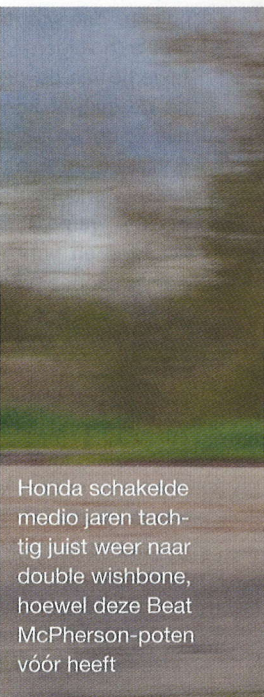


## Deel 2: voorwielophanging

Als we de gedragingen van de wielophanging onderweg op camerabeelden konden volgen, zouden we waarschijnlijk met een ei onder ons gaspedaal rijden. Het komt erop aan om die vier stukjes rubber maximaal in contact met het aardoppervlak te laten blijven. Hoe pakken fabrikanten dat aan en wat zijn de effecten ervan? In een serie artikelen geeft weggelegingsexpert Ton Serné de geheimen van het onderstel prijs.



Honda schakelde medio jaren tachtig juist weer naar double wishbone, hoewel deze Beat McPherson-poten voor heeft

Na het behandelen van de achterwielophanging in vele verschijningsvormen kan het nu, met de focus op de voortrein, weleens een korte aflevering worden. Althans, dat zou je veronderstellen, maar het blijkt een schromelijke misvatting. Ja, bij het onafhankelijke principe onderscheiden we in hoofdlijnen slechts twee smaken: McPherson en double wishbone, simpel te vertalen als dubbele draagarmen. Er gebeurt echter wel iets in die voorwielophanging, aangezien de chauffeur het krachtenspel daar danig beïnvloedt met zijn of haar armbewegingen. Ton Serné laat ons de materie binnendringen en onderbouwt zijn verhaal met wiskundige en natuurkundige wetten. Niet om interessant te doen, maar om dingen logisch te verklaren, zaken die zich anders niet eenvoudig laten doorgronden. Mocht dat lezers hongerig naar meer maken, dan ligt verdieping voor het grijpen in de cursus 'Magic numbers' bij TAC Academy, die Serné met veel bezieling en harde feitelijke kennis geeft. Noem hem gerust de goeroe op wegligingsgebied, deze docent bij Minor Motorsport Engineering aan de Fontys Hogescholen (Eindhoven, Helmond) en auteur van het boek 'Race Car Handling Optimization'.

"Heb je enig idee waarom autofabrikanten net voor of na de Tweede Wereldoorlog één voor één overschakelden op onafhankelijke voorwielophanging?" Die vraag leidt het onderwerp van dit artikel in en met een oppervlakkig antwoord als 'het maakt de auto makkelijker bestuurbaar op oneffen wegen' neemt

Serné geen genoegen. "Stel dat het linkerwiel over een hobbel gaat en inverteert, dan vindt er een camberverandering plaats, die gyroscopische krachten veroorzaakt. Het trekt even naar links en door de starre verbinding doet het rechterwiel hetzelfde. Dat geeft terugslag in het stuur, wat steeds heftiger vormen aannam met het oplopen van de snelheden die auto's op een gegeven moment konden behalen. Je moet je voorstellen dat in zo'n situatie het draaipunt van het voertuig ligt op de plaats waar het tegenoverliggende wiel - in dit geval dus rechts - contact maakt met het wegdek. Dat leidt tot een kleine straal en een grote camberverandering. Bij een onafhankelijke ophanging ligt het snijpunt van de wishbones ver buiten de auto, wat zich vertaalt in een veel langere radius en veel minder hoekverdraaiing van het wiel. Daarnaast heb je het voordeel van ontkoppelde inveerbewegingen, zonder onderlinge reacties."

De starre vooras raakte na pakweg een halve eeuw autoproduktie uitgerangeerd en double wishbone nam in de jaren dertig en veertig gaandeweg zijn plaats in, spoedig gevolgd door een productietechnisch goedkoper alternatief: McPherson met de bekende veerpoten. "Bovenal een ruimtebesparende oplossing, dus interessant voor compacte auto's met een dwarsgeplaatste motor en versnellingsbak voorin," verklaart Serné. "De bovenste van de twee draagarmen komt te vervallen en in plaats daarvan is de unit draaiend bevestigd boven in het binnenscherm.



