

MET TRAINER TON SERNÉ VAN MONTEUR TOT RACE-ENGINEER

Rekenen aan racen

Hoe prepareer je een raceauto optimaal voor een bocht? Stijvere veren? Stuggere dempers? Het zwaartepunt verlagen? Dat zijn lang niet altijd de goede oplossingen. Welke dan wel? Trainer en race-engineer Ton Serné leert hobbycoureurs en professionele race teams dat uit te vinden. AMT trainde een dagje mee én bracht het geleerde in de praktijk.

DOOR ERWIN DEN HOED / FOTO'S AMT, STAN LIBUDA

"Mijn auto heeft onderstuur in de bocht", zegt een autoliefhebber stoer. "In welke fase van de bocht?", vraagt Ton Serné. Eh, heeft een bocht fases dan? Yep! En begrijpen aan welke knoppen je moet draaien om bochten sneller te ronden, begint met begrijpen wat er in die verschillende fases precies gebeurt met de auto.

Oké, aan de slag. Serné toont een bovenaanzicht van een bocht die wel wat lijkt op de Tarzanbocht van het circuit van Zandvoort: een lange 180°-bocht na een recht stuk. Aan het eind van dat rechte stuk is een raceauto natuurlijk aan het remmen. Daardoor zal de auto in meer of mindere mate 'duiken'. De voorveren zijn ingeveerd, de achterveren uitgeveerd. De beweging van de carrosserie om een horizontale lijn die loodrecht op de rijrichting staat noemen we 'pitch'. Die beweging heeft de auto gemaakt.

Fase 1

Dan komt het moment dat de coureur gaat insturen. De massa van de auto wil rechtdoor, maar de banden dwingen het voertuig de bocht in. "Dat gebeurt niet onmiddellijk", legt Serné uit. "Pas bij een kleine sliphoek ontwikkelen de

banden de laterale kracht die daarvoor nodig is. Een beetje toe- of uitspoor zet de banden op voorspanning, zodat die krachtopbouw sneller gaat. Dit is fase 1 van de bocht. Het is de kortste van de vijf fases. Hij duurt minimaal één wielomwenteling."

Carrosserie in beweging

De coureur remt nu niet meer, dus de carrosserie komt uit zijn 'duiktoestand'. Hij pitcht terug. Maar ondertussen maakt de carrosserie ook een beweging om de horizontale as in lijn met het voertuig. Die beweging noemen we 'roll'. In fase 2 maakt de carrosserie dus tegelijkertijd een pitch- en een roll-beweging. Daarmee is voor ieder wiel de beweging van de carrosserie anders. Stel je een bocht naar rechts voor. Het rechtervoorwiel veert dan uit, het linkerachterwiel veert juist in. De beweging bij de twee andere wielen is veel kleiner. Linksvoor was al ingeveerd door de pitch van het remmen en blijft dat door de roll van de bocht. En rechtsachter was al uitgeveerd en blijft dat.

