

Project Rapport

12.0155.1.NL.RE/PvH

VIRM-SLT MADYMO botsings simulatie

TASS

Project Rapport
12.0155.1.NL.RE/PvH
VIRM-SLT MADYMO botsings simulatie

Datum 16 Oktober 2012

Auteur(s) ir P.A. van Hooijdonk

Klant De Onderzoeksraad Voor Veiligheid

Aantal paginas 16

Versie 1

Status

Alle rechten voorbehouden.

Geen enkel deel van deze publicatie mag worden verveelvoudigd en/of gepubliceerd door middel van afdrukken, fotoprint, microfilm of op enigerlei andere wijze zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TASS.

In het geval dat dit rapport werd opgesteld op basis van instructies, zijn de rechten en verplichtingen van aanbesteding van de overeenkomstsluitende partijen ofwel de Standaardvoorwaarden voor Onderzoek Instructies gegeven aan TASS, of de desbetreffende overeenkomst gesloten tussen de overeenkomstsluitende partijen. Indiening van het rapport voor inspectie aan partijen die een direct belang hebben is toegestaan.

© 2012 TASS

TASS – TNO Automotive Safety Solutions BV
Einsteinlaan 6
Postbus 1121
2280 CC Rijswijk
Nederland

www.tass-safe.com

T 088 82 77 001
F 088 82 77 003

Samenvatting

In april 2012 vond er nabij het Westerpark te Amsterdam een botsing plaats tussen een Intercity (VIRM) en een Sprinter (SLT). De Onderzoeksraad voor Veiligheid onderzoekt dit voorval en heeft TNO gevraagd om met hun expertise te helpen bij het reconstrueren van de gevolgen van dit ongeval.

TNO heeft daarbij aan TASS gevraagd om hen te helpen bij het onderzoek naar de crash omstandigheden die plaatsvonden rondom de machinistenruimte en de passagiers compartimenten. Hiertoe heeft TASS een model gemaakt m.b.v. het programma MADYMO, om een globaal inzicht te kunnen krijgen in de optredende versnellingen en snelheidsafnames op verschillende locaties op rijtuigniveau.

Met dit MADYMO model is een simulatie gedaan van de trein botsing en zijn de versnellingen, snelheden en verplaatsingen op verschillende locaties berekend, op rijtuig niveau. Met behulp van de simulatie is ook berekend hoe een losse massa, die een virtuele passagier representeert, ten opzichte van elk van de wagons beweegt. Hierbij is gekeken naar het relatieve snelheidsverschil en de relatieve verplaatsingen tussen de virtuele passagier en de verschillende rijtuigen.

Hierbij is gebleken dat er al behoorlijke snelheidsverschillen tussen (virtuele) passagiers en de rijtuigen kunnen ontstaan bij relatief kleine verplaatsingen van die passagier.

Dit is met name het geval in het voorste rijtuig van de VIRM. Doordat de koppelingen van de SLT relatief stijver zijn dan die van de VIRM en de onderlinge afstand tussen de rijtuigen ook minder groot is, gedraagt de SLT zich tijdens de beginfase van de botsing meer als een stijf geheel, terwijl het voorste rijtuig van de VIRM zich in eerste instantie meer als een los rijtuig gedraagt. Hierdoor is het dynamisch effect op het voorste VIRM rijtuig in de beginfase van de botsing relatief groot.

Bij de SLT treedt uiteindelijk de hoogste snelheidsverandering op. Aangezien dit pas iets later in de botsing gebeurt (na ongeveer een halve seconde) zal dit met name effect hebben op passagiers die een relatief grote afstand kunnen overbruggen alvorens tegen het interieur te botsen (zoals staande passagiers).

Deze gegevens van de simulaties kunnen door TNO gebruikt worden om de belastingen op passagiers en machinisten te simuleren met als doel de letsel risico's te kunnen inschatten.

Inhoud

Samenvatting.....	3
Inhoud	4
1 Inleiding.....	5
2 Simulatie	6
2.1 Het VIRM model	6
2.2 Het SLT model.....	9
2.3 Resultaten van de simulatie	11
3 Omstandigheden voor (virtuele) inzittende.....	14
4 Conclusies.....	16

1 Inleiding

In april 2012 vond er nabij het Westerpark te Amsterdam een botsing plaats tussen een Intercity (VIRM) en een Sprinter (SLT). Bij dit ongeval viel een dode en een relatief hoog aantal (zwaar) gewonden te betreuren. De Onderzoeksraad voor Veiligheid onderzoekt dit voorval en heeft TNO gevraagd om met hun expertise te helpen bij het reconstrueren van de gevolgen van dit ongeval.

TNO heeft daarbij aan TASS gevraagd om hen te helpen bij het onderzoek naar de crash omstandigheden die plaatsvonden rondom de machinistenruimte en de passagiers compartimenten. Hiertoe heeft TASS een model gemaakt m.b.v. het programma MADYMO¹⁾, om een globaal inzicht te kunnen krijgen in de optredende versnellingen en snelheidsafnames op verschillende locaties op rijtuigniveau. Deze informatie kan door TNO dan weer gebruikt worden om de belastingen op passagiers en machinisten te kunnen simuleren met als doel de letsel risico's te kunnen inschatten.

Voorafgaand aan het simulatie werk heeft TASS, samen met TNO, een inspectie kunnen uitvoeren bij de betrokken treinstellen bij NedTrain in Haarlem. Hierbij zijn enkele globale metingen gedaan m.b.t. de deformaties aan de voorzijde van de treinstellen en van de wagons van de VIRM, die duidelijke sporen van deformatie vertoonde.

DeltaRail heeft gegevens beschikbaar gesteld over de samenstelling van de betrokken treinstellen, met maten, gewichten en ligging van zwaartepunten van de wagons en de bogies van de VIRM en de SLT.

Met behulp van de eigen metingen en gegevens die beschikbaar zijn gesteld door DeltaRail, is een MADYMO¹⁾ model gemaakt. Dit model wordt beschreven in het volgende hoofdstuk.

