

Cursus datalogging ALBI Engineering

basisbeginselen datalogging en voertuigtechniek

Voorwoord

Dit verslag zal een handleiding zijn bij het uitoefenen van data acquisitie in de praktijk. Het is mede tot stand gekomen uit het afstudeerverslag van ondergetekende en Freddy Smits, met wie ik in 2001 ben afgestudeerd aan de HTS-Autotechniek te Arnhem en hierbij wil bedanken voor zijn medewerking. Verder wens ik iedereen veel succes bij het uitvoeren van data analyses.

Erik Albertsma
ALBI Engineering
Februari 2004

Samenvatting

Een data acquisitie systeem is een systeem dat, met behulp van sensoren, allerlei gegevens van de auto registreert. Een data acquisitie systeem geeft een compleet en exact beeld van de prestaties van auto en coureur dat naderhand geanalyseerd kan worden. Het levert daardoor waardevolle informatie voor de afstelling van de auto en rijtechniek.

Om data acquisitie optimaal te kunnen gebruiken voor het afstellen van de auto, is het nodig om de grondbegrippen van de voertuigdynamica te begrijpen. Ook is het belangrijk te weten hoe de wegligging wordt beïnvloed door de wielgeometrie. De invloeden van veranderingen aan de wielgeometrie moeten in de praktijk altijd getest worden. De theorie en de praktijk stemmen namelijk niet altijd overeen.

Het doel dat met data acquisitie bereikt moet worden en het budget dat hiervoor beschikbaar is, bepalen hoe uitgebreid het data acquisitie systeem wordt. Een systeem dat voor wegligging optimalisatie gebruikt gaat worden zou minstens de volgende zes ingangskanalen moeten bevatten: snelheid, toerental, stuurwielverdraaiing, gaspedaalpositie en G-krachten in lengte- en dwarsrichting.

Om de data acquisitie op de juiste manier te gebruiken tijdens testen en racen moeten een aantal dingen in acht genomen worden. Als op het circuit gereden wordt moet het systeem altijd gebruikt worden. Zelfs de kortste testronde of opwarmronde kan belangrijke informatie opleveren. Bekijk de opgeslagen informatie zo snel mogelijk. Praat eerst met de coureur, zijn ervaringen van de gereden ronden zijn nu nog vers. Bekijk vervolgens samen met de coureur de opgeslagen informatie en bespreek wat veranderd moet worden en bekijk de informatie later altijd nog een keer op je gemak. De tijdsdruk op het circuit maakt het vaak onmogelijk om de data geheel en tot in detail te bestuderen. Als laatste, gebruik je racekennis. Om er

voordelen mee te behalen moet je kennis hebben van de auto, de coureur en het circuit. Om waardevolle informatie uit de data te filteren is het belangrijk om inzicht te hebben en gezond verstand te gebruiken.

Inhoud

Voorwoord

1. Inleiding
2. Data acquisitie
 - 2.1 Inleiding
 - 2.2 Het systeem
 - 2.3 Data analyse
 - 2.4 Meetnauwkeurigheid
3. Werkwijze
 - 3.1 Stap 1: Voorbereiding
 - 3.2 Stap 2: Bij binnenkomst
 - 3.3 Stap 3: Controle
 - 3.4 Stap 4: Snelste ronde
 - 3.5 Stap 5: Analyse
 - 3.6 Stap 6: Vergelijken
 - 3.7 Stap 7: Evaluatie
4. Conclusies en aanbevelingen

Literatuurlijst

- Bijlage I Voertuigtechniek
Bijlage II Formules

1. Inleiding

Een data acquisitie systeem is een systeem dat, met behulp van sensoren, allerlei gegevens van de auto registreert. Een data acquisitie systeem geeft een compleet en exact beeld van de prestaties van auto en coureur dat naderhand geanalyseerd kan worden. Het levert daardoor waardevolle informatie voor het optimaliseren van de afstelling van de auto en rijtechniek.

Om effectief met data acquisitie systemen te kunnen werken is een goed begrip van voertuigtechniek en met name wegligging belangrijk. In een bijlage is daarom de belangrijkste achterliggende theorie over wegligging samengevat. Ook is het belangrijk te weten hoe de wegligging wordt beïnvloed door de wielgeometrie. De invloeden van veranderingen aan de wielgeometrie moeten in de praktijk altijd getest worden. De theorie en de praktijk stemmen namelijk niet altijd overeen.

Het verslag is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 gaat over data acquisitie systemen in het algemeen. Hoofdstuk 3 behandelt daarna het analyseren van de data. Er wordt aan de hand van stappen uitgelegd hoe data acquisitie in de praktijk moet worden toegepast. Er zullen ook enige praktijkvoorbeelden behandeld worden. Tenslotte zal hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen bevatten.

2. Data acquisitie

2.1 Inleiding

Data acquisitie systemen worden de laatste jaren door steeds meer race teams in allerlei race klassen gebruikt. Een data acquisitie systeem geeft een compleet en exact beeld van de prestaties van auto en coureur dat naderhand geanalyseerd kan worden. Het levert daardoor waardevolle informatie voor de afstelling van het onderstel van de auto en rijtechniek van de coureur.

Dit hoofdstuk gaat over het data acquisitie systeem in het algemeen. Om een data acquisitie systeem effectief te kunnen gebruiken is wel race kennis nodig zoals bijvoorbeeld kennis over wegligging, afstelmogelijkheden en weggedrag. Daarom is bijlage I Voertuigtechniek in dit verslag opgenomen. Deze bijlage bevat de hoofdstukken voertuigdynamica, rijeigenschappen, voertuigweerstand en dynamische voertuigstabiliteit.

In het hoofdstuk voertuigdynamica wordt de wielgeometrie (geheel van wielstanden en fuseehoeken), de stabilisatorstang, de banden, vering en demping en over- en onderstuur behandeld. Naast de uitleg en de invloed van deze onderwerpen, worden ook oplossingen gegeven om deze invloeden tegen te gaan of juist te verbeteren. Er moet duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen auto's die aan het verkeer op de openbare weg deelnemen en raceauto's. Bij raceauto's worden vergaande wijzigingen doorgevoerd. Elke afstelling van het onderstel van een straatauto is een compromis, dat niet alleen voor probleemloze rijeigenschappen, maar ook voor bevredigend veercomfort moet zorgen. Als met een auto geracet gaat worden, zijn er dus altijd verbeteringen in de wegligging te bereiken. Daardoor zal het comfort echter wel afnemen.

In het hoofdstuk rijeigenschappen wordt de wegligging in het grensgebied beschreven. Een auto die goed op de weg ligt, heeft een hoge bochtsnelheid, een goed beheersbaar rijgedrag in het grensgebied, een veilig gedrag bij rijbaanwisseling en bij instationair bochtgedrag, rijstabiliteit bij hoge snelheden en voldoende ongevoeligheid voor zijdelingse krachten.

Ook wordt in het hoofdstuk rijeigenschappen de invloed van de aërodynamica beschreven. Zeker bij raceauto's speelt de aërodynamische factor ook een rol. De laatste jaren heeft de aërodynamica veel invloed gehad op het ontwerp van raceauto's. Aërodynamica is een abstract begrip en maar weinig mensen hebben een duidelijk beeld over wat aërodynamica allemaal inhoudt. Afgezien van verkleining van de luchtweerstand moet ook een effectieve aërodynamica als doel gesteld worden. Er wordt geprobeerd de opwaartse druk te reduceren en liever nog neerwaartse druk te creëren. Met spoilers en aërodynamisch carrosserie ontwerp kunnen extra dynamische wioldrukken verkregen worden. Alleen op deze wijze zijn de hoge aandrijf- en remkrachten overdraagbaar en zijn grote dwarskrachtversnellingen mogelijk.

In de bijlage I Voertuigtechniek is ook een hoofdstuk opgenomen dat de voertuigweerstand beschrijft. De bewegingen van het voertuig als geheel kan men onderscheiden in het rijden bij constante snelheid, het optrekken (accelereren) en het afremmen (decelereren), hetzij in een horizontale, rechte lijn, hetzij op hellingen en in bochten. In al deze situaties is steeds een aandrijfkracht aanwezig, die alle tegenwerkende krachten, de voertuigweerstand, moet overwinnen.

In het hoofdstuk dynamische voertuigstabiliteit wordt het belang van het dynamische voertuiggedrag, de omgeving en de ingrepen door de bestuurder duidelijk gemaakt. Bij een raceauto vraagt het bedienen van het stuur-, aandrijf- en remsysteem meer aandacht. Tevens is de feedback van de raceauto beter en directer dan bij een straatauto. Een coureur moet in staat zijn alles sneller waar te nemen en sneller te kunnen beslissen. Dit vooral omdat er met hoge snelheden en grote snelheids- en koersveranderingen gereden wordt.

Tevens worden in het hoofdstuk ook alle carrosserie- en voertuigbewegingen behandeld. Door de dynamische omstandigheden voert de carrosserie een aantal bewegingen uit. De carrosserie beweegt voortdurend in langs-, dwars- en hoogterichting. Deze carrosseriebewegingen dienen bekend te zijn bij zowel de monteur als coureur om een eenduidig beeld te krijgen van het gedrag van de auto.

De bijlage I Voertuigtechniek dient dus naast het analyseren van de data gebruikt te worden om de afstelling van de auto, en daarmee de wegligging, te verbeteren. Om data acquisitie optimaal te kunnen gebruiken voor het afstellen van de auto, is het nodig om deze grondbegrippen van de voertuigtechniek te begrijpen.

2.2 Het systeem

Veel teams behalen niet het voordeel dat ze verwacht hadden met data acquisitie systemen. Deze teams hebben wel race kennis, zijn vaak winnaars en hebben goede data acquisitie systemen. Het effectief werken met deze data acquisitie systemen vraagt echter een nieuwe insteek. Het werken met het data acquisitie systeem is daarom een volledige dagtaak voor minstens één persoon.

Er zijn vele data acquisitie systemen in de handel, enkele merken zijn AIM, PI, Stack en Motec. De werking van deze systemen is in de basis hetzelfde.

Een data acquisitie systeem bestaat uit een centrale data log unit die informatie van sensoren opslaat. Deze sensoren kunnen speciaal voor de data acquisitie zijn aangebracht, maar het kunnen ook sensoren zijn die al voor het motormanagement gebruikt worden. Het systeem bevat verder een display, een beacon (zender) en een receiver (ontvanger). De systemen gebruiken verschillende benamingen voor deze begrippen, maar zijn in betekenis hetzelfde.

Een data acquisitie systeem bestaat uit de volgende onderdelen:

Sensoren

De sensoren zijn de eerste verbindingen naar het data acquisitie systeem. Een sensor zet een fysische grootte om in een elektrisch signaal. Zeer belangrijke eigenschappen van de sensoren zijn nauwkeurigheid, resolutie en meetbereik. Het is heel belangrijk om de meetnauwkeurigheid van de sensoren te weten en hier rekening mee te houden. Anders wordt informatie gebruikt die er heel geloofwaardig uitziet, maar die eigenlijk niet klopt.

Ingangskanalen

De ingangskanalen ontvangen de signalen van de sensoren. De ingangskanalen zetten de sensorsignalen om in digitale waarden die door de data log unit kunnen worden opgeslagen.

Data log unit

De data log unit is het hart van het data acquisitie systeem. De data log unit zorgt voor de aansturing van alle externe apparaten en slaat de informatie van de sensoren op.

Display

Het systeem bevat ook een display waarop de coureur een aantal geselecteerde gegevens kan zien. Het display kan ook een alarm geven als bepaalde waarden worden overschreden.

Software

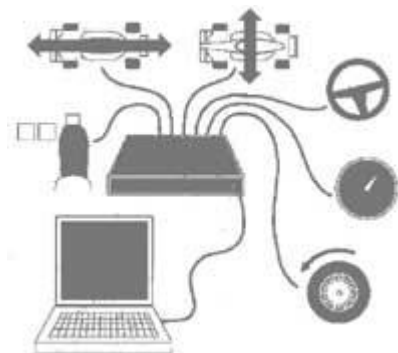
De software bestaat uit twee delen programmeer software en data analyse software. De programmeer software bestaat uit software om de ingangskanalen te definiëren, sensoren te kalibreren, dashboard te configureren en alarmen in te stellen. Met de data analyse software kan de opgeslagen informatie worden bekeken en geanalyseerd worden.

De software moet bij voorkeur op een laptop geïnstalleerd worden in verband met het laden van de data uit de data log unit. Dit gebeurt door het aanbrengen van een verbindingkabel tussen data log unit en de laptop. De laptop moet voldoen aan de systeemeisen van de software.

Beacon en receiver

De beacon (zender) staat langs de baan en zendt een signaal uit. De receiver (ontvanger) die in de auto gemonteerd is vangt dit signaal op als de auto langs de beacon rijdt. Zo kunnen rondetijden gemeten worden.

Het doel dat met data acquisitie bereikt moet worden en het budget dat hiervoor beschikbaar is bepalen hoe uitgebreid het data acquisitie systeem wordt. Een systeem dat voor wegligging optimalisatie gebruikt gaat worden zou minstens de volgende zes ingangskanalen moeten bevatten: snelheid, toerental, stuurwielverdraaiing, gaspedaalpositie en G-krachten in lengte- en dwarsrichting. Zie ook afbeelding 2.1.