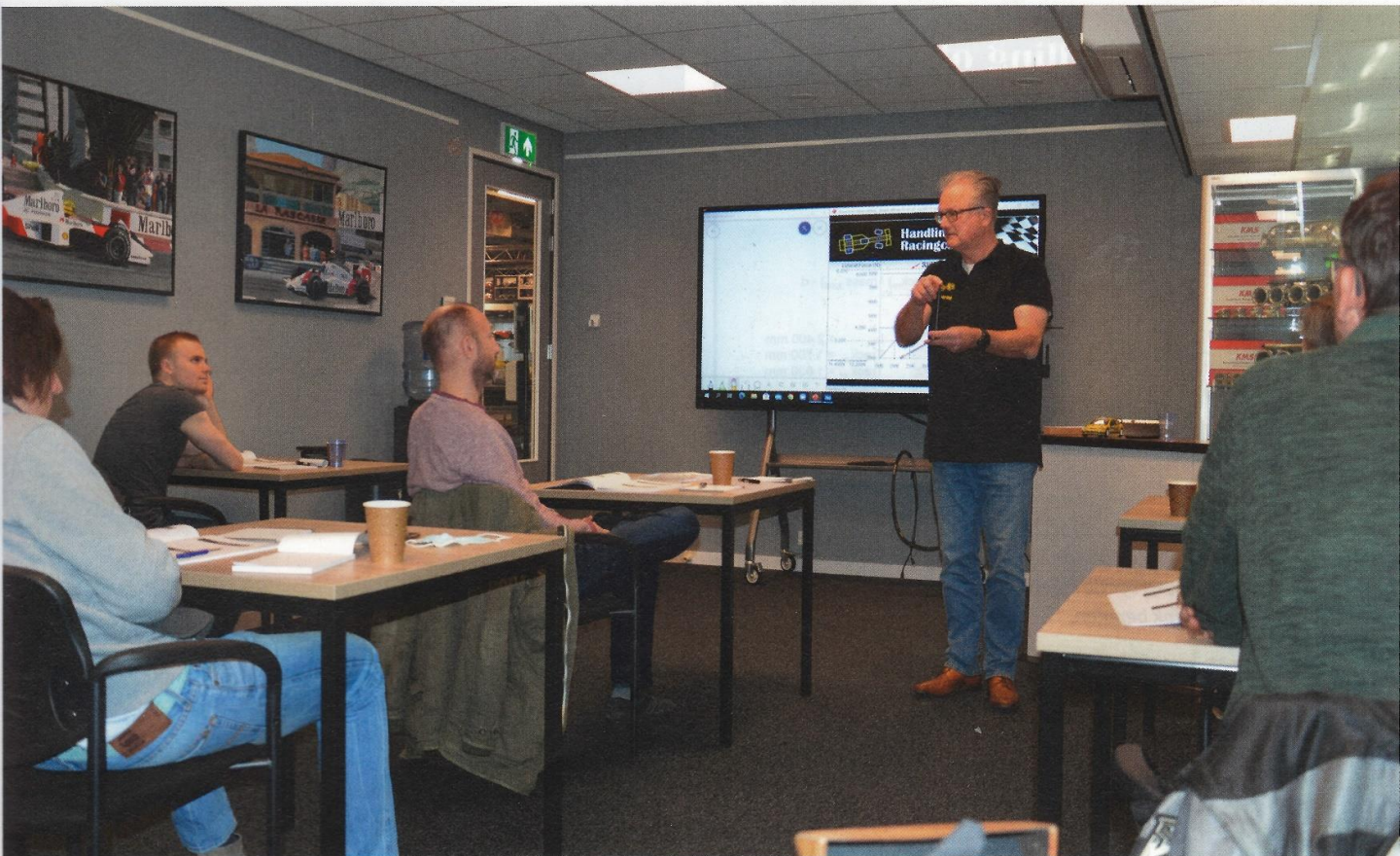
De demperatio

De snelheid van die pitch- en roll-bewegingen hangt af van de schokdempers, de grootte of uitslag ervan en van de stijf-



TON SERNÉ HANTEERT VIJF 'MAGIC NUMBERS' VOOR DE OPTIMALE WEGLIJGING VAN EEN RACEAUTO

Wat gebeurt er met een (race)auto in een bocht? En hoe kun je dat beïnvloeden met aanpassingen aan dempers, veren, stabilisatorstangen en draagarmen?



Trainer Ton Serné in actie voor een klas van coureurs en race-engineers of -monteurs op de TAC Academy in Waalwijk.

heid van de veren en stabilisatorstangen. Wat de schokdempers betreft, die moeten niet alleen de relatief trage laagfrequente bewegingen van de carrosserie door pitch en roll dempen, maar ook de veel snellere hoogfrequente die ontstaan door oneffenheden in het wegdek. Om dat goed te kunnen, is de kracht die nodig is om de zuigerstang van de demper een bepaalde snelheidsverandering te geven hoog bij hoge zuigersnelheid en laag bij lage zuigersnelheid. Overigens noemen we die kracht per snelheid de demperatio, en die demperatio verschilt normaal gesproken ook weer bij het inveren oftewel bump, en bij het uitveren, de rebound.