1): MADYMO (MATHematical DYNAMIC MOdels) is een software pakket dat oplossingen biedt voor de problemen in crash-technische toepassingen. Het pakket omvat numerieke solvers, dummy modellen, mens modellen en voorbeeld modellen van toepassing op de automotive en luchtvaart engineering industriën. MADYMO is wereldwijd een van de meest gebruikte (Multi-Body Systeem) programma's voor het ontwikkelen van inzittenden veiligheids systemen in de auto-en transportindustrie. De software is ontwikkeld door de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) Automotive Safety Solutions divisie (TASS), gevestigd te Rijswijk, Nederland.

2 Simulatie



Figuur 1: MADYMO treinbotsings model.

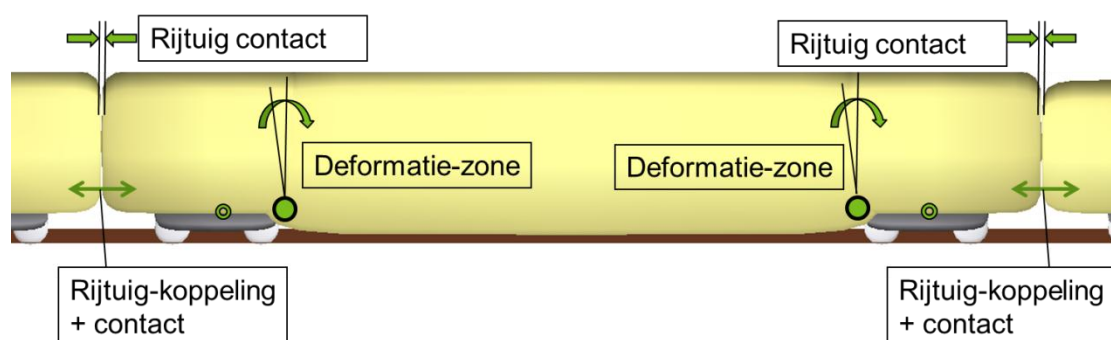
Het gebruikte MADYMO model voor de trein botsings simulatie bestaat uit drie systemen: een systeem voor de VIRM, een voor de SLT en een omgevingsysteem.

2.1 Het VIRM model

Het VIRM systeem bestaat uit 6 wagons, elk opgedeeld in 3 delen, die de vervormings modus zoals die in deze rijtuigen is waargenomen kan representeren. De 12 bogies zijn als aparte lichamen gemodelleerd om hun massa traagheids effecten mee te kunnen nemen in het VIRM model. De deformatie zones in elk van de VIRM wagons is gemodelleerd met een rotatie-verbinding, aangezien deze het beste de waargenomen vervormings modus benaderd (zie Figuur 2 en Figuur 3).

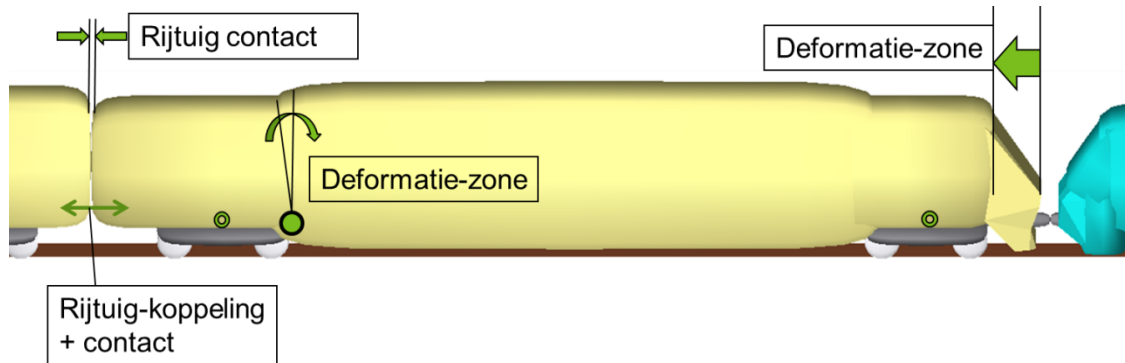


Figuur 2: Vervormingen aan VIRM rijtuig #1.



Figuur 3: Verbindingen in MADYMO VIRM rijtuig model.

Bij het voorste rijtuig van de VIRM is de deformatie zone gemodelleerd als een translatie verbinding (zie Figuur 4). De lengte's, massa's en hoogte van de zwaartepunten van de onderdelen van het VIRM model, zoals bepaald uit de beschikbaar gestelde informatie, zijn weergegeven in Tabel 1.

