	81%	-3%	94%	-2%	84%	-1.3%	69%
<b>scenario 3</b>													
AIS1+	HIC15	-16%	76%	-7%	65%	-6.2%	64%	-15%	91%	-8%	67%	-7.9%	66%
	BrIC	6%	51%	7%	48%	-2.6%	55%	-1%	92%	-1%	84%	-1.5%	80%
AIS2+	HIC15	-13%	76%	-2%	65%	-1.2%	64%	-29%	91%	-11%	67%	-10.3%	66%
	BrIC	-6%	51%	-2%	46%	-2.6%	53%	-23%	90%	-9%	69%	-1.9%	60%
AIS3+	HIC15	-8%	76%	2%	65%	3.2%	64%	-27%	91%	-5%	67%	-4.2%	66%
	BrIC	-2%	51%	-1%	46%	-0.7%	53%	-8%	90%	-1%	69%	1.6%	60%
AIS4+	HIC15	-6%	77%	4%	66%	5.7%	65%	-25%	91%	-1%	67%	0.4%	66%
	BrIC	-1%	51%	0%	46%	-0.4%	53%	-5%	90%	0%	69%	1.4%	60%
AIS5+	HIC15	-6%	77%	5%	66%	6.1%	65%	-24%	91%	0%	67%	1.5%	66%
	BrIC	-1%	51%	0%	46%	-0.3%	53%	-5%	90%	0%	69%	1.4%	60%

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 **snorfietspassagier** met de volledig beschermende bromfietshelm (I), minimaal beschermende bromfietshelm (O) en SEPAC-helm t.o.v. de **bromfietspassagier met minimaal beschermende bromfietshelm (O)**.

Referentie: bromfiets passagier - bromfiets helm(O)													
		snorfiets passagier - bromfiets helm (I)		snorfiets passagier - bromfiets helm (O)		snorfiets passagier - SEPAC helm		snorfiets passagier - bromfiets helm (I)		snorfiets passagier - bromfiets helm (O)		snorfiets passagier - SEPAC helm	
		Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0
		scenario 1						scenario 2					
AIS1+	HIC15	-53%	91%	-52%	89%	-47.8%	84%	-43%	100%	-37%	91%	-28.6%	76%
	BrIC	-5%	84%	-5%	84%	-14.9%	83%	-11%	94%	-9%	88%	-8.1%	76%
AIS2+	HIC15	-43%	91%	-41%	89%	-35.3%	84%	-57%	100%	-47%	91%	-31.8%	76%
	BrIC	-26%	84%	-25%	83%	-23.1%	81%	-35%	94%	-30%	88%	-23.2%	75%
AIS3+	HIC15	-31%	91%	-29%	89%	-22.3%	84%	-50%	100%	-39%	91%	-22.3%	76%
	BrIC	-11%	84%	-11%	83%	-9.8%	81%	-18%	94%	-16%	88%	-14.0%	75%
AIS4+	HIC15	-23%	91%	-21%	89%	-14.6%	84%	-44%	100%	-33%	91%	-15.3%	76%
	BrIC	-8%	84%	-7%	83%	-6.8%	81%	-12%	94%	-11%	88%	-9.7%	75%
AIS5+	HIC15	-22%	91%	-20%	89%	-13.4%	84%	-43%	100%	-32%	91%	-14.1%	76%
	BrIC	-7%	84%	-7%	83%	-6.3%	81%	-11%	94%	-10%	88%	-8.9%	75%
scenario 3													
AIS1+	HIC15	-23%	78%	-14%	70%	-13.2%	70%	-16%	94%	-9%	79%	-9.0%	78%
	BrIC	6%	53%	7%	51%	-3.3%	58%	-1%	93%	-1%	89%	-1.5%	86%
AIS2+	HIC15	-24%	78%	-13%	70%	-12.1%	70%	-37%	94%	-19%	79%	-18.6%	78%
	BrIC	-11%	53%	-8%	50%	-8.0%	57%	-34%	92%	-20%	78%	-13.3%	70%
AIS3+	HIC15	-21%	78%	-11%	71%	-9.3%	70%	-40%	94%	-18%	79%	-16.9%	78%
	BrIC	-5%	53%	-4%	50%	-4.1%	57%	-19%	92%	-12%	78%	-9.2%	70%
AIS4+	HIC15	-19%	79%	-9%	71%	-7.7%	71%	-40%	94%	-16%	79%	-14.7%	78%
	BrIC	-4%	53%	-3%	50%	-2.8%	57%	-14%	92%	-9%	78%	-7.3%	70%
AIS5+	HIC15	-19%	79%	-9%	71%	-7.5%	71%	-40%	94%	-15%	79%	-14.1%	78%
	BrIC	-3%	53%	-3%	50%	-2.6%	57%	-13%	92%	-9%	78%	-6.9%	70%

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 **snorfietsbestuurder** met passagier met de volledig beschermende bromfietshelm (I), minimaal beschermende bromfietshelm (O) en SEPAC-helm t.o.v. de **bromfietsbestuurder met passagier met volledig beschermende bromfietshelm (I)**.

