

FRAMEBOUW:

DOE-HET-ZELF!

HET ONTWERPEN EN BOUWEN VAN EEN DOOR SPIERKRACHT
AANGEDREVEN VOORTBEWEGINGSMACHINE

WIEL VAN DEN BROEK

VIERDE DRUK

STELLING: Een fietser gaat ten opzichte van een wandelaar met dezelfde inspanning drie tot viermaal zo snel. De fiets is de perfectie van de voortbeweging van de mens.

VOORWOORD:

Waarom zou U zelf een fiets ontwerpen en bouwen? De fabrikanten brengen een gigantisch assortiment op de markt. Daarnaast zijn er nog kleine bouwers, die bijna alle wensen van de klant kunnen vervullen. Duur? Jazeker, specialistisch handwerk is prijzig. Maar als u geld wilt verdienen, moet u geen eigen fiets bouwen; koop dan een overjarig type in de uitverkoop! Dat bespaart u geld, werk en ergernis. Het zelf bouwen is iets voor de eigenwijze doorzetter, die de voldoening wil hebben een EIGEN fiets te rijden.

De rijeigenschappen worden grotendeels door het ontwerp bepaald. Zomaar wat buizen aan elkaar lassen, kan nooit een fijn fietsje opleveren. Het bouwen is het realiseren van uw ideeën. Of het resultaat overeenstemt met uw wensen, hangt van uw handigheid af. Hierop kan ik helaas geen invloed uitoefenen. Qua afwerking is het moeilijk om in de buurt van een goede fabrieksfiets te komen. Van de andere kant is het ook vervelend om de "finishing touch" alsnog uit te besteden.

INHOUD:

1.	Inleiding	3
2.	Wat is sterkte?	4
3.	Wat is stijfheid?	6
4.	Metaalkunde	8
5.	Composieten	12
6.	Verbindingstechnieken	15
7.	Afwerking	20
8.	Stuurgeometrie	21
9.	De aandrijving	24
10.	De mens als motor	25
11.	Constructief denken	28
12.	De problemen van vering	32
13.	De ideale zit	38
14.	Het ontwerpen van een klassiek frame	39
15.	Het bouwen van een klassiek frame	41
16.	Een eenvoudige ligfiets in staal	45
17.	De ligfiets in carbon	46
18.	Een deelbare tandem	48
19.	De luchtweerstand verminderen	49

1. INLEIDING

Zoals veel machines heeft de fiets duizenden uitvinders gekend. We zien steeds weer dat ontwerpers onafhankelijk van elkaar vergelijkbare ideeën hebben gehad. Het woord "nieuw" in de fietswereld dient dus zeer voorzichtig gebruikt te worden. De gelijkenis met ontwerpen die honderd jaar geleden ook al bestonden, is soms verbluffend. Ik wil zeker niet zeggen dat de uitvinder het idee gejat heeft. Er is gewoon al eens eerder iemand op dat idee gekomen. Het feit dat de uitvinding destijds geen blijvertje was, hoeft geen beletsel te zijn voor commercieel succes op dit moment. De marktsituatie is anders, de productiemethodes zijn anders en er zijn nieuwe constructiematerialen.

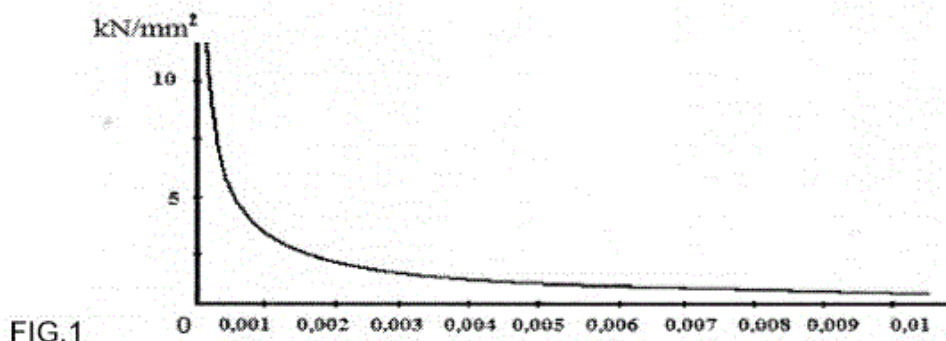
We moeten de verandering van modes en het probleem van de acceptatie van een nieuw ontwerp niet onderschatten. Vormgeving en marketing hebben de technische kwaliteiten van het product naar de achtergrond verbannen. Wie z'n tijd te ver vooruit is, vindt geen aansluiting bij de markt. Hij zal, vaak na financiële tegenslag, lijdzaam toe moeten zien hoe anderen wel geld verdienen met zijn idee!

De geschiedenis van de fiets begint waarschijnlijk met een soort hobbelpaard in het eind van de 18^e eeuw; dit speelgoed bestond uit een houten balk waarin een paardenfiguur was gesneden en waarvan de poten rusten op kleine wielen. Om van richting te veranderen, tilde men het voorwiel op en mikte men de machine in de juiste richting. Het eerste ontwerp van de fiets als transportmiddel, was de loopfiets van Duitse baron Von Drais. Hij ontwierp een loopfiets met sturend voorwiel en ontdekte, dat hij bergaf in staat was te balanceren en hele stukken kon rijden zonder zijn voeten aan de grond te zetten. Zijn introductie van de "draisienne" in 1818 te Parijs had succes bij de modebewuste jongelui. Ook in Londen ontstond een rage in hobby- of dandyhorses zoals ze daar genoemd werden. Door zitkussens en pols- en armsteunen was het mogelijk redelijke afstanden ermee af te leggen. Geoefende rijders konden lange tijd 10-15 km per uur volhouden. Maar modes veranderen en er waren een tijd lang geen verbeteringen aan het ontwerp. Von Drais voerde vele processen tegen fabrikanten, die zijn uitvinding in productie genomen hadden en stierf verbitterd en berooid! De grote sprong voorwaarts was aandrijving via de wielen. Hoewel de Schot Macmillan in 1839 mogelijk al een dergelijke fiets bouwde en reed, was het de Fransman Michaux die dit idee in 1861 tot een commercieel succes wist te maken.

De eerste fietsen waren van hout, hier en daar versterkt met ijzer. Michaux was als wagenmaker de aangewezen vakman voor de constructie van de toenmalige ontwerpen. Hij voer bovendien mee op de golf van de industriële revolutie, die door de productie van goedkoop staal nieuwe kansen bood. Ongetwijfeld heeft men in de beginjaren de fiets puur op het vakmanschap en de ervaring van wagenmakers en smeden gebouwd. Serieus materiaalonderzoek begint pas met de komst van de echte rijwielindustrie. Maar wat is nu geschikt framemateriaal? "Sterk en stijf", zegt u: maar wat is sterkte, wat is stijfheid?

2. WAT IS STERKTE?

In de framebouw praat men veel over sterkte en daarom lijkt het alsof iedereen weet waarover gepraat wordt. Bij sterkte denkt men vooral aan treksterkte, d.w.z. het aantal Newton ($1\text{N} = \pm 0,1\text{ kg}$) per vierkante millimeter dat een trekstaaf van een bepaald materiaal kan verdragen tot het breekpunt. Maar druksterkte is voor veel constructies even belangrijk en treksterkte is geen echte constante. In FIG.1 zien wij een grafiek van de treksterkte van glas in verhouding tot de diameter. Zeer dunne vezels benaderen een sterkte van 14000 N/mm^2 ; dit is 10x de sterkte van de beste framebuizen. Vanaf $0,01\text{mm}$ is de treksterkte constant: slechts 170N/mm^2 !