Bell-curve van de dempers

Serné toont software die per demper een histogram maakt van de snelheid van de zuigerstang. Dat geeft een klokvorm of bell-curve met horizontaal een reeks snelheidsranges en verticaal de tijd die de zuigerstang in iedere range doorbrengt. "Zulke software kost niet veel, maar kan je wel heel veel vertellen", weet Serné. "Een goede bell-curve is mooi symmetrisch, een versleten schokdemper haal je er meteen uit en met deze software kun je gemakkelijk twee dempers op één as selecteren die exact hetzelfde reageren."

Ton Serné hanteert vijf 'magic numbers' voor de optimale wegligging van een raceauto. De eerste hebben we nu te pakken: de bell-curve van de schokdempers.

Statische gewichtsverdeling

Gelijk door naar de tweede, dat is de statische verdeling van de massa. In de pits zie je vaak raceauto's op vier weegscha-

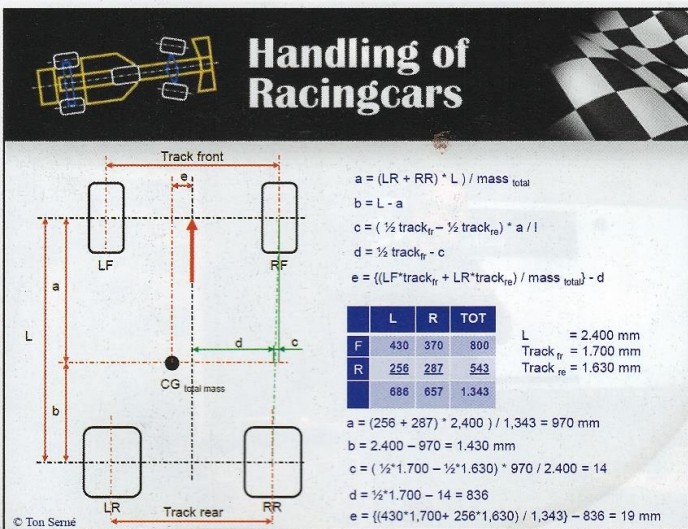


Ovalracing circuit. De Hot Rods rijden hier rechtsonder. Op deze plek zitten de auto's in fase 3 van de bocht, de fase met constante roll. Als we naar rechts kijken, zien we fase 2 met veel carrosseriebeweging en op het einde van het rechte stuk fase 1. In fase 4 en 5 (links) maakt de auto het omgekeerde door.

len staan. "Weeg inclusief coureur", adviseert Serné. En let op: "Werk op een vlakke vloer. Een millimeter verschil kan 20 kg in wieldruk schelen."

Bij zo'n weging gaat het om de diagonalen. "Als linksvoor en rechtsachter samen bijvoorbeeld flink zwaarder zijn dan

'ONDERSTUUR? IN WELKE FASE VAN DE BOCHT?'



Als je het gewicht op alle vier de wielen kent en je meet wielbasis en spoorbreedtes, dan kun je met een beetje rekenwerk de plaats van het zwaartepunt in het horizontale vlak bepalen.



Dus wegen maar.

OM HET GOED TE DOEN MOET JE OOK DE HOOGTE VAN HET ZWAARTEPUNT KENNEN

rechtsvoor en linksachter samen, dan waggelt de auto als een tafel met een te korte poot. Zo'n auto trekt scheef bij het aanremmen." De verschillende gewichten breng je in balans door de rijhoogtes op de verschillende wielen aan te passen.

Zwaartepuntsbepaling

Doe je zo'n weging, dan kun je gemakkelijk bepalen hoever het zwaartepunt voor de achteras of achter de vooras ligt. Dat is nuttige kennis voor de magic numbers die nog gaan komen, maar daarmee ben je er nog niet. Om het goed te doen, moet je ook de hoogte van het zwaartepunt kennen. Ook die kun je bepalen met de weegschalen. Maar dan moet je wel de veren blokkeren en één van de assen omhoog zetten, zodat de auto onder een hoek komt te staan. Als je die hoek kent, je weet hoeveel kilo's minder er nu op de beide hoog geplaatste weegschalen rust én je hebt goed opgelet



En meten.

toen je wiskundeleraar op de middelbare school het over sinus en cosinus had, dan kun je zo de hoogte van het zwaartepunt berekenen.