Referentie: bromfietser met passagier - bromfiets helm(I)													
		snorfiets met passagier - bromfiets helm (I)		snorfiets met passagier - bromfiets helm (O)		snorfiets met passagier - SEPAC helm		snorfiets met passagier - bromfiets helm (I)		snorfiets met passagier - bromfiets helm (O)		snorfiets met passagier - SEPAC helm	
		Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0
		scenario 1						scenario 2					
AIS1+	HIC15	-65%	94%	-64%	93%	-63.7%	92%	-32%	100%	-29%	87%	-15.1%	34%
	BrIC	-13%	86%	-12%	85%	-25.8%	85%	-9%	99%	-9%	90%	-7.1%	42%
AIS2+	HIC15	-52%	94%	-50%	93%	-49.1%	92%	-51%	100%	-41%	87%	-0.2%	34%
	BrIC	-27%	86%	-26%	84%	-25.6%	84%	-17%	99%	-12%	88%	7.2%	38%
AIS3+	HIC15	-37%	95%	-35%	93%	-34.4%	92%	-42%	100%	-30%	87%	18.4%	34%
	BrIC	-9%	86%	-8%	84%	-8.1%	84%	-5%	99%	-3%	88%	2.8%	38%
AIS4+	HIC15	-29%	95%	-26%	93%	-25.3%	92%	-34%	100%	-21%	87%	30.3%	34%
	BrIC	-5%	86%	-5%	84%	-4.8%	84%	-3%	99%	-2%	88%	1.7%	38%
AIS5+	HIC15	-27%	95%	-24%	93%	-23.7%	92%	-32%	100%	-19%	87%	32.3%	34%
	BrIC	-5%	86%	-4%	84%	-4.3%	84%	-3%	99%	-2%	88%	1.6%	38%
scenario 3													
AIS1+	HIC15	-10%	83%	-2%	70%	-1.6%	68%	-9%	98%	-7%	81%	-6.6%	80%
	BrIC	-4%	70%	-4%	67%	-10.7%	74%	-1%	98%	-1%	95%	-1.0%	94%
AIS2+	HIC15	-19%	83%	-7%	70%	-4.9%	68%	-31%	98%	-20%	81%	-19.8%	80%
	BrIC	-15%	70%	-11%	64%	-8.9%	70%	-28%	96%	-17%	81%	-7.6%	71%
AIS3+	HIC15	-18%	83%	-4%	70%	-2.2%	68%	-34%	98%	-19%	81%	-18.9%	80%
	BrIC	-6%	70%	-4%	64%	-3.1%	70%	-11%	96%	-2%	81%	1.8%	71%
AIS4+	HIC15	-16%	84%	-3%	71%	0.0%	68%	-34%	98%	-17%	81%	-16.9%	80%
	BrIC	-4%	70%	-2%	64%	-1.8%	70%	-7%	96%	0%	81%	2.6%	71%
AIS5+	HIC15	-16%	84%	-2%	71%	0.5%	68%	-33%	98%	-17%	81%	-16.2%	80%
	BrIC	-3%	70%	-2%	64%	-1.7%	70%	-6%	96%	1%	81%	2.6%	71%

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

Referentie: bromfietser met passagier - bromfietshelm(O)													
		snorfiets met passagier - bromfietshelm (I)		snorfiets met passagier - bromfietshelm (O)		snorfiets met passagier - SEPAC helm		snorfiets met passagier - bromfietshelm (I)		snorfiets met passagier - bromfietshelm (O)		snorfiets met passagier - SEPAC helm	
		Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0	Mean	% <= 0
scenario 1							scenario 2						
AIS1+	HIC15	-65%	95%	-65%	93%	-64.6%	93%	-33%	100%	-30%	96%	-15.8%	57%
	BrIC	-13%	87%	-13%	87%	-25.8%	88%	-9%	100%	-9%	96%	-7.1%	60%
AIS2+	HIC15	-58%	95%	-56%	93%	-55.5%	93%	-61%	100%	-51%	96%	-10.1%	57%
	BrIC	-38%	87%	-37%	86%	-37.0%	87%	-42%	100%	-36%	96%	-17.6%	58%
AIS3+	HIC15	-47%	95%	-45%	94%	-44.4%	93%	-59%	100%	-47%	96%	1.1%	57%
	BrIC	-20%	87%	-19%	86%	-19.3%	87%	-25%	100%	-23%	96%	-17.1%	58%
AIS4+	HIC15	-41%	95%	-38%	94%	-37.5%	93%	-56%	100%	-43%	96%	8.5%	58%
	BrIC	-14%	87%	-14%	86%	-13.9%	87%	-17%	100%	-16%	96%	-12.8%	58%
AIS5+	HIC15	-40%	95%	-37%	94%	-36.3%	93%	-55%	100%	-42%	96%	9.8%	58%
	BrIC	-13%	87%	-13%	86%	-13.0%	87%	-16%	100%	-15%	96%	-11.9%	58%
scenario 3							scenario 4						
AIS1+	HIC15	-12%	84%	-4%	76%	-3.9%	74%	-9%	99%	-7%	83%	-6.9%	83%
	BrIC	-4%	70%	-4%	68%	-10.7%	74%	-1%	98%	-1%	97%	-1.0%	95%
AIS2+	HIC15	-23%	84%	-11%	76%	-9.0%	74%	-33%	99%	-22%	83%	-22.1%	83%
	BrIC	-18%	70%	-14%	67%	-11.9%	73%	-32%	97%	-21%	84%	-11.7%	75%
AIS3+	HIC15	-23%	84%	-10%	76%	-7.7%	74%	-38%	99%	-23%	83%	-22.9%	83%
	BrIC	-11%	70%	-9%	67%	-8.0%	73%	-17%	97%	-8%	84%	-4.4%	75%
AIS4+	HIC15	-23%	85%	-9%	77%	-6.4%	75%	-39%	99%	-22%	84%	-21.9%	83%
	BrIC	-8%	70%	-7%	67%	-6.3%	73%	-13%	97%	-6%	84%	-3.5%	75%
AIS5+	HIC15	-22%	85%	-9%	77%	-6.0%	75%	-38%	99%	-22%	84%	-21.3%	83%
	BrIC	-8%	70%	-7%	67%	-6.0%	73%	-12%	97%	-5%	84%	-3.4%	75%

### 3.2.1 Scenario 1: Uitwijken

#### 3.2.1.1 Passagier

De resultaten van scenario 1 laten zien dat voor alle letselniveaus en beide letselcriteria 81-84% van alle simulaties de snorfietspassagier met SEPAC-helm een lager letselrisico heeft dan de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm. Dit percentage gaat niet omhoog voor beide letselcriteria als er vergeleken wordt met de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm, omdat er zeer weinig onbeschermden impacts zijn. Als de snorfietspassagier een minimaal beschermde bromfietshelm wordt opgezet is er nog ongeveer 1-5% extra aantal simulaties die minder letselrisico laten zien voor de BrIC en HIC respectievelijk. Een extra 1% van de simulaties laat een lager letselrisico zien voor beide letselcriteria als de snorfietspassagier een volledig beschermde bromfietshelm opzet.

Als er gekeken wordt naar het gemiddelde verschil in letselrisico van de snorfietspassagier met SEPAC-helm ten opzichte van de bromfietspassagier met volledig beschermde bromfietshelm is te zien dat dit afloopt van de lagere letselniveaus van -47% en -19% tot de hogere letselniveaus van -8% en -3% voor de HIC15 en BrIC letselcriteria respectievelijk. Dit lagere letselrisico verschil per letselniveau komt, 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 onbeschermden impacts met de minimaal beschermende bromfietshelm ook worden meegenomen en die komen vooral tot uiting in de hogere letselniveaus. Als de snorfietspassagier een bromfietshelm wordt opgezet wordt het gemiddelde letselrisico verschil ongeveer nog 1% extra lager voor de minimaal beschermende versie en nogmaals 1% extra voor de volledig beschermde versie voor het BrIC letselcriteria voor letselniveaus 2 t/m5. Voor AIS1+ wordt het juist hoger omdat de

bromfietshelm minder goed beschermt bij lagere snelheden voor het BrIC letselcriteria. voor de HIC15 op alle letselniveaus verlaagt de minimaal beschermende bromfietshelm het gemiddelde letselrisico met ongeveer 7% en nog eens een extra ongeveer 2% voor de volledig beschermde bromfietshelm door het voorkomen van de onbeschermden impacts.