Uit onderzoek blijkt dat niet alleen glas, maar ook andere stoffen (van zinkoxide tot keukenzout) deze eigenschap bezitten. Metalen vezels scoren matig bij deze tests. Dit is verklaarbaar, omdat ionbinding en covalente binding sterker zijn dan de metallische binding. Het blijkt dat microstructuren zo sterk zijn, omdat er nauwelijks fouten ("dislocaties") in zitten. Op macroniveau zijn er zaken die veel meer invloed hebben op de uiteindelijke treksterkte als de sterkte van een "perfecte" microvezel. De voornaamste is "breuk-energie". Dit is de hoeveelheid energie, die opgenomen wordt door een proefstaaf tijdens het breken; de meeste vaste stoffen hebben een lage breukenergie. Het sterke punt van metalen is niet hun absolute sterkte, maar de weerstand tegen breuk. Metalen zijn niet sterk maar taai. Koolstofvezels zijn veel sterker dan metalen, maar hebben een lagere breukenergie. Krassen op het oppervlak kunnen aanleiding zijn voor een plotselinge breuk. Dit is te verklaren uit FIG.2; de lijnen op de figuur zijn krachtlijnen.

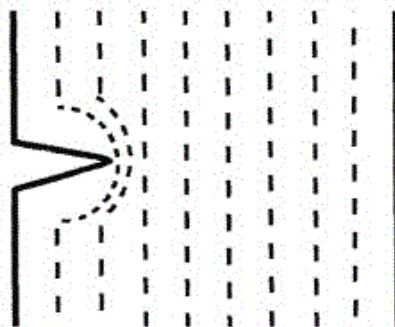


FIG.2

De belasting per vierkante mm is overall gelijk, behalve aan de punt van de barst: daar lopen 3 krachtlijnen vlak langs elkaar en is de belasting driemaal zo hoog. Als de totale belasting groter is dan een derde is van de treksterkte van de staaf, zal de tip van de barst de maximale treksterkte overschrijden en groter worden. Nu zullen er nog meer krachtlijnen doorsneden worden en de stress voor de punt van de barst wordt nog groter: de barst breekt razendsnel door het materiaal!

Er zijn verschillende types microstructuren in vaste stoffen. Glas is amorf d.w.z. de moleculen bezitten geen regelmatige posities t.o.v. elkaar. De meeste stoffen, ook metalen, zijn kristallijn d.w.z. de atomen zijn volgens vaste patronen gerangschikt. Dit kan volgens drie structuren, waarvan ik voor het gemak alleen de Nederlandse afkortingen geef : 1.Kvg (o.a. koper, α -ijzer); 2.Krg (o.a. γ -ijzer, molybdeen); 3.Hds (o.a. beryllium, magnesium).

De kvg en hds structuur zijn maximaal dichte stapelingen: de vulgraad is 74%; bij de krg structuur is de vulgraad 68%. Er zijn dus altijd gaten in elke moleculenstructuur de z.g.n. intersitiële ruimtes; deze kunnen andere atomen bevatten. Bij de krg structuur zijn deze ruimtes groter dan bij de kvg structuur, maar de vorm is ongunstiger. Een koolstofatoom past slecht in het γ - ijzerkristal, maar goed in het α -ijzerkristal. In een stapeling van atomen kan een lege plaats voorkomen (een vacature) of een vreemd atoom (een substitutie). Als de temperatuur hoger wordt, nemen door bewegingen van atomen de vacatures in aantal toe. Substitutionele en intersitiële atomen kunnen zich via vacatures verplaatsen (diffusie). In metalen ontstaan onder belasting zichzelf verplaatsende dislocaties; deze vervormen het rooster zo sterk, dat ze hun eigen beweging hinderen. Er moet voor verdere vervorming steeds meer energie worden toegevoerd; daarom is de breukenergie van metalen zo hoog. De vervorming van het rooster verklaart de versteviging die optreedt: hardheid en treksterkte nemen toe, de rek af. Alle vreemde atomen hebben invloed op de dislocatiebewegingen. Op deze manier neemt door legeren de rekgrens en treksterkte toe, zeker als die atomen in groepjes voorkomen. Dit bereikt men o.a. door warmtebehandeling (de diffusie verloopt dan sneller)!

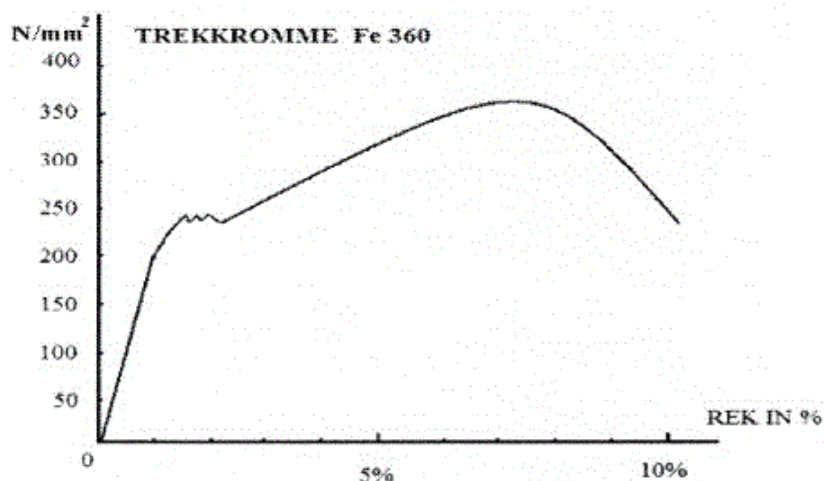


FIG.3

We spannen een staaf constructiestaal met een lengte van 100 mm en 10mm² doorsnede in een trekbank. We verhogen de trekkracht steeds met 50 kg (50 N/mm²). Na iedere verhoging meten we hem. De resultaten zetten we uit in een grafiek (zie FIG.3). De eerste drie maal zal de staaf wel rekken in de trekbank, maar als we hem eruit halen, blijkt hij niet langer te zijn. We noemen dit elastische rek. Pas bij 200 kg blijkt de staaf 0,2mm langer te zijn geworden (dit is 0,2%). Dit noemen we permanente rek; we spreken van de rekgrens of R_{0,2}. Bij 250 kg doet zich een ander verschijnsel voor. De staaf rekt terwijl de kracht erop niet toeneemt; dit noemen we de vloeigrens. In feite worden de koolstofatomen, die zich in de dislocaties verzameld hadden, eruit gedrukt. Bij 300 kg is de staaf 105mm lang; als we nu verder trekken, zal de staaf bij 370 kg beginnen in te snoeren en breken. Geven we deze staaf aan een collega, als nieuw meetexemplaar, dan zal hij constateren dat de rekgrens van deze staalsoort hoger is dan die van constructiestaal; verder heeft het staal geen vloeigrens, de rek voor breuk is gering, en de treksterkte is hoger. Dit noemt men koudverstevening; het wordt bereikt door de buis over doorns te trekken en op te rekken. Als we een metalen buis buigen, zal in de "buitenbocht" rek optreden, en in de "binnenbocht" druk. Door de rek zal er koudverstevening plaatsvinden; de kristalstructuur van de buitenbocht wordt daardoor harder en brosser. Dit is de verklaring van het breken van metaaldraad door heen en weer buigen. Als we koudverstevigd metaal verhitten, zullen de intersitiële moleculen door diffusie weer naar de dislocaties gaan. Als er genoeg tijd is, gebeurt dit ook bij kamertemperatuur ("ouderen").

