

Kinematische analyse en afstelling optimalisatie van de ophangingsgeometrie van een Porsche 911 GT3 Cup

Toon Mommen

Brent Vanvelk

master IW Elektromechanica

master IW Elektromechanica

1) Inleiding en probleemstelling

NGT Racing is een Belgisch Porsche raceteam dat zich toelgt op de autosporttechnologie van de Porsche 911 GT3 Cup. Met deze wagen neemt het team deel aan een officiële fabrieksserie waardoor zij beperkt zijn in de te wijzigen voertuigeigenschappen. De afstelling van de ophangingsgeometrie is één van deze eigenschappen, wat maakt dat de optimalisatie ervan de kans op winnen aanzienlijk verhoogt. De ophangingsparameters bestaan uit camber, spoor, kashoogte en hoekgewicht die in figuur 1 getoond worden.



Figuur 1: Setup afstelling ophanging

Tijdens een raceweekend is het team onderhevig aan een strak tijdschema. Het afstellingsproces, volledig beschreven in de thesis, vraagt veel tijd waardoor het niet enkele minuten voor een race uitgevoerd kan worden. Dit maakt dat de afstelling van de ophangingsgeometrie niet prioritair is in situaties waarin de wagen schade heeft opgelopen. Het niet uitvoeren van dit proces kan echter resulteren in een slechte ophangingsgeometrie wat op zijn beurt invloed heeft op het rijgedrag van het voertuig.

2) Doelstellingen

Hoofddoel: optimale methode vinden om ophangingsproces te versnellen, deeldoelstellingen:

- Verwerven kennis omtrent ophangingsmechanisme + algemene kennis voertuigdynamica
- Modelleren geometrisch model chassis en ophanging van betreffende wagen
- Verschillende correlaties, het kinematisch model en de gewenste afstelling aan elkaar koppelen via open-source software, waarbij de output de fysieke wijziging aan de wagen is voor de gewenste afstelling

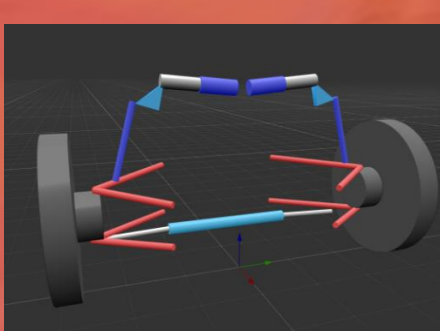
3) Opbouw geometrisch kinematisch model

Analyse van het kinematisch weggedrag van voertuigen kan d.m.v. Multibody Systems (MBS) [1]. Vraag vanuit NGT Racing: oplossing zonder commerciële MBS-software, met behulp van een open-source solver.

Fase 1: URAEUS

→ 1^{ste} oplossing: Symbolic Multi-Body Dynamics (SMBD) pakket in Python [2]

Werkingsprincipe SMBD :



1. Creatie symbolische topologie
2. Generen numerieke software omgeving
3. Numerieke simulatie met visualisatie

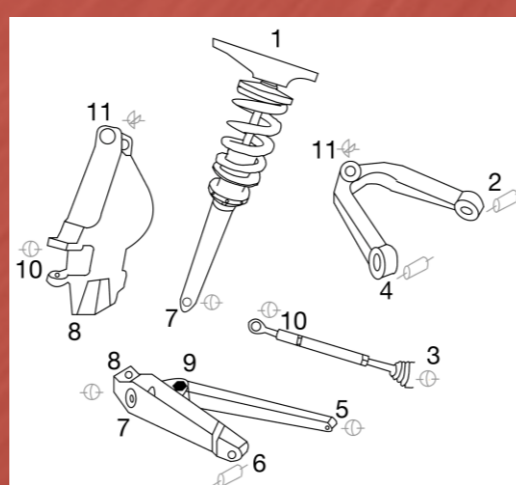
Figuur 2: Visualisatie van double wishbone suspensie in URAEUS [2]

Resultaat SMBD: Onsuccesvol door implementatiebeperkingen (build-/configuratiefouten)

Fase 2: Geometrisch kinematisch model

Omwille van onsuccesvolle resultaten met het SMBD-pakket werd zelfstandig een geometrisch kinematisch model opgebouwd. In dit model wordt de beweging van de ophanging linksvoor beschreven d.m.v. fysische relaties tussen de fixed en variable hardpoints, weergegeven in figuur 3.