Daarbij volgt de veer exact de hartlijn van de geometrie, zodat hij niet zijdelings kan buigen wanneer hij ingedrukt wordt. De schokdemper staat vanwege de beperkte inbouwruimte noodgedwongen een beetje uit het lood, aangezien de band en de velg in de weg zitten. Sommige fabrikanten compenseren dat door hem inwendig met kogellagers te laten werken.”

In aanloop naar het geometrisch en rijdynamisch vergelijken van McPherson en double wishbone legt Serné eerst het een en ander uit over het rollcentrum, een woord dat je niet letterlijk zo gespeld in de Dikke Van Dale zult terugvinden. “Noteer het alsjeblieft met dubbel L, net als ik dat doe, om verwarring te voorkomen met het feit dat de auto over de weg rolt. Het is een virtueel punt, dat zich bij hard remmen en inveren naar beneden verplaatst en bij het nemen van een bocht in de richting van het binnenste wiel beweegt. Hoe bepaal je nu het rollcentrum? Bij double wishbone trek je de hartlijnen van beide draagarmen door, tot ze elkaar kruisen. Dat punt verbind je optisch met het contactvlak van de band met de weg. Aan de tegenoverliggende zijde doe je hetzelfde. De plek waar de lijnen vanaf de contactvlakken links en rechts elkaar kruisen is het rollcentrum. In het geval van McPherson heb je geen bovenste draagarm; daar pak je de lijn vanaf de piek in de schokdempertoren tot het scharnierpunt van de onderste draagarm.”

Het rollcentrum ligt altijd onder het zwaartepunt van de auto en daarbij geldt een harde wet: hoe groter de onderlinge afstand, hoe meer de auto zal overhellen. “Te klein is trouwens ook niet optimaal, want dan zul je het

gevoel met de auto missen.” Serné laat op zijn laptop een simulatie draaien, die aantoont hoe het rollcentrum daalt bij het inveren van beide voorwielen tijdens een remactie. “Het kan zelfs ónder het wegdek duiken; een heel normaal verschijnsel, dat bij McPherson nog wat sterker optreedt door de andere geometrie. Daarbij treedt een raar fenomeen op, namelijk dat bij hard remmen en insturen voor een bocht het buitenste wiel niet belast, maar ontlast wordt. Ook bij het binnenste wiel gebeurt het omgekeerde. Een coureur op het circuit of iemand die op de openbare weg extreem sportief rijdt zal dat ervaren als onderstuur. Het duurt overigens maar een kort moment.”

Serné gelooft niet in sprookjes, zeker niet als de harde feiten het tegenovergestelde van wat beweerd wordt blootleggen. Waar we naartoe willen? Naar het fenomeen verlagen met behulp van ingekorte veren, sinds mensenheugenis een populaire manier om een auto sportievere looks te bezorgen en de wegligging te verbeteren door een geringere mate van overhellen. Tenminste, dat beeld heerst. “Een fabeltje. Sterker nog, je bereikt precies het verkeerde effect. Weet je nog wat er gebeurt als je hard remt en de neus een snoekduik maakt? Dan daalt het rollcentrum en stijgt dus de afstand tot het zwaartepunt van het voertuig, waardoor de koets juist meer om zijn lengteas gaat kantelen. Als je een auto verlaagt met ingekorte veren, waarbij de draagarmen op dezelfde plaats blijven, bereik je in feite permanent hetzelfde effect. Daar staat werkelijk niemand bij stil. Het heeft pas echt zin om een voertuig dichter bij de grond te leggen als je daar ook de geome-

## Een verlagingsset monteren, het is tricky

trie op afstemt. Waag je daar alsjeblieft niet aan als je niet over de juiste ingenieurskennis beschikt. Ik zie het te vaak foutgaan.”