### 3.2.1.2 *Bestuurder met passagier*

Voor de bestuurder met passagier heeft in scenario 1 84-92% van de simulaties een lager letselrisico voor de snorfietser met SEPAC-helm dan de bromfietser met volledig beschermde bromfietshelm. Voor de bestuurder zonder passagier was dit percentage iets hoger (90-95%). Als er vergeleken wordt met de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm gaat dit percentage ongeveer 1% omhoog. Als de snorfietser een bromfietshelm wordt opgezet is er ongeveer 1% en 2% extra aantal simulaties die minder letselrisico laten zien voor de minimaal en volledig beschermde versie respectievelijk.

Als er gekeken wordt naar het gemiddelde verschil in letselrisico van de snorfietser met SEPAC-helm is te zien dat het afloopt van AIS1+ van -64% voor HIC15 en -26% voor BrIC naar ongeveer -24% en -4% op AIS5+ met als referentie de volledig beschermende bromfietshelm en -40% en -17% met de minimaal beschermende bromfietshelm als referentie. Deze trend is vergelijkbaar (op AIS1+ na) voor de resultaten voor de bestuurder zonder passagier.

Als de snorfietser een bromfietshelm wordt opgezet wordt het letselrisico verschil ongeveer nog 1% extra lager voor de HIC15 op alle letselniveaus, wat vergelijkbaar is met de resultaten zonder passagier

## 3.2.2 *Scenario 2: Remmen*

### 3.2.2.1 *Passagier*

In ongeveer 69% van de simulaties laat de snorfietspassagier met SEPAC-helm een lager letselrisico zien dan voor de bromfietspassagier met volledig beschermde bromfietshelm voor beide letselcriteria. Als er vergeleken wordt met de minimaal beschermende bromfietshelm stijgt dit percentage naar ongeveer 76%. Dit percentage stijgt naar 84-91% en 94-100% als de minimaal en volledig bromfietshelm bij de snorfietser wordt opgezet respectievelijk, afhankelijk van de gekozen referentie.

Als er wordt gekeken naar het gemiddelde verschil in letselrisico is te zien dat deze het laagst is bij AIS1/2+ letselniveau van ongeveer -25% voor de HIC15 en -8% voor het BrIC letselcriteria. Dit stijgt voor de hogere letselniveaus. Voor BrIC blijft het negatief op ongeveer -1%, maar voor HIC15 wordt het net positief (~2%). Deze stijging komt doordat de onbeschermden impacts van de snorfietspassagier met SEPAC-helm nog steeds 100% letselrisico geven, terwijl die van de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm substantieel afnemen. Dat is ook de reden dat het gemiddelde letselrisico nog ruim negatief is, als er de minimaal beschermde bromfietshelm bij de bromfietspassagier als referentie wordt genomen. Ook als de snorfietspassagier de minimaal beschermde bromfietshelm wordt opgezet daalt het gemiddelde letselrisico verschil weer substantieel (ongeveer 15 lager voor HIC15). Dit grote verschil komt omdat de onbeschermden impacts van de snorfietspassagier met SEPAC-helm vooral gebeuren met de zijkant van het hoofd, waar de minimaal beschermde bromfietshelm wel bescherming biedt. Als de volledig beschermde bromfietshelm wordt opgezet bij

de snorfietspassagier daalt het gemiddelde letselrisico met nogmaals 10% en 1% voor de HIC15 en BrIC respectievelijk.

### 3.2.2.2 *Bestuurder met passagier*

Voor de bestuurder met passagier in scenario 2 is te zien dat voor alle letselniveaus en beide letselcriteria snorfietsers met SEPAC-helm minder vaak een lager letselrisico heeft dan de bromfietser met volledig beschermde bromfietshelm (34-42%). Als er vergeleken wordt met de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm wordt dit percentage verhoogd naar (57-60%), wat net wel een meerderheid representeert. Als de snorfietsers een minimaal of volledig beschermde bromfietshelm wordt opgezet, kan een meerderheid van 87-96% en 99%-100% worden verwacht respectievelijk en afhankelijk van de referentie. Dit grote verschil komt omdat de snorfietsers met SEPAC-helm in 66% van de gevallen een onbeschermd impact heeft, voornamelijk met de zijkant van het hoofd. Het opzetten van een minimaal beschermende bromfietshelm verlaagt dit naar 13%. Ter vergelijking; de snorfietsers zonder passagier had met SEPAC-helm maar in 28% een onbeschermd impact. Uit de kinematica is ook te zien dat de passagier ervoor zorgt dat de bestuurder sneller naar de grond wordt gedrukt en daardoor minder tijd heeft om te draaien naar het beschermde deel van de SEPAC-helm in vergelijking met de simulaties zonder passagier.

Een vergelijkbaar beeld is te zien in de resultaten van het gemiddelde verschil in letselrisico tussen de snorfietsers met SEPAC-helm en de bromfietser met volledig beschermde bromfietshelm. Hoewel het voor de lagere letselniveaus nog negatief blijft, doordat de bromfietser ook nog een 100% letselrisico heeft, wordt het voor de hogere letselniveaus een positief verschil. Voor de BrIC zit dit tussen 7 en 2% en voor de HIC15 tussen de 18 en 32% afhankelijk van het letselniveau. Als er vergeleken wordt met de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm is te zien dat de gemiddelde verschil in letselrisico van het BrIC letselcriteria weer negatief worden. Ook voor het HIC15 letselcriteria zakken de percentages substantieel, maar blijven wel positief (1-10%). Deze grote daling wordt veroorzaakt doordat de minimaal beschermende bromfietshelm bij de bromfietser ook een substantieel deel onbeschermd impacts heeft (35%). Het gemiddelde verschil in letselrisico bij de HIC15 blijft positief omdat een onbeschermd impact bijna altijd een 100% letselrisico heeft. Als er bij de snorfietsers een minimaal beschermde bromfietshelm wordt opgezet daalt het gemiddelde verschil in letselrisico met ongeveer 5% en 50% voor de BrIC en HIC15 letselcriteria respectievelijk. Een extra daling van ongeveer 1% en 13% is te zien voor beide letselcriteria wanneer de snorfietsers een volledig beschermende bromfietshelm wordt opgezet.