Afb. 2.1 Zes-kanaal systeem

Laterale G-krachten: G-krachten, dwars op de lengterichting van de auto, die optreden bij het rijden in bochten. Hiermee kan o.a. de gewichtsoverdracht van de auto en bochttechniek van de coureur geanalyseerd worden.

Longitudinale G-krachten: G-krachten, in de lengterichting van de auto, die optreden bij accelereren en remmen. Hiermee kan o.a. de rij- en remtechniek van de coureur geanalyseerd worden.

Snelheid: Snelheid gemeten aan het wiel. Dit is het belangrijkste gegeven om te zien of wijzigingen aan de auto effect hebben gehad.

Toerental: Motortoerental. Ter controle, bepalen van versnellingsbakverhoudingen en analyseren van de rijtechniek.

Stuurwielverdraaiing: De hoekverdraaiing van het stuurwiel. Analyseren van de stuurtechniek en detecteren van over- en onderstuur.

Gaspedaalpositie: De mate waarin het gaspedaal is ingetrapt. Analyseren van de rij- en bochttechniek.

Het data acquisitie systeem kan gemakkelijk worden uitgebreid met een aantal sensoren die al voor het motormanagement gebruikt worden, zoals oliedruksensor, brandstofdruksensor, motortemperatuursensor, enz. Zo kan de conditie van de motor in de gaten gehouden worden. Ook zouden nog sensoren (lineaire potentiometers) op de wielophanging kunnen worden toegepast om de bewegingen van de wielophanging te meten. Hiermee is het mogelijk het weggedrag nog verder te analyseren. Zie voor een overzicht van allerlei sensoren bijlage V.

Bij sommige data acquisitie systemen bestaat de mogelijkheid om met behulp van formules andere gegevens uit te rekenen. De formules zijn standaard gegeven of kunnen zelf ingevoerd worden. Formules die gebruikt worden zijn te vinden in bijlage II.

2.3 Data analyse

Het afstellen van een auto zonder data acquisitie systeem is enigszins vaag. Iedereen die betrokken is, heeft zijn eigen idee over wat er aan de hand is en welke veranderingen er doorgevoerd zouden moeten worden. Een data acquisitie systeem levert harde feiten. De coureur geeft belangrijke maar vaak onvolledige informatie over het gedrag van de auto.

De essentie van het gebruiken van data acquisitie systemen is het begrijpen van de data. De getallen op zich zoals snelheid en G-krachten zijn eenvoudig af te lezen en geven alleen eindresultaten weer. Ze geven aan wat er gebeurt, hierna is te bepalen waarom dat gebeurt. Wanneer men weet waarom bepaalde dingen gebeuren, kan ook voorspeld worden wat de invloed van bepaalde afstellingen zal zijn op de rondetijden en het weggedrag van de auto.

Er zijn twee manieren om de data te analyseren:

- Doelgericht zoeken

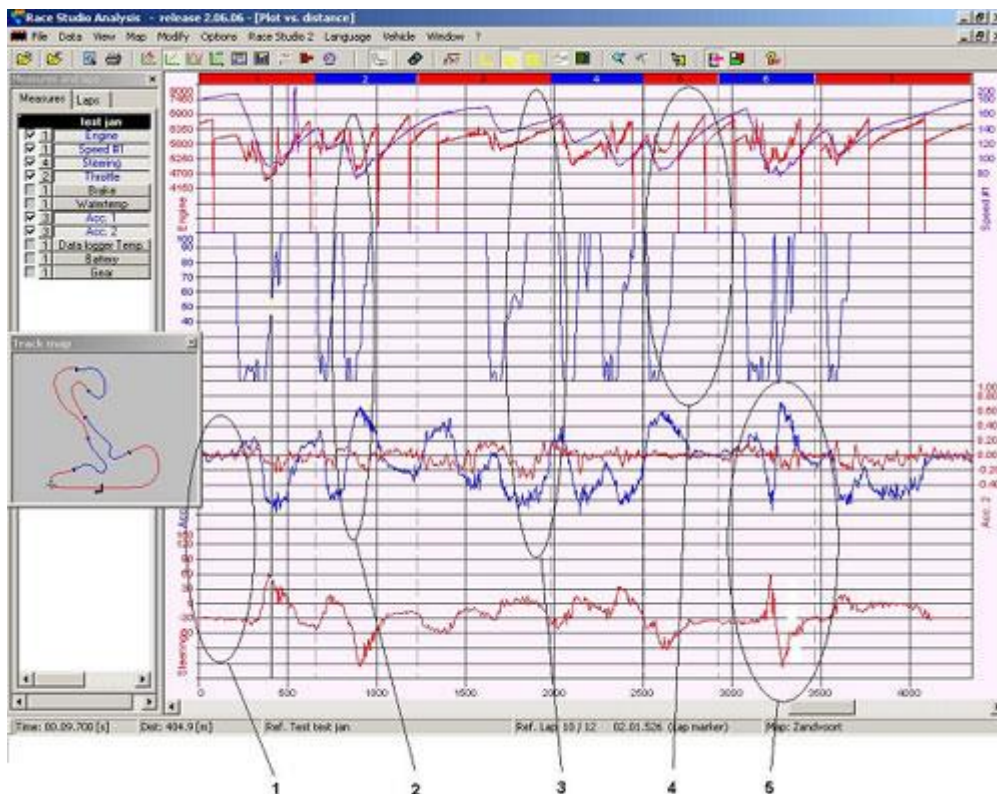
Deze aanpak wordt gebruikt als er specifieke problemen met de auto zijn of waren, of als de coureur commentaar heeft.

- Het algemeen bestuderen van de data

Dit houdt in dat alle data wordt bekeken, er zou een verborgen verrassing in kunnen zitten. Er wordt niet gezocht naar een specifiek probleem.

De verzamelde gegevens worden weergegeven in grafieken of tabellen. In de grafieken kunnen de waarden tegen de tijd of tegen de afstand worden uitgezet. Grafieken die tegen de tijd zijn uitgezet, comprimeren de snelle gedeeltes van het circuit en rekken de langzame gedeeltes uit. Uit een grafiek tegen de afstand kan gezien worden waar op het circuit iets is gebeurd, in plaats van wanneer. Dit is makkelijk bij het vergelijken van verschillende ronden.

De grafiek waarin de snelheid is uitgezet is belangrijk om te zien of een verandering heeft gewerkt. Hierin is snel te zien of er tijdwinst of tijdverlies heeft plaatsgevonden. De snelheidsgrafiek geeft dus het resultaat weer, de andere data dient om te analyseren waarom het sneller of langzamer ging. Kijk dan ook welke gedeeltes van het circuit sneller gingen en welke langzamer.



Afb. 2.2 Recht stuk (1), remmen (2), accelereren (3), schakelen (4) en bochten (5)

In afbeelding 2.2 zijn de zes grafieken weergegeven, van boven naar onder staan de snelheid, toerental, gaspedaalpositie, longitudinale G-kracht (rood) en laterale G-kracht (blauw) en stuurwielverdraaiing. In deze grafiek worden een paar eenvoudige verschijnselen aangegeven.

In cirkel 1 is een recht stuk te zien. De G-krachten zijn hier nul en er wordt niet gestuurd. In cirkel 2 is te zien dat geremd wordt. In de bovenste grafiek is te zien dat de snelheid afneemt en in de derde grafiek is te zien dat het gas los gelaten wordt. Ook is in de vierde grafiek te zien dat G-krachten in de lengterichting ontstaan. Dit is de dip in de rode lijn.

Vervolgens wordt in cirkel 3 geaccelereerd. De snelheid loopt op en er wordt weer vol gas gegeven. De G-kracht in de lengterichting is positief, de rode lijn is namelijk

hoger dan de nullijn.

Het schakelen is in cirkel 4 te zien. Deze auto beschikt over een sequentiële versnellingsbak met 'ignition cut', zodat het gaspedaal niet los gelaten hoeft te worden bij het opschakelen. Je kan het schakelpunt zien aan de grote stappen in toerental.

Tenslotte is in cirkel 5 het rijden in bochten te zien. Er is te zien dat er ingestuurd wordt in de onderste lijn. Er wordt eerst naar rechts gestuurd, dit is ook te zien aan de laterale G-kracht, de blauwe lijn wordt namelijk negatief. Vervolgens wordt de andere kant opgestuurd en de laterale G-krachten worden positief, dit is dus een bocht naar links.

Grafieken kunnen afzonderlijk bekeken worden, maar ook kunnen grafieken van verschillende ronden over elkaar heen gelegd worden. Bij het bestuderen van de gegevens moet begonnen worden met de snelste ronde. Als er iets gevonden wordt, moet in andere ronden bekeken worden of het verschijnsel zich ook daar heeft voorgedaan. Haal dus niet al de informatie uit één ronde. Verschijnselen die ook terugkomen in andere grafieken duiden vaak op het weggedrag van de auto.

Eenmalige gebeurtenissen, zoals plotseling gas loslaten of stuurreacties kunnen duiden op druk verkeer of inconsistent rijgedrag van de coureur, de coureur kan hier vaak duidelijkheid over geven.

Trek dus niet te snel conclusies, bestudeer eerst alle grafieken die van belang zijn.

Er kan ook worden ingezoomd op grafieken. Het is wel van belang niet te ver op een gedeelte van de grafiek in te zoomen. Door inzoomen kunnen dingen aan het licht komen die in de grote grafiek niet opvallen. Te ver inzoomen echter verplat de grafiek dusdanig dat er geen informatie meer uit te halen is.

Andere data weergaven kunnen ook worden toegepast. De systemen gebruiken verschillende benamingen voor deze begrippen, maar zijn in betekenis hetzelfde. Andere weergaven zijn:

- Histogram
- Simulatie
- Split report
- Channels report
- Track map

Deze begrippen worden op de volgende bladzijden uitgelegd.

Histogram

Een histogram is een staafdiagram dat bijvoorbeeld aangeeft met welk toerental of gaspedaalstand het meest gereden is.

Simulatie

Elke ronde kan achteraf gesimuleerd worden met een aantal gelogde parameters in het scherm weergegeven.

Split report

In het split report staan de rondetijden vermeld opgedeeld in sectietijden. Hierin zijn

de snelste ronde en de snelste sectietijden gemarkeerd. Een sectie is een gedeelte van het circuit. Het systeem deelt het circuit automatisch in secties in, deze zijn zelf aan te passen. Ook kan een theoretisch snelste rondetijd uitgerekend worden door alle snelste secties te combineren.

Sommige systemen kunnen ook de best rolling lap aangegeven. Dit is de snelste ronde die er gereden is, maar met start / finish op een andere plaats.

Channels report

De minimum, maximum en gemiddelde waarden van elke parameter worden getoond in een tabel, dit wordt het channels report genoemd.

Track map

De track map is een afbeelding van het circuit met daarin de secties aangegeven. Hiermee is het mogelijk om te zien welke plaats op het circuit hoort bij de plaats van de cursor in de grafiek. De track map wordt door het systeem getekend met behulp van de gegevens van snelheid- en laterale acceleratiesensoren. De beacon moet hiervoor langs de baan staan en het is aan te raden om eerst twee ronden rustiger te rijden om een goede track map te kunnen creëren.

Begin eerst met het doelgericht zoeken naar specifieke problemen, om de setup en het commentaar van de coureur te controleren. Vervolgens kunnen de grafieken algemeen worden bekeken en kan worden gezocht naar interessante verschijnselen. Doelgericht zoeken begint met het combineren van de juiste grafieken. De gevonden patronen en waarden zullen de verwachtingen bevestigen of ontkennen of ze kunnen aanwijzingen geven voor verder onderzoek.

Het is belangrijk om met de coureur te praten, de banden te bekijken en eventueel iemand naar een problematische bocht te sturen om te kijken wat er gebeurt. Hoe meer informatie hoe duidelijker de verklaring voor de verschijnselen in de grafieken worden.

Slecht rijden van de coureur wijst meestal op een verkeerde afstelling of chassis probleem. Als bijvoorbeeld de auto niet goed in balans is, is het voor de coureur niet mogelijk om de remmen en het gaspedaal agressief te bedienen. Als een coureur geen vol gas kan geven is dit meestal het eerste teken dat de afstelling van het chassis niet in orde is. Kijk naar de gaspedaalposities in verschillende bochten en kijk ook naar de gemiddelde gaspedaalstand tijdens een volledige ronde.

Het is dus belangrijk om het probleem eerst in de auto te zoeken. Er moet op gelet worden dat de coureur zich niet aangevallen voelt of dat zijn zelfvertrouwen geschaad wordt. Kijk goed naar het schakelen, remmen en optrekken, hier is vaak met relatief weinig moeite snelheidswinst te boeken. Tenzij je op een circuit bent waar bochtgedrag belangrijk is of als er een probleem met de hanteerbaarheid van de auto is, moet je eerst zorgen dat deze drie variabelen in orde zijn. Met remmen kan bijvoorbeeld tijdswinst geboekt worden omdat de auto langer met een hoge snelheid kan blijven rijden.