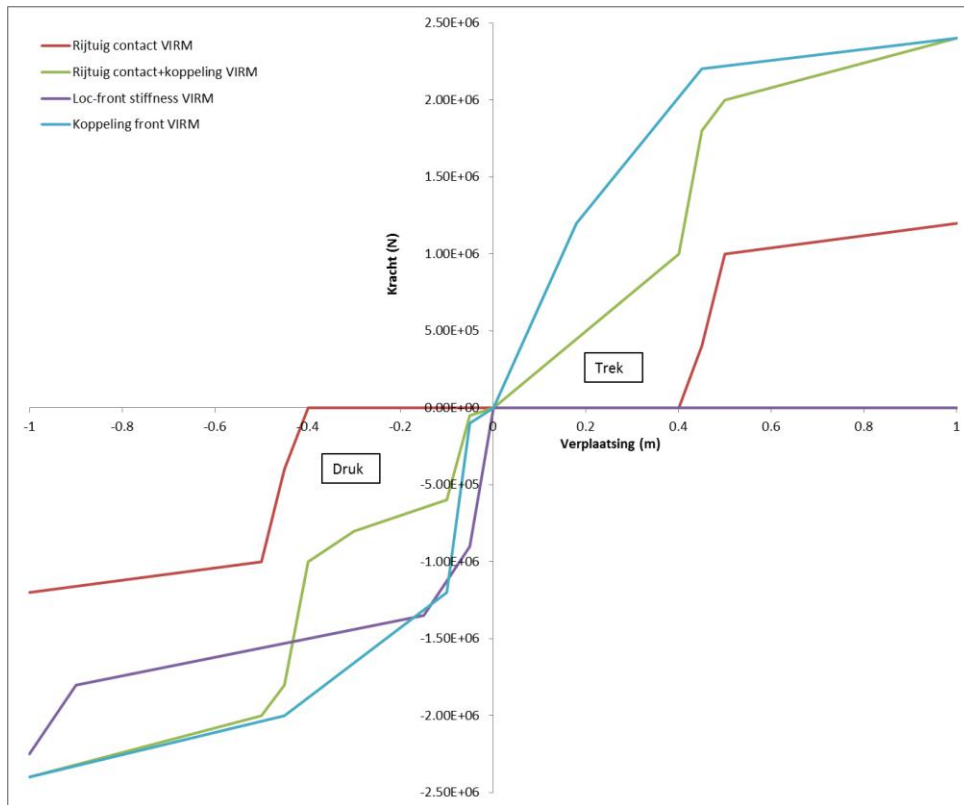


Figuur 4: Verbindingen in het voorste VIRM rijtuig model.

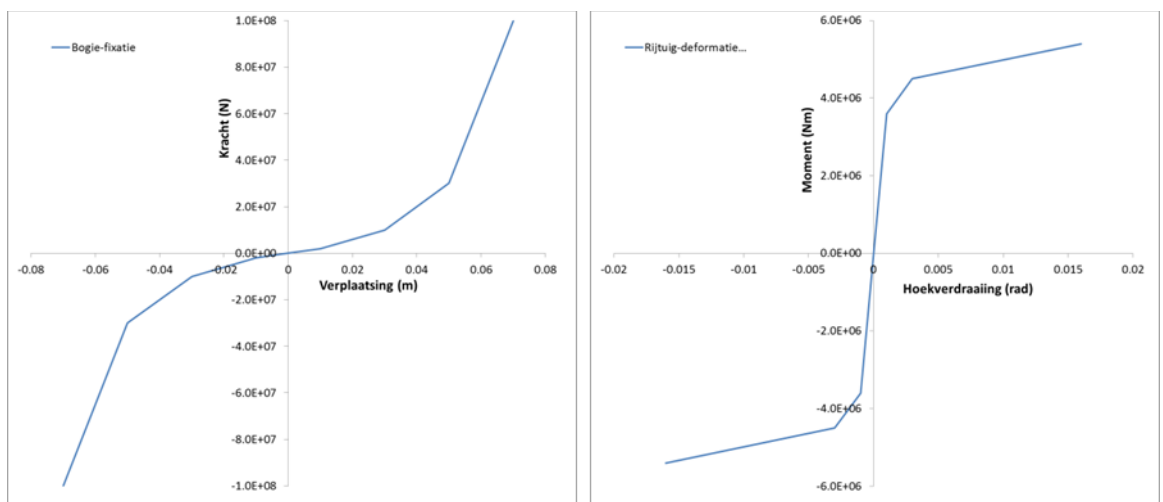
Tabel 1: Massa's en dimensies van het VIRM model.

Onderdeel	Massa (ton)	Lengte (m)	Zwaartepunt hoogte
Rijtuig_01_front	8.6	27.25	2.10 m (+b.s.)
Rijtuig_01_mid	25		
Rijtuig_01_rear	8.7		
Bogie_11	8.2		0.50 m (+b.s.)
Bogie_M_12	10.9		
Rijtuig_02_front	7.5	26.5	2.10 m (+b.s.)
Rijtuig_02_mid	25		
Rijtuig_02_rear	7.5		
Bogie_21	8.2		0.50 m (+b.s.)
Bogie_22	8.2		
Rijtuig_03_front	7.5	27.0	2.10 m (+b.s.)
Rijtuig_03_mid	25		
Rijtuig_03_rear	8.7		
Bogie_31	8.2		0.50 m (+b.s.)
Bogie_M_32	10.9		
Rijtuig_04_front	7.5	26.5	2.10 m (+b.s.)
Rijtuig_04_mid	25		
Rijtuig_04_rear	7.5		
Bogie_41	8.2		0.50 m (+b.s.)
Bogie_42	8.2		
Rijtuig_05_front	7.5	26.5	2.10 m (+b.s.)
Rijtuig_05_mid	25		
Rijtuig_05_rear	7.5		
Bogie_51	8.2		0.50 m (+b.s.)
Bogie_52	8.2		
Rijtuig_06_front	8.7	27.25	2.10 m (+b.s.)
Rijtuig_06_mid	25		
Rijtuig_06_rear	8.6		
Bogie_61	10.9		0.50 m (+b.s.)
Bogie_62	8.2		
Totaal:	352.3 ton	161.0 m	b.s. = Boven Spoor

Voor de stijfheden die bij de gemodelleerde verbindingen horen is onder andere gebruik gemaakt van voorbeelden uit diverse literatuur (o.a.: Scharfenberg koppeling no. 1295), aan ons beschikbaar gesteld door DeltaRail. Voor die stijfheden waar deze literatuur niet of slechts gedeeltelijk informatie kon geven is de orde van grootte van de betreffende karakteristiek zo goed mogelijk ingeschat. Deze onzekere stijfheden zijn vervolgens als variabele parameter gebruikt om de resultaten van het model zo goed mogelijk af te stemmen op de waargenomen deformaties. In Figuur 5 en Figuur 6 zijn de karakteristieken afgebeeld zoals ze in dit VIRM model gebruikt zijn.



Figuur 5: Stijfheden van het VIRM model.



Figuur 6: Geschatte Bogie bevestigings stijfheid (beide treinstellen) en Rijkswagen deformatie stijfheid (hoek-moment relatie) van de VIRM rijkwagens.