De bewegingsvergelijkingen zijn gebaseerd op de vaste afstand tussen de coördinaten van de hardpoints waaruit de stangen zijn opgebouwd. Figuur 4 toont de bewegingsvergelijkingen van hardpoint 7 waarbij de lengte van de demper afgeleid wordt uit het gewicht op de 'scale' linksvoor.



Figuur 3: Hardpoints double wishbone LF

$$\begin{aligned} (x_7 - x_1)^2 + (y_7 - y_1)^2 + (z_7 - z_1)^2 &= d_{7,1}^2 \\ (x_7 - x_5)^2 + (y_7 - y_5)^2 + (z_7 - z_5)^2 &= d_{7,5}^2 \\ (x_7 - x_6)^2 + (y_7 - y_6)^2 + (z_7 - z_6)^2 &= d_{7,6}^2 \end{aligned}$$

(a) Afstandsvergelijkingen van hardpoint 7 [3]

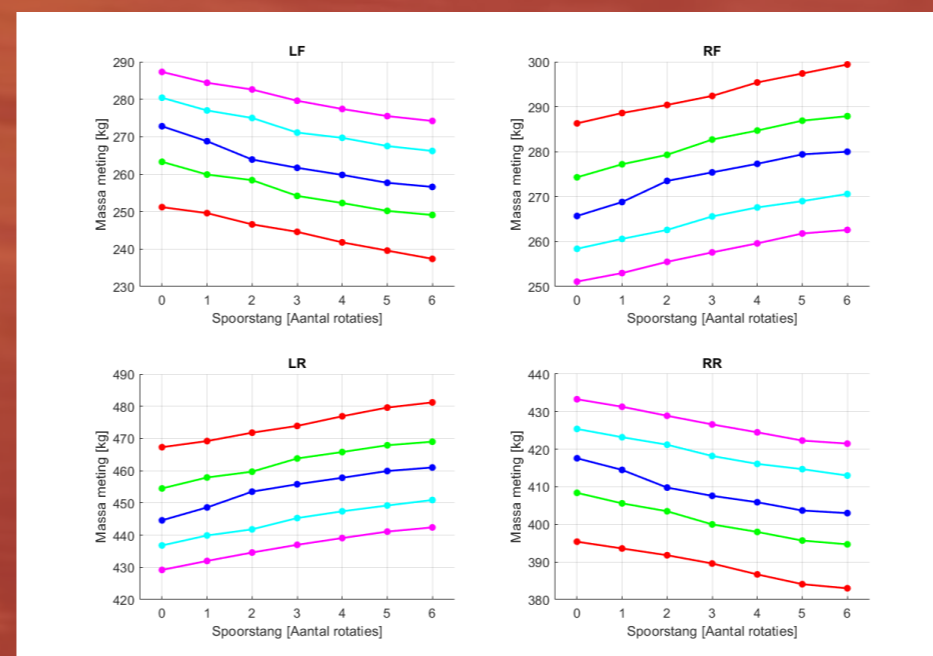
$$d_{7,1} = d_{7,1 \text{ Onbelast}} - \frac{\frac{F_d}{d_{d,8}}}{\sin(\alpha)} - \text{Preload}$$

(b) Verband lengte demper en gewicht scale LF [4]

Figuur 4: Constraintsvergelijkingen voor de beweging van hardpoint 7

4) Experimentele validatie van kinematisch model

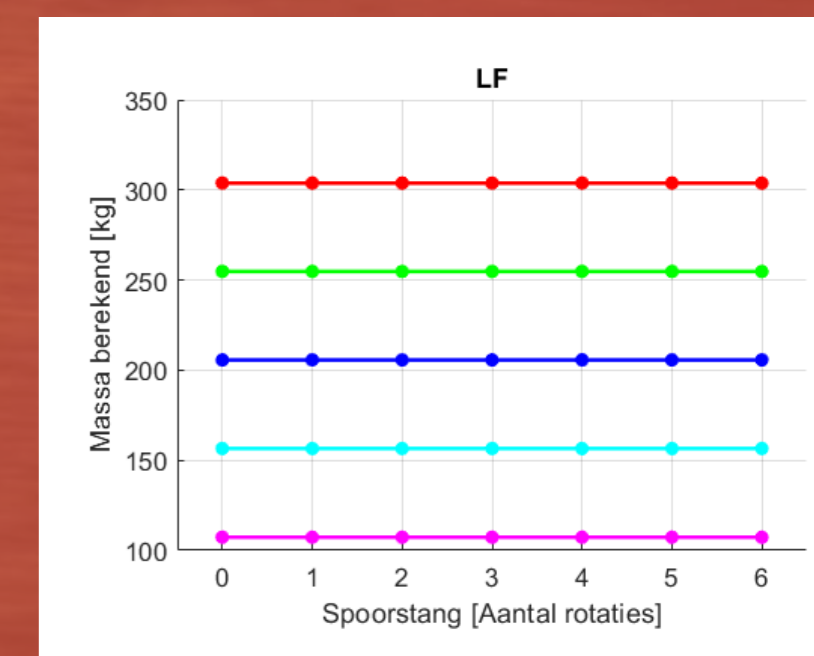
Single-factor experiment op de wagen waar afwisselend de verschillende parameters stapsgewijs veranderen, bijvoorbeeld de lengte van de spoorstang. Vervolgens: praktische effecten van de lengte wijziging vergelijken met berekende resultaten om de correctheid van het model te valideren. Figuren 5 en 6 tonen respectievelijk de invloed van de lengte van de spoorstang op de hoekgewichten van de wagen voor de gemeten versus de berekende waarden.