Testen en racen

Om data acquisitie op de juiste manier te gebruiken tijdens testen en racen moeten vier dingen in acht genomen worden:

- Als er op het circuit gereden wordt moet het systeem altijd gebruikt worden. Zelfs de kortste testronde of opwarmronde kan belangrijke informatie opleveren.
- Bekijk de opgeslagen informatie zo snel mogelijk. Praat eerst met de coureur, zijn ervaringen van de gereden ronden zijn nu nog vers. Bekijk vervolgens samen met de coureur de opgeslagen informatie en bespreek wat er veranderd moet worden.
- Bekijk de informatie later altijd nog een keer op je gemak. De tijdsdruk op het circuit maakt het vaak onmogelijk om de data geheel en tot in detail te bestuderen.
- Gebruik je racekennis. Het gebruiken van een data acquisitie systeem is geen toveren. Om er voordelen mee te behalen moet je kennis hebben van de auto, de coureur en het circuit. Om waardevolle informatie uit de data te filteren is het belangrijk om inzicht te hebben en gezond verstand te gebruiken.

Testdagen bestaan vaak uit veel sessies die in hoog tempo uitgevoerd worden. Deze aanpak geeft de mogelijkheid veel afstellingen te proberen, maar er blijft minder tijd over voor het tot in detail analyseren van de data. De analyse vindt plaats door gesprekken met de coureur, direct na de gereden sessie. Met het oog op de gegevens wordt een nieuw te proberen afstelling bepaald. Diepte analyses vinden in de pauzes en na het testen plaats.

Het schema tijdens een race weekend geeft meer ruimte voor het analyseren van de verzamelde data.

2.4 Meetnauwkeurigheid

Bij het gebruik van een data acquisitie systeem moet er met een aantal fouten rekening gehouden worden. In de eerste plaats zijn de meetfout, de resolutie en het meetbereik van de sensoren belangrijk. Vervolgens spelen ook fouten door installatie van de logger en kalibratie van de sensoren een rol.

Het is heel belangrijk om de meetnauwkeurigheid van de sensoren te weten en hier rekening mee te houden. Anders gebruik je informatie die er heel geloofwaardig uitziet, maar die eigenlijk niet klopt. Ook de reproduceerbaarheid van de sensor is hiervoor van belang. De reproduceerbaarheid geeft aan of bij een bepaald ingangssignaal ook altijd hetzelfde uitgangssignaal afgegeven wordt. De resolutie is de stapgrootte van de sensor. Dit geeft dus de kleinst meetbare verandering. Het meetbereik geeft aan welke minimale en maximale waarden de sensor kan meten. Hier is tevens de overbelastbaarheid van belang. Een MAP sensor die de onderdruk in het spruitstuk meet, mag bijvoorbeeld niet kapot gaan als er door backfire een grote overdruk in het spruitstuk optreedt. Bij het gebruiken van sensoren moet ook gelet worden op storingen op het sensorsignaal. Tenslotte is de prijs van sensoren een bepalende factor. Een meer nauwkeurige sensor is vaak veel duurder, er moet dan wel afgewogen of die extra nauwkeurigheid vereist is.

Mogelijke fouten die kunnen optreden door het 'verkeerd' installeren van de logger staan hieronder beschreven.

Bekabeling

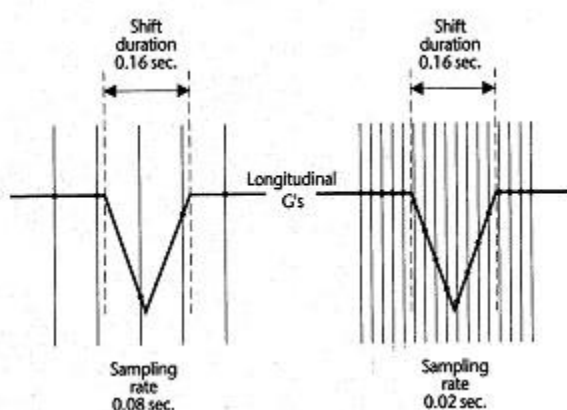
De kabels van de sensoren mogen niet te dicht langs hete of bewegende delen komen, ook mogen de kabels nergens langs schuren. Pas op voor olie, koelvloeistof en remolie lekkages. Storingsbronnen zoals de dynamo of bougiekabels moeten vermeden worden bij het aanleggen van de bekabeling. De kabels moeten bij de sensoren iets langer gehouden worden, zodat ze niet uit de connectoren getrokken worden.

G-krachtsensor

Bij sommige systemen is de G-krachtsensor in de logger ingebouwd. De logger kan het beste zo dicht mogelijk bij het zwaartepunt bevestigd worden. De bewegingen van de carrosserie hebben dan de minste invloed op de gemeten G-krachten. Ook moet de logger in verband met de G-kracht sensor horizontaal gemonteerd worden. 1 G is gelijk aan de zwaartekrachtversnelling ($9,81\text{m/s}^2$).

Alle sensoren moeten op de juiste manier worden gekalibreerd. Hoe dit precies in zijn werk gaat, verschilt per soort sensor en is te vinden in de handleiding van het data acquisitie systeem. Er moeten ook een aantal constanten worden ingevuld zoals de wielomtrek, wielbasis en het gewicht van de auto. Als dit niet nauwkeurig gebeurt dan heeft dit ook weer meetfouten tot gevolg.

Ook de sampling frequentie van het systeem is van belang. De signalen van de sensoren veranderen constant, het systeem neemt echter per tijdsinterval waarden over. De grootte van dit tijdsinterval bepaalt de sampling frequentie. De sampling frequentie wordt aangegeven als het aantal samples per seconde. De sampling frequentie moet ongeveer 8 keer groter zijn dan de frequentie van het te meten signaal. Anders worden niet alle pieken en dalen van het te meten signaal waargenomen. Zie ook afbeelding 2.7.



Afb. 2.7 Sampling frequentie

De sampling frequentie bepaalt samen met het aantal te meten signalen de maximale tijdsduur waarover gelogd kan worden. Hoe hoger de sampling frequentie en het aantal te meten signalen hoe korter de te loggen tijd. Het geheugen is namelijk beperkt, dus hoe vaker en hoe meer signalen worden opgeslagen, hoe eerder het geheugen vol is.

3. Werkwijze

De hier volgende stappen zijn een beschrijving van hoe data acquisitie moet worden toegepast. Het is dus een recept voor het gebruiken van data acquisitie. Hierbij wordt er van uitgegaan dat de zes signalen (snelheid, toerental, gaspedaalstand, longitudinale en laterale G-kracht en stuurwielverdraaiing) die eerder genoemd zijn en een aantal motorparameters aanwezig zijn. De stappen zijn ook in een zogenaamd stappenplan te vinden in bijlage VI. Dit is een gemakkelijke samenvatting van de te nemen stappen bij data acquisitie.

3.1 Stap 1: Voorbereiding

De eerste stap is de voorbereiding. Voor er gereden gaat worden moeten een aantal zaken genoteerd worden op een tijdenlijst. Eerst worden algemene gegevens genoteerd zoals auto, coureur, datum, circuit, circuitlengte, weer en temperatuur. Vervolgens worden ook de gegevens van de auto genoteerd zoals bandentype, bandenspanning, hoeveelheid brandstof, sporing, camber, wagenhoogte, schokbreker instelling en eventueel de positie van de vleugel. Tevens moet de instelling van de display van de auto worden gecontroleerd en de sensoren moeten worden gekalibreerd.

Tenslotte moet de beacon worden geplaatst langs de baan. De plaats van de beacon moet gemarkeerd worden. Om van onder andere het split report gebruik te kunnen maken moet de beacon bij de andere sessies namelijk op dezelfde plaats staan. Tijdens het rijden moet met een stopwatch de rondetijden worden bijgehouden, dit ter controle van de door de data logger gemeten rondetijden.

3.2 Stap 2: Bij binnenkomst

De tweede stap is het uitlezen van de gegevens in de data logger na het rijden. Dit gebeurt door middel van een verbindingskabel tussen de laptop en de data logger. De gegevens worden opgeslagen in een bestand op de laptop. Het bestand krijgt bijvoorbeeld de volgende naam, mbfp1/2-230301. De eerste twee letters staan voor de coureur, hier Michael Bleekemolen. Fp1 staat voor free practice 1, dit is dus de eerste vrije training. /2 staat voor de tweede sessie in de vrije training. 230301 is de datum.

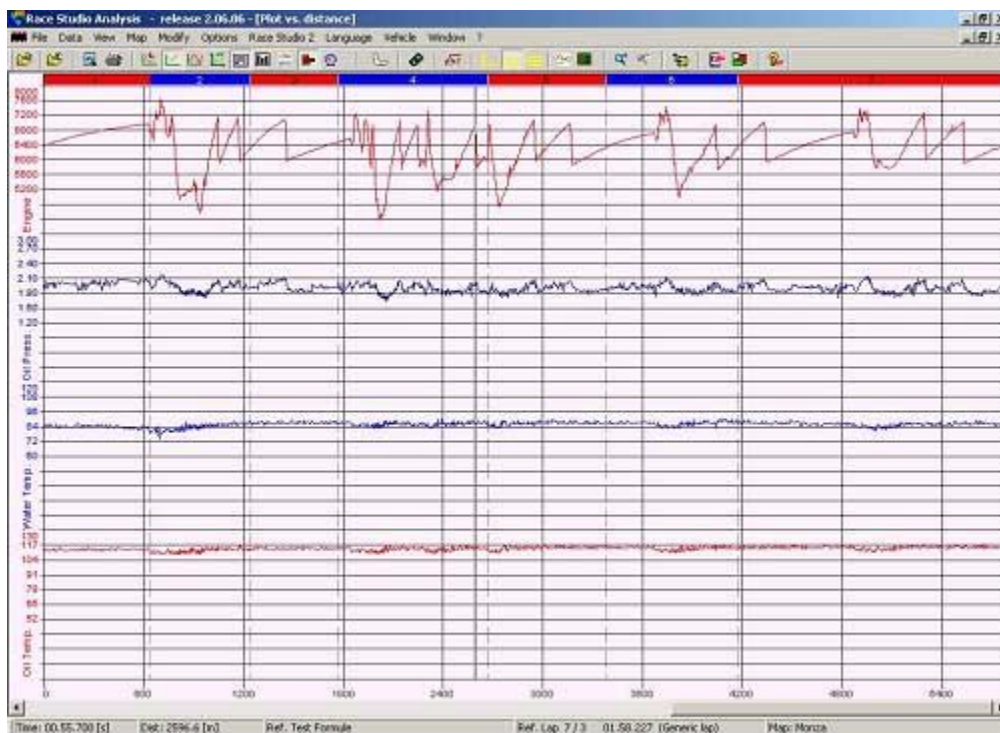
Tijdens binnenkomst in de pitstraat wordt door de monteurs de bandenspanningen en temperaturen gemeten en genoteerd. De bandentemperatuur wordt op drie plaatsen van het loopvlak van de band gemeten. De temperatuur van de band daalt snel, dus dit moet direct gemeten worden.

Tijdens de stop bespreekt de engineer (hoofdmonteur) met de coureur of er direct wijzigingen doorgevoerd moeten worden aan de auto. Als de coureur meteen aangeeft dat de auto last heeft van bijvoorbeeld over- of onderstuur, te veel overhellen of instabiliteit bij hoge snelheden, kan met de theorie uit bijlage I al naar een oplossing worden gezocht. Bekijk later in de data of deze wijzigingen gewerkt hebben. Het is belangrijk dat de eventuele wijzigingen worden genoteerd op zowel de tijdenlijst als op de comment sheet. Een comment sheet is een formulier, waarop de coureur kan invullen hoe de auto aanvoelde en wat er is gebeurd op de baan. Het comment sheet dat gebruikt is, is te vinden in bijlage III.

3.3 Stap 3: Controle

De derde stap is het controleren van de motorparameters. Het doel hiervan is te controleren of de motor nog in goede conditie verkeerd en of er geen vreemde dingen zijn gebeurd. De motorparameters worden ingevuld op een hiervoor ontworpen formulier dat is te vinden in bijlage IV. De grenzen waarbinnen de motorparameters moeten liggen zijn op het formulier in de bijlage ingevuld. Als de gemeten waarden buiten deze grenzen liggen moet de engineer worden gewaarschuwd. Allereerst worden de motorparameters in grafiekvorm bekeken om het verloop duidelijk te zien. Op deze manier is snel het verloop van de temperatuur of druk te zien, ook is in een oogopslag te zien of bijvoorbeeld de oliedruk nergens is weggevallen.

In afbeelding 3.1 is een grafiek te zien die gebruikt is voor het controleren van de motorparameters.



Afb. 3.1 Motorparameters

Vervolgens kan in het channels report worden gezien wat de minimale, maximale en gemiddelde waarden zijn geweest.