(On)afgeveerde massa

Heel mooi allemaal, maar Serné is er nog niet tevreden mee. Hij wil ook de hoogte van het zwaartepunt van de afgeveerde massa weten. Ook die kun je nu berekenen, tenminste als je het onafgeveerde gewicht kent. Dat meet je door de veer los te koppelen en dan het loshangende wiel op een weegschaal te zetten.

Tot hoever rolt de carrosserie?

Waarom Serné zo graag de hoogte van het zwaartepunt van de afgeveerde massa wil weten? "Omdat daar de centrifugale kracht aangrijpt die de roll-beweging van de carrosserie veroorzaakt." Maar aan die kracht alleen heb je niet genoeg: "De carrosserie rolt om de roll-as. Het roll-moment wordt bepaald door de grootte van de centrifugale kracht en de roll-arm. En de roll-arm is de afstand tussen roll-as en het zwaartepunt van de afgeveerde massa." Kortom, als je de hoogte van de roll-as kent, kun je het roll-moment in een bepaalde bocht berekenen. Als je dat weet, kun je bepalen in hoeverre je veren, stabilisatorstangen en de geometrie van je wielophanging in staat zijn de roll te beperken. Na de pitch- en roll-bewegingen in fase 2 van de bocht, zijn er geen relatieve carrosseriebewegingen meer in fase 3. Met het roll-moment en de tegenkrachten kun je zo de constante rolhoek in fase 3 berekenen. Na fase 3 pitcht en rolt de carrosserie weer terug in fase 4. Fase 5 is de Turning back-fase, waarin de laterale kracht op de banden wegvalt en de auto vol accelereert.

Veerconstante en motion ratio

Wat die tegenkrachten (tegen de roll) betreft: veren hebben een veerconstante. Die geeft aan hoeveel kracht er nodig is om een veer 1 mm in te duwen. Die veerconstante is vaak opgegeven, maar als het even kan, geeft Serné de voorkeur



Met één as omhoog en een beetje rekenwerk bepaal je de hoogte van het zwaartepunt.

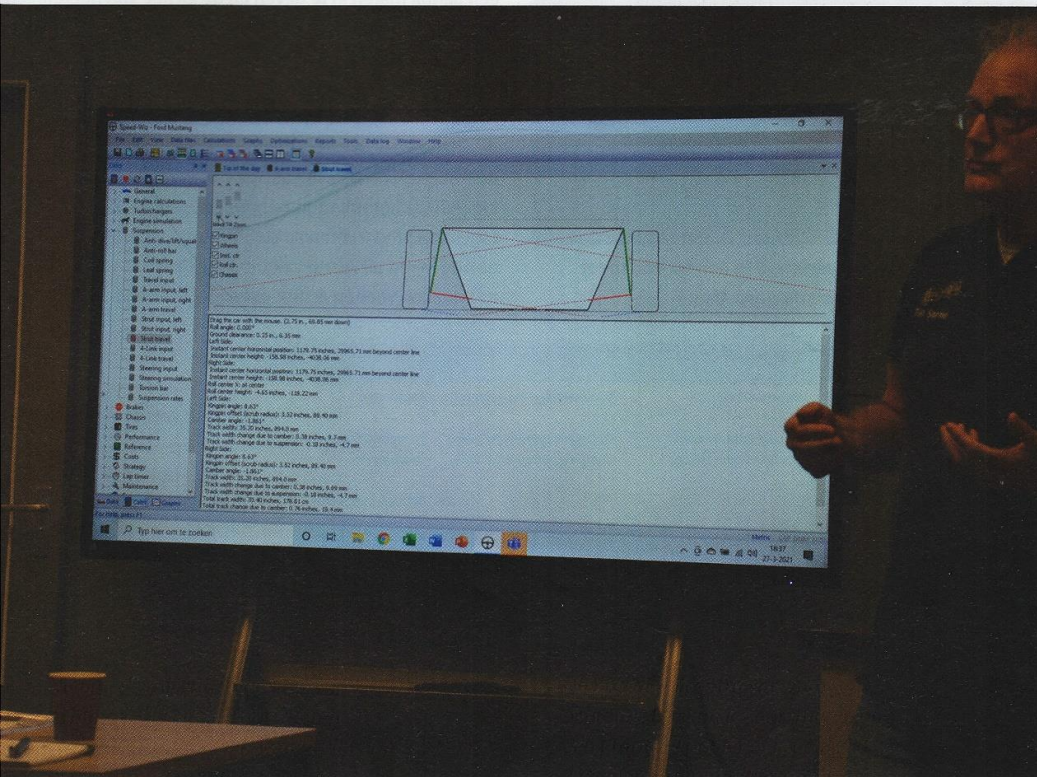


Met de auto op de krik en een losgekoppelde veer bepaal je het onafgeveerde gewicht. Weet je dat, dan kun je de hoogte van het zwaartepunt van de geveerde massa berekenen.