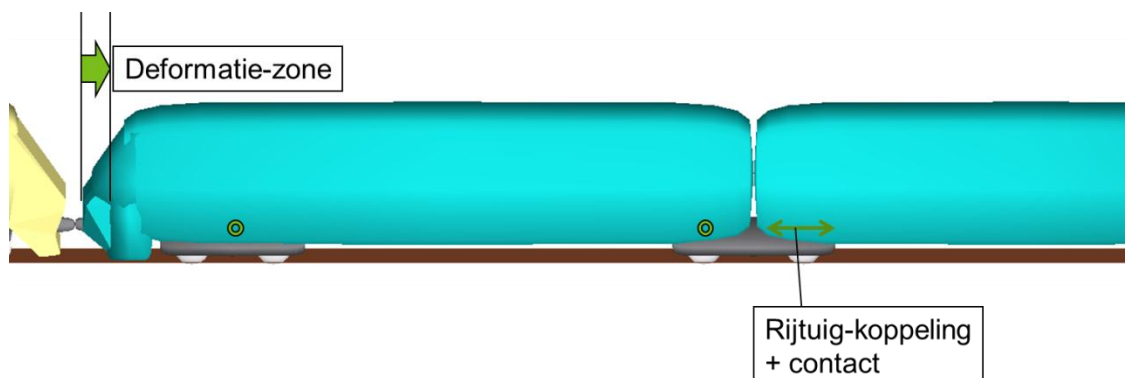
2.2 Het SLT model

De representatie van de deformatie zone van het voorste rijtuig van de SLT (zie Figuur 8) is op dezelfde wijze gerealiseerd als bij de voorzijde van de VIRM, met behulp van een translarend element. Voor de geschatte stijfheid van de voorzijde van de SLT is rekening gehouden met de waarneming dat er niet of nauwelijks deformatie opgetreden is aan de structurele delen van de SLT (zie Figuur 7). De aanwezige crash-absorbers zijn grotendeels zijwaarts of omhoog weggebogen en hebben daarbij slechts een geringe hoeveelheid energie opgenomen. Afgezien van een relatief dunne afdekking aan de voorzijde, die door de botsing verdwenen is, is er zeer weinig structurele vervorming aan de voorkant van de SLT waargenomen. Gecombineerd met de stijfheid van het voorste koppelings-element uit de beschikbaar gestelde literatuur is een stijfheidskarakteristiek opgesteld zoals weergegeven in Figuur 9.



Figuur 7: Vervormingen aan voorzijde SLT.

Bij de rijtuigen van de SLT zijn geen aanzienlijke vervormingen door verbuigingen waargenomen bij de wagons, zoals dat bij de VIRM wel het geval was. In het MADYMO model van de SLT zijn de verbindingen tussen de rijtuigen (6 in totaal) van het SLT systeem daarom alleen als een translatie-verbinding vormgegeven. Ook bij het SLT model zijn de bogies (totaal 7) als aparte massa lichamen toegevoegd. In Tabel 2 zijn de gebruikte lengte's, massa's en de hoogte van de zwaartepunten van de onderdelen van het SLT model weergegeven.

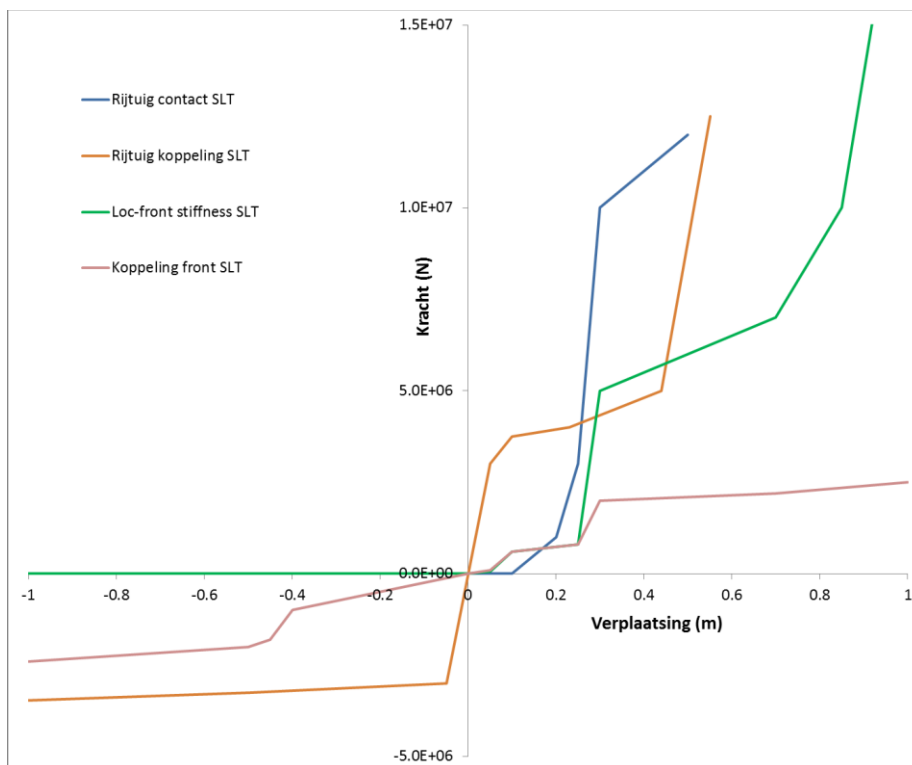


Figuur 8: Verbindingen in het SLT model.

Tabel 2: Massa's en dimensies van het SLT model.