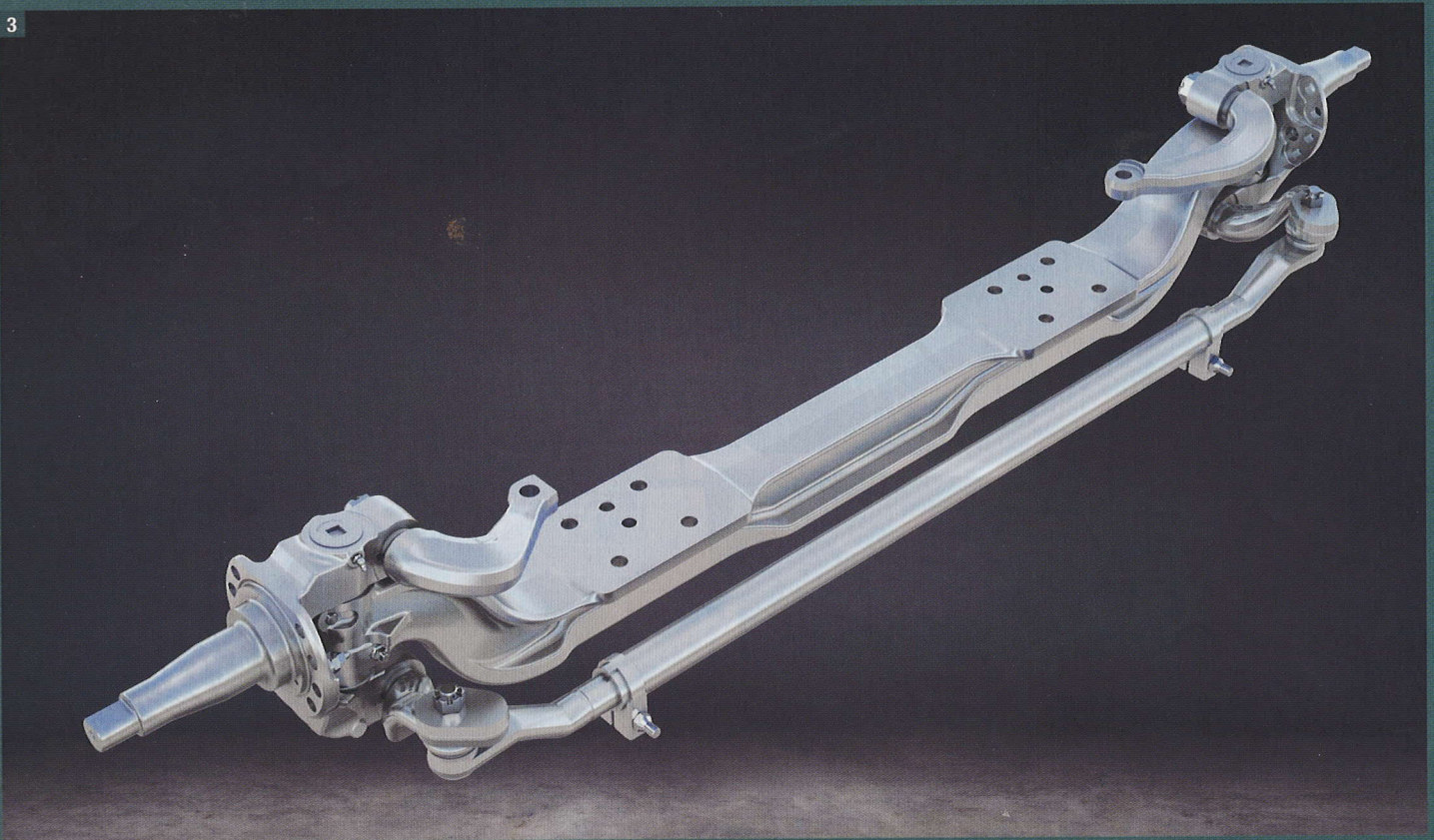
Naast een over het algemeen geringere afstand tussen het rollcentrum en het zwaartepunt biedt double wishbone ten opzichte van McPherson nog een voordeel: je kunt meer met de geometrie spelen om een optimaal compromis te bereiken tussen eigenschappen die het rijgedrag bepalen. “Allereerst het recht in- en uitveren. Het liefst wil je daarbij zo min mogelijk camberverandering, dus zou je twee draagarmen boven elkaar moeten plaatsen die dezelfde lengte hebben en onder dezelfde hoek staan. Dat doe je echter niet, omdat dan de spoorbreedte bij veerbewegingen continu verandert, hetgeen leidt tot buitengewoon hoge bandenslijtage. Daarnaast streef je als goede chassisingenieur naar de zogenoemde ‘camber compensation’ in bochten, wat inhoudt dat het buitenste wiel aan de bovenkant iets verder naar binnen komt te staan