an meten: "Alleen zo ontdek je een verandering van de veerconstante door slijtage."
 op zich heb je nog niet zoveel aan die veerconstante: "Je moet weten hoeveel het wiel inverteert per mm veerbeweging. Dat wordt bepaald door de zogenaamde Motion Ratio. Beweegt het wiel ook een centimeter als de veer een centimeter beweegt, dan is die MR gelijk aan 1. Beweegt het wiel 1,5 cm bij 1 cm inverting dan is $MR = 1,5$. En wil je de veerconstante aan het wiel weten, dan moet je de veerconstante van de veer delen door MR^2 ", legt Serné uit. Op dezelfde manier kun je ook de tegenkracht van de stabilisatorstang berekenen.

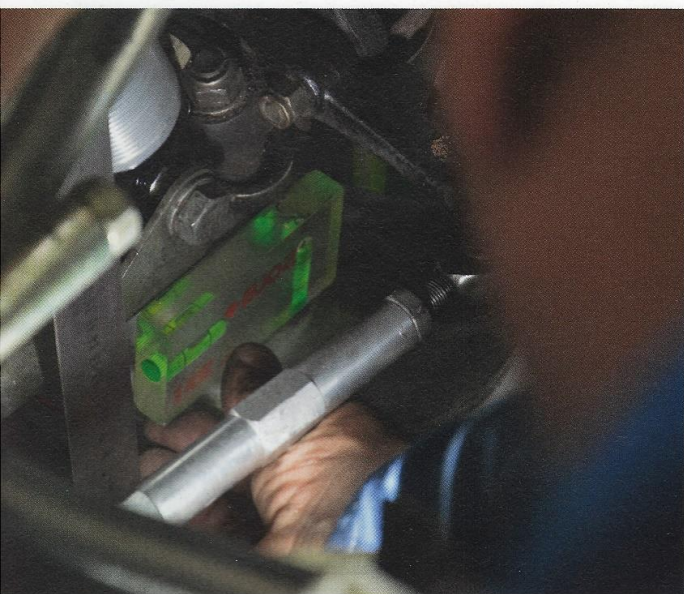
Bepaal het roll-centrum

Terug naar de roll. Om de roll-as te vinden, bepaal je zowel voor de voor- als achterwielophanging het roll-centrum. Dat is het punt waaromheen de carrosserie roteert als hij rollt. Als je de wielophanging tekent, kun je dat punt eenvoudig vinden. Bij een constructie met bovenste en onderste draagarmen verleng je die armen in je tekening tot ze elkaar ergens naast de auto kruisen. Dan trek je een lijn vanaf midden onder het wiel naar dat punt. Op de kruising van die lijn en de hartlijn van de auto vind je het roll-centrum, het draaipunt waaromheen de carrosserie rolt.