### 3.2.3 *Scenario 3: Botsing met object*

#### 3.2.3.1 *Passagier*

In scenario 3 heeft 53% tot 65% en 57% tot 70% van de simulaties de snorfietspassagier met SEPAC-helm een lager letselrisico wanneer vergeleken wordt met de bromfietspassagier met volledig en minimaal beschermende bromfietshelm, respectievelijk. Als bij de snorfietspassagier de minimaal beschermende bromfietshelm wordt opgezet worden deze percentages (voor het BrIC criterium) iets lager: 46-66% en 50-71%. Wanneer de snorfietspassagier een volledig beschermende bromfietshelm draagt stijgt het aantal simulaties dat aan dit veiligheids criterium voldoet naar 51-77% en 53-78% wanneer vergeleken wordt met

de bromfietspassagier met volledig en minimaal beschermende bromfietshelm, respectievelijk.

De snorfietspassagier met SEPAC-helm heeft in vergelijking met de bromfietspassagier met minimaal beschermende bromfietshelm voor alle letselniveaus ook een lager gemiddeld letselrisico (-13% tot -3%, afhankelijk van naar welk letselniveau en criterium (HIC15 of BrIC) wordt gekeken). Deze percentages veranderen weinig wanneer de snorfietspassagier ook een minimaal beschermende bromfietshelm draagt, met uitzondering van het lage letselniveau AIS1+ (BrIC). Dit komt doordat de SEPAC-helm voor lagere impacts een beter beschermingsniveau biedt dan de bromfietshelm (gekeken naar het BrIC criterium).

Wanneer de snorfietspassagier met SEPAC-helm wordt vergeleken met de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm zien we dat voor de hogere letselniveaus (AIS 3+, 4+ en 5+) het gemiddelde letselrisico voor de snorfietspassagier met SEPAC-helm boven het gestelde veiligheidscriterium ligt: +3.2%, 5.7% en 6.1% voor AIS3+, 4+ en 5+, respectievelijk (voor het HIC15 criterium). Dit wordt met name veroorzaakt door de onbeschermden impacts bij de snorfietspassagier met SEPAC-helm die voor alle letselniveaus resulteren in 100% kans op letsel. Het opzetten van een minimaal beschermende bromfietshelm bij de snorfietspassagier laat dit gemiddelde verschil in letselrisico iets zakken, maar het blijft boven 0% (i.e. snorfietspassagier heeft nog steeds een hoger gemiddeld letselrisico dan de bromfietspassagier). Dit komt doordat de onbeschermden impacts ook door een minimaal beschermende bromfietshelm niet worden opgevangen. Bovendien zakt bij het opzetten van een minimaal beschermende bromfietshelm het aantal simulaties waarbij de snorfietspassagier een lager letselrisico dan de bromfietspassagier onder de 50% als gekeken wordt naar het BrIC criterium (zoals aan het begin van deze sectie al genoemd). Dit komt omdat er nog steeds een groot aandeel lage impacts plaatsvindt waarbij de SEPAC-helm een betere bescherming biedt dan de bromfietshelm. Wanneer de snorfietspassagier een volledig beschermende bromfietshelm opzet daalt het gemiddelde verschil in letselrisico wel tot onder de 0% (-1% tot -16%, afhankelijk van het letselcriterium en -niveau), omdat er in dit geval geen onbeschermden impacts mee plaatsvinden. Uitzondering hierop is wederom het lage letselniveau AIS1+ voor het BrIC criterium, in verband met de betere bescherming van de SEPAC-helm bij lage impacts.

### 3.2.3.2 *Bestuurder met passagier*

Voor de bestuurder met passagier achterop zien we dat voor alle letselniveaus en beide criteria de snorfietsbestuurder met een SEPAC-helm (met passagier achterop) in meer dan de helft van de simulaties een lager letselrisico heeft als de bromfietsbestuurder (met passagier achterop) met volledig beschermende bromfietshelm (68-74%) of de bromfietsbestuurder met minimaal beschermende bromfietshelm (73-74%). Wanneer de snorfietsbestuurder een minimaal beschermende bromfietshelm op zet veranderen deze percentages minimaal; 64-71% en 67-77% wanneer wordt vergeleken met de bromfietsbestuurder met volledig beschermende of minimaal beschermende bromfietshelm, respectievelijk.

Wanneer wordt gekeken naar het gemiddeld verschil in letselrisico is te zien dat deze voor de meeste letselniveaus en -criteria lager is voor de snorfietsbestuurder (met passagier) met SEPAC-helm dan voor de bromfietsbestuurder (met passagier achterop) met volledig beschermende bromfietshelm (gemiddeld verschil in letselrisico is in bijna alle gevallen (net) kleiner dan 0%).

De snorfietsbestuurder met passagier heeft in vergelijking met de simulaties zonder passagier iets vaker een impact op het onbeschermden deel buiten de SEPAC-helm. Zoals eerder genoemd zorgen deze onbeschermden impacts altijd voor een 100%

letselrisico voor alle letselniveaus van de HIC15. Dit is terug te zien in het gemiddelde letselrisicoverschil in Tabel 4 voor de HIC waarden, welke hoger zijn voor de snorfietsbestuurder met passagier dan zonder passagier (Tabel 3 uit [3]). Voor het hoogste letselniveau (AIS5+) voor HIC15 komt het gemiddelde verschil zelfs net boven 0% uit (+ 0.5%), wat aangeeft dat de snorfietsbestuurder met SEPAC-helm voor dit hoogste letselniveau gemiddeld net een hoger risico heeft dan de bromfietsbestuurder met volledig beschermende bromfietshelm (beide bestuurders met passagier). Wanneer we echter als referentie de bromfietsbestuurder met minimaal beschermende bromfietshelm nemen zien we dat dit gemiddelde verschil zakt naar -21% (dus gemiddeld 21% minder risico voor snorfietsbestuurder met SEPAC-helm). Wanneer wordt aangenomen dat een klein deel (~5%) van de bromfietsbestuurders een minimaal beschermende bromfietshelm draagt voldoet de SEPAC-helm voor de snorfietsbestuurder alsnog aan het gestelde veiligheids criterium.