Het fietsframe moet zo sterk zijn, dat het onder maximale belasting niet permanent vervormt. Dit wordt bepaald door de rekgrens. In veel advertenties schermen de fabrikanten met de maximale treksterkte van hun metaalsoorten. Gewoonlijk een onbelangrijke waarde: zodra we over de rekgrens gaan, is het frame al onbruikbaar! Ideaal is een hoge rekgrens en een hoge rek voor breuk. Helaas is dit een combinatie van tegenstrijdige eigenschappen. Sommige metaallegeringen (o.a. Reynolds 753) en sommige kunststoffen (o.a. carbonfiber) hebben geen rekgrens. Zodra we de maximale belasting overschrijden, breekt het frame.

3. WAT IS STIJFHEID?

Volgens de wet van Hooke vervormen ook starre materialen bij een belasting op trek of druk. Als we tweemaal zo hard trekken zal de lengtetoename verdubbelen (voor elke materiaalsoort!).

$$\text{rek} = \frac{\text{lengtetoename}}{\text{originele lengte}} \quad (\text{dimensieloos getal, gewoonlijk in \%})$$

Young formuleerde de wet van Hooke anders. Hierbij wordt een materiaalconstante geïntroduceerd, die Young- of E-modulus genoemd wordt: "soortelijke stijfheid". Symbool: E of E-modulus, uitgedrukt in Mega-pascal (Mpa=N/mm²) of in G(iga)pa.

$$\text{rek} = \frac{\text{belasting}}{\text{stijfheid}} \quad \text{Ofwel:} \quad \text{stijfheid} = \frac{\text{belasting}}{\text{rek}}$$

Materiaal is dus stijf als het een hoge weerstand tegen vervorming heeft. Wanneer gewicht geen rol speelt, kun je elke constructie stijf maken door veel materiaal te gebruiken. Een fiets moet licht zijn; daarom kijken we ook naar de relatieve stijfheid (E-modulus gedeeld door soortelijke massa). Materialen met een lage E-modulus hebben soms toch een hoge treksterkte; een bekend voorbeeld is nylon.

<u>TABEL I</u>	<u>MATERIAAL</u>	<u>Soort.Massa</u>	<u>E-modulus</u>	<u>E/s.m.</u>
	CarbonU.D.+epoxy	1,6 kg/dm ³	210 Gpa	130
	E-Glas+epoxy	2,1	55	26
	Staal	7,8	210	27
	Titanium	4,5	120	27
	Aluminium	2,7	72	26
	Magnesium	1,7	42	25
	MetalMatrix M2	2,9	88	30

Vele metalen en kunststoffen zijn stijf genoeg om er frames mee te bouwen. Een deel valt af door slechte weerstand tegen wisselende belasting; ze zijn niet sterk genoeg, te zwaar, of te duur. Heeft de constructeur een materiaalkeuze gemaakt, dan zijn er twee methodes om de stijfheid te vergroten: een grotere wanddikte of een grotere diameter. Dit resulteert in een hoger gewicht, maar omdat de stijfheid toeneemt met de derde macht van de diameter, kiest de constructeur voor een kleinere wanddikte en een grotere diameter. Zo wordt een frame lichter en stijver. Gelegeerde superstalen zijn even stijf als piskbakkenijzer. De dunne buis gaat dus ten koste van de stijfheid. Als we naar tabel I kijken, blijkt dat alleen met carbonfiber echte stijfheidsverbetering mogelijk is. Sterktetechnisch kunnen we een titanium frame bouwen dat de helft weegt van een stalen exemplaar, maar het is onprettig als tijdens de spurt het frame zo flexibel blijkt, dat de bandjes langs de vork schuren. Ook hier kiest de constructeur gewoonlijk voor grotere buisdiameters als oplossing, wat het gewichtsvoordeel weer vermindert. Alleen met aluminium is er op stijfheidsgebied vooruitgang geboekt. Er zijn aluminium-lithium-legeringen ontdekt die 10% stijver zijn (80 i.p.v.72 Gpa). Verder kan aluminium als matrix gebruikt worden in composieten. Gary Klein versterkte zijn aluminium frames als eerste. Hij gebruikte hiervoor boronvezels; dit is puur borium rond een wolfram kern. Tegenwoordig gebruikt men als wapening deeltjes van SiC of Al₂O₃. Specialized bouwt met deze "MetalMatrix" M2 buizen van de fabrikant Duralcan lichte frames. Zo'n buis wordt gemaakt door een poedermix onder hoge druk te verhitten tot het smeltpunt van de laagst smeltende component in een buisvormige mal. De relatieve stijfheid is ± 15% beter (zie tabel I).

Composieten van vezels en kunststoffen wijken in stijfheid sterk af van metalen: in de lengterichting van de vezel is het weefsel het stijfst, dwars daarop veel minder. Bij een "vierkant" weefsel zijn evenveel draden in de lengte als de breedte gebruikt en is de stijfheid gelijkmatig. Wil men sterkte of stijfheid in een bepaalde richting optimaliseren, dan kan men Uni-Directoraal weefsel kiezen met vrijwel alle draden in de lengte, of carbon als ketting en aramide als inslag. Metaal is homogener van samenstelling en de productietechnieken zijn betrouwbaarder, waardoor de veiligheidsfactor van het frame lager gekozen kan worden. Bij composieten dient men een ruimere marge aan te houden.

4. METAALKUNDE

Pure metalen hebben geen optimale eigenschappen. Door legeren (mengen), kan men de eigenschappen verbeteren; andere methodes hiervoor zijn koudverstevigen (mechanische bewerking o.a. het "trekken" van buis), of veredelen (warmtebehandeling). Vaak zal men een combinatie van deze drie methodes kiezen. De kristalstructuren van legeringen zijn erg belangrijk voor de eigenschappen ervan. Als we een legering hebben bestaande uit A en B, zijn er 3 mogelijkheden.

1. Metaal A en B lossen geheel in elkaar op (FIG.4).
2. Metaal A en B lossen niet in elkaar op (FIG.5).
3. Metaal A en B lossen gedeeltelijk in elkaar op (FIG.6).



FIG.4



FIG.5

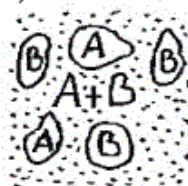


FIG.6

Gewoonlijk hebben we in legeringen te maken met deze laatste structuur. We nemen als voorbeeld een mengsel van twee metalen: metaal A smeltpunt 550°C en B 600°C. Stel onze smeltkroes heeft een temperatuur van 700°C; we laten hem langzaam afkoelen. In de smelt zijn de moleculen A en B gelijkmatig over de vloeistof verdeeld. Eerst zullen er B kristallen ontstaan. Gedurende dit proces zal de concentratie van de A moleculen in de grondmassa (vloeistof) dus toenemen, tot het moment waarop zich A kristallen gaan vormen. Er ontstaat uiteindelijk een grondmassa, bestaande uit A en B moleculen, met daarin kristallen A en B. De concentratie A en B in de grondmassa zal niet gelijk zijn aan de oorspronkelijke verhoudingen in het mengsel. De mechanische eigenschappen ervan, kunnen daarom verschillen. Als we zeer snel koelen b.v. in water, zal de legering het meest homogeen zijn (een zeer fijne kristalstructuur). Naarmate de afkoelingstijd langer is, zullen de kristallen groter worden.