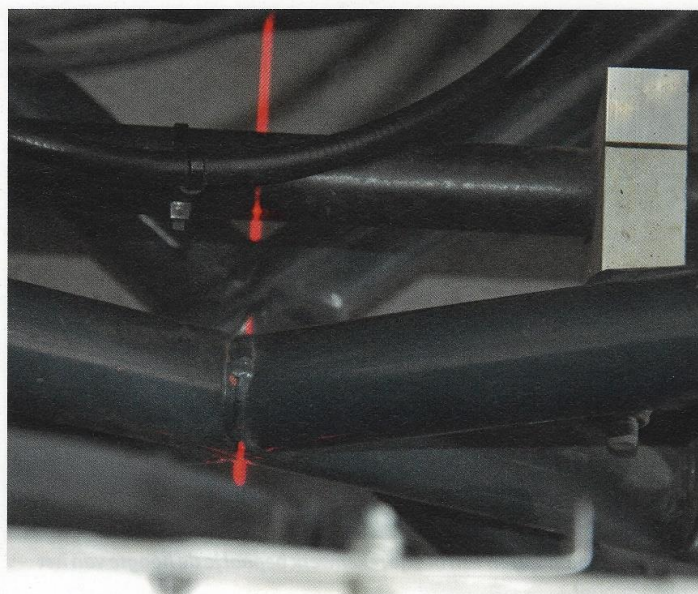


'HET KOPPEL VAN DE CENTRIFUGALE EN CENTRIPETALE KRACHT NOEMEN WE LOAD TRANSFER'

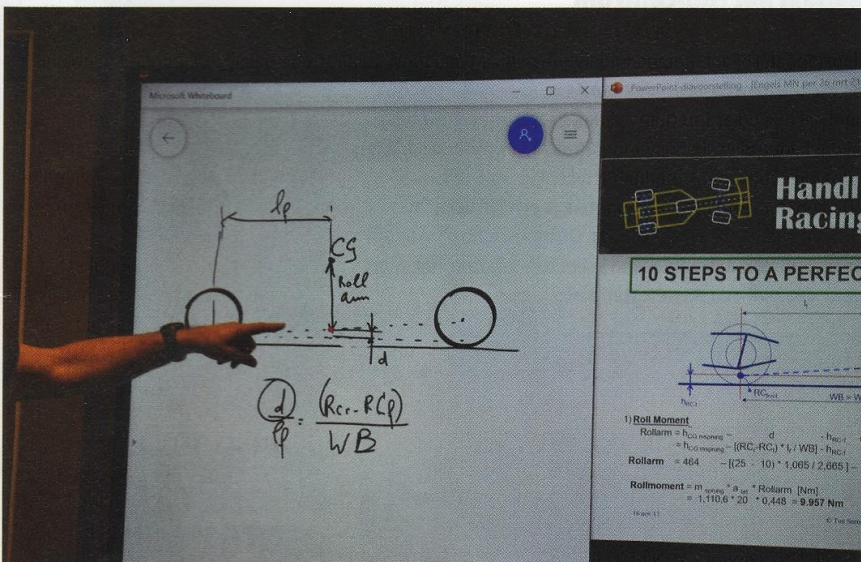
Nu nog de rolcentra van voor- en achteras. Die kun je construeren op een groot vel papier of je gebruikt er een programmaatje voor.



In beide gevallen zul je heel exact de posities van de draagarmen moeten bepalen.



Met de laser op de hartlijn maken we het meten makkelijker.



Toegegeven, er komt wat rekenwerk bij kijken. Maar heb je dat eenmaal in een spreadsheet staan, dan zie je direct de consequenties van een verandering aan de auto. Gaaf!

McPherson of Panhard

Voor een McPherson-wielophanging doe je iets soortgelijks. Maar in plaats van een lijn door de bovenste draagarm (die heeft een McPherson immers niet) trek je nu een lijn loodrecht vanaf het bovenste punt vanaf de veerpoot. En bij een achterwielophanging met panhardstang vind je het roll-centrum op de hoogte waarop de panhardstang de hartlijn van de auto kruist.

Voor wie dat allemaal te ingewikkeld vindt, heeft Serné een andere oplossing: "Er zijn programmaatjes voor. Ze vragen je een aantal maten in te geven en de locatie van het roll-centrum rolt er zo uit."

Rekenen met roll

Al met al kunnen we nu bepalen waar het zwaartepunt van de onafgeveerde massa ligt, op welke hoogtes de roll-centra van voor- en achteras liggen en dus waar de roll-lijn ligt. Dan kennen we het roll-moment. We kennen ook de elastische tegenkracht van veren en stabilisatorstangen. Zo kunnen we ook de in- en uitvering van de wielen bepalen, net als de roll-hoeken voor en achter. En we kunnen roll-weerstands-