**1/2:** Starre vooras bij deze MG F type Magna Saloonette uit 1932. **3:** Starre vooras.

**4:** Double wishbone naar normen van de jaren zestig. **5:** Geavanceerde double wishbone zoals bij duurdere moderne auto's **6:** Double wishbone. De KPI is de hoek waaronder de king pin (de as door de draaipunten van de fusee) staat. Deze zorgt in combinatie met het caster voor een camberverandering bij het sturen van het wiel. De schuurstraal helpt de krachten in het stuur te beheersen: klein genoeg om te voorkomen dat het uit je handen kan slaan, groot genoeg om je de nodige feeling met de weg te verschaffen.

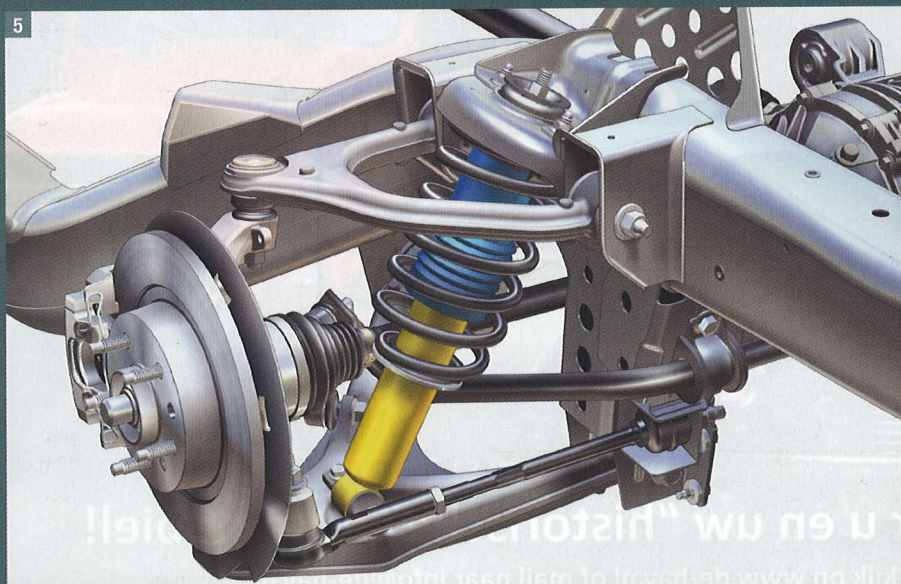
3



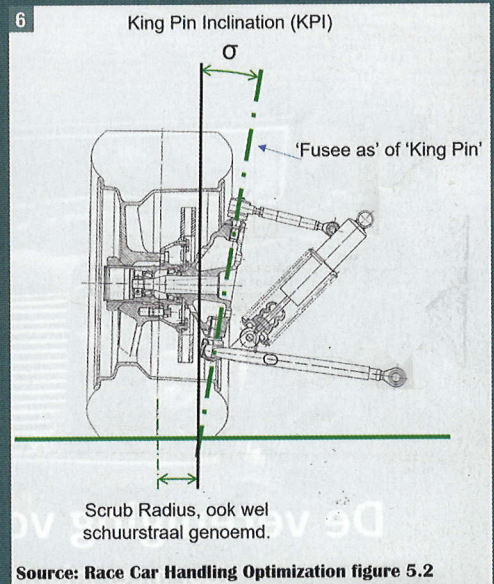
4



5



6

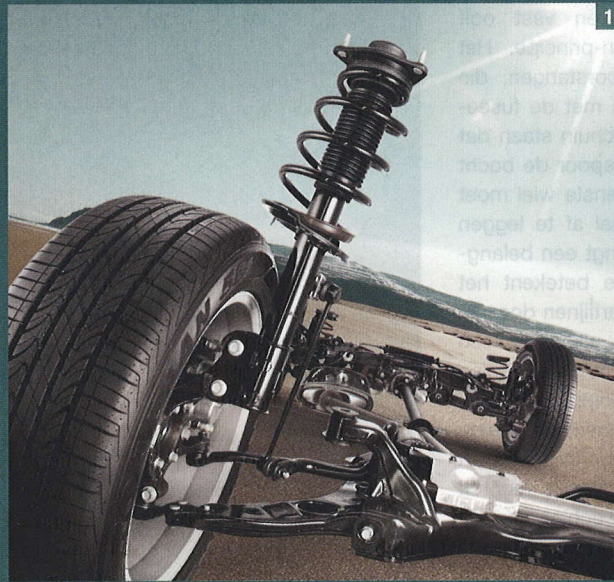


dan aan de onderkant, waarmee het zich lekker schrap kan zetten. Met name dit laatste valt bij McPherson lastiger te realiseren. Bij double wishbone gebruik je om dit optimale compromis te verkrijgen een lange draagarm onder, die in rustpositie vrijwel horizontaal hangt. De bovenste is korter en wijst richting het wiel een stukje naar boven. Zo maken ze onderling afwijkende bewegingen.”

Om ook bij McPherson toch wat camberverandering in bochten te creëren kun je je toevlucht zoeken tot het in zekere mate vergroten van het caster en de KPI, een afkorting van king pin inclination. Serné licht die begrippen toe. “Afgezien van uitzonderingen als de eerste generatie Citroën Traction Avant met zijn zogeheten ‘center-point steering’ loopt bij elke auto het fuseestuk aan de bovenzijde een stukje weg van het wiel. Dat moet wel, anders kom je ruimte tekort om de remmerij te monteren. Aan de onderzijde wil je het draaipunt in de draagarm juist zo dicht mogelijk bij het wiel hebben, dat anders een te grote straal maakt bij het nemen van een bocht, waarmee de auto vrijwel onbestuurbaar wordt. Caster oftewel naloop betekent dat de hartlijn tussen het bovenste en onderste draaipunt van de ophanging naar achteren helt, net als bij de voorvork van een fiets. McPherson biedt eventueel de mogelijkheid om dat naderhand nog te verstellen, indien de fabrikant daar een voorziening voor treft. Dan verplaats je het bovenste draaipunt in de schokdempertoren.”