Bij veredelen (=precipitatie) verhitten we tot een bepaalde temperatuur; vervolgens koelen we snel af. Het gevolg is oververzadiging van legeringelementen in de kristallen. Er vindt langzaam uitscheiding plaats van deze legeringelementen (ouderen). Deze nieuw uitgescheiden stoffen zullen het kristalrooster verfijnen en/ of vervormen. De legering zal hierdoor harder en sterker worden. Bij aluminium onderscheiden we natuurlijk ouderen bij 20°C en kunstmatig ouderen bij 160-190°C gedurende ongeveer 8 uur. Het is makkelijk te begrijpen, dat verbindingsmethodes met grote warmte-inbreng zoals lassen, de veredeling teniet doen.

Er zijn nog diverse andere manieren van warmtebehandeling. Spanningsvrij gloeien gebeurt bij werkstukken waar b.v. door afkoeling na het lassen, krimpspanningen op zijn ontstaan. Bij normaal gloeien wordt nog verder verhit en krijgt het geheel een nieuwe veredeling om de kristalstructuur te herstellen.

De meest bekende legering is staal: een legering van ijzer en koolstof. Naast koolstof zijn vaak nog diverse andere elementen aanwezig; sommige als verontreiniging (zwavel, fosfor), andere als legeringselement b.v. mangaan, chroom, molybdeen, nikkel, en vanadium. De percentages verschillen nogal; sommige elementen in tienden, andere in tientallen procenten. Als er meer dan 10% legeringselementen zijn toegevoegd praten we over hooggelegeerd staal. Sommige Amerikaanse bouwers gebruiken Aermet 100, een staallegering met 13% cobalt, 11% nikkel, 3% chroom, 1,2% molybdeen en 0,23 procent koolstof. De meeste frames worden gebouwd met laaggelegeerde of ongelegeerde staalsoorten. Dit laatste klopt feitelijk niet; men bedoelt dat er meer dan 98 % ijzer in zit.

Bij staal is er boven de 723 °C een overgang in de kristalstructuur van de α fase naar de γ fase. Als we staal snel afkoelen, kan er een brosse structuur ontstaan. De framebouwer wil vooral een taaie buis hebben; het is dus zaak de afkoeling zo langzaam mogelijk te laten verlopen. Naarmate er meer koolstof in staal zit, wordt dit gevoeliger voor (te) snelle afkoeling. Om de kristalstructuur niet te veranderen, kan men een zilversoldeer kiezen met een laag smeltpunt b.v. 620° C, of een verbindingsmethode zonder warmte-inbreng zoals lijmen.

Kwaliteitsbuizen hebben een veel hogere rekgrens en treksterkte dan constructiestaal. In het algemeen hebben ze nauwelijks een vloeigrens en de rekgrens ($R_{0,2}$) ligt dichtbij de maximale treksterkte (R_m). Buizen van constructiestaal zijn vervaardigd uit een gelaste strip en hebben dus een lasnaad. Naadloze buizen zijn duurder (3-5X), maar homogener van structuur. Alle topbuizen zijn daarom naadloos. Gewoonlijk worden ze "butted" uitgevoerd: de uiteindes worden verdikt en soms brengt men er nog een verstevigingsprofiel in aan. Als beide zijden versterkt worden, noemt men dat "double butted" en als een verdikking extra dik is "triple butted". De zitbuis is gewoonlijk "single butted". De voornaamste reden om buizen butted uit te voeren, is de verwachte nadelige invloed van solderen of lassen. De stijfheid van een frame wordt helaas bepaald door het dunne middenstuk! Een buis die verlijmd wordt, kan gelijkmatig van dikte zijn (plain). De wanddikte Reynolds 531 is 0,6mm in het midden en 0,9mm butt; de wanddikte Reynolds 753 is 0,5mm in het midden en 0,7mm butt.

Koolstof C, chroom Cr, mangaan Mn, en molybdeen Mo, zijn de voornaamste legeringselementen voor laaggelegeerde staalsoorten. Een hoog koolstofgehalte (>0,2%) levert een sterkere buis, maar de buis wordt gevoelig voor snelle afkoeling na lassen of solderen: er kunnen brosse plekken ontstaan bij de overgang naast de verhitte plaats! Bij het aanduiden van laaggelegeerde staalsoorten geeft men vaak een formule, b.v. 34 Cr Mo 4 (Oria). Het getal 34 geeft het koolstofgehalte in honderdsten procenten, 0,34 (hoog!). Chroom is 't volgende legeringselement; daarna molybdeen. De 4 slaat op het Cr-gehalte (4/4=1%). Het molybdeengehalte is niet gespecificeerd.

Er is een nieuwe generatie laaggelegeerde staalsoorten geïntroduceerd voor TIG-lassen. De warmtebehandelde buizen harden na het lasproces verder uit, zodat de verbinding de sterkste plaats wordt in de constructie; dat willen we graag hebben. Hieronder vallen Reynolds 853 en Dedaccai 18MCDV6HT.

Hooggelegeerde staalsoorten zijn nog veel gevoeliger voor koolstof. Bij verwarming boven 450°C scheiden zich langs de kristalgrenzen chroomcarbides af, die aanleiding

kunnen geven tot brosse breuk bij wisselende belastingen. Voor lassen of solderen mag het koolstofgehalte niet hoger zijn dan 0,05%; we kunnen dit wel iets verhogen door sterke carbidevormers als titanium of niobium toe te voegen. In DIN- en Euro-normen wordt hooggelegeerd staal aangeduid door de hoofdletter X, gevolgd door het koolstofgehalte in honderdsten van procenten, daarna het hoofdlegeringselement (gewoonlijk Cr) en de andere legeringselementen. Hierna volgen getallen die het percentage van de legeringselementen aangeven. Wij delen RVS in 3 groepen in.

A: Martinsitische stalen, voorbeeld : X 40 Cr 13 0,40% C 13% Cr
 B: Ferrietische stalen, voorbeeld: X 8 Cr 13 0,08% C 13% Cr
 C: Austinitische stalen, voorbeeld: X 5 CrNiMo 18 10 0,05% C 18% Cr 10% Ni

Het molybdeen gehalte in de laatste legering is niet gespecificeerd (<1%). Martinsitische stalen zijn hard en bros; deze zijn voor framebouw niet geschikt. Het koolstofgehalte bepaalt grotendeels of een staal martinsitisch of ferrietisch is. Ferrietische en austinitische stalen met een laag koolstofgehalte zijn sterk en taai. Een groot probleem is dat de rekgrens bedroevend laag is (<250 N/mm²). In de tabel II met lasbare RVS-staalsoorten staat de Euro/DIN-norm naast de Amerikaanse AISI-norm; overeenkomstige types kunt U hier vinden. Door koudversteving (=vervorming) kan men de rekgrens en treksterkte flink verhogen. Dit is noodzakelijk om een bruikbaar framemateriaal te krijgen en qua gewicht met andere stalen te concurreren. Bij legering X 5 CrNi 18.10 stijgt de rekgrens van 220 N/mm² naar 900 en de treksterkte van 550 naar 1000 N/mm². De rek voor breuk daalt dan van 58 naar 9%! In de fietsindustrie worden deze RVS-buizen o.a. aangeboden door Duitse firma Poppe & Potthoff (voor zilversoldeerverbindingen). Columbus maakt de ferrietische Metax-buis (ook geschikt voor TIG-lassen). De RVS leidingen, zoals die in de chemie en voedsel-industrie gebruikt worden, zijn door de lage rekgrens voor framebouw alleen geschikt in de grotere diameters en/ of wanddiktes. Las nooit gewoon staal aan RVS, want het koolstof uit het staal zal brosse chroomcarbides vormen met het chroom uit het RVS; die lasnaad scheurt gegarandeerd. Solderen met zilversoldeer is wel goed mogelijk.