In vergelijking met de vorige studie waarin de bromfietsbestuurder zonder passagier is geanalyseerd maakt de bromfietsbestuurder met passagier in deze studie vrijwel nooit een volledige salto ("kinematica 3" in [3]); de landing is daarmee veel vaker op het hoofd in plaats van op de rug met een hogere hoofdimpactsnelheid tot gevolg. Het valmechanisme van de bromfietsbestuurder met passagier lijkt daarmee veel meer op het gedrag van de snorfietsbestuurder met passagier in vergelijking met de situatie zonder passagier. Het "gunstige" valmechanisme voor de bromfietsbestuurder vervalt wanneer er een passagier achterop zit. Omdat de bromfietsbestuurder met passagier in deze studie de referentie is voor de snorfietsbestuurder met passagier komt deze laatste er in vergelijking met de analyse zonder passagier dus gunstiger uit.

### 3.2.4 *Scenario 4: Aanrijding door auto*

#### 3.2.4.1 *Passagier*

In scenario 4 heeft 60% tot 80% en 70% tot 86% van de simulaties de snorfietspassagier met SEPAC-helm een lager letselrisico wanneer vergeleken wordt met de bromfietspassagier met volledig en minimaal beschermende bromfietshelm, respectievelijk. Als bij de snorfietspassagier de minimaal beschermende bromfietshelm wordt opgezet worden deze percentages vergroot naar 67-84% en 78-89% en met de volledig beschermende bromfietshelm naar 90-92% en 92-94%.

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 snorfietspassagier met SEPAC-helm in het steilste deel van de letselrisicocurve zitten en omdat veel bromfietspassagiers een hoog AIS2+ letselrisico krijgen, vergelijkbaar met de onbeschermden impacts van de snorfietspassagier met SEPAC-helm, waardoor het gemiddelde verschil gedempt. Bij het AIS1+ niveau gaat het gemiddelde verschil iets omhoog, omdat heel veel impacts met de snorfietspassagier 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 vooral omdat de onbeschermden impacts van de snorfiets met SEPAC-helm nog steeds 100% letselrisico geven, terwijl die van de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm substantieel afnemen. Bovendien biedt de bromfietshelm een betere bescherming dan de SEPAC-helm bij hoge snelheden waar de kans op een hoger letselniveau groter wordt. Het gemiddelde verschil wordt dus groter. Bij zowel het HIC15 als BrIC letselcriterium komt het gemiddelde verschil net boven de 0% letselrisico uit komt (~0-2%). Als er wordt vergeleken met de bromfietspassagier met minimaal

beschermende bromfietshelm, kan worden gezien dat het gemiddelde verschil ruim onder de 0% letselrisico uitkomt, voor zowel de HIC15 als BrIC letselcriterium. Dit komt omdat er ook een aanzienlijk deel van de bromfietspassagiers een onbeschermd impact heeft.

Als er bij de snorfietspassagier de minimaal beschermende bromfietshelm wordt opgezet wordt een extra lager letselrisico verwacht van 7-1% (afhankelijk van letselniveau en AIS1+ buiten beschouwing gelaten) voor de BrIC vooral vanwege de betere bescherming van de bromfietshelm tegen BrIC bij hoge hoofdimpactsnelheden. Voor het HIC letselcriterium is er een kleiner verschil met de SEPAC-helm van 1 - 2%. De bromfietshelm beschermt niet beter, maar er is wel een iets groter beschermingsgebied, wat in dit geval leidt tot iets minder onbeschermd impact. Bij een volledig beschermende bromfietshelm voor de snorfietspassagier wordt nog eens een extra lager letselrisico verwacht van 11-16% en 11-7% (afhankelijk van letselniveau en AIS1+ buiten beschouwing gelaten) voor de HIC15 en BrIC letselcriterium respectievelijk door het voorkomen van een onbeschermd impact.

#### 3.2.4.2 *Bestuurder met passagier*

In scenario 4 heeft 71% tot 94% en 75% tot 93% van de simulaties de snorfietser met SEPAC-helm een lager letselrisico wanneer vergeleken wordt met de bromfietser met volledig en minimaal beschermende bromfietshelm, respectievelijk. Als bij de snorfietser de minimaal beschermende bromfietshelm wordt opgezet worden deze percentages vergroot naar 81-95% en 84-97% en met de volledig beschermende bromfietshelm naar 96-98% en 97-99%. Dit is iets hoger dan met de vergelijking tussen de bestuurders zonder passagier. Dit komt vooral door het BrIC letselcriterium. Het grootste gemiddelde letselrisico verschil ligt ook hier voor zowel de HIC15 als BrIC bij het AIS2+ letselniveau, vanwege dezelfde redenering als bij de passagier. Ook gaat hier bij AIS1+ niveau het gemiddelde verschil iets omhoog. 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, zoals uitgelegd bij de passagier door de onbeschermd impact en betere bescherming van de bromfietshelm bij het BrIC letselcriterium. Bij de HIC15 blijft het gemiddelde verschil nog steeds onder de 0% letselrisico, terwijl voor de BrIC deze net boven de 0% letselrisico uit komt (~2-3%). Hetzelfde was te zien in de vergelijking tussen de bestuurders zonder passagier, hoewel daar het gemiddelde letselrisico op ~1% lag voor de 3 hoogste letselniveaus. Dit kleine verschil komt waarschijnlijk voornamelijk door het iets hogere aantal onbeschermd impact (~2%).

Als er wordt vergeleken met de bromfietser met minimaal beschermende bromfietshelm, kan worden gezien dat deze afname iets kleiner is en dat ook de AIS3+ en AIS5+ van de BrIC net onder de 0% letselrisico uitkomt. Dit verschil was een stuk groter in de vergelijking met de bestuurders zonder passagier. Dit komt waarschijnlijk voornamelijk omdat het aantal onbeschermd impact van de bromfietsbestuurder zonder passagier groter was dan met passagier (~8%).

Als er bij de snorfietser de minimaal beschermende bromfietshelm wordt opgezet wordt een extra lager letselrisico verwacht van 10-1% (afhankelijk van letselniveau en AIS1+ buiten beschouwing gelaten) voor de BrIC vooral vanwege de betere bescherming van de bromfietshelm tegen BrIC bij hoge hoofdimpactsnelheden. Voor het HIC letselcriterium is er geen verschil met de SEPAC-helm. Ook al is er groter beschermingsgebied van die helm, er zijn niet minder onbeschermd impact (wat wel te zien is bij de vergelijking van de bestuurders zonder passagier). Bij een volledig beschermende bromfietshelm voor de snorfietser wordt nog eens een extra lager



letselrisico verwacht van 11-17% en 9-5% (afhankelijk van letselniveau en AIS1+ buiten beschouwing gelaten) voor de HIC15 en BrIC letselcriteria respectievelijk door het voorkomen van een onbeschermd impact.