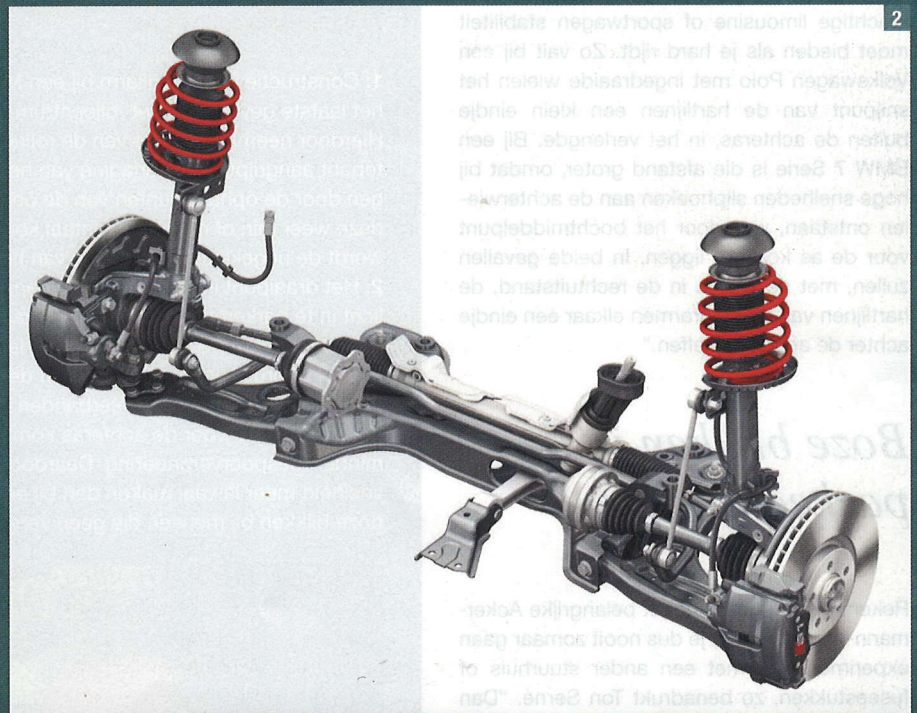
## Teveel caster veroorzaakt roll steer

Wie weleens een Citroën 2CV met ingedraaide wielen heeft bestudeerd, ziet heel duidelijk het effect van caster en KPI. Het buitenste exemplaar helt aan de bovenzijde naar binnen en het binnenste juist naar buiten (de gewenste camberversandering), terwijl ze allebei een stukje achterwaarts kantelen. Mooi, maar zoals met alle geometrische principes moet je binnen bepaalde kaders blijven. “Teveel caster veroorzaakt roll steer. Aan de binnenzijde wordt de koets namelijk opgetild, waarvoor de chauffeur al zijn spierballen moet aanspreken. Je kunt dat compenseren door stuurbekrachtiging toe te passen, maar dan nog moet je je als constructeur beperken met de naloop, anders zou de camberversandering te sterk worden en gaat de auto in bochten op de schouders van de banden rusten. Dan lever je aan contactvlak in en slijten ze schuin af. Relatief veel caster bevordert trouwens wel de rechtuitstabiliteit.” Dat weten we van de 2CV, terwijl bijvoorbeeld een Amerikaanse auto uit de jaren veertig heel licht te besturen valt (zonder servo), maar minder vanzelfsprekend op koers blijft.

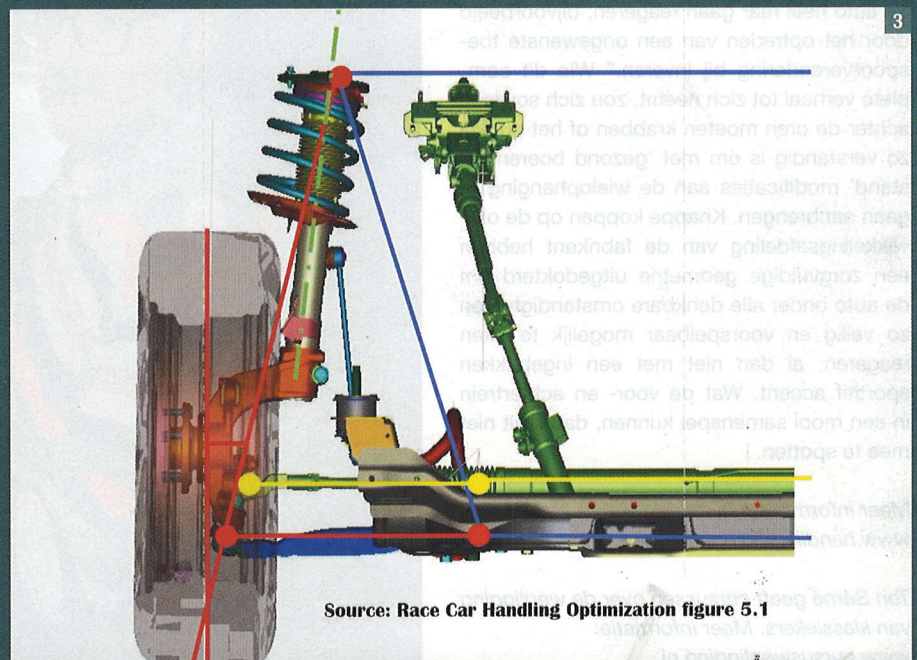


1

1: Verhelderende close-up van McPherson.  
2: Complete voorwielophanging volgens het McPherson-principe.  
3: McPherson-voorwielophanging, waarbij je duidelijk ziet dat de veer correct geplaatst is ten opzichte van de geometrische lijn van de veerpoot, maar de schokdempertoren niet. In rood zien we de systeemlijnen van de onafgeveerde massa, terwijl blauw duidt op het chassis oftewel de afgeveerde massa. Geel geeft het stuurhuis met de spoorstang aan.