3.4 Stap 4: Snelste ronde

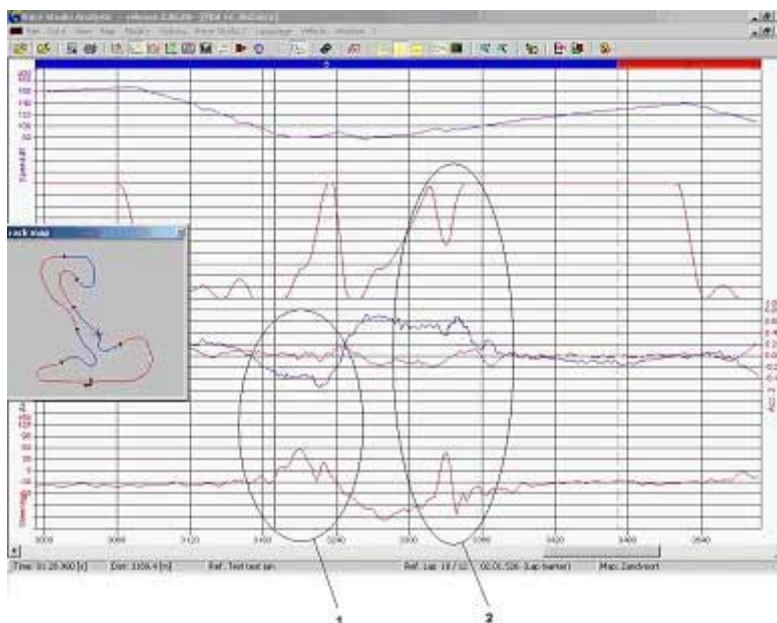
Stap vier is het zoeken van de snelste ronde. De snelste ronde is het uitgangspunt voor het analyseren van de wegligging. Vervolgens moet er in het split report (zie afbeelding 2.5) worden gezocht naar eventueel snellere secties in andere ronden. Hiermee kan worden bepaald of er theoretisch nog ergens tijd gewonnen kan worden. Let in het split report op te grote tijdverschillen, vooral in de laatste sectie. Deze kunnen duiden op verkeerde berekeningen van sectietijden, door bijvoorbeeld blokkeren of doorslippen van de wielen.

3.5 Stap 5: Analyse

Stap vijf is het analyseren van de wegligging. Kijk hierbij naar de zes grafieken onder elkaar met boven aan de snelheid, daaronder het toerental en vervolgens gaspedaal stand, longitudinale G-kracht, laterale G-kracht en stuurwielverdraaiing. Deze grafieken worden uitgezet tegen de afstand. Bekijk de grafieken snel en noteer wat er opvalt. Bestudeer vervolgens, als de tijd het toelaat, de opvallende zaken tot in detail, ga anders na de test verder met de analyse.

Als een coureur geen vol gas kan geven is dit meestal het eerste teken dat de afstelling van de auto niet in orde is. Kijk naar de gaspedaalposities in verschillende bochten en kijk ook naar de gemiddelde gaspedaalstand tijdens een volledige ronde. Zoek naar plaatsen van over- en onderstuur, eventueel met behulp van de formule (zie bijlage II).

Vervolgens kan met de in de bijlage behandelde theorie over wegligging en afstelling in het achterhoofd worden nagedacht over veranderingen in de afstelling.



Afb. 3.2 Onder- en overstuur

In afb 3.2 zijn vijf grafieken weergegeven, van boven naar onder staan de snelheid, toerental, gaspedaalpositie, longitudinale G-kracht, laterale G-kracht en stuurwielverdraaiing.

Linksonder is de track map te zien. Het kruisje in de track map komt overeen met de plaats in de grafiek.

Uit cirkel 1 is op te maken dat de auto onderhevig is aan onderstuur bij het insturen van de bocht. Er is te zien dat bij het insturen de laterale G-kracht niet toeneemt. Dit is een teken dat de auto over de voorwielen doorglijdt, er treedt hier dus onderstuur op. Ook moet even het gaspedaal ingehouden worden.

In cirkel 2 is te zien dat er bij het uitkomen van de bocht overstuur optreedt. Er is te zien dat het stuur helemaal naar rechts moet worden gedraaid tijdens het rijden in de bocht in de bocht naar links, daarna wordt er opnieuw ingestuurd om de bocht af te maken. De laterale G-kracht piekt hier even omhoog en ook is te zien dat er van het gas moet worden gegaan. Deze zaken duiden samen op overstuur.

Om de verschijnselen van onderstuur en overstuur op te lossen verwijzen we naar bijlage I, hoofdstuk 1.6.

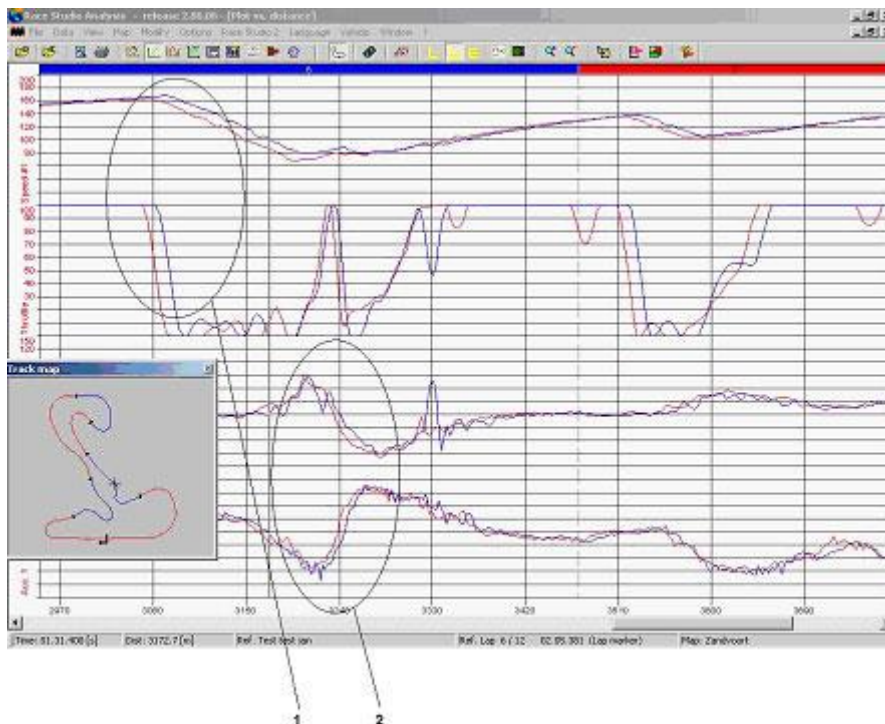
Een belangrijk punt bij het analyseren van de wegligging is de bochttechniek van de coureur. De G-kracht van het remmen (longitudinaal) zou vloeiend moeten overgaan in de G-kracht van de bocht (lateraal). Zo wordt namelijk optimaal gebruik gemaakt van de grip van de banden. In de grafiek van de formule corrected G (zie bijlage II) is dit goed te zien, er mag dan geen dip in de lijn voorkomen.

3.6 Stap 6: Vergelijken

Stap zes is het vergelijken van de snelheidslijnen van verschillende ronden.

Het beste is om de snelste ronde van de laatste sessie over de snelste ronde van de vorige sessie te leggen. Zoek waar de auto en coureur sneller of langzamer waren met behulp van het split report en zoek uit waarom. Zijn de schakelpunten of instuurpunten anders? Daarna kan bepaald worden hoe de afstelling veranderd zou moeten worden. Praat hiervoor ook met de coureur en engineer en bespreek samen de comment sheet en de gelogde data. De veranderingen die worden doorgevoerd moeten weer worden genoteerd op de tijdenlijst en comment sheet.

Ook kan vaak in hetzelfde team de snelste ronde van een coureur met de snelste ronde van een andere coureur vergeleken worden om het rijgedrag van de coureurs te analyseren. Kijk naar verschillen in schakelpunten, rempunten, instuurpunten en bochtsnelheden.



Afb. 3.4 Vergelijking twee coureurs

In afbeelding 3.4 is een vergelijking tussen twee coureurs te zien. Onder elkaar staan snelheid, gaspedaalstand, longitudinale en laterale G-kracht en de stuurwielverdraaiing. In cirkel 1 is te zien dat de coureur van de rode lijn eerder remt en gas los laat en daardoor snelheid en tijd verliest.

In cirkel 2 is het verschil in bochttechniek te zien. De stuurwielverdraaiing en het verloop van de laterale G-kracht is verschillend. Ook het uitkomen van de bocht, met name op het gas gaan, is verschillend. Vervolgens moet in het split report bekeken worden aan de hand van de tijd van deze sectie, welke bochttechniek het snelste is. Kijk dan ook naar meerdere ronden om hier zeker van te zijn.

3.7 Stap 7: Evaluatie

Ga nogmaals met de tijdenlijst, comment sheet en aantekeningen van de data analyse naar de coureur(s) en engineer en bespreek de resultaten. Vooral belangrijk is dat de coureurs ervaringen uitwisselen over de in de data gevonden ideale rempunten, instuurpunten en bochttechnieken. Deze theoretische idealen kunnen in de praktijk niet altijd haalbaar zijn. Neem samen een besluit over de afstelling van de auto. Tenslotte moet de tijdenlijst samen met de comment sheet worden bewaard.

4. Conclusies en aanbevelingen

In dit verslag is een beschrijving gegeven van wat een data acquisitie systeem is en hoe het gebruikt zou moeten worden om de wegligging en rijtechnieken te optimaliseren. Om een data acquisitie systeem effectief te kunnen gebruiken is kennis nodig van wegligging, weggedrag en afstel mogelijkheden. Het effectief werken met data acquisitie systemen vraagt een nieuwe insteek en is een volledige dagtaak voor minstens één persoon.

De essentie van het gebruiken van data acquisitie systemen is het begrijpen van de data. De getallen op zich zijn eenvoudig af te lezen en geven alleen eindresultaten weer. Ze geven aan wat er gebeurt, hierna is te bepalen waarom dat gebeurt. Als men weet waarom bepaalde dingen gebeuren, kan men ook gaan voorspellen wat de invloed van bepaalde afstellingen zal zijn op de rondetijden en het weggedrag van de auto. De invloeden van veranderingen aan de auto moeten in de praktijk altijd getest worden. De theorie en de praktijk stemmen namelijk niet altijd overeen.

Het doel dat met data acquisitie bereikt moet worden en het budget dat hiervoor beschikbaar is, bepalen hoe uitgebreid het data acquisitie systeem wordt. Een systeem dat voor wegligging optimalisatie gebruikt gaat worden zou minstens de volgende zes ingangskanalen moeten bevatten: snelheid, toerental, stuurwielverdraaiing, gaspedaalpositie en G-krachten in lengte- en dwarsrichting.

Bij het gebruik van een data acquisitie systeem moet er met een aantal fouten rekening gehouden worden. In de eerste plaats zijn de meetfout, de resolutie en het meetbereik van de sensoren belangrijk. Vervolgens spelen ook fouten door installatie van de logger en kalibratie van de sensoren een rol.

Om data acquisitie op de juiste manier te gebruiken tijdens testen en racen moeten vier dingen in acht genomen worden:

- Als er op het circuit gereden wordt moet het systeem altijd gebruikt worden. Zelfs de kortste testronde of opwarmronde kan belangrijke informatie opleveren.
- Bekijk de opgeslagen informatie zo snel mogelijk. Praat eerst met de coureur, zijn ervaringen van de gereden ronden zijn nu nog vers. Bekijk vervolgens samen met de coureur de opgeslagen informatie en bespreek wat er veranderd moet worden.
- Bekijk de informatie later altijd nog een keer op je gemak. De tijdsdruk op het circuit maakt het vaak onmogelijk om de data geheel en tot in detail te bestuderen.
- Gebruik je racekennis. Om er voordelen mee te behalen moet men kennis hebben van de auto, de coureur en het circuit. Om waardevolle informatie uit de data te filteren is het belangrijk om inzicht te hebben en gezond verstand te gebruiken.

Literatuurlijst

Arkenbosch, M. e.a., De automobiel deel 4. Het rijdend gedeelte. Deventer: Kluwer Technische boeken B.V., 1989.
ISBN: 90-201-2216-9

Drack Data acquisition system. San Diego, 1999.

Fey, B., Using racecar data acquisition. Memphis: Towery publishing, 1993.
ISBN: 1-88109-601-7

Hack, G., Auto tuning. 3e druk. Deventer: Kluwer Technische boeken B.V., 1995.
ISBN: 90-201-2928-7

Martens, P. en H.D. de Wilde, Dictaat voertuigtechniek. Weggedrag. Arnhem: HTS-Autotechniek, 2000.

Martens, P. en H.D. de Wilde, Dictaat voertuigtechniek. Comfort en wegligging. Arnhem: HTS-Autotechniek, 2000.

Motec user's manual. Electronic Performance Systems Pty Ltd, 1996.

Technische leergang. Schokdempers en vering. Amerongen: Delta Press B.V., 1990.
ISBN: 90-6674-927-x

Valkenburgh, P. Van, Race car engeneering and mechanics. Seal Beach: 1992.
ISBN: 0-9617425-0-x

Wagenaar Hummelinck, H., Woordenboek autotechniek. Utrecht: Presse-papier, 1993.
ISBN: 90-72212-20-7

Bijlage I Voertuigtechniek

In deze bijlage wordt de theorie over wegligging behandeld, deze dient bekend te zijn voordat men effectief met data acquisitie systemen kan gaan werken. Hoofdstuk 1 behandelt daarom de grondbegrippen van de voertuigdynamica. Hierin worden onder andere de wielstanden en hun invloeden beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 2 de rijeigenschappen in het grensgebied en invloeden van de aërodynamica behandeld. In hoofdstuk 3 komen de voertuigweerstand aan de orde. In hoofdstuk 4 zal worden ingegaan op de dynamische voertuigstabiliteit.