TABEL II

<u>EURO/DIN</u>	<u>AISI</u>	<u>R_{0,2}</u>	<u>treksterkte</u>
X 7 CrAl 13	405	250 N/mm ²	500-650 N/mm ²
X 5 CrNi 18.9	304	200 "	500-700 "
X 3 CrNi 18.9	304L	200 "	500-700 "
X 5 CrNiMo 18.12	316	200 "	500-700 "
X 7 CrNiTi 18.9	321	250 "	500-700 "
X 7 CrNiNb 18.9	347	250 "	500-700 "

Framesets van titaniumlegeringen zijn o.a. verkrijgbaar bij Reynolds en Columbus. Titanium is moeilijk lasbaar materiaal; TIG-lassen in een zuivere argon atmosfeer is de enige mogelijkheid. Vaak gebruikt men hiervoor een soort couveuse. Er mag absoluut geen lucht bij de las komen; bij meer dan 0,2% zuurstof ontstaat brosheid en scheurvorming. Ook stikstof en waterstof zijn desastreus voor de laskwaliteit. Door de ineenstorting van de ruimtevaart- en defensie-industrie na de val van de USSR, zijn de prijzen van titanium flink gedaald. We zien zeer fraaie en redelijk betaalbare frames uit het Oosten komen. Maar de verwerking blijft lastig en is daarom voor de doehetzelfer niet aan te bevelen.

Aluminium frames zijn momenteel de trend. Er worden tientallen legeringen op de markt gebracht. De meest voorkomende kwaliteitsaanduiding is de registratie van de Aluminium Association (Amerikaans). Als voorbeeld nemen we AA 2024-T4. Het belangrijkste legeringselement is hier koper (kenmerkend voor de 2000-serie). Een bekende handelsnaam hiervoor is duraluminium. Het toevoegsel T4 is een aanduiding voor de gebruikte veredeling van de buis. Bij T4 behandeling wordt na afkoeling van de extrusie een thermische oplossingsbehandeling gegeven tot 500°C. Hierna wordt snel afgekoeld tot 220°C. Vervolgens laat men natuurlijk ouderen bij 20°C. Bij de T5 behandeling wordt na extrusie niet meer opgelost, maar alleen kunstmatig verouderd, d.w.z. 4 tot 10 uur verhit bij 160 tot 190°C. Bij behandeling T6 wordt na oplossingsbehandeling kunstmatig verouderd. Zo worden de rekgrens en de treksterkte hoger; maar de rek neemt af. Om aluminium sterk te krijgen, halen de metallurgen al hun trucjes uit de kast. De rekgrens van stalen echter is 2 tot 3X zo hoog. De 5000-serie bevat vooral magnesium, de 6000-serie magnesium en silicium, de 7000 vooral zink, de 8000 bevat lithium en de 9000-serie bevat zirkonium, en/ of scandium als legeringselement. De legering AA 5086 (o.a. Columbus Altec en Vitus Duralinox) is niet sterker te maken door warmtebehandeling. De hoge treksterktes van deze legering zijn te danken aan koude vervorming. Het materiaal is goed te lassen, maar na het lassen zal er rekristallisatie plaatsvinden en de gewonnen sterkte wordt deels tenietgedaan. Bij Vitus lijmt men en ontstaat dit probleem niet. De lasbaarheid van warmtebehandelde buis is in het algemeen nogal slecht. Door het frame na het lassen in z'n geheel een nieuwe warmtebehandeling te geven, is dit weer op te heffen. Er zijn enkele legeringen (AA 6061-T6 en AA 7020-T6) die goed te verwerken zijn; de kristalstructuur is vlak na het lassen wel verslechterd, maar herstelt zich bij kamertemperatuur doordat de bij het lassen opgeloste stoffen zich opnieuw uitscheiden (dit duurt een maand).

Aluminium is te lassen via het TIG en MIG-proces met argon als beschermgas. Om een voldoende sterk en stijf frame te krijgen, kiest men grote wanddiktes: 1,7/1,4/1,7 mm voor de liggende onderbuis bij Reynolds 7000, en 1,8/1,3/1,8 mm bij Columbus Altec. Het lassen van aluminium eist veel vaardigheid van de lasser! De juiste keuze van de lasdraad is zeer belangrijk. Als we lijmen, kunnen we een sterkere buis kiezen b.v. AA 7075-T6, maar houd in de gaten, dat de lage stijfheid de beperkende factor is, niet de treksterkte! Hoogwaardige aluminiumlegeringen zijn niet makkelijk leverbaar; laat u geen onbekende rotzooi aansmeren! Columbus en Reynolds leveren aluminium framesets, maar veel fabrikanten bestellen hun buis naar eigen specificaties direct bij de aluminiumfabriek. In Nederland verkrijgbaar aluminium wordt vaak niet naar de Amerikaanse AA-norm ingedeeld, maar naar een DIN- of ISO-norm. In ISO is T4 TB, T5 TE en T6 TF. Vergelijkbare normen zijn:

AA 6061	:	DIN AlMg Si 1	:	ISO Al-Si1Mg
AA 7020	:	DIN AlZn 4,5 Mg 1	:	ISO AL-Zn4Mg
AA 7075	:	DIN AlZnMgCu 1,5	:	geen ISO norm

Er zijn ook fabrikanten van composiete buizen, o.a. de firma T.V.T.(carbon-epoxy) en de Duralcan metaalmatrix buis. Aluminium verbindingstukken om te lijmen, komen o.a. van CLB (C. Lauzier in Bourgoin-Jallieu, Frankrijk). Kirk maakte vroeger gegoten magnesium frames; Merida last momenteel magnesium frames. Maar het blijft moeilijk te verwerken, is erg corrosiegevoelig en minder stijf dan aluminium (zie tabel III).

TABEL III

<u>BUISSOORT</u>	<u>LEGERING</u>	<u>REKGRENS_{0,2}</u>	<u>TREKSTERKTE</u>	<u>OPMERKINGEN</u>
St 44-2	0,19%C	290 N/mm ²	430 N/mm ²	standaard rijwielbuis
St 52-3	0,22%C	370	510	high carbon tubing
COL.Aelle	C,Mn	650	720	plain buis
COL.Cyclex	Cr,Mo	830	1030	SL(X), SP(X), TS(X)
COL.Nivacrom	Nb,Va,Cr	1030	1280	MAX, EL, Genius
REY.531	Mn,Mo	710	790	T, C, SL
REY.753	Mn,Mo	1160	1160	geen R _{0,2} !
REY.853	Cr,Mo	1250	1450	TIG lassen
Aermet 100	CoNiCrMo	1700	2000	in USA te koop
POPPE&P.	Cr,Ni	900	1000	roestvast staal
TITANIUM	Al,Va	1080	1200	E-modulus 50% staal
MAGNESIUM	Al,Zn	230	320	E-modulus 20% staal
ALUMINIUM				E-modulus 35% staal
AA 2024-T4	Cu	325	470	Duraluminium,lijmen
AA 5086	Mg	300	350	redelijk lasbaar
AA 6061-T6	Mg,Si	270	310	goed lasbaar
AA 7020-T6	Zn,Mg	250	350	goed lasbaar
AA 7075-T6	Zn,Mg,Cu	490	570	o.a. Alan, lijmen!