Figuur 5: Testresultaat massa i.f.v. toeren spoorstang

Een korte analyse van het verschil tussen de resultaten wordt hieronder beschreven, gemeten vs. gesimuleerd:

- Massa verandert bij verandering lengte spoorstang
- Effect linker voorwiel = effect rechter achterwiel
- Effect rechter voorwiel = effect linker achterwiel = omgekeerde van linker voorwiel en rechter achterwiel
- Massa wordt **HOGER** bij verlenging van de demper (meer toeren verdraaid)



Figuur 6: Resultaat massa i.f.v. spoorstang gemodelleerd

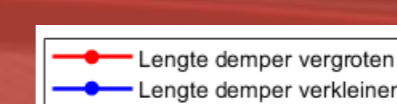
- Massa verandert **NIET** bij verandering lengte spoorstang in het model
- Massa wordt **LAGER** bij verlenging van de demper in het model

Resultaat: Foute aannames in het model (bijvoorbeeld berekening massa) + berekeningen voor de camber- en spoorhoek niet uitgebreid genoeg

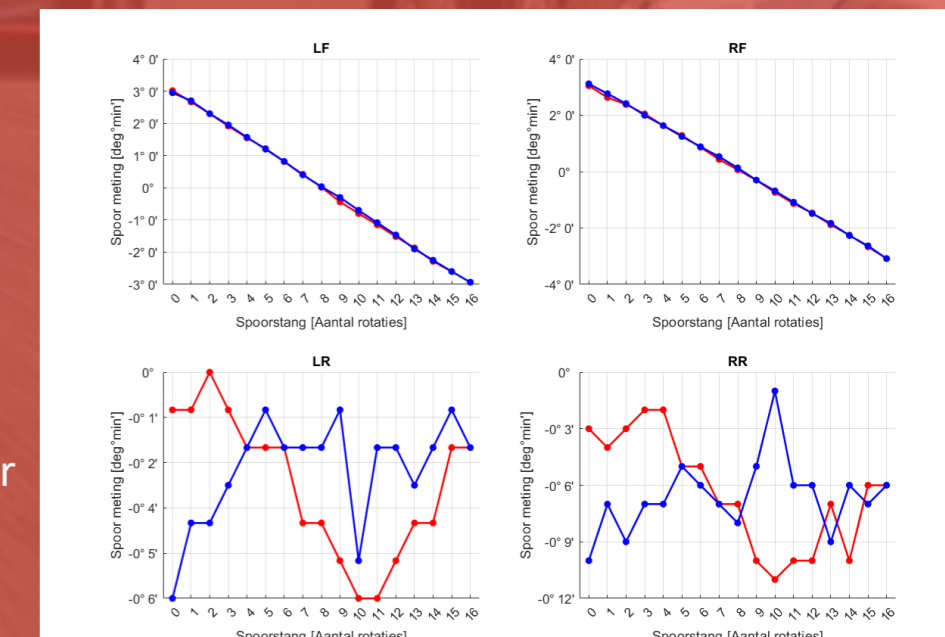
5) Relaties ophangingsgeometrie en wegligging

Alternatieve benadering voor oplossen probleem:

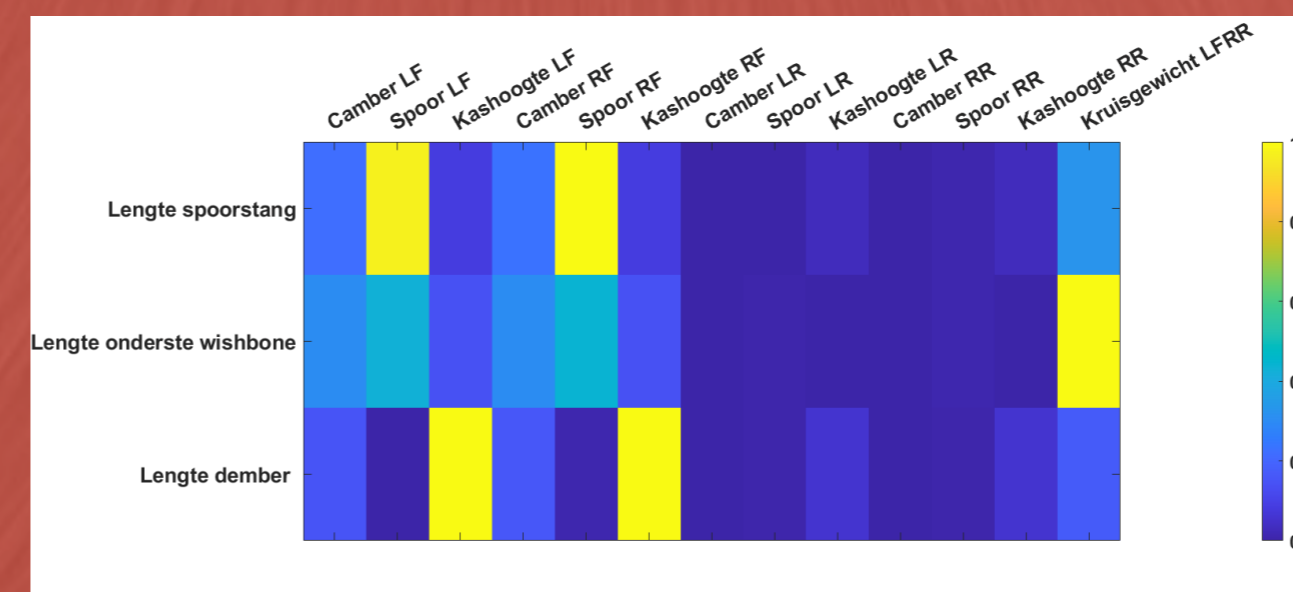
Ophangingsgeometrie van beide voorwielen worden aangepast, resultaten worden in figuren 7 en 8 weergegeven. Doel van deze test: bepalen van de correlaties tussen de aanpassingen aan beide zijden van de auto en alle ophangingsparameters, evenals het vaststellen van de reversibiliteit van de aanpassingen.



- Verandering vooras:
 - Rechthoekig
 - Reversibel
 - Links = rechts
- Verandering achteras:
 - Verwaarloosbaar
 - Willekeurig



Figuur 7: Spoorhoek i.f.v. aantal rotaties spoorstang



Figuur 8: Correlatiematrix van de ophangingsparameters

De resultaten tonen aan dat aanpassingen aan de ophangingsgeometrie van de vooras doorgaans reversibel zijn, met consistentie tussen de effecten aan de linker- en rechterkant. Er zijn echter verschillen tussen de voor- en achterkant, waarbij aanpassingen aan de vooras een beperkte invloed hebben op de ophangingsparameters van de achteras, zoals zichtbaar in de correlatiematrix in figuur 8.

6) Conclusie

Het opbouwen van een volledig geometrisch kinematisch model blijkt uitermate complex. Wegens de complexiteit van het systeem en onvolledige gegevens is het niet mogelijk om een volledig functioneel en correct model te construeren voor een specifiek voertuig gedurende een masterthesis. In toekomstig onderzoek kan het gebruik van commerciële software dit proces vergemakkelijken. Een data-driven model, gebaseerd op meetgegevens zoals beschreven in hoofdstuk 5, kan eveneens een geschikt alternatief zijn vanwege de vastgestelde reversibiliteit van de resultaten.

Promotoren / Copromotoren / Begeleiders

Prof. dr. ir. Elke Deckers
Ing. Mathijs Goris
Dhr. Marc Maton

Referenties: [1] M. Blundell and D. Harty, The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics. Amsterdam: Elsevier, 2004. [2] K. Ghobashy, "Building a multibody model of a double-wishbone suspension system in python using uraeus (1)," 2021 [3] K. V. Reddy, M. Kodati, K. Chatra, and S. Bandyopadhyay, "A comprehensive kinematic analysis of the double wishbone and MacPherson strut suspension systems," Mechanism and Machine Theory, vol. 105, pp. 441-470, Nov. 2016 [4] X. Yang, "Suspension kinematics programme," Master's thesis, Chalmers University of Technology, 2019.