Inhoud

Symbolenlijst²⁹

1. Voertuigdynamica
 - 1.1 Inleiding
 - 1.2 Wielgeometrie
 - 1.2.1 Wielvlucht
 - 1.2.2 Fuseedwarshelling
 - 1.2.3 Schuurstraal
 - 1.2.4 Fuseelangshelling
 - 1.2.5 Sporing
 - 1.2.6 Spoorbreedte
 - 1.3 De stabilisatorstang
 - 1.4 Vering en demping
 - 1.5 Banden
 - 1.6 Overstuur en onderstuur
2. Rijeigenschappen
 - 2.1 Inleiding
 - 2.2 Rijeigenschappen in het grensgebied
 - 2.3 De invloed van aërodynamica
3. Voertuigweerstand
 - 3.1 Inleiding
 - 3.2 Rolweerstand
 - 3.3 Hellingweerstand
 - 3.4 Luchtweerstand
 - 3.5 Versnellingsweerstand
 - 3.6 Overige weerstanden
4. Dynamische voertuigstabiliteit
 - 4.1 Inleiding
 - 4.2 Regelsysteem bestuurder-auto-omgeving
 - 4.3 Carrosserie- en voertuigbewegingen
 - 4.4 Stabiliteit

Symbolenlijst

Grootheid Symbool Eenheid

Snelheid v	m/s
Zwaartepunt Z	m
Zwaartekrachtsversnelling g	m/s ²
Verticale kracht F_z	N
Spoorkracht F_y	N
Statische druk P_s	N/m ²
Rolmoment M_r	Nm
Bochtmiddelpunt M	m
Sporing s	m
Wielvluchthoek / camber γ	rad
Fuseedwarshelling/ kingpin inclination d/k	rad
Schuurstraal r_s	m
Fuseelangshelling t	rad
Naloop / caster n	m
Drifthoek d	rad

1. Voertuigdynamica

1.1 Inleiding

Om data acquisitie optimaal te kunnen gebruiken voor het afstellen van de auto, is het nodig om de grondbegrippen van de voertuigdynamica te begrijpen. Ook is het belangrijk te weten hoe de wegligging wordt beïnvloed door de wielgeometrie. De invloeden van veranderingen aan de wielgeometrie moeten in de praktijk altijd getest worden. De theorie en de praktijk stemmen namelijk niet altijd overeen.

Er moet duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen auto's die aan het verkeer op de openbare weg deelnemen en raceauto's. Bij raceauto's worden vergaande wijzigingen doorgevoerd. Elke afstelling van het onderstel van een straatauto is een compromis, dat niet alleen voor probleemloze rijeigenschappen, maar ook voor bevredigend veercomfort moet zorgen. Als met een auto geracet gaat worden, zijn er dus altijd verbeteringen in de wegligging te bereiken. Daardoor zal het comfort echter wel afnemen.

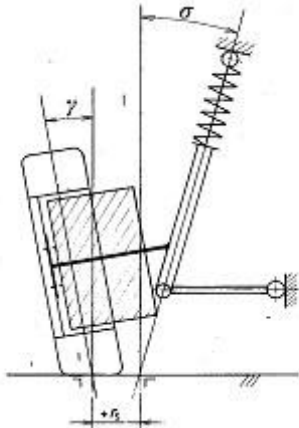
1.2 Wielgeometrie

De wielgeometrie is het geheel van wielstanden en fuseehoeken. De wielgeometrie is van groot belang voor de voertuigstabiliteit. Onder dynamische omstandigheden veranderen deze wielstanden en hoeken voortdurend. De statische wielgeometrie, bepaald bij stilstand van het voertuig, is alleen van belang voor het uitvoeren van controlemetingen aan de wielgeleiding. De statische wielgeometrie maakt het ook mogelijk de wielstanden en fuseehoeken eenduidig te definiëren.

We zullen nu de volgende begrippen behandelen: wielvlucht, fuseedwarshelling, schuurstraal, fuseelangshelling, sporing en spoorbreedte.

1.2.1 Wielvlucht

De wielvluchthoek (γ) ofwel camber wordt gedefinieerd als de scherpe hoek tussen de hartlijn van de as of asstomp en een horizontale lijn in het verticale vlak door de hartlijn. Zie afbeelding 1.1. Helt het wiel naar buiten, dan is de wielvlucht positief, helt het wiel naar binnen dan is sprake van negatieve wielvlucht.



Afb. 1.1 De wielvlucht γ , de fuseedwarshelling d en de schuurstraal r_s .

Men spreekt van een dynamische wielgeometrieverandering om de wijzigingen ten opzichte van de statische wielgeometrie aan te geven. Deze wijzigingen treden op als gevolg van de voertuigbewegingen en die tot stand komen door de wijze waarop de wielgeleiding is uitgevoerd. Zo zal bij het overhellen in een bocht het buitenste wiel een grotere wielvlucht krijgen. Hierdoor wordt de mogelijkheid tot het overbrengen van dwarskrachten verkleind. Bij een rijdend, optrekkend en remmend voertuig vinden ook wielvluchtveranderingen plaats.

Zowel voor het stuurkarakter als voor de maximaal bereikbare bochtsnelheid speelt de afstelling van het onderstel een aanzienlijke rol. Het camber kan bij veel wielophangingen gevarieerd worden. Omdat een zich tegen de buitenzijde van de bocht afzettend wiel (negatief camber) een extra zijdelingse kracht oplevert, ontstaat er extra spoorkracht waarmee hogere bochtsnelheden gehaald kunnen worden. Men kan een verandering van het camber ook aanwenden tot beïnvloeding van het stuurkarakter.

Vanwege de ongelijkmatige bandslijtage is het beter niet te veel negatief camber te kiezen, met name bij zeer brede banden. Met behulp van testen en het meten van de loopvlaktemperatuur kan de juiste afstelling gevonden worden.

1.2.2 Fuseedwarshelling

De fuseedwarshelling (d) ofwel kingpin inclination (kpi) is de scherpe hoek tussen de as van de werkelijke of denkbeeldige fuseepen en de verticaal. Zie afbeelding 1.1.

De fusee of het fuseelichaam is het stuurgewricht waaraan het wiel bevestigd is en dat vroeger draaide om een fuseepen. Tegenwoordig is deze pen vervangen door twee ophangpunten, de fusee- of stuurkogels; de rechte verbinding tussen de middelpunten van deze kogelgewrichten vormt de as waarom het wiel zwenkt bij het sturen en wordt fuseehartlijn genoemd.

1.2.3 Schuurstraal

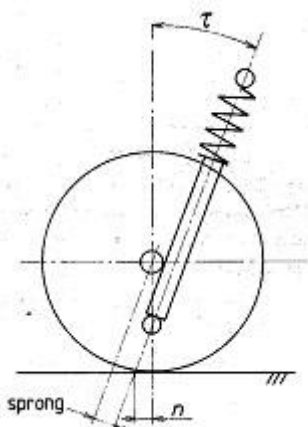
De wielvlucht, de fuseedwarshelling en de plaats van de fusee bepalen de grootte van de schuurstraal (r_s). De schuurstraal is de afstand tussen de snijlijn van het wielmiddenvlak met het wegdek en het snijpunt van het verlengde van de fuseehartlijn met het wegdek. Zie afbeelding 1.1.

1.2.4 Fuseelangshelling

Onder de fuseelangshelling (t) verstaat men de hoek die de fuseehartlijn maakt met de verticaal, gezien in het vlak parallel aan de langsas van het voertuig. Zie afbeelding 1.2.

Gewoonlijk helt de fuseehartlijn achterover: t is dan positief. Door deze helling snijdt de hartlijn het wegdek niet in het midden van het contactvlak tussen band en wegdek, maar ervoor. De afstand tussen dit snijpunt en het midden van het contactvlak wordt nalooop (caster, n) genoemd en wordt in mm aangegeven. Bij sommige auto's wordt de wielas ten opzichte van de fuseehartlijn verplaatst. Dit wordt sprong genoemd.

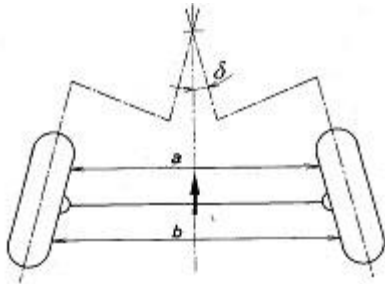
Door de fuseelangshelling en de nalooop loopt het wiel net als bij een fiets, "achter de vork aan" en blijft daardoor in het spoor. Dit effect komt tot stand door een terugstelmoment als gevolg van de dwarskrachten die in het contactvlak tussen band en wegdek aangrijpen. Het voertuig wordt meer richtingsstabiel bij hoge snelheden.



Afb. 1.2 De fuseelangshelling t , nalooop n en sprong

1.2.5 Spring

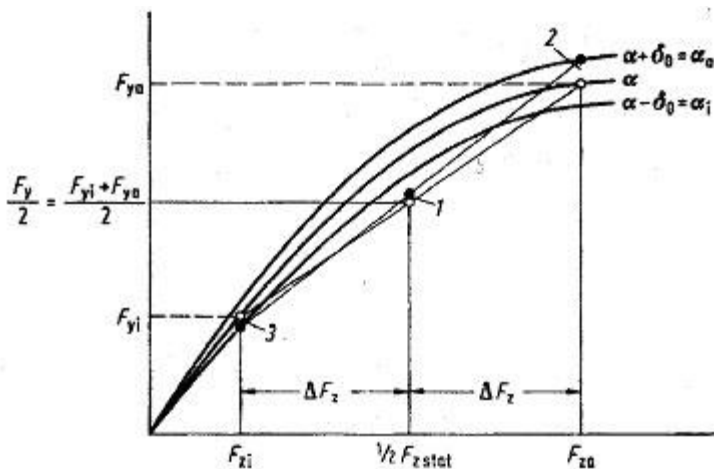
Het sporen van de wielen is het verschijnsel dat de hoek van het ene wiel zodanig op die van het andere is afgestemd dat zuiver rollen mogelijk is. Op grond van het dynamisch en elastokinematisch gedrag van voertuig en wielgeleidingen, wordt de statische wielgeometrie zodanig uitgevoerd, dat de wielen van boven af gezien onder een hoek worden geplaatst. Hierdoor zullen onder dynamische omstandigheden de wielen als gevolg van terugstelmomenten in de rechteuitstand gaan staan. Deze schuinstelling wordt aangegeven door de scherpe hoek d tussen het wielmiddenvlak en een vlak, parallel aan het voertuigmiddenvlak. Zie afbeelding 1.3. De spring $s = b - a$. Is s positief dan spreekt men van toespoor, bij negatieve s van uitspoor.



Afb. 1.3 Spring per wiel d en de totale spring $s = b - a$

De spring speelt een bijzondere rol in bochten. In afbeelding 1.4 is de invloed van toespoor in bochten te zien. De spoorkracht F_y is uitgezet tegen de verticale kracht F_z . De kromme lijnen zijn lijnen van constante drifthoek, de lijn a is de lijn zonder toespoor. De lijn au is de lijn van het buitenwiel, hier is de drifthoekverandering d_0 door toespoor bij a opgeteld. De lijn ai is de lijn van het binnenwiel, hier is de drifthoekverandering d_0 door toespoor van a afgetrokken.

Met toespoor is de totale spoorkracht groter (zie de verschuiving naar boven van punt 1) en kan de gemiddelde drifthoek dus omlaag.



Afb. 1.4 Gevolg van toespoorhoek d_0

Met betrekking tot het stuurgedrag kan theoretisch worden geconcludeerd:

- Toespoor en toespoortoename door aandrijfkrachten aan de vooras verkleinen de drifthoek voor. Uitspoor en uitspoortoename door aandrijfkrachten aan de achteras vergroten de drifthoek achter. Beide effecten zorgen voor een vermindering van het onderstuurkarakter of vergroting van het overstuurkarakter. Voor uitspoor aan de vooras en toespoor aan de achteras geldt het omgekeerde.
- Door de reductie van drifthoeken ten gevolge van toespoor stijgt de maximaal haalbare centripetaalversnelling aan de as met toespoor.

1.2.6 Spoorbreedte

De spoorbreedte is de afstand tussen de twee wielen op een as.

De spoorbreedte speelt ten aanzien van de bereikbare bochtsnelheden en het stuurkarakter van de auto een rol. Een grotere spoorbreedte maakt bij een gelijkblijvende hoogte van het zwaartepunt een betere zijdelingse afsteuning mogelijk. We kunnen de spoorbreedte aan beide assen in gelijke mate groter maken, hetgeen resulteert in hogere maximale bochtsnelheden. Ook kunnen we alleen voor of achter verbreden om de effecten van een ongewenst stuurkarakter te reduceren. Hiervoor geldt, grotere spoorbreedte voor geeft minder onderstuur, grotere spoorbreedte achter geeft minder overstuur. Dit komt doordat de as met een grotere spoorbreedte zorgt voor een geringere gewichtsoverdracht. Aan de vooras moet de spoorverbreding ook niet overdreven worden, om de besturing niet te veel te beïnvloeden.

1.3 De stabilisatorstang

We kunnen door het wijzigen van de wieldrukken aan de voor- en achteras het stuurkarakter van de auto beïnvloeden. Hiervoor kan een stabilisatorstang gebruikt worden. Het gaat hier gewoonlijk om een dwars boven of onder de assen gemonteerde torsietaaf, die aan haar omgebogen einden met de wielophanging is verbonden en die ook de veerbewegingen van het wiel volgt. Omdat een auto in een bocht steeds eenzijdig in- en uitveert, kunnen stabilisatorstangen gebruikt worden om de wieldrukken te veranderen. Tegelijkertijd zorgt de stabilisatorstang voor extra rolstijfheid.