5. COMPOSITEN

Een composiet bestaat uit twee verschillende materialen: een matrix (moeder-materiaal) en een wapening. Voor sommige composieten kan een lichtmetalen matrix gebruikt worden. Men gebruikt dan als wapening naalden ("whiskers") van SiC of Al₂O₃. Onder andere Specialized bouwt met deze "metalmatrix" buizen (Duralcan). Zo'n buis wordt gemaakt door een poedermix onder hoge druk tot het smeltpunt van de laagst smeltende component te verhitten in een buisvormige mal. Gewoonlijk is de matrix echter een kunststof. De mechanische eigenschappen hiervan zijn pover vergeleken bij de wapening.

Globaal verdelen we kunststoffen in thermoharders en thermoplasten. Thermoplasten bestaan uit lange moleculen, die bij verwarming steeds makkelijker langs elkaar glijden: ze verweken. Thermoharders zijn kunststoffen die driedimensioneel aan elkaar "groeien". Bij hoge temperaturen verweken ze niet, maar verkolen.

Composieten van thermoplasten worden versterkt met gehakte vezels. Het mengsel van kunststof en vezel wordt bij een temperatuur van 150 tot 250°C, in een mal gespoten tot eindproduct, b.v. kunststof wielen. De toepassing is beperkt tot industriële massafabricage. Het vezelgehalte is laag, maximaal 20 tot 30 %. De vezels zijn gewoonlijk van glas, hoewel er recentelijk ook hoogwaardige composieten met thermoplasten zijn ontworpen; toepassingen hiervan zijn er nog nauwelijks.

Er bestaan vele composieten met thermoharders; de meeste worden versterkt met vulstoffen en vezels. De fabricage gebeurt vaak bij hoge temperatuur en druk, maar er zijn twee belangrijke groepen thermoharders die bij atmosferische druk en kamertemperatuur uitharden: de epoxyharsen (EP) en de onverzadigde polyesterharsen (UP= unsaturated polyester). Beide producten variëren enorm in samenstelling, naar gelang de toepassing en gewenste eigenschappen. De grondstoffen zijn lange ketens, die door toevoeging van een "harder" aan elkaar worden verknoopt. Bij epoxy gebruikt men vaak een harder die pas bij hogere temperaturen actief wordt, zo kan men het hars langer verwerken en "prepreg-weefsel" gebruiken (reeds met hars geïmpregneerd en uit te harden in een oven). Polyesterharsen worden vooral gebruikt in combinatie met glas- of polyestervezels. Bij hoogwaardige composieten als carbon-, aramide- of polyetheenvezel, werkt men met epoxy; dit hecht ook goed aan metalen.

Glasvezels worden getrokken uit gesmolten glas. Chemisch bestaat glas hoofdzakelijk uit siliciumoxide. E-glas, de meest gebruikte soort, bevat weinig verontreinigingen. De sterkte is redelijk, maar de elasticiteitsmodulus is matig en de soortelijke massa hoog. De productie van carbonfibers geschiedt door een draad van rayon of dralon te verkolen bij 700 tot 950°C. De verkoolde draad wordt nu verder verhit tot boven de 2000°C. De koolstof gaat dan rekristalliseren tot grafiet. Het proces vreet energie, daarom is carbonfiber duur maar sterk en stijf. De aramides Kevlar 49 en Twaron HM zijn chemisch gelijk. Aramides hebben een hoge treksterkte en redelijke E-modulus, maar ze zijn slecht op druk belastbaar. Polyetheenvezels maakt men door lange ketens PE ($>10^6$) op te lossen in paraffine (Spectra) of decaline (Dyneema). Ze hebben een hoge treksterkte, redelijke E-modulus en een laag gewicht. Het nieuwe product M5 (PIPD) zal in de toekomst ook wel voor framebouw gebruikt gaan worden, maar het verkeert nog in de ontwikkelingsfase. Het is sterker en veel beter bestand tegen breuk als carbon. Men denkt de stijfheid nog te kunnen verbeteren, waardoor het ideaal is voor framebouw.

Het samenspel tussen matrix en vezel is nogal kritisch. De matrix dient de vezel geheel te doordrenken en zich goed aan de vezel te hechten. Dyneema krijgt om de hechting te verbeteren een z.g.n. "coronabehandeling". De matrix verdeelt de belasting over de vezels (trek en druk). Bovendien beschermt het hars de vezels tegen chemische en mechanische invloeden. Aan het eind van de vezel geeft het hars de krachten door aan de omringende vezels. Een groot probleem zijn de verschillen in uitzettingscoëfficiënt van matrix en vezel. Als de vezels zich losgewerkt hebben, nemen ze geen krachten meer op (vergelijkbaar met een losse spaak). Er ontstaat dan een zwakke plek in de composiet, waarvan niets te zien is, en die aanleiding kan zijn tot een plotselinge breuk (geen rek!). Koolstof en aramide worden geleverd in de kwaliteiten HT (high tensile= hoge treksterkte) en HM (high modulus= hoge E-modulus). In composieten kiest men gewoonlijk HM.

De diameter van de afzonderlijke vezels (filamenten) is ongeveer 0,007mm. Bundels filamenten heten rovings. Deze kan men twijnen ("opdraaien") tot garens. Een van de verwerkingsmethoden van composieten is het spuiten van gehakte rovings en hars tegen een mal. Het vezelgehalte is laag, circa 25%. Gehakte rovings kunnen ook met een bindmiddel tot z.g.n. glasmatten verwerkt worden, en daarna

geïmpregneerd met hars (vezelgehalte circa 35%). Verder kan men rovings tot weefsel verwerken (rovingmatten), of tot garen twijnen en als garensweefsel (doek) gebruiken; het vezelpercentage stijgt dan tot 50-60%. De matrix mag niet op afschuiving belast worden. Dit houdt in dat bij een buis-lugsframe de vezels van de buis de lugs onder een hoek van 45° moeten ingaan. Dwars op de vezels (90 en 0°) draagt de matrix deze krachten (dat niet lang goed!).

De belangrijkste constructiemethode is voor ons de handvorm of "handlay-up" methode. Men werkt hierbij met een simpele mal van hout of gips. De oppervlakte ervan wordt bestreken met een lossingmiddel, gewoonlijk polyvinylalcohol (PVA), omdat dit oplosbaar is in water. Hierop brengt men een dunne laag hars aan, waarop de rovingmatten of weefsels gelegd worden. De mat wordt goed aangedrukt om de weefsels te doordringen met hars en de luchtbellen te verwijderen. Nu wordt op het weefsel weer een nieuwe laag hars aangebracht, en eventueel weer een nieuwe laag weefsel. Door aan de binnenkant vacuüm te zuigen, kan men luchtbellen vermijden en overtollig harsgebruik voorkomen. Hierdoor wordt een maximaal haalbaar vezelpercentage van 60% bereikt. Als men met een kern (wood-core methode) van PUR-schuim of balsahout werkt, blijft deze zitten. Dit is extra gewicht (en stijfheid).