## 4 Discussie

In dit hoofdstuk worden de keuzes en bevindingen uit de huidige aanvullende studie bediscussieerd. Daarnaast zijn veel van de discussiepunten uit de voorgaande studie (hoofdstuk 4 uit [3]) ook nog steeds geldig. Voor details met betrekking tot deze discussiepunten wordt verwezen naar [3].

### 4.1 Aanpak

In deze studie is dezelfde aanpak gevolgd als in [3], waarmee de onderbouwing voor keuzes in de aanpak (veiligheid gedefinieerd t.o.v. bromfietser met bromfietshelm, keuze voor simulatiestudie met bijbehorende scenario's en parametervariëaties), zoals beschreven in dat rapport, ook op de huidige studie van toepassing zijn.

### 4.2 Definitie scenario's en protectieniveau

De beknopte literatuurscan welke in deze studie is uitgevoerd heeft geen aanleiding gegeven om van de simulatiescenario's en parametervariëaties uit [3] af te wijken. De onderbouwing van keuzes betreffende de gekozen scenario's en parametervariëaties (o.a. de snelheidsverdelingen) beschreven in paragraaf 4.2 van [3] worden daarmee ook als geldig aangenomen voor de huidige studie.

Betreffende de houding van de passagier (welke extra is t.o.v. [3]) is ervoor gekozen deze te koppelen aan de houding van de bestuurder (ze hangen bijvoorbeeld allebei naar voren of naar achter, of ze zitten beide gedraaid). Hiermee wordt voorkomen dat de bestuurder en passagier in elkaars ruimte zitten.

### 4.3 Simulaties

Zoals in meer detail beschreven in [3], paragraaf 4.4, is in deze simulatiestudie gebruik gemaakt van een vereenvoudigd mensmodel; een ellipsoïde model van een gemiddelde (50 percentiel) man. Anders dan de bestuurder van een snor- of bromfietser kan de passagier in werkelijkheid een kind zijn in plaats van een (jong) volwassene / adolescent. Deze variatie is niet meegenomen in de huidige studie; voor de passagier wordt net als voor de bestuurder het algemene mensmodel (50 percentiel man) gebruikt.

De karakteristieken van dit mensmodel zijn een versimpelde versie van de werkelijkheid (niet-actief model, vereenvoudigde hardheidskarakteristieken van de verschillende lichaamsdelen), waardoor het model snel kan rekenen. Met name versnellingen gemeten op het hoofd (met een harde schedelkarakteristiek voor het gehele hoofd) kunnen daardoor (onrealistisch) hoge waarden laten zien, welke bij onbeschermde impacts vrijwel altijd resulteren in een 100% risico op (ernstig) letsel voor het HIC15 criterium (gebaseerd op lineaire versnellingen). In simulatiescenario 2 van de huidige studie hebben dergelijke hoge waarden voor de HIC15 een duidelijke invloed op het resultaat. Het BrIC criterium, gebaseerd op snelheden in plaats van versnellingen, heeft geen last van deze overschatting. Voor meer details over discussiepunten omtrent het simulatiemodel wordt verwezen naar paragraaf 4.4 uit [3].

#### 4.4 Analyse

Voor het simulatiescenario 4 (aanrijding door auto) zijn 22 van de 1502 (1.5%) gecrasht door een voor het model niet haalbare heuphoek van de passagier. Omdat het hier om een klein aandeel gaat is ervoor gekozen deze simulaties niet mee te nemen in de analyse. De simulatiecombinatie (simulatie in dezelfde setting voor zowel snor- als bromfietsberijder) waarbij minstens één van de simulaties is gecrasht zijn uit deze analyse weggelaten.

Net als in [3] is er geen analyse uitgevoerd naar de convergentie van de resultaten (hoeveel verandert het resultaat als ervoor gekozen wordt *nog* meer simulaties te draaien) en zijn de resultaten verbonden aan de gekozen scenario's en parametervariëaties (paragraaf 4.5 in [3]).

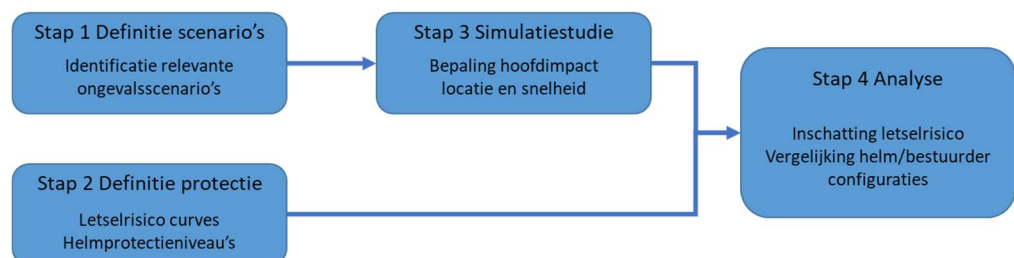
## 5 Samenvatting en conclusies

Dit onderzoek, bestaande uit twee opvolgende studies, heeft TNO uitgevoerd in opdracht van het Ministerie IenW om hen inzicht te geven in het hoofdbeschermingspotentieel voor snorfietsbestuurders en passagiers met zowel een speed-pedelec-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 toegestaan kan worden als een veilig alternatief ter preventie van hoofdletsel voor bestuurders en passagiers van alle snorfietzen. In deze studie is middels een simulatieanalyse inzicht gegeven in het beschermingspotentieel van beide typen helmen. In een eerdere studie is op eenzelfde manier de bestuurder zonder passagier onderzocht [3]. Deze studie richt zich uitsluitend op de passagier en bestuurder met passagier van de snorfiets en het risico op hoofdletsel; letsel aan andere lichaamsdelen dan het hoofd, is buiten de scope van deze studie. In de laatste paragrafen worden de resultaten van de vorige studie van de bestuurder zonder passagier gebruikt voor een algemene conclusie voor beide studies. Voor de volledige resultaten van dit onderzoek wordt verwezen naar [3].

In de volgende paragrafen zijn de conclusies van het onderzoek samengevat. De beschreven aanpak is zeer vergelijkbaar als in [3], maar is voor de leesbaarheid hier herhaald.

### 5.1 Aanpak

Het is lastig een eenduidige definitie te geven wanneer een helm veilig is voor de snorfietser. Om deze reden is er in de studie voor gekozen het beschermingspotentieel van beide typen helmen (SEPAC-helm en bromfietshelm) voor de snorfietsbestuurder en passagier te vergelijken met het beschermingspotentieel van de bromfietshelm voor de bromfietsbestuurder en passagier. 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 bromfietsbestuurder en passagier met bromfietshelm gedefinieerd. De stappen die in deze studie zijn gevolgd zijn weergegeven in Figuur 31.