Als een auto door een rechter bocht rijdt, dan steunt de opbouw sterk af op de buitenste, dus linker wielen. Deze veren in en de rechter wielen veren uit. Bij dit proces wordt de stabilisatorstang sterk verdraaid en oefent op het ingeveerde, dus linker voorwiel nog extra kracht uit, waardoor de wieldruk daar groter wordt dan dat deze zonder stabilisatorstang zou zijn. Gelijktijdig vermindert de wieldruk van het binnenste wiel, waardoor er grotere wieldrukverschillen tussen links en rechts ontstaan. Het gevolg is dat de drifthoek van het buitenste wiel groter is dan dat deze zou zijn zonder stabilisatorstang. Zowel aan de vooras als aan de achteras werkt een stabilisatorstang op dezelfde wijze. Daarom zijn de volgende regels van toepassing:

- Stabilisatorstang voor vermindert overstuur, maar bevordert onderstuur
- Stabilisatorstang achter vermindert onderstuur, maar bevordert overstuur

In plaats van het aanbrengen van stabilisatorstangen kunnen de bestaande exemplaren natuurlijk ook vervangen worden door dikkere of dunner exemplaren. Het is belangrijk dat ten behoeve van een evenwichtig stuurkarakter in het grensgebied de drifthoeken voor en achter ongeveer even groot zijn. Dit kan bereikt worden met behulp van de stabilisatorstangen. Hiermee kan de auto zo neutraal mogelijk afgesteld worden.

Een andere eigenschap van de stabilisatorstang is dat hij overhellen tegengaat. Bij het eenzijdig inveren in een bocht wordt de vering harder in de mate van de extra torsiekracht van de stabilisatorstang. Dit heeft tot gevolg dat de auto aan die zijde minder sterk inveert. Het binnenste wiel wordt tegelijkertijd echter opgetild, dus ontlast. De geringe invering aan de buitenzijde van de bocht en de geringe uitvering aan de binnenzijde hebben als resultaat een geringere kantelneiging van de opbouw.

1.4 Vering en demping

Bij straat auto's vormen vering en demping een compromis tussen comfort en wegligging. Bij een race auto kan de wegligging verbeterd worden door een hardere onderstelafstelling. Dit gaat dus wel ten koste van het comfort.

Door het verlagen van een auto kan het zwaartepunt omlaag gebracht worden. Dit geeft, vooral in samenwerking met een grotere spoorbreedte, een hogere maximale bochtsnelheid. De ingaande slag wordt bump en de uitgaande slag wordt rebound genoemd.

De begrenzing, van het verlagen, wordt gevormd door het inveren (veerweg) en de veeraanslag. Als een auto in statische toestand al op de veeraanslagen ligt, heeft deze dynamisch, dus tijdens het rijden, helemaal geen inveerreserve meer. Deze auto zal bij oneffenheden zeer snel het wegcontact verliezen. Een inveerweg van ten minste 40 mm is vereist om in de dynamische situatie niet het contact met de weg te verliezen doordat de auto op de veerinslag komt.

Geringere veerwegen en hardere veren vereisen het toepassen van strakker werkende schokdempers. Door de hardere demping zullen de bewegingen van de opbouw worden beperkt. Hierdoor zullen de rijeigenschappen en de hanteerbaarheid van de auto verbeteren.

De schokdempers houden de beweging van de carrosserie in toom, ook dempen ze de door wegoneffenheden en andere storende krachten in trilling gebrachte wielen en assen. Zonder demping treden aan de wielen en de assen ongecontroleerde trillingen op. Hierdoor zullen de wieldrukverhoudingen en het wegcontact verslechteren. De wegligging zal dan dus verslechteren.

1.5 Banden

Rijeigenschappen van een auto laten zich door de keuze van de banden aanmerkelijk beïnvloeden. De band bepaalt door zijn constructie, afmetingen, rubbermengselsamenstelling (compound), profielontwerp, temperatuur en

bandenspanning, mede de mate van wegligging. Brede banden met een grote diameter zijn nodig als men groot gedimensioneerde reminstallaties en gecompliceerde wielophangingen wil toepassen. Om het eigenlijke contactvlak tussen voertuig en wegdek te vergroten, worden banden en het loopvlak verbreed. Het contactvlak brengt uiteindelijk alle rijdynamische krachten, aandrijf, rem en spookkrachten, op het wegdek over. Brede banden verbeteren de krachtoverbrenging tussen wielen en wegdek, waardoor het rem- en acceleratie vermogen verbeterd wordt en de maximale bochtsnelheid hoger wordt.

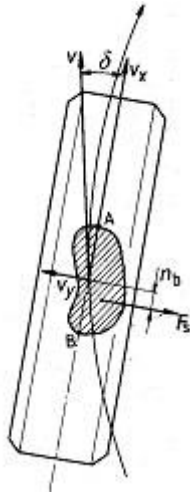
Brede banden hebben ook nog andere positieve effecten, die niet alleen met de grotere contactvlakken van doen hebben. Door de lagere zijwanden zal tussen band en velg minder vervorming optreden, wat in een hoger stuurprecisie tot uiting komt. Op grond hiervan is de drifthoek van brede banden bij gelijkblijvende spookkrachten aanzienlijk kleiner. De geringere flankhoogte heeft ook tot gevolg dat brede banden, vooral bij hoge snelheden, een geringere rolweerstand hebben. Ook bij het schuin lopen van de band, dus in bochten, is de rolweerstand minder.

Brede banden hebben echter ook een paar nadelen. Afgezien van het slechtere veer- en rolcomfort, enerzijds veroorzaakt door het stijvere loopvlak en anderzijds door de lagere en stijvere flanken, zijn er ook een aantal aërodynamische nadelen. Het rechtoetrijden gaat minder en de gevoeligheid voor richels neemt toe. Ook kan bij nat wegdek het gevaar voor aquaplaning toenemen. Tenslotte verhogen brede banden ook de luchtweerstand en de positieve lift.

Voor het optimaal functioneren van de band zijn de bandenspanning en temperatuur van de band belangrijk. De temperatuur moet over het gehele loopvlak gelijk zijn, dit betekent dat de band een goed contact heeft met het wegdek. Als de band warm wordt, neemt de bandenspanning toe. Dit geldt ook andersom. De bandenspanning moet, net als de temperatuur, direct na binnenkomst in de pitstraat gemeten en bijgesteld worden. De temperatuur waarbij de band het beste functioneert, kan bij de bandenfabrikant opgevraagd worden. Deze bandentemperatuur ligt meestal tussen 70 en 80 graden.

1.6 Overstuur en onderstuur

Bij het beschouwen van het dynamisch stuurgedrag gaat het om de invloed van de dwarskrachten (door windbelasting, door het rijden in een bocht en ten gevolge van de wiel- en fuseestanden) op de statisch-geometrische besturing. Centraal in deze beschouwing staat de drifthoek d , die ontstaat doordat het statische wielmiddenvlak door de dwarskracht uit het midden gedrukt en gedraaid wordt. Dat is mogelijk door de vervormbaarheid van de band, waardoor een dynamisch contactvlak tussen band en wegdek ontstaat. Zie afbeelding 1.5. De grootte van de drifthoek hangt af van het gewichtsaandeel van het voertuig dat op het desbetreffende wiel drukt en dus van de ligging van het zwaartepunt. Als het zwaartepunt verder naar achter ligt dan vindt er meer gewichtsoverdracht plaats aan de achteras. Andere invloeden op de grootte van de drifthoek zijn de ingestelde wielstanden en de kwaliteit en de hoedanigheid van de band.

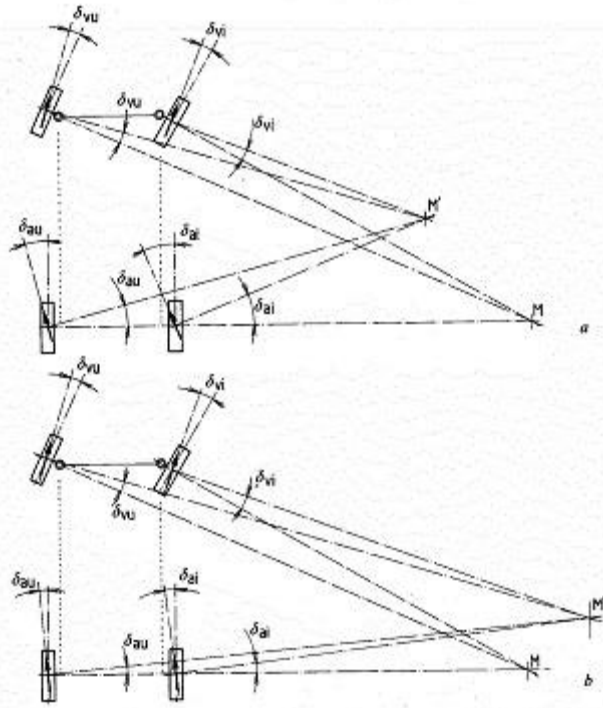


Afb. 1.5 De drifthoek δ , dwarskracht F_s , snelheden v , v_x en v_y en naloop r_b

Als gevolg van de rolweerstand, de aandrijf- en remkrachten en de daardoor optredende bandvervorming van de band op de weg zich enigszins in de rijrichting (v_x) verplaatsen. Hierdoor zal de naloop r_b veranderen en daarmee ook het moment van de dwarskracht F_s . Wanneer een rollende band spoorkrachten overdraagt, ontstaat een zijdelingse vervorming die tot gevolg heeft, dat de band zich ook in dwarsrichting verplaatst met een snelheid (v_y). De werkelijke bewegingsrichting is de resultante v van de snelheden v_x en v_y . De hoek tussen v en v_x is de drifthoek. Ten aanzien van het begrip drifthoek dienen we nog twee zeer belangrijke aspecten te onthouden:

- De spoorkracht (de som van de dwarskrachten in het contactvlak), neemt toe bij een groter wordende drifthoek
- De spoorkracht en de drifthoek nemen toe met een grotere bandbelasting (wieldruk)

Als gevolg van het driften van de achterwielen komt het werkelijke bochtmiddelpunt M' voor het statische bochtmiddelpunt M te liggen. Zie afbeelding 1.6. Hoe groot deze bochtmiddelpunt verplaatsing is hangt af van de drift, en daarmee van de belading en de snelheid waarmee de bocht wordt genomen. Op grond hiervan kan men het stuurkarakter definiëren, waarbij het verschil tussen de drifthoeken van voor- en achteras bepaalt of er sprake is van onderstuur, overstuur of een neutraal stuurkarakter.



Afb. 1.6 Verplaatsing van het bochtmiddelpunt M t.g.v. de drifthoek d: a: overstuur; b: onderstuur

Overstuur

Wanneer de drifthoek van de achteras groter is dan van de vooras, komt het bochtmiddelpunt namelijk ook dichtbij de auto te liggen (zie afbeelding 1.6 a). Dit betekent dat met een vastgezet stuurwiel en toenemende snelheid een boog met een steeds kleinere kromtestraal wordt beschreven. Als de auto op een gelijkblijvende cirkelboog moet blijven rijden, zal bij toenemende snelheid een steeds kleinere stuuruitslag nodig zijn. Dit verschijnsel wordt overstuur genoemd.

Onderstuur

Wanneer de drifthoek van de vooras groter is dan van de achteras, zal de auto met een vastgezet stuurwiel bij toenemende snelheid een boog met een steeds grotere kromtestraal beschrijven (zie afbeelding 1.6 b). Om op een gelijkblijvende cirkel te blijven rijden, moet met toenemende snelheid het stuurwiel steeds verder worden gedraaid. Dat wordt onderstuur genoemd.

Treedt geen van bovenstaande situaties op dan is het stuurkarakter neutraal. De auto drift dan over alle wielen. De meningen over welk stuurgedrag de voorkeur geniet, lopen uiteen. Bij een overwegend sportieve rijstijl heeft een in het grensgebied neutraal stuurkarakter zijn voordelen, alhoewel een onderstuurd rijgedrag onproblematisch is. Dit heeft de volgende reden. Een onderstuurd voertuig moet bewust met een grotere stuurinslag dan de te beschrijven cirkelboog de bocht ingestuurd worden, dus scherper insturen. Dit gedrag noemt men bochtwillig, de bochtweerstand is dan relatief groot. De auto schuift over de voorwielen en remt daardoor min of meer af. Het rijgedrag blijft stabiel.

Een neutraal en ook een licht overstuurd voertuig gaat gemakkelijker door de bocht. De mogelijke bochtsnelheid licht dan hoger. De stuurinslag is geringer en dient bij het overschrijden van de hechtingsgrens zo mogelijk wat terug genomen te worden, dit noemt men tegensturen. Veel overstuur dient vermeden te worden omdat dit relatief vroeg bij een lage bochtsnelheid terugnemen van de stuurinslag vraagt (tegensturen) en bij een niet voldoende of te trage stuurreactie tot het draaien van de auto zal leiden.