TABEL IV	vezel	s.m.(gr/cm ³)	sterkte(Gpa)	E-modulus(Gpa)	E/s.m.
	polyetheen	0,97	2,8	87	89,7
	aramide HM	1,45	2,8	125	86,2
	carbon HT	1,78	3,5	240	134,8
	carbon HM	1,85	2,5	400	216,2
	E-glas	2,55	2,0	74	29,0
	M5	1,7	5,3	350	205,9

In tabel IV zien we een overzicht van de eigenschappen van diverse vezels. Als constructeurs van fietsen zijn we niet geïnteresseerd in treksterktes. Licht en stijf is ons devies! We kiezen dus uitsluitend HM fibers. Winnaar is carbon HM, maar de nieuwe supervezel M5 belooft carbon in stijfheid, sterkte en eigenschappen te overtreffen. Eventueel kunnen we ook combinaties van carbon en aramide, of carbon en polyetheen nemen. Dit laatste weefsel is goed bestand tegen druk; een eigenschap waarin de meeste composieten slecht scoren en waardoor al veel constructies faalden. De ontwerpers staren zich blind op de hoge treksterktes, terwijl constructies net zo vaak op druk belast worden. De E-modulus vermeld in tabel IV is erg geflatteerd. Zoals we zagen is maximaal 60% vezel en minimaal 40% matrix (soortelijke massa 1,4). Een dergelijke vezel is wel doordrenkt met hars, maar niet glad; afgewerkte gladde en gelakte constructies halen gewoonlijk de 50% niet. De E-modulus van de composiet zal veel lager zijn dan de in de tabel vermelde waarde. Verder is de vezel alleen in de lengterichting stijf. In een frame waar veel verschillende belastingen op komen, moet daarom "vierkant" weefsel verwerkt worden, hier zijn de schering en inslag gelijk. Weefsel met vrijwel alle draden in een richting noemt men uni directionaal (U.D.); dit wordt gebruikt ter versterking als men in de stijfheid in een bepaald vlak wil verbeteren.

Fietsen met composiete buizen volgens de buis-lug-lijmmethode, geven veel minder verbetering in stijfheid t.o.v. overeenkomstige aluminium exemplaren, dan

men op grond van de stijfheid van de composiete buis zou mogen verwachten. Elke constructie is zo stijf als de slapste doorsnede. Daarnaast blijken de eigenschappen van de gekozen verbindingmethode van grote invloed te zijn.

6. VERBINDINGSTECHNIKEN

1^o HARDSOLDEREREN

Ouderwetse stalen fietsframes met soldeermoffen (lugs) worden door middel van hardsoldeerverbindingen gebouwd. Gewoonlijk worden de frames met een autogene lasbrander tot circa 950°C verhit, waarna men messingsoldeer in de lug laat vloeien. Als het staal gevoelig is voor hoge temperaturen kiest men voor zilversoldeer. Het duurste zilversoldeer bevat ± 60% zilver en smelt bij 600°C. Het is wel 25 maal zo duur als messing! De vloeibaarheid van het soldeer heet liquidus (dunvloeibaar = hoge liquidus, en stroperig = lage liquidus). Naarmate de spleetbreedte kleiner is, zal het soldeer een hogere liquidus moeten hebben. Zilversoldeer (hoge liquidus) moet een spleetbreedte hebben tussen 0,05 en 0,15 mm. Er ontstaat dan een drie-assige spanningslaag in het zilversoldeer. Deze is veel sterker dan de een-assige spanningslaag, die bij grotere spleetbreedte ontstaat; hoge liquidus zilversoldeer heeft van zichzelf namelijk weinig sterkte. Als een lug tamelijk veel speling heeft, mag deze daarom niet in zilver worden uitgevoerd. Naast het feit dat het hoge liquidussoldeer tijdens het solderen uit de verbinding loopt, kan de buis zich door de voortdurende wisselende belastingen op het frame loswerken. Deze soldeersoorten zijn niet geschikt voor lugloze frames.

TABEL V	40% zilver	18% koper	15% zink	27% cadmium	Smelttraject: 610-660°C
	60% "	30% "	0% "	10% tin	" : 610-710
	56% "	22% "	17% "	5% tin	" : 625-660
	40% "	30% "	30% "		" : 625-730
	20% "	40% "	40% "		" : 700-800
	9% "	53% "	38% "		" : 770-840
		60% "	40% "		" : 890-950
		48% "	40%	12% nikkel	" : 930-980

Messingsoldeer heeft een lage liquidus; de ideale spleetbreedte 0,1 tot 0,3 mm. Het heeft ook sterkte van zichzelf; men kan er lugloze frames mee solderen. De lugloze methode laat ons vrij in hoeken en buisafmetingen. De buis wordt passend gevijld en vast gesoldeerd; gebruik hiervoor liefst messing of lage liquidus zilversoldeer, 9% of 20% (zonder cadmium!). Bij lugloos solderen breng ik een papje van flux en soldeerpoeder aan de binnenkant van de buis aan. Dit vloeit bij verhitten van binnen naar buiten. Aan de buitenkant breng ik alsnog een walletje soldeer aan om de overgang zo geleidelijk mogelijk te maken. Niet zozeer voor de maximale sterkte, maar vooral voor lagere piekspanningen door een vloeiender krachtenverloop. De hoogst bereikbare sterkte van messingsoldeer is ± 450 N/mm², die van zilversoldeer ± 500 N/mm². Voor een goed resultaat dient men de buizen tot ongeveer 0,1mm nauwkeurig passend te vijlen. Gebruik liever geen wanddiktes kleiner dan 0,9mm

voor lugloze verbindingen; het hechtoppervlak wordt dan wel erg klein. Om een goede hechting te krijgen tussen soldeer en basismateriaal, zal het oppervlak perfect schoon moeten zijn. Ideaal is eerst reinigen met een ontvetter en daarna opruwen met fijn schuurpapier. Hierbij worden restanten van oxides verwijderd; bovendien hecht het soldeer beter op het ruwe oppervlak. Om te voorkomen, dat er tijdens het verwarmen een nieuwe oxidehuid ontstaat, smeert men de te solderen oppervlakte in met een vloeimiddel. Bij zilver gebruikt men hiervoor b.v. Flux-6 (smeltpunt 600°C), en bij messing b.v. Boracit (smeltpunt 800°C). Messingsoldeer wordt tegenwoordig vaak aangeboden met vloeimiddel in de staaf. Ik ben echter van mening dat het werk van het vloeimiddel gedaan moet zijn als je het soldeerstaafje aanzet. Bovendien bemoeilijkt het je kijk op het soldeerproces, omdat je zowel soldeer als vloeimiddel ziet lopen. Verder is het duurder en voegt het teveel vloeimiddel toe, dat je later weer moet verwijderen. Het soldeer dient het vloeimiddel geheel te verdringen; insluitingen van het vloeimiddel leiden tot framebreuk!