Figuur 31 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 bromfietsbestuurders en passagiers. Hieruit kwam naar voren dat er geen substantieel verschil is in soort ongevallen tussen snor- en bromfietsbestuurders en passagiers. Vier verschillende simulatiescenario's zijn uiteindelijk gedefinieerd: Uitwijken, Remmen, Botsing met Object en Botsing door auto. De literatuurstudie en de expertsessie leverden 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 bromfietsen in de simulaties te kiezen rondom de welbekende en eenduidige constructiesnelheid (snelheden waarvoor de voertuigen zijn ontworpen). Dit resulteerde in een normaal verdeling met een standaarddeviatie van 10 km/h en gemiddelden van 25 en 45 km/h voor de snorfiets en bromfiets, respectievelijk.

## 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 realistisch mogelijk beeld te krijgen. Voor zowel de snorfiets- als bromfietsbestuurder en passagiers 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 bromfietsbestuurder en passagiers).

## 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 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 8 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 (bestuurder of passagier). De combinatie van de snorfietser + helm wordt gezien als veilig wanneer aan de volgende twee criteria wordt voldaan:

1. 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.
2. De totale verwachting (= gemiddelde) van het letselrisico voor de snorfietser/helm combinatie is gelijk of lager dan van de bromfietser/helm combinatie.

Let wel; veilig betekent met deze criteria dus niet dat er geen risico wordt gelopen, maar dat het risico in vergelijking met de bromfietser met bromfietshelm lager is.

Hieronder worden de resultaten van deze analyse voor de snorfietspassagier en bestuurder met passagier beschreven in paragraaf 5.5.1 en 5.5.2. de samengevatte resultaten, inclusief de resultaten van de bestuurder zonder passagier uit de voorgaande studie, zijn beschreven in paragraaf 5.5.3.

### 5.5.1 Passagier

De resultaten laten zien dat voor simulatiescenario 1 (Uitwijken) voor alle combinaties van letselniveaus en letselcriteria de snorfietspassagier met SEPAC-helm vergeleken met de bromfietspassagier met volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm) voldoet aan de gestelde criteria. Dit is bijna ook het geval in simulatiescenario 2 (Remmen) en 4 (Botsing door auto), waar alleen het gemiddelde verschil in letselrisico (criterium 1) bij de hogere letselniveaus net positief worden. In beide gevallen komt dit door onbeschermdde impacts, welke plaatsvinden bij het dragen van een SEPAC-helm of minimaal beschermende bromfietshelm. Wanneer als referentie wordt aangenomen dat ongeveer 10% van de bromfietspassagiers niet met een volledig, maar minimaal beschermende bromfietshelm rijdt (10% draagt

“pothelm” in plaats van “integraalhelm”), voldoet de SEPAC-helm wel aan de gestelde criteria voor veilig voor alle letselniveaus.

In simulatiescenario 3 wordt het gemiddelde verschil in letselrisico positief voor het HIC15 letselcriterium voor de hogere letselniveaus. Dit komt door de onbeschermdede impacts bij de snorfietspassagier met SEPAC-helm. Voor de andere letselniveaus en letselcriteria voldoet de SEPAC-helm aan de criteria gesteld voor veilig. Wanneer wederom wordt aangenomen dat een klein deel (45%) van de bromfietspassagiers (de referentie) met een minimaal beschermende bromfietshelm rijdt, voldoet de SEPAC-helm voor de snorfietspassagier aan beide gestelde veiligheidscriteria voor alle letselniveaus en letselcriteria.

#### 5.5.2 *Bestuurder met passagier*

De resultaten laten zien dat voor simulatiescenario 1 voor alle combinaties van, letselniveaus en letselcriteria de snorfietsers met SEPAC-helm vergeleken met de bromfietsers met volledig beschermende bromfietshelm (integraalhelm) voldoet aan de gestelde criteria. Dit is bijna ook het geval in simulatiescenario 3, waar alleen het gemiddelde verschil in letselrisico bij het hoogste letselniveau van het HIC15 letselcriterium net positief worden. Dit komt door een iets hoger aandeel impacts buiten de SEPAC-helm voor de snorfietsbestuurder wanneer er een passagier achterop zit.

Als er namelijk vergeleken wordt met de minimaal beschermende bromfietshelm voor de bromfietsers, is de totale verwachting ruim binnen het gestelde criterium. Als er wordt aangenomen dat ongeveer 5% van de bromfietsers niet met een volledig, maar minimaal beschermende bromfietshelm rijdt, geeft het gewogen gemiddelde tussen die 2 vergelijkingen een veilig resultaat.

In simulatiescenario 4 wordt het gemiddelde verschil in letselrisico positief voor het BrIC letselcriterium voor de hogere letselniveaus. Dit komt door onbeschermdede impacts met hoge snelheid waarbij de SEPAC-helm minder beschermt dan de bromfietshelm. Als er vergeleken wordt met de minimaal beschermende bromfietshelm voor de bromfietsers, is de totale verwachting wel ruim binnen het gestelde criterium. Het verschil is minder groot dan bij simulatiescenario's 3, waardoor er moet worden aangenomen dat 45% van de bromfietsers niet met een volledig, maar minimaal beschermende bromfietshelm rijdt, om het gewogen gemiddelde tussen die 2 vergelijkingen te laten voldoen aan de gestelde criteria voor “veilig” voor alle letselniveaus.

In simulatiescenario 2 is bijna voor alle letselniveaus en beide letselcriteria zowel de meerderheid als het gemiddelde letselrisico groter voor de snorfietsers met SEPAC-helm dan voor de bromfietsers met volledig beschermende bromfietshelm. Dit komt voornamelijk door het grote aantal onbeschermdede impacts op de zijkant van het hoofd. Als er vergeleken wordt met de bromfietsers met minimaal beschermde bromfietshelm heeft de meerderheid van de simulaties een lager letselrisico voor de snorfietsers met SEPAC helm. Ook het gemiddelde verschil in letselrisico voor het BrIC letselcriteria wordt weer negatief, maar voor het HIC15 letselcriteria niet. Hierdoor is er dus geen mogelijk om deze combinatie volledig tot veilig te verklaren.

#### 5.5.3 *Samenvattend inclusief originele studie*

Inclusief de originele studie zijn in totaal 12 combinaties (3 soorten berijders [bestuurder met passagier, bestuurder zonder passagier en passagier] in 4 simulatiescenario's) voor de snorfietsers met SEPAC-helm ten opzichte van de bromfietsers met bromfietshelm (zowel minimaal als volledig beschermd).