Het stuurkarakter wordt echter ook door het vermogen van de aangedreven assen bepaald en door de wijze van aandrijving. Bij voertuigen met voorwielaandrijving zal toevoer van teveel vermogen doorslippende voorwielen tot gevolg hebben. Bij het bereiden van een bocht veroorzaakt dit versterkt onderstuur. Bij voertuigen met achterwielaandrijving geeft dit vermogenoverschot extra overstuur. Men spreekt dan van vermogenoverstuur (power-oversteer). We kunnen overstuur onderverdelen in corner entry oversteer (overstuur bij bocht insturen) en corner exit oversteer (overstuur bij bocht uitkomen). Ook onderstuur kunnen we onderverdelen in entry en exit.

Hieronder volgen een aantal factoren die overstuur en onderstuur kunnen verminderen of zelfs elimineren. Dit zijn geen standaard oplossingen. Deze zullen altijd eerst getest moeten worden om erachter te komen of de wijziging geholpen heeft.

Factoren die entry en/of exit oversteer theoretisch verminderen of elimineren:

- Achterspoiler of achtervleugel aanpassen voor meer neerwaartse kracht op achteras
- (Sterkere) stabilisatorstang aan de vooras
- (Meer) negatief camber achter
- (Meer) uitspoor aan de vooras en (meer) toespoor aan de achteras
- Hardere demping (ingående slag, bump) of vering voor
- Grotere spoorbreedte achter
- Bredere banden en velgen achter
- Hogere bandenspanning achter om meer temperatuur en dus grip te creëren in de band

Factoren die entry en/of exit onderstuur theoretisch verminderen of elimineren:

- (Meer) negatief camber voor
- (Meer) toespoor aan de vooras en (meer) uitspoor aan de achteras
- Hardere demping (ingående slag, bump) of vering achter
- Grotere spoorbreedte voor
- (Sterkere) stabilisatorstang achter
- Voorspoiler aanpassen voor meer neerwaartse kracht op de vooras
- Bredere banden en velgen voor
- Hogere bandenspanning voor om meer temperatuur en dus grip te creëren in de band

2. Rijeigenschappen

2.1 Inleiding

Het is goed eerst het begrip rijeigenschappen of wegligging nauwkeuriger te definiëren. Een auto die goed op de weg ligt, zal aan de volgende eisen moeten voldoen:

- Hoge bochtsnelheid
- Goed beheersbaar rijgedrag in het grensgebied
- Veilig gedrag bij rijbaanwisseling en bij instationair bochtgedrag
- Rijstabiliteit bij hoge snelheden
- Voldoende ongevoeligheid voor zijdelingse krachten

Met andere woorden, een goed op de weg liggende auto moet niet alleen snel door de bocht kunnen gaan, maar gedurende alle op de auto werkende krachten en momenten stabiel en goed beheersbaar blijven. De banden, het wezenlijke krachtoverdragende constructie element tussen voertuig en wegdek, hebben een groot aandeel in de verbetering van de rijeigenschappen. Zeker bij raceauto's speelt de aërodynamische factor ook een rol.

2.2 Rijeigenschappen in het grensgebied

Onder het grensgebied verstaan we de rijomstandigheden waarbij het voertuig net begint uit te breken. Afhankelijk van het autotype, de onderstelconstructie en banden gebeurt dit of plotseling en onverwacht of goed voorspelbaar en goed beheersbaar. Het is daarom ook mogelijk dat twee verschillende auto's weliswaar een zelfde bochtsnelheid bereiken maar dat de ene in dit grensgebied problematisch en de andere makkelijk en veilig te beheersen is.

Een gevolg hiervan is dat men met de moeilijk te berijden auto een dergelijke situatie zoveel mogelijk zal vermijden en dat men met de makkelijk te beheersen auto deze situatie zonder risico aankan. Een coureur zal met een raceauto met een minder goed voorspelbaar en beheersbaar weggedrag slechtere rondetijden rijden omdat hij niet tot het uiterste kan gaan.

Bij het rijden in bochten zijn de vering (veerweg), de schokdemping en de optredende sporing- en camberveranderingen, omdat de auto bij iedere richtingverandering aan een zijde meer of minder sterk in- of uitveert, van belang. Onder bepaalde omstandigheden leidt dit tot een niet beheersbaar overhellen van de carrosserie, waarna de auto in een slip komt. Evenzeer nadelig zijn camber- en sporingveranderingen, omdat deze het voertuig sturen en uit koers kunnen brengen.

De maximale bochtsnelheid, is de maximaal bereikbare snelheid gerelateerd aan het doorlopen van een cirkelboog, voordat de auto uitbreekt. Technisch uitgedrukt is dat die snelheid waarbij er een evenwicht is tussen de centrifugaalkracht werkend uit het zwaartepunt van de auto en de dwarskrachten welke de banden kunnen verwerken. Met aërodynamische hulpmiddelen zoals spoilers en groundeffect, kan de maximale bochtsnelheid verhoogd worden. Dit komt omdat de hechtingscoëfficiënt vergroot

wordt. De band bepaalt door zijn constructie, afmetingen, rubbermengselsamenstelling (compound) en profielontwerp, de maximale bochtsnelheid. Verder zijn bijna uitsluitend constructieve factoren voor de maximale bochtsnelheid verantwoordelijk. Bijvoorbeeld ligging van het zwaartepunt, spoorbreedte, wielbasis, gewichtsverdeling, soort en uitvoering van de wielophanging en invloed van de aërodynamica.

Elk autotype heeft vastgelegde constructieve basis voorwaarden. Er moet geprobeerd worden het basisconcept te wijzigen en te verfijnen om een optimale wegligging te verkrijgen.

2.3 De invloed van aërodynamica

De laatste jaren heeft de aërodynamica veel invloed gehad op het ontwerp van raceauto's. Aërodynamica is een abstract begrip en maar weinig mensen hebben een duidelijk beeld over wat aërodynamica allemaal inhoudt.

De basisprincipes van de luchtstroming kunnen uit een boek over stromingsleer gehaald worden. Hierin zullen onder andere termen als viscositeit, turbulente en laminaire stroming, grenslaag en dichtheid uitgelegd worden. In dit geval is alleen de luchtstroming van belang en ook is het belangrijk te weten dat de luchtweerstand kwadratisch toeneemt met de snelheid. Dit wil zeggen dat als de snelheid verdubbelt, de luchtweerstand vier keer zo groot wordt. De lucht die de rijdende auto omgeeft en de in verticale richting werkende krachten leveren bij hogere snelheden het grootste deel van de rijweerstand. De verticale krachten staan bekend als opwaartse druk (positieve lift) en neerwaartse druk (negatieve lift of downforce). Bij een normale straatauto zijn deze krachten naar boven gericht en veroorzaken een opwaartse druk. De opwaartse druk vermindert de wioldrukken, verandert onder bepaalde omstandigheden de asbelastingsverdeling en reduceert de spoorkracht en grip.

Afgezien van verkleining van de luchtweerstand moet ook een effectieve aërodynamica als doel gesteld worden. We proberen de opwaartse druk te reduceren en liever nog neerwaartse druk te creëren. Met spoilers en aërodynamisch carrosserie ontwerp kunnen extra dynamische wioldrukken (oplegdruk) verkregen worden. Alleen op deze wijze zijn de hoge aandrijf- en remkrachten overdraagbaar en zijn grote dwarskrachtversnellingen mogelijk.

Als er voornamelijk problemen zijn met de wegligging bij hoge snelheid kan de oorzaak vaak gevonden worden in de aërodynamica. Als er problemen optreden op de langzamere gedeelten van het circuit, zal het probleem waarschijnlijk te vinden zijn in de afstelling van het onderstel.

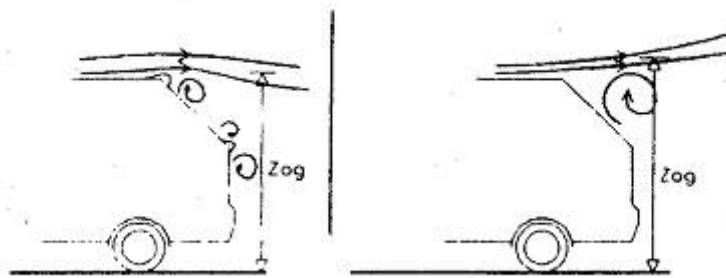
Maatregelen bij voertuigen om de aërodynamische eigenschappen te beïnvloeden zijn onder andere spoilers en vormgeving van het voertuig. De functie van een spoiler kan verschillen van het verhogen van de asbelasting tot het verbeteren van de stroomlijn, ten behoeve van de weerstandsreductie. Er moet altijd een compromis gezocht worden tussen het krijgen van neerwaartse druk of het verlagen van de luchtweerstand.

De weerstand van een spoiler wordt drag genoemd.

Spoilers op voertuigen zijn te verdelen in drie categorieën:

- Top-line spoilers
- Low-line spoilers en skirts
- Losse spoilers (vleugelprofielen)

Top-line spoilers zijn onder andere daklijnsporters en kofferbakspoilers. Een goed werkende top-line spoiler voegt relatief sterke wervels toe aan de hoofdstroming, waardoor een relatief klein zog achter het voertuig ontstaat. Zie afbeelding 2.1. De hoofdstroming met grootschalige wervels wordt verstoord door de spoilerrand en er ontstaan kleinschalige wervels met relatief hoge snelheid. Door de impulsvergroting wordt de hoofdstroming beïnvloed en naar beneden toe afgebogen. Niet alleen veroorzaakt dit een verkleining van het zog gebied achter het voertuig, maar ook een vergroting van de luchtstroming langs het achterraam.

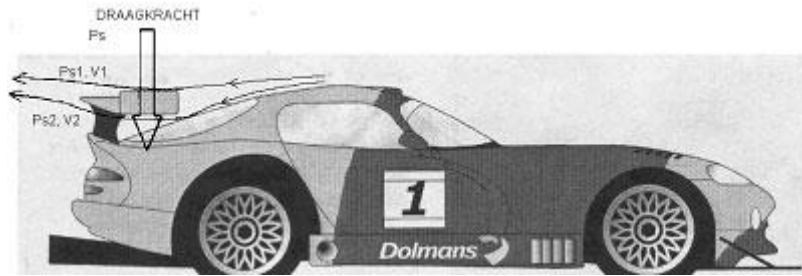


Afb. 2.1 Top-line spoiler en zog

Low-line spoilers zijn spoilers onder de voor- en achterbumper, carrossiercorrecties naast de wielen en de dorpelverlagingen (skirts). De voorspoiler beïnvloedt de stroming onder het voertuig en eventueel de luchtinlaat in het motorcompartiment. De achterspoiler heeft in samenwerking met de voorspoiler invloed op de voertuigweerstand.

Skirts zijn zeer beslist niet toegepast om de weerstand van een voertuig positief te beïnvloeden, maar puur bedoeld om de wegligging te verbeteren. Door onder het voertuig een venturi effect te creëren neemt de luchtsnelheid enorm toe. Direct gevolg hiervan is dat de druk onder het voertuig relatief laag wordt, en de verticale kracht daardoor toeneemt. De auto wordt als het ware naar het wegdek toegezogen, dit wordt ground-effect genoemd.

Losse spoilers zijn meer bedoeld om de wegligging te beïnvloeden dan om de luchtweerstand te verlagen. Door de stroming rond de spoiler gaat deze werken als een omgekeerde vleugel. Zie afbeelding 2.2. De snelheid v_2 is groter dan v_1 . Hierdoor is de statische druk P_{s2} lager dan P_{s1} . Het drukverschil veroorzaakt een resulterende kracht, die de verticale wielbelasting verhoogt. De vleugel bevindt zich relatief hoog op de carrosserie en daardoor in een versnelde stroming. Het gevolg is dat de vleugel al bij relatief lage snelheid effectief is.



Afb. 2.2 Stroming rond een losse spoiler

Voor de voertuiglijn en de vormgeving van het voertuig geldt dat er een bijna eindeloos aantal parameters zijn die de aërodynamische eigenschappen beïnvloeden. Een aantal aspecten zijn onder andere de voertuigcontour, de hellingshoek van dak- en bodemlijn, de wielen, de vorm van de neus en de onderzijde van het voertuig.

We merken op dat brede banden en velgen een negatieve invloed op de aërodynamica hebben. Ze verhogen niet alleen de luchtweerstandcoëfficiënt, maar vergroten ook de opwaartse druk. Tegenmaatregelen zijn het verlagen van de auto en het monteren van een voorspoiler. Goed geconstrueerde voorspoilers reguleren de luchtsnelheidvergroting en luchtstroming tussen voertuigbodem en wegdek. Dit heeft een onderdruk als resultaat en daaruit voortvloeiend een verminderde opwaartse druk.

3. Voertuigweerstand

3.1 Inleiding

De bewegingen van het voertuig als geheel kan men onderscheiden in het rijden bij constante snelheid, het optrekken (accelereren) en het afremmen (decelereren), hetzij in een horizontale, rechte lijn, hetzij op hellingen en in bochten.

In al deze situaties is steeds een aandrijfkracht aanwezig, die alle tegenwerkende krachten, voertuigweerstand, moet overwinnen. Houden deze krachten elkaar in evenwicht, is er dus geen vrije kracht aanwezig, dan voert de auto een eenparige rechtlijnige beweging uit. Is er wel een kracht over dan kan deze extra kracht (versnellings- en vertragingsskracht en de bochtcracht) benut worden om het voertuig te versnellen, te vertragen of in de bocht te houden.

3.2 Rolweerstand

De rolweerstand is een reactie op de aandrijf- en remkrachten en grijpt aan in het contactvlak tussen band en wegdek. Zij ontstaat voornamelijk als gevolg van energieverliezen door de voortdurende vervorming van de band.