Zilversoldeer is kritischer om mee te werken, maar het lage smeltpunt maakt het mogelijk om een frame te bouwen m.b.v. een propaanbrander (turbo-type). Bij de zwaardere verbindingen (bracket, vorkkroon) is dan wel een extra brander nodig. Voor messingsoldeer is een zuurstof-acetyleen of zuurstof-propaanbrander nodig. Er zijn veel verschillen in samenstelling en smelttraject van het soldeer mogelijk. Naarmate er meer zilver in een verbinding zit, wordt de smeltemperatuur lager (en de prijs hoger). Zilversoldeer is ook geschikt voor het solderen van RVS; gebruik hierbij wel een speciale flux b.v. Ativatec 1000. Sommige legeringelementen hebben bij te hoge soldeertemperatuur de neiging uit te dampen (berucht is cadmium: giftig!). Een ander is zink (vooral bij messing): witte pluimen zinkoxide naast de verbinding. Zodra we de vereiste temperatuur bereikt hebben, verwarmen we het soldeerstaafje met wat flux erop, mee in de vlam; daarna zetten we aan. Het soldeer vloeit naar de warmste plaats; we kunnen het dus met de vlam sturen, maar kijk hierbij uit dat de "hotspot" (vlak voor de vlamtong van de acetyleenbrander), niet aan het soldeer komt. Het soldeer kan dan ontleden! De temperatuur van het staal is af te leiden uit de kleur.

<u>TABEL VI</u>		
	Diep donkerrood	530 °C
	Donker bloedrood	570 °C
	Bloedrood	650 °C
	Helder rood	700 °C
	Fel licht rood	800 °C
	Oranje	900 °C
	Licht oranje	950 °C
	Geel	1000°C
	Licht geel	1070°C
	Wit	1100°C

Puur koper (smeltpunt 1080°C) wordt ook gebruikt. Gazelle soldeerde hiermee b.v. een balhoofd aan balhoofdflugs, waarin later de andere buizen met messing gesoldeerd werden. Balhoofd en lugs vormden al een geheel; getrapt solderen heet dat.

Silumin is een soldeer voor aluminium; het smelt rond 580°C, vlakbij het smeltpunt van de meeste aluminiumlegeringen. Hiervoor is een autogene lasbrander nodig; de treksterkte is $\pm 150 \text{ N/mm}^2$, maar het wordt in de framebouw niet toegepast; lassen geeft een betere verbinding. Technoweld soldeer is sterker: 200 N/mm^2 ; het heeft geen vloeimiddel nodig en kan bij 390°C verwerkt worden met een gewone brander.

2° LIJMEN.

Er zijn twee lijmsorten geschikt voor het bouwen van frames: anaërobe kunstharsen en epoxylijmen. Anaërobe kunstharsen harden uit, als ze in een dunne laag tussen twee metaaloppervlakken zitten en er geen zuurstof bij kan komen. Bekende namen zijn Loctite en Threebond. Bij Alan, waar men pionierswerk verricht heeft, zijn de buizen en lugs geschroefd met een fijne draad en verlijmd met Loctite 317.

Er zijn twee types epoxy lijmen. Ten eerste de twee componenten lijmen, zoals Araldit AW2104. Dit product wordt geleverd in een dubbelspuit, waarin harder en hars tijdens 't spuiten vermengen. Dit hardt al bij kamertemperatuur uit. In de oven gaat dit echter sneller en wordt de kwaliteit van de verbinding beter. De schuifsterkte van Araldit AW106 uitgehard bij 23°C is 17 N/mm^2 ; bij 100°C: 27 N/mm^2 . Verder is de hardingstijd korter: bij 23°C 12 uur, bij 100°C 10 minuten! Omdat de schuifsterkte van lijm veel lager ligt dan die van soldeer, zal het hechtoppervlak vele malen groter moeten zijn. Een tweede type epoxy is de een-componenten lijm; in feite is de verharder hier al met het hars vermengd, maar deze wordt pas bij hogere temperaturen actief (in de koelkast bewaren!). Lijmen van dit type, zoals Araldit 118 en 119, zijn zeer geschikt voor metaal-metaalverbindingen. Bij een uithardingstijd van 1 uur bij 150°C bereikt men een schuifsterkte van 30 N/mm^2 . De ontwikkeling van exotische framematerialen maakt een keuze voor lijmen aantrekkelijk, omdat vrijwel elk materiaal verlijmd kan worden. Meer nog dan bij solderen kunnen we stellen, dat de kwaliteit van de verbinding staat of valt met de voorbereiding. Om een goede verbinding te krijgen dient men het metaal eerst te ontvetten. Daarna wordt de te verlijmen naad aan beide zijden opgeruwd met fijn schuurpapier en in een beitsbad gehangen. Men moet na het beitsen en drogen zo snel mogelijk tot verlijmen overgaan, om nieuwe oxidatie te voorkomen. Gewapende kunststoffen voor het verlijmen ontvetten, opruwen en weer ontvetten. De ideale lijmlaag is voor metalen ongeveer 0,1 mm en voor kunststoffen ongeveer 0,4 mm. Voor een optimaal resultaat, dient de lijm in een oven uit te harden. Begin pas aan een dergelijke klus, als u de vereiste bewerkingen kunt uitvoeren. Consulteer bij twijfel de leverancier VIBA Zoetermeer. Met name de verbinding tussen aluminium en carbon kan problemen opleveren (corrosie door galvanische werking).

De beitsbaden die men gebruikt, verschillen per metaalsoort; de lijmlieferancier kan ze kant en klaar leveren. Hier volgt een recept voor staal: eerst ontvetten en schuren. We maken nu een beitsbad door 1 liter zoutzuur (35%) bij 1 liter demiwater te voegen. We houden het bad op een temperatuur van 25°C, en we etsen gedurende 3 tot 10 minuten (afhankelijk van buisdikte). Spoelen met demiwater en goed drogen bij 65°C gedurende 10 minuten; onmiddellijk verlijmen. Restanten zijn chemisch afval!

Voor sommige lijmverbindingen kan het nodig zijn om de hechting nog verder te verbeteren. Titanium kan men nog beitsen in een tweede bad met natriumfluoride en chroomoxide. Aluminium kan men nog anodiseren in fosfor- of chroomzuur.



FIG.7 Slecht.

FIG.8 Goed.

FIG.9 Beter.

De overgang van lug naar buis heeft een grote invloed op de uiteindelijke sterkte en weerstand tegen wisselende belastingen. De vorm van de lijmnaad is erg belangrijk; de schuifsterkte van de lijmnaad in FIG.8 is 3X zo hoog als die van FIG.7; die van FIG.9 is nog iets beter. De schuifsterkte van een goede lijm is 30 N/mm^2 ; die van goede soldeer is 500 N/mm^2 : een lijmnaad moet dus een veel grotere oppervlakte hebben! Voor een goede bevochtiging moeten beide te verlijmen delen met lijm ingestreken worden. De juiste overlap van 'n lijmnaad voor een 30 mm buis is $\pm 45 \text{ mm}$. De verbinding dient de sterkste plaats te zijn; naarmate de buis sterker is, moet het lijmoppervlak groter zijn.

3^e LASSEN

Er bestaan diverse lasprocédés. Autogeen lassen met behulp van een brander en het lassen met beklede elektroden, waren vroeger het meest gangbaar. Helaas zijn beide ongeschikt om een kwaliteitsframe te bouwen. De doe-het-zelver die hiervoor kiest, dient grote veiligheidsmarges te hanteren, d.w.z. een dikwandige buis (1,5 tot 2mm) gebruiken! De enorme warmte-inbreng bij deze lasmethodes, betekent dat we het frame nog flink zullen moeten richten, want het trekt ongetwijfeld krom. Tijdens het lassen zet de buis namelijk uit; daarna zal bij het afkoelen de buis krimpen en ontstaan er spanningen in het frame. Deze blijven ook na het richten. De voortdurend wisselende belastingen op het frame kunnen echter het frame "ontlaten