2



3

Source: Race Car Handling Optimization figure 5.1

De meesten van ons hebben vast ooit gehoord van het Ackermann-principe. Het komt erop neer dat de spoorstangen, die de stuurstang links en rechts met de fuseestukken verbinden, zodanig schuin staan dat de auto met een optimaal uitspoor de bocht kan nemen. Immers, het buitenste wiel moet in staat zijn een grotere straal af te leggen dan het binnenste. Serné brengt een belangrijke nuance aan: "In theorie betekent het Ackermann-principe dat de hartlijnen door de astappen van de voorwielen elkaar kruisen op de achteras. Alle vier de wielen draaien dan om hetzelfde bochtmiddelpunt. Dit zou plaatsvinden indien de hartlijnen van beide stuurarmen elkaar bij benadering midden op de achteras kruisen wanneer je rechthout rijdt. Het werkt in de praktijk echter anders, mede afhankelijk van de doelstelling van de auto. Een boodschappenkarretje mag zo min mogelijk wringen bij inparkeren, terwijl een krachtige limousine of sportwagen stabiliteit moet bieden als je hard rijdt. Zo valt bij een Volkswagen Polo met ingedraaide wielen het snijpunt van de hartlijnen een klein eindje buiten de achteras, in het verlengde. Bij een BMW 7 Serie is die afstand groter, omdat bij hoge snelheden sliphoeken aan de achterwielen ontstaan, waardoor het bochtmiddelpunt voor de as komt te liggen. In beide gevallen zullen, met de wielen in de rechthoutstand, de hartlijnen van de stuurarmen elkaar een eindje achter de achteras treffen."

## Boze blikken in de parkeergarage

Rekening houdend met het belangrijke Ackermann-principe moet je dus nooit zomaar gaan experimenteren met een ander stuurhuis of fuseestukken, zo benadrukt Ton Serné. "Dan gooi je de geometrie danig overhoop en kan de auto heel raar gaan reageren, bijvoorbeeld door het optreden van een ongewenste toespoorverandering bij inveren." Wie dit complete verhaal tot zich neemt, zou zich sowieso achter de oren moeten krabben of het nu wel zo verstandig is om met 'gezond boerenverstand' modificaties aan de wielophanging te gaan aanbrengen. Knappe koppen op de ontwikkelingsafdeling van de fabrikant hebben een zorgvuldige geometrie uitgedokterd om de auto onder alle denkbare omstandigheden zo veilig en voorspelbaar mogelijk te laten reageren, al dan niet met een ingebakken sportief accent. Wat de voor- en achtertrein in een mooi samenspel kunnen, daar valt niet mee te spotten. |

Meer informatie:  
[www.handlingracingcars.com](http://www.handlingracingcars.com)

Ton Serné geeft cursussen over de wegligging van klassiekers. Meer informatie:  
[www.cursuswegligging.nl](http://www.cursuswegligging.nl)



**1:** Constructie van de rollarm bij een McPherson-poot in gewone en ingeveerde positie. In het laatste geval daalt het rollcentrum aanzienlijk meer dan het zwaartepunt van de auto. Hierdoor neemt de lengte van de rollarm toe. Aangezien de centrifugaalkracht in het zwaartepunt aangrijpt, leidt verlagning van het onderstel tot meer roll... Dit zou je kunnen opvangen door de ophangpunten van de onderste wieldraagarm dusdanig te modificeren dat deze weer min of meer horizontaal komt, waardoor het rollcentrum weer stijgt, maar dan wordt de uitgekende geometrie van het stuurmechanisme ernstig verstoord.

**2:** Het draaipunt in een bocht van een compacte hatchback is ontworpen om makkelijk en licht in te parkeren om het virtuele draaipunt M. De wielen bewegen zich bij insturen in een uitspoorpositie. Deze stuurinrichting leent zich niet optimaal voor extreem sportief (competitief gebruik), in tegenstelling tot de variant die we rechts in de afbeelding zien. Bij hoge snelheden vertonen de achterbanden dusdanig grote sliphoeken (zie de blauwe pijltjes) dat het punt M' voor de achteras komt te liggen. De voorwielen ondergaan bij dit type auto minder toespoorverandering. Daardoor zullen de banden van zo'n snelle bolide juist bij lage snelheid meer lawaai maken dan bij een stadskarretje. Dat genereert in een parkeergarage boze blikken bij mensen die geen verstand van het Ackermann-principe hebben.