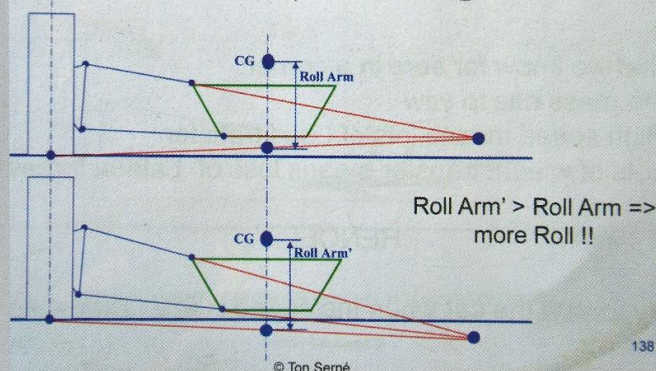
Fase	1 Insturen	2 Roll	3 Bochtmidden	4 Roll terug	5 Uitsturen
Kenmerk	Begin van stuurbeweging	Van geen tot volledige roll	Volledige roll	Van volledige tot geen roll	Acceleratie
Oorzaak van onderstuur	Rollcentrum onder wegdek Weinig druk op voorvleugel	Onbalans tussen low-speed demping, veren en stabi's	Te veel laterale kracht achter of te veel voor	Onbalans tussen low-speed demping, veren en stabi's	Te weinig druk op voorbanden Banden overbelast Sperdifferentieel
Mogelijke oplossing	Geometrie Meer camberverandering door meer KPI en caster Meer toe- of uitspoor Aerodynamica	Demping Veren Stabilisatorstangen Camber	Veren en stabi zachter voor Veren en stabi harder achter Meer vleugel voor Minder vleugel achter	Demping Veren Stabilisatorstangen Camber	Toe- uitspoor Rijstijl (subtieler op het gas) Meer voorvleugel Een stijvere stabi achter geeft meer druk op het binnenste voorwiel

De vijf fases in de bocht en de mogelijke oorzaken van onderstuur in kaart gebracht. Let op: in een dag trainen met Ton Serné op de TAC Academy komt meer aan de orde dan in een AMT-artikel past. De invloed van de KPI op de camberverandering blijft zo een onderwerp voor zelfstudie. Over de aerodynamica vind je meer via AMT eXtra.

Verlagen?

Nu we dit allemaal weten, begrijpen we beter waarom sportieve auto's vaak verlaagd worden. Het zwaartepunt komt dan lager te liggen, dus de load transfer wordt dan minder. Daarmee wordt het binnenste wiel wat zwaarder en het buitenste juist wat minder zwaar belast. En omdat bij zwaardere belasting de frictiecoëfficiënt van een band afneemt, resulteert dat in meer zijdelingse grip voor beide banden samen. Maar er zit ook een nadeel aan verlagen, waarschuwt Serné: "Je verlaagt niet alleen het zwaartepunt, maar ook het roll-centrum." Hij laat

GEOMETRIE: lowering the car



Kijk, we hebben de auto verlaagd. Dat heeft het zwaartepunt van de geveerde massa omlaag gebracht. Super! Maar let op het roll-centrum, dat is nog meer omlaag gegaan. De roll-arm is langer geworden en daarmee het roll-moment groter. Extra vervelend: het roll-centrum ligt onder het wegdek.

het zien in de tekening die hij eerder maakte. Vanaf het wiel gezien lopen de bovenste en onderste draagarm door het verlagen nu wat meer naar beneden. Het punt waar hun verlengdes kruisen ligt nu niet meer alleen naast de auto, maar ook onder het wegdek. Daarmee komt ook het roll-centrum onder het wegdek te liggen.

Roll-centrum onder het wegdek

Hé, we hebben de auto verlaagd, maar de afstand tussen het zwaartepunt van de afgeveerde massa en het roll-centrum is nu groter. Daarmee is het roll-moment groter. In dit geval zal de verlaagde auto dus meer rollen! Een onverwacht resultaat. En: "Door de locatie onder het wegdek van het roll-centrum ontlast het afgeveerde geometrische deel van de load transfer nu het buitenste wiel en belast juist het binnenste. Bij het insturen in fase 1, als de banden al laterale kracht opbouwen maar er is nog geen elastische load transfer, merkt de coureur dat de kracht niet lekker opbouwt. Fase 1-onderstuur is bij auto's zonder voorvleugel (cup-cars) vaak een geometrisch probleem."