Onderdeel	Massa (ton)	Lengte (m)	Zwaartepunt hoogte
Rijtuig_01_front	3.3		
Rijtuig_01	16.7	19.09	1.86 m (+b.s.)
Bogie_M_11	10.9		
Bogie_M_12	10.9		0.50 m (+b.s.)
Rijtuig_02	16.7	15.59	1.86 m (+b.s.)
Bogie_23	8.2		0.50 m (+b.s.)
Rijtuig_03	17.7	15.59	1.86 m (+b.s.)
Bogie_34	8.2		0.50 m (+b.s.)
Rijtuig_04	16.7	15.59	1.86 m (+b.s.)
Bogie_45	8.2		0.50 m (+b.s.)
Rijtuig_05	16.7	15.59	1.86 m (+b.s.)
Bogie_M_56	10.9		0.50 m (+b.s.)
Rijtuig_06	20.0	19.09	1.86 m (+b.s.)
Bogie_M_66	10.9		0.50 m (+b.s.)
Totaal:	176.0 ton	100.54 m	b.s. = Boven Spoor

De gebruikte karakteristieken van de stijfheden bij de gemodelleerde verbindingen in het SLT model zijn afgebeeld in Figuur 9. Voor de koppelings karakteristieken is hierbij gebruik gemaakt van de beschikbaar gestelde literatuur (Zug-Stoßeinrichtung 1.010.406.06), en informatie betreffende de waargenomen vervormingen in de tussenkoppelingen (zie Tabel 4). De contact karakteristieken tussen de wagons berust op ingeschatte waarden. Voor de stijfheden van de Bogie-verbindingen is dezelfde karakteristiek gebruikt als bij de Bogie-verbindingen van het VIRM model (zie Figuur 6). N.B. De richtingen voor trek en druk in de VIRM en SLT zijn gespiegeld, vanwege de tegengestelde rijrichting.



Figuur 9: Stijfheden van het SLT model.

2.3 Resultaten van de simulatie

Voor de botsings simulatie is uitgegaan van een vlak en recht tracé, waarbij het VIRM treinstel op het moment van de botsing een snelheid van 28 km/u had, terwijl het SLT treinstel een snelheid van 20 km/u had, in tegengestelde richting. Vertragingen als gevolg van het remmen van de treinstellen zijn niet in het model meegenomen. De simulatie is gedraaid over een tijdsinterval van 1,0 seconde.

Figuur 10 toont de begin en eindsituatie (Op tijd = 1.0 s) van de simulatie. In Figuur 11 is meer gedetailleerd de vervorming van de voorste twee VIRM wagons afgebeeld (na 1.0 seconde).

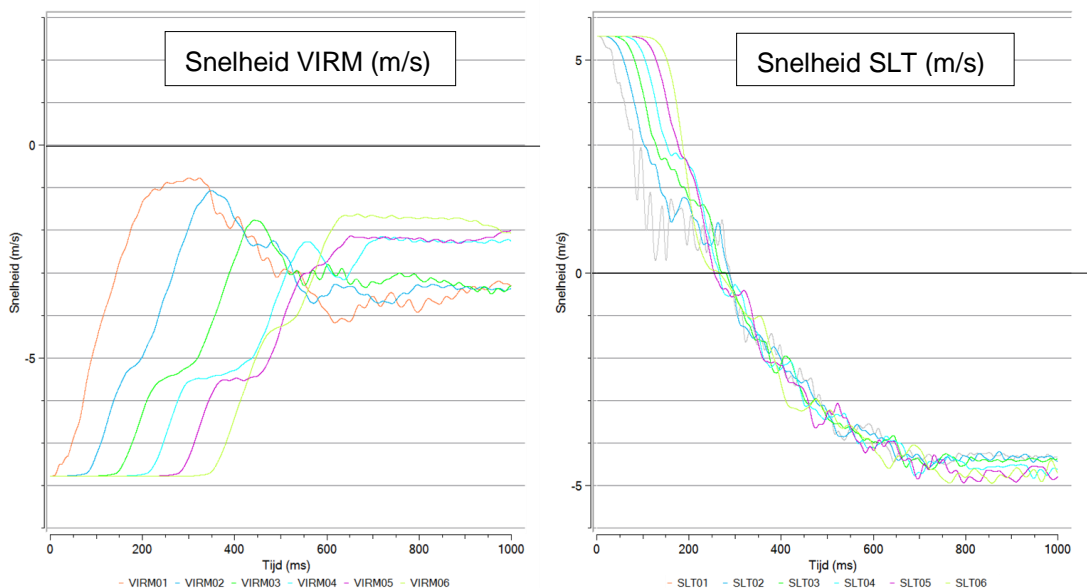


Figuur 10: Situatie op begin en eind tijdstip van de simulatie.



Figuur 11: Detail vervormingstoestand VIRM wagons #1 en #2.

Met behulp van de simulatie zijn de versnellingen, snelheden en verplaatsingen op diverse locaties op rijtuigniveau berekend. Aangezien het gebruikte model relatief eenvoudig is en gedetailleerde informatie over de vervormingen ontbreekt moet hier wel in acht worden genomen dat deze berekeningen slechts benaderingen zijn.



Figuur 12: Berekende snelheidsverloop van de rijtuigen van de VIRM en de SLT.

Figuur 12 toont het berekende snelheidsverloop tegen de tijd, als gevolg van de botsing, van alle VIRM en SLT rijtuigen. Hierbij zijn de rijtuigen VIRM01 respectievelijk SLT01 de voorste rijtuigen en VIRM06 respectievelijk SLT06 de achterste rijtuigen. Na 1.0 seconde blijken de wagons nog niet allemaal dezelfde snelheid te hebben. Na een langere simulatie van 3.0 s bleek de eindsnelheid van de VIRM uit te komen op ca. 2.7 m/s.

In Figuur 12 valt ook te zien dat de voorste VIRM wagon eerst een snelheidsvermindering van ca. 7 m/s ondergaat, waarna de snelheid weer oploopt (in negatieve richting) door het contact met de achteropkomende rijtuigen.