De rolweerstand is een van de zogenaamde wielweerstand. Daartoe behoren ook de verdringingsweerstand bij nat wegdek, de wrijvingsweerstand in de wiellagers en de weerstanden die optreden als gevolg van de schuinplaatsing van de wielen.

3.3 Hellingweerstand

Rijdt een voertuig een helling op, dan wordt de gewichtskracht ontbonden in een kracht langs het wegdek en een kracht loodrecht op het wegdek. De kracht langs het wegdek noemen we de hellingsweerstand.

3.4 Luchtweerstand

De luchtweerstand is een verzamelnaam voor alle aërodynamische weerstanden, zoals drukweerstand (t.g.v. luchtdrukverschillen), wrijvingsweerstand (t.g.v. bewegingsverschil tussen voertuig en lucht) en weerstanden uit secundaire stromingen. De weerstanden uit secundaire stromingen treden op omdat het voertuig niet een hermetisch gesloten lichaam is en er via ventilatie-openingen in motorcompartiment en cabine luchtstromingen optreden.

Al de bovengenoemde weerstanden moeten door de aandrijfkracht worden overwonnen. De rol- en hellingsweerstand zijn gewichtsafhankelijk, lineair en onafhankelijk van de voertuigsnelheid. De luchtweerstand is wel afhankelijk van de voertuigsnelheid, deze neemt exponentieel toe met de snelheid van het voertuig.

3.5 Versnellingsweerstand

Als het voertuig niet alleen aan het rijden gehouden moet worden, maar ook nog eens moet worden versneld, moet de aandrijfkraft nog groter zijn. Deze toename van de aandrijfkraft wordt versnellingsweerstand genoemd. Nu bestaat een voertuig niet alleen uit translaterende massa, maar ook de roterende massa van de motor, de aandrijflijn en de wielen moeten worden versneld.

3.6 Overige weerstanden

Het aantal te overwinnen weerstanden neemt nog meer toe, als het voertuig door een bocht rijdt. Dit is de bochtweerstand.

Tenslotte spelen nog de inwendige mechanische weerstanden van de aandrijflijn mee, die ook door de aandrijfkraft moeten worden overwonnen en die worden uitgedrukt in het mechanisch rendement.

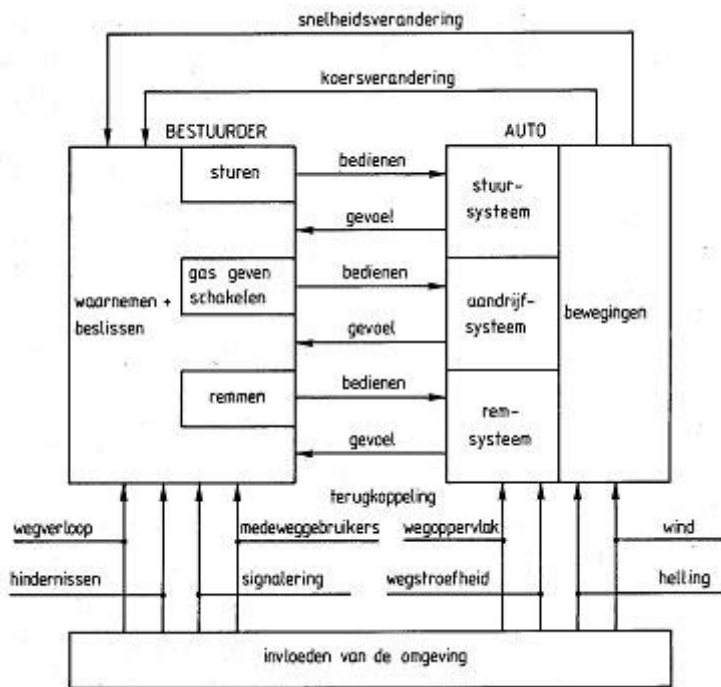
4. Dynamische voertuigstabiliteit

4.1 Inleiding

De dynamische voertuigstabiliteit heeft betrekking op alle optredende bewegingen tijdens het rijden van het voertuig. Het werkelijk dynamische voertuiggedrag is niet los te zien van de omgeving en van de ingrepen in het systeem door de bestuurder

4.2 Regelsysteem bestuurder-auto-omgeving

Het werkelijk dynamische voertuiggedrag is niet los te zien van de omgeving en van de ingrepen in het systeem door de bestuurder. In vereenvoudigde vorm is dit complexe regelsysteem bestuurder - auto - omgeving als blokschema in de afbeelding hieronder aangegeven.



Afb. 4.1 Vereenvoudigd model van het regelsysteem bestuurder - auto - omgeving

Het rijgedrag en de hanteerbaarheid hangen voor een belangrijke deel af van de snelheid van terugkoppeling van dit regelsysteem. Dat is de snelheid waarmee de door de bestuurder uitgevoerde wijzigingscommando's van de voertuigsnelheid en van de koers door het voertuig worden gerealiseerd en vervolgens door de bestuurder worden waargenomen ter eventuele correctie. Binnen deze terugkoppelsnelheid neemt de respons- of aanspreektijd van de afzonderlijke voertuigsystemen een belangrijke plaats in.

Een belangrijke invloedsfactor op deze aanspreektijd, en daarmee op de hanteerbaarheid van een rijdend voertuig, is de stijfheid van de verschillende functiegroepen en systemen. De aanwezigheid van grote elasticiteiten zorgt ervoor dat koers- en snelheidswijzigingen minder precies kunnen worden uitgevoerd en dat de bestuurder vaker moet corrigeren. Anderzijds zorgt de bewust ingebouwde elasticiteit ervoor dat de wielstanden bij belastingvariaties door het systeem zelf gecorrigeerd kunnen worden.

Een andere belangrijke invloedsfactor op de hanteerbaarheid wordt gevormd door het voortdurend wisselen van de belastingen. De bronnen van deze trillingkrachten zijn inwendig de motor, de aandrijflijn en de wielen met hun onbalanskrachten en uitwendig de omgeving en de bestuurder.

Bij een raceauto vraagt het bedienen van het stuur-, aandrijf- en remsysteem meer aandacht. Tevens is de feedback van de raceauto beter en directer dan van een straatauto. Een coureur moet in staat zijn alles sneller waar te nemen en sneller te

van de carrosserie in de vering. Ook wel 'bounce' genoemd.

-Knikken, ook wel duiken of dompen genoemd: een rotatiebeweging om een dwarsas, die bijvoorbeeld ontstaat tijdens remmen en versnellen als gevolg van de dynamische asbelastingsverplaatsing, maar die ook optreedt bij het rijden over een wegoneffenheid. Ook wel 'pitch' genoemd.

-Rollen: een rotatiebeweging om een langsas. Deze carrosseriebeweging is beter bekend als het overhellen in een bocht, maar niet alleen de centripetale kracht, ook windstoten kunnen op een overigens rechthoekig voertuig een roltrilling veroorzaken.

-Gieren of slingeren: een rotatiebeweging om de hoogtas. De term gieren wordt ook gebruikt om de rotatiebewegingen van de carrosserie en de wielgeleiding samen aan te geven, mogelijk gemaakt door de vervorming van de banden.

-Verder zijn er nog twee translaterende bewegingen in langs- en dwarsrichting van belang, die respectievelijk worden aangeduid met de termen rukken en schudden.

4.4 Stabiliteit

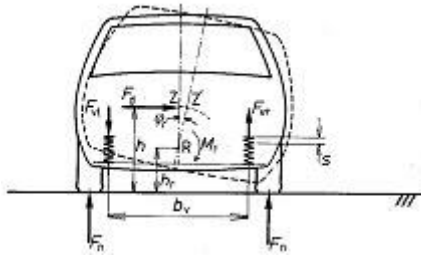
De definitie van een stabiel systeem is als het systeem na een kleine verstoring uit zijn rusttoestand weer naar deze rusttoestand terugkeert. De dynamische voertuigstabiliteit is het verschijnsel dat het rijdende voertuig, door een inwendige (bestuurder) of uitwendige stoorkracht (bocht, oneffenheid, windstoot) uit zijn dynamisch evenwicht gebracht wordt en na enige tijd weer in deze toestand terugkeert. Het voertuig is dynamisch labiel, als een kleine positie verandering leidt tot een eindig grote verwijdering van de oorspronkelijke dynamische evenwichtstoestand. Stijfheid en demping van de verborgen en bewust aangebrachte voertuigvering spelen hierbij een belangrijke rol.

De carrosseriestabiliteit is de mate waarin de carrosserie zich verzet tegen knikken, rollen en gieren.

Rolstabiliteit

De rolstijfheid is de weerstand tegen het overhellen van de carrosserie als gevolg van dwarskrachten. De carrosserie draait daarbij om de rolas, dat is de denkbeeldige as door de beide rolcentra van voor- en achteras. Zie afbeelding 4.3. Het rolcentrum is het punt waaromheen de carrosserie ter plaatse van de wielophanging zal draaien, wanneer er een draaimoment om de lengtas wordt uitgeoefend. Het betreft hier dus een draaiing in de vering, niet van het voertuig als geheel, want dat is kantelen.

Het is van belang dat men beseft dat de rolcentra slechts momentele draaipunten zijn. Zij veranderen door het inveren en de elasticiteiten van de wielgeleiding en door de bewegingen van de carrosserie voortdurend van plaats. Zij zouden bij elke wijziging van de onderlinge stand van de componenten opnieuw moeten worden bepaald. Hetzelfde geldt ook voor het zwaartepunt, dat verplaatst wordt ook tijdens de beweging. De afstand tussen rolas en zwaartepunt is bepalend voor het rolgedrag. Omdat de dwarskrachten F_d in het zwaartepunt Z aangrijpen zal het rolmoment M_r dat door de veren en dempers moet worden opgenomen, groter zijn naarmate de arm van dit moment groter is.



Afb. 4.3 Het rolmoment $M_r = F_d * (h/h_s)$ wordt door de veren opgenomen

Knikstabiliteit

De knikstabiliteit is de weerstand tegen rotatie bewegingen om de dwarsas van de voertuigcarrosserie. De rotatieas van deze beweging is de knikas (zie afbeelding 4.2), dat is de denkbeeldige rechte lijn getrokken door het gezamenlijke knikcentrum van voor en achterwielophanging. Het knikcentrum is net als het rolcentrum een momenteel draaipunt. Het knikmoment wordt door de vering en demping opgenomen.

Gierstabiliteit

De gierstijfheid is de weerstand tegen rotatiebewegingen van het voertuig om een hoogteas, de gieras, als gevolg van een giermoment. Zie afbeelding 4.2. Zo'n giermoment kan gevormd worden door windkrachten, maar het treedt ook op tijdens het rijden door een bocht of wanneer een of enkele wielen over een oneffenheid rollen.

Instabiliteit van de auto kan optreden op een recht stuk, tijdens hard accelereren en/of remmen en bij wegoneffenheden. De oorzaken van instabiliteit verschillen per situatie.

Oorzaken van instabiliteit op een recht stuk:

- Uitspoor op achterwielen door onjuiste afstelling of door dynamische verandering
- Gebrek aan neerwaartse krachten op de achteras of teveel neerwaartse kracht op de vooras
- Teveel toe- of uitspoor op de vooras
- Een defect in de wielophanging
- Speling in de wiellagers

Oorzaken van instabiliteit tijdens hard accelereren:

- Slipdifferentieel of aandrijf-as defect
- Onvoldoende toespoor op de achterwielen

Oorzaken van instabiliteit tijdens hard remmen:

Voorkant instabiel:

- Relatief te veel remkracht op de voorwielen
- Te harde demping en vering op de vooras

Achterkant instabiel:

- Relatief te veel remkracht op de achterwielen
- Te harde vering en demping op de achteras

·Te weinig negatief camber op de achterwielen

Instabiliteit bij wegoneffenheden:

- Ongelijke casterinstelling links en rechts
- Ongelijke schokdemperinstelling
- Stabilisatorstang te hard
- Te harde demping en vering op de achteras

Bijlage II Formules

Formules voor berekeningen aan gelogde parameters:

Wheelpower (vermogen aan de wielen):

$$\text{Massa} * (\text{snelheid} / 3,6) * (\text{lineaire acceleratie} * 9,81) / 745,169998$$

Speed-adjusted steer (snelheidsafhankelijke stuurwielverdraaiing):

$$\text{Stuuruitslag} * \text{snelheid} * \text{sqrt}(\text{snelheid}) * 0,001$$

Slip Factor (wielslip):

$$(\text{Snelheid n.a.v. toerental} - \text{wielsnelheid}) / \text{wielsnelheid}$$

Kus (coëfficiënt onderstuur):

$$\left(\left(\left(\text{snelheid} / 3,6 \right)^2 * \sin(\text{stuurhoek} * 0,017453) \right) - (\text{wielbasis} * \text{laterale acceleratie} * 9,81) \right) / (\text{laterale acceleratie} * 9,81 * \sin(\text{stuurhoek} * 0,017453))$$

Longitudinale G-kracht:

$$\text{differentiëren} (\text{snelheid} / 3,6) / 9,81$$

Corrected G (gecombineerde G-krachten):

$$\text{sqrt}(\text{lineaire acceleratie}^2 + \text{laterale acceleratie}^2)$$