Verlagen voor de meisjes

"Realiseer je dat verlagen van de auto meer roll met zich mee kan brengen. Daardoor krijg je meer horizontale verplaatsing van het zwaartepunt van de afgeveerde massa (weight transfer) en daarmee verlies van de laterale kracht die de banden kunnen overbrengen. Dat verlies wordt groter doordat de roll zorgt voor een ongunstige camber-verandering. Wel geeft verlagen minder load transfer en luchtweerstand. Al met al maakt het je auto niet altijd sneller op het circuit. Maar doe je het om indruk te maken op de meisjes, dan is dat een valide argument."

verdeling over voor- en achteras vergelijken met de massa-verdeling over de assen. Lopen die met elkaar in de pas? Dat is magic number 3.

Load transfer is een koppel

Serné introduceert nu een nieuw begrip: 'load transfer.' "Oh, dat is de verplaatsing van het zwaartepunt van de afgeveerde massa omdat de carrosserie rollt", denk je dan meteen. "Nee", zegt Serné, "Dat noemen we weight transfer." Oké, lastig. Laten we daarom de Engelse termen van Serné maar blijven hantelen. Hij geeft uitleg: "Met een laterale kracht sturen de banden de auto de bocht in. Die kracht noemen we de centripetale kracht. Hij werkt in de richting van het middelpunt van de bocht. Maar de massa van de auto wil niet van richting veranderen. Dat zorgt voor een centrifugale kracht in de tegenovergestelde richting, juist weg van het middelpunt van de bocht. De centripetale kracht werkt in het contactvlak van de banden met de weg, de centrifugale in het zwaartepunt van de totale massa. Beide krachten vormen dus een koppel. Dat koppel gedeeld door de spoorbreedte noemen we load transfer. Het roept een reactiekoppel op in het contactvlak tussen band en wegdek. In het buitenste wiel zorgt de load transfer voor een reactiekracht omhoog, in het binnenste wiel is die kracht juist omlaag."

Verschil roll-moment en load transfer

Dus voor de duidelijkheid: het roll-moment is de centrifugale kracht op het zwaartepunt van de afgeveerde massa maal

de roll-arm. En de load transfer is de centrifugale kracht op het zwaartepunt van de totale massa maal de hoogte van dat zwaartepunt gedeeld door de spoorbreedte.

Nu dat duidelijk is, maakt Serné het toch weer gecompliceerd door die load transfer voor beide assen op te delen in drie stukken: "Een afgeveerd elastisch deel dat opgevangen wordt door veer, stabilisatorstang en schokdemper, een afgeveerd geometrisch deel dat de wielophanging opvangt via het roll-centrum en een onafgeveerd geometrisch deel." Die drie waarden kunnen we zowel voor de voor- als de achteras berekenen. Zo kennen we ook de verdeling van de load transfer. Magic number 4 zegt dat die voor auto's met weinig aerodynamische downforce niet veel mag afwijken van de verdeling van de afgeveerde massa. Het begrip is genoemd, aerodynamische downforce. Magic number 5 is de aerodynamische balans tussen voor en achteras.

De praktijk van goede theorie

Met de gewichtsverdeling, de load transfer en de aerodynamische druk, kun je ten slotte voor deze specifieke bocht de belasting per wiel berekenen. Tip van Serné: "Ga meten aan je raceauto, voer de waarden in in een spreadsheet en laat dat al deze berekeningen maken. Als je dan goed luistert naar je coureur, weet je precies aan welke knoppen je moet draaien." Dat is precies wat we gedaan hebben met de Oval Racing Hot Rod van de broers Anton en Rik van der Linden. Of ze vanaf nu iedere wedstrijd winnen? Vast niet, maar vooruitgang begint met inzicht. En dat hebben ze nu.

'DOE JE HET OM DE INDRUK TE MAKEN OP DE MEISJES, DAN IS DAT EEN VALIDE ARGUMENT'

EXTRA

Race-engineer in actie

Nu we weten wat er komt kijken bij het werk van een race-engineer kijken we nog eens terug naar een raceteam in actie. Verder vind je via www.amt.nl/8-2021 veel technische F1-achtergrond.