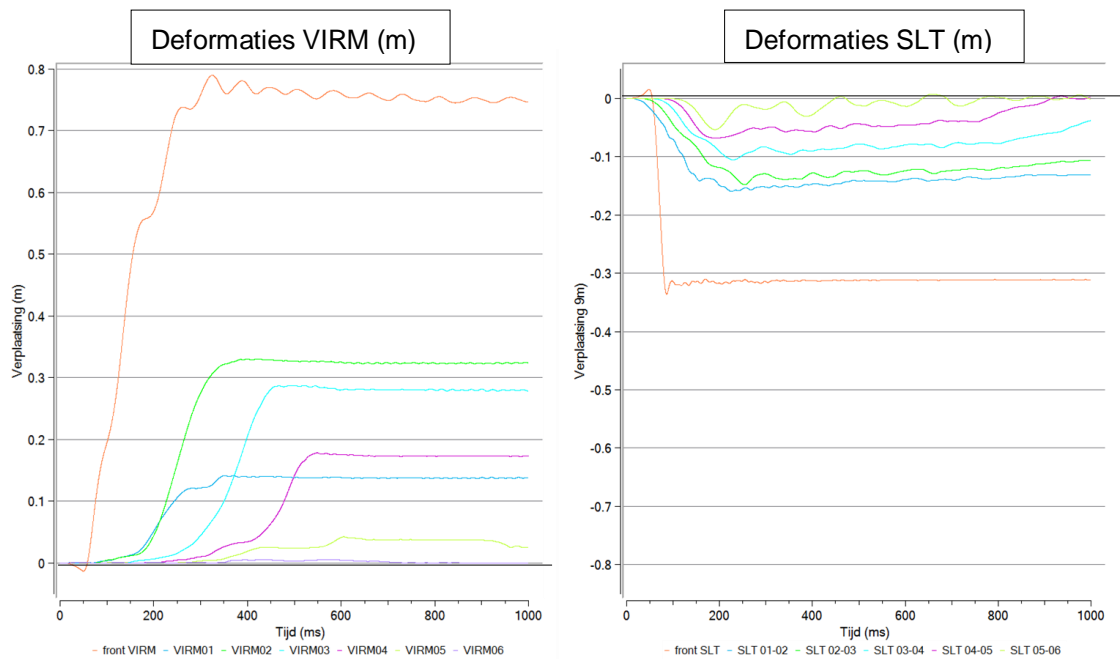
Bij de SLT bereiken de wagons een eindsnelheid van ca 4.5 m/s, in tegengestelde richting als de oorspronkelijke rijrichting, wat een snelheidsverandering inhoudt van ca. 10 m/s. Vanwege de stijvere verbindingen en lagere massa bij de SLT, zijn de onderlinge verschillen in de snelheid van de SLT wagons kleiner dan bij de VIRM het geval is.

Met deze berekende snelheden kan de geschatte totale energie opname door deformatie berekend worden, zoals weergegeven in Tabel 3.

Kinetische energie voor de botsing:	
$0.5 \times (7.8\text{m/s})^2 \times 352\text{ton} + 0.5 \times (5.6\text{m/s})^2 \times 176\text{ton} = 13.4 \text{ MJ}$	
Kinetische energie na de botsing:	
$0.5 \times (2.7\text{m/s})^2 \times 352\text{ton} + 0.5 \times (4.5\text{m/s})^2 \times 176\text{ton} = 3.1 \text{ MJ}$	
Totale gedissipeerde energie :	$13.4 \text{ MJ} - 3.1 \text{ MJ} = 10.3 \text{ MJ}$

Tabel 3: Energiebalans.

In Figuur 13 zijn de berekende vervormingen van de rijtuigen weergegeven. Voor het afstemmen van de onzekere stijfheden in het simulatie model is onder andere gekeken naar de ontstane vervormingen. Hierbij is gebruik gemaakt van enkele globale (eigen) metingen en mondelinge informatie, zoals is weergegeven in Tabel 4. Gezien de natuur van de hier gebruikte modellen is dit een acceptabele aanname. De berekende waarden lijken vooralsnog redelijk overeen te komen met de orde van grootte van de waargenomen vervormingen.



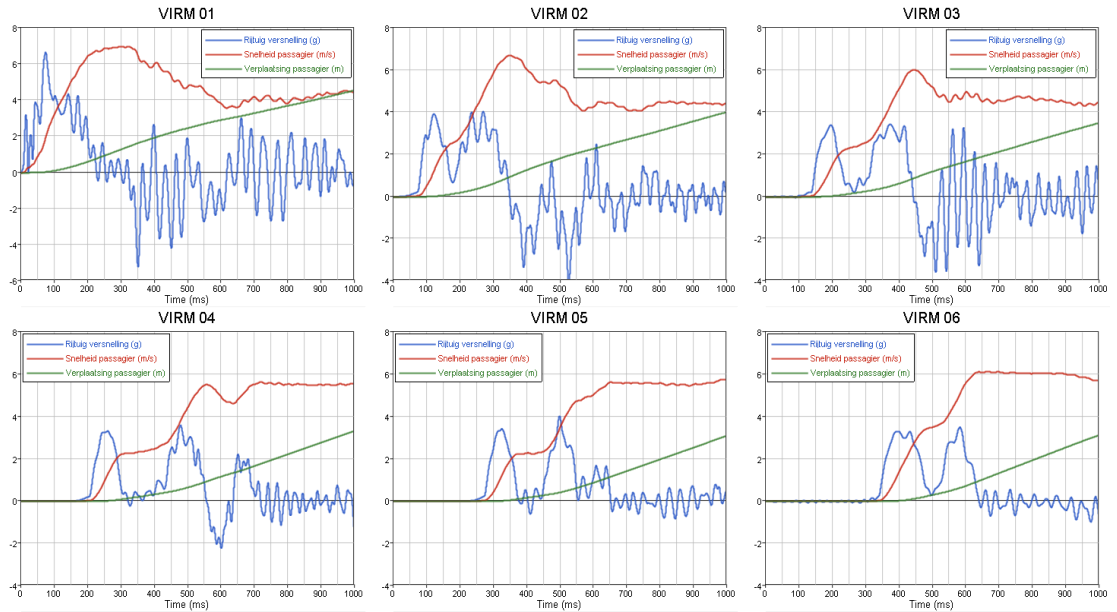
Figuur 13: Berekende vervormingen van de rijtuigen van de VIRM en de SLT.

Tabel 4: Globale waarden waargenomen vervormingen.