Van elk van deze 12 combinaties is bepaald of deze de gestelde criteria van veilig heeft behaald. Om een combinatie veilig te verklaren moeten beide letselcriteria voor alle 5 de letselniveaus de gestelde criteria van veilig hebben behaald. Daarbij moet ook worden aangegeven wat het aangenomen percentage is van de bromfietsberijder (de referentie voor de veiligheidscriteria) die met een minimaal beschermende bromfietshelm (“pothelm”) rijdt. Hierbij is aangenomen dat 10% redelijk en realistisch is en alles daarboven is onzeker. Dit resulteert in onderstaande samenvattende tabel (Tabel 6). In deze tabel is de kolom “Veilig” groen wanneer de SEPAC-helm voor alle letselniveaus voor beide letselcriteria aan de gestelde veiligheidscriteria voldoet. Als de SEPAC-helm voldoet aan de gestelde veiligheidscriteria, echter moet er een percentage bromfietsberijders met een minimaal beschermende bromfietshelm aangenomen worden dan wordt dit percentage genoemd in de laatste kolom van de tabel. Is dit percentage hoger dan 10% dan kleurt de Kolom “Veilig” geel. Onderzochte combinaties die niet voldoen aan de gestelde criteria, ook niet met aannames betreffende de bromfietsberijders met minimaal beschermende bromfietshelm, resulteren in een rood vak in de kolom “Veilig”.

Tabel 6 Uitkomst van iedere combinatie van snorfiets berijder en simulatiescenario met SEPAC-helm ten opzichte van de bromfietsberijder met bromfietshelm. Simulatie scenario's zijn Uitwijken (1), Remmen (2), Botsing met Object (3) en Botsing door auto (4)

#	Snorfiets berijder met SEPAC-helm	Simulatie scenario	Veilig	Minimaal aandeel bromfietsers met minimaal beschermende helm als referentie
1	Bestuurder zonder passagier	1		-
2		2		-
3		3		-
4		4		10%
5	Bestuurder met passagier	1		-
6		2		
7		3		5%
8		4		45%
9	Passagier	1		-
10		2		10%
11		3		45%
12		4		10%

In deze studies is het ook mogelijk een vergelijking te maken tussen het letselrisico voor snorfietsbestuurders of -passagiers met een SEPAC-helm, of een minimaal of volledig beschermende bromfietshelm. Deze resultaten zijn hier niet afgebeeld, maar daaruit kan wel geconcludeerd worden dat, hoewel de SEPAC-helm volgens de gekozen veiligheidscriteria in de meeste onderzochte combinaties als voldoende veilig kan worden beschouwd, de bromfietshelm (integraalmodel en “pothelm”) een nog betere bescherming biedt dan de SEPAC-helm voor de snorfietsbestuurder en passagier. Dit komt met name omdat het gemiddelde letselrisico (criterium 2 voor “veilig” zoals gesteld in paragraaf 5.5) door de bromfietshelm wordt verlaagd door het vaker voorkomen van onbeschermden impacts.



## 5.6 Conclusies

Het doel van het onderzoek is om het Ministerie van IenW inzicht te geven in het hoofd-beschermingspotentieel voor bestuurders en passagiers van snorfietzen van zowel een SEPAC-helm (gegeven de bestaande normering NTA 8776: 2016) als een bromfietshelm (gegeven de bestaande normering ECE R22.05).

De resultaten laten zien dat in 9 van de 12 onderzochte combinaties de SEPAC-helm een vergelijkbare tot betere bescherming biedt wanneer de snorfietzbestuurder en/of passagier met SEPAC-helm die rijdt binnen een snelheidsverdeling rondom zijn constructiesnelheid (25 km/u), wordt vergeleken met de bromfietzbestuurder en/of passagier met een volledig beschermde bromfietshelm (integraalhelm) die rijdt binnen een snelheidsverdeling rondom zijn constructiesnelheid (45 km/u).

Voor de overige 3 onderzochte combinaties geldt het volgende:

In 2 van deze combinaties biedt de SEPAC-helm een vergelijkbare bescherming voor de snorfietser (bestuurder en passagier) indien wordt aangenomen dat minimaal de helft van de bromfietzers een minimaal beschermende bromfietshelm ("pothelm") draagt.

In 1 van deze combinaties biedt de SEPAC-helm minder bescherming voor de snorfietser, ook wanneer wordt vergeleken met de minimaal beschermende bromfietshelm.

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.

De bromfietshelm (integraalhelm en "pothelm") biedt in alle onderzochte combinaties voor de snorfietser een betere bescherming dan de SEPAC-helm.

## 6 Ondertekening

Helmond, 10 september 2021



Bastiaan Krosse

Afdelingshoofd

TNO



Esra van Dam

Auteur

## 7 Literatuur

- [1] Kamerstuk 29 398, Nr 839
- [2] Krosse, S.M., "Helm: historische snorfiets en gemotoriseerd rijwiel", TNO 2020 M11731, 17 November 2020
- [3] Dam, E. van, et al, "Evaluatiestudie speed-pedelec-helm en bromfietshelm voor snorfietser", TNO-2021-R10658, 9 april 2021
- [4] Davidse et al., "Snorfietsongevallen op het fietspad: karakteristieken en scenario's van ongevallen op wegvakken en kruispunten", SWOV, R-2017-12A, 2017
- [5] De Ceunynck et al, "Diepteanalyse van de karakteristieken en profielen van ernstige bromfietsongevallen binnen de bebouwde kom", VIAS institute, Rapport nr 2017-R-07, Januari 2018
- [6] Møller et al, "Factors contributing to young moped rider accidents in Denmark", Accidents Analysis and Prevention, nr. 87, 2016
- [7] Evans et al, "Comparison of Neurologic Trauma and Motorcycle Helmet Use in Drivers vs Passengers", JAMA Surgery, 2018
- [8] Claret et al, "Position on the moped, risk of head injury and helmet use: an example of confounding effect", Journal of Epidemiology
- [9] EU project promising – SWOV publication 2001 (focus on moped and motorcycle)
- [10] Prasad 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.
- [11] Takhounts et al, "Development of Brain Injury Criteria (BrIC)", Stapp Car Crash Journal, Vol 57, November 2013, pp. 243-266
- [12] Rodarius, C., De Hair, S., Meijer, R. et.al., "Speed-pedelec helmet argumentation for NTA 8776 as formulated in the NEN workgroup", TNO report TNO-2016-R11261, 2016