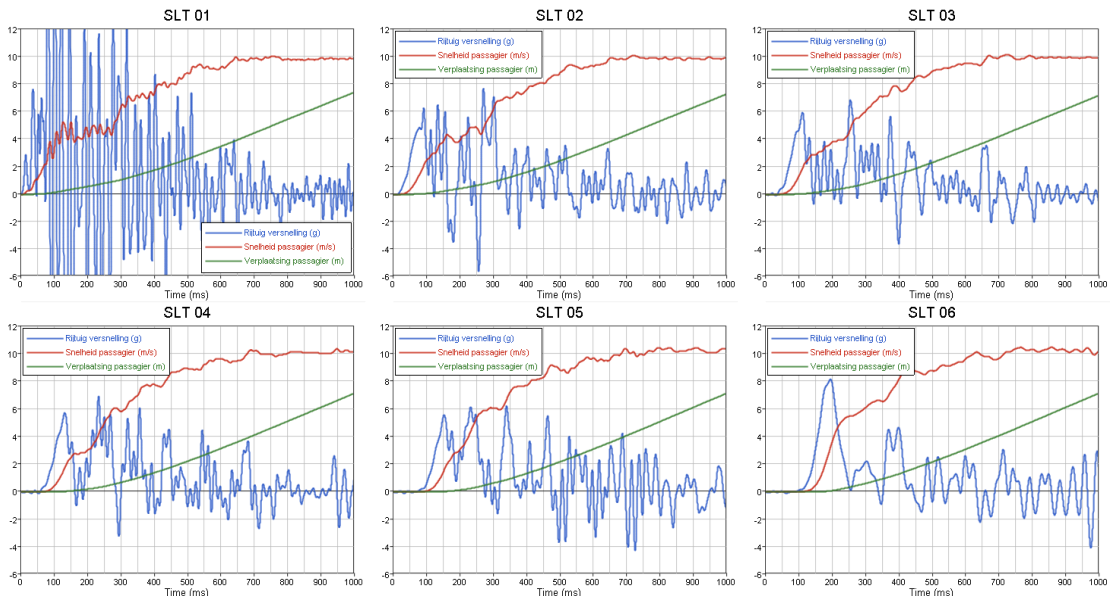
Vervorming voorzijde VIRM	Ca 1.0 meter
Lengteverandering rijtuig VIRM01	Ca. 39 cm
Lengteverandering rijtuig VIRM02	Ca. 17 cm
Lengteverandering rijtuig VIRM03	Ca. 8 cm
Permanente indrukking SLT koppelingen	Afnemend vanaf ca 25cm

3 Omstandigheden voor (virtuele) inzittende

Met behulp van de simulatie is ook berekend hoe een losse massa ten opzichte van elk van de wagons beweegt. Dit simuleert de beweging van een virtuele passagier. In Figuur 14 zijn voor elke wagon van de VIRM de rijtuig versnelling en de relatieve snelheid en verplaatsing van een virtuele inzittende afgebeeld. Figuur 15 toont hetzelfde voor de SLT rijtuigen.



Figuur 14: Snelheid en verplaatsing van virtuele inzittende t.o.v. het rijtuig (VIRM).



Figuur 15: Snelheid en verplaatsing van virtuele inzittende t.o.v. het rijtuig (SLT)

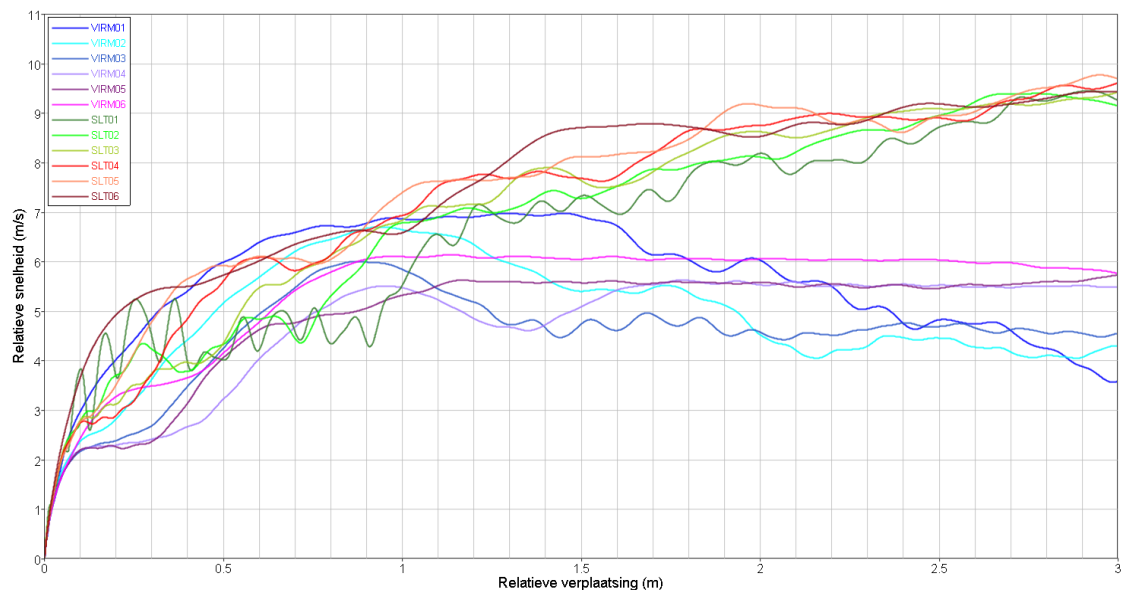
De versnellingen van de rijtuigen zullen alleen tot een direct letsel risico kunnen leiden als op het moment dat een hoge versnellingspiek optreedt er ook direct contact met een inzittende optreedt, dit zal slechts in een beperkt aantal situaties een rol kunnen spelen aangezien de passagiers niet (bv via een gordel systeem) vastzitten aan de rijtuigen.

Daarbij worden, volgens biomechanische literatuur, versnellingen van minder dan 20g geacht niet tot een hoog letsel risico te leiden. Alle berekende versnellingen van de rijtuigen in deze simulatie blijven daar ruim onder, met uitzondering van het voorste rijtuig van de SLT, waar de versnellingspieken tot dicht tegen de 20g kunnen oplopen.

Een groter risico op letsel wordt echter gevormd door mogelijke “secondaire” botsingen tussen rijtuig en inzittenden, nadat een verschillingsnelheid ten opzichte van elkaar is ontstaan. De versnellingen op de passagiers die kunnen ontstaan ten gevolge van deze secondaire botsingen met het rijtuig (interieur) kunnen veel hoger zijn dan de vertragingen van de rijtuigen zelf, aangezien de massa van een inzittende veel kleiner is dan de massa van een rijtuig.

Uit de gegevens van Figuur 14 en Figuur 15 blijkt dat een virtuele passagier in het voorste VIRM rijtuig na 250ms ongeveer 1 meter verplaatst is en daarbij een snelheid van 7 m/s ten opzichte van het rijtuig heeft. In dezelfde tijd heeft een virtuele passagier in het voorste rijtuig van de SLT een relatieve snelheid van ca. 4 m/s opgebouwd.

Dit gedrag is te verklaren doordat de SLT met zijn stijve verbindingen tussen de wagons zich enigszins als één grote massa gedraagt en de VIRM rijtuigen in het begin van de botsing zich meer als individuele massa's gedragen. Hierdoor ontstaat in het begin van de botsing het effect van een relatief zware SLT (176 ton) die tegen één relatief licht VIRM rijtuig (61 ton) botst. De invloed van de resterende massa van de VIRM wordt pas iets later (ca. ¼ seconde) merkbaar.



Figuur 16: Relatieve snelheid versus relatieve verplaatsing van virtuele passagiers.

In Figuur 16 hierboven zijn de relatieve snelheden die de virtuele passagier van elk rijtuig heeft ten opzichte van dit rijtuig weergegeven tegen de relatieve verplaatsingen. Hieruit blijkt dat bij relatief korte verplaatsingen (tot ca. 1 meter) er niet veel verschil zit in de relatieve snelheden t.o.v. elk rijtuig, wat inhoudt dat de energie bij contact met het interieur dan voor beide treinstellen van dezelfde orde is.

Bij grotere verplaatsingen wordt de relatieve snelheid van de virtuele SLT passagier groter dan bij de VIRM. Dit betekent dat b.v. staande passagiers of passagiers zittend op zijwaartse klapstoeltjes, die zich mogelijk over een grotere afstand kunnen verplaatsen bij een botsing, bij de SLT een hoger risico lopen dan vergelijkbare passagiers in de VIRM. Deze verschillen kunnen ook van invloed zijn op passagiers die met de rijrichting mee gezeten waren, daar ook zij zich mogelijk over een grotere afstand kunnen verplaatsen alvorens te botsen met het interieur of andere passagiers.

4 Conclusies

In het kader van een onderzoek van de OVV naar de treinbotsing bij het Westerpark heeft TASS een MADYMO model gemaakt om een globaal inzicht te kunnen krijgen in de optredende versnellingen en snelheidsafnames op verschillende locaties op rijtuigniveau.

Voorafgaand aan het simulatie werk heeft TASS, samen met TNO, een inspectie uitgevoerd bij de betrokken treinstellen bij NedTrain in Haarlem. Hierbij zijn enkele globale metingen gedaan m.b.t. de deformaties aan de voorzijde van de treinstellen en van de wagons van de VIRM. Met behulp van de eigen metingen en gegevens die beschikbaar zijn gesteld door DeltaRail, is het MADYMO model gemaakt.

Met dit MADYMO model is een simulatie gedaan van de trein botsing en zijn de versnellingen, snelheden en verplaatsingen op verschillende locaties berekend, op rijtuig niveau. De versnellingen van de rijtuigen hebben alleen een directe invloed op het letselrisico van passagiers als deze passagiers in direct contact met het rijtuig zijn.

Dit is slechts in een beperkt aantal situaties van belang en daarbij zijn de berekende rijtuig versnellingen niet dermate hoog dat ze tot een verhoogd letselrisico in staat geacht worden.

Een groter risico voor letsel ontstaat door de optredende snelheids-veranderingen van de rijtuigen waardoor botsingen tussen de passagiers en het interieur kunnen ontstaan.

Met behulp van de simulatie is berekend hoe een losse massa, die een virtuele passagier representeert, ten opzichte van elk van de wagons beweegt. Hierbij is gekeken naar het relatieve snelheidsverschil en relatieve verplaatsingen tussen de virtuele passagier en de verschillende rijtuigen, aangezien deze verplaatsingen en de relatieve snelheid ten opzichte van het rijtuig van belang zijn voor de intensiteit van de contacten van de passagiers met de rijtuigen.

Hierbij is gebleken dat er al behoorlijke snelheidsverschillen tussen (virtuele) passagiers en de rijtuigen kunnen ontstaan bij relatief kleine verplaatsingen van die passagier.

Dit is met name het geval in het voorste rijtuig van de VIRM. Doordat de koppelingen van de SLT relatief stijver zijn dan die van de VIRM en de onderlinge afstand tussen de rijtuigen ook minder groot is, gedraagt de SLT zich tijdens de beginfase van de botsing meer als een stijf geheel, terwijl het voorste rijtuig van de VIRM zich in eerste instantie meer als een los rijtuig gedraagt. Hierdoor is het dynamisch effect op het voorste VIRM rijtuig in de beginfase van de botsing relatief groot.

Bij de SLT treedt uiteindelijk de hoogste snelheidsverandering op. Aangezien dit pas iets later in de botsing gebeurt (na ongeveer een halve seconde) zal dit met name effect hebben op passagiers die een relatief grote afstand kunnen overbruggen alvorens tegen het interieur te botsen (zoals staande passagiers).

Deze gegevens van de simulaties kunnen door TNO gebruikt worden om de belastingen op passagiers en machinisten te simuleren met als doel de letsel risico's te kunnen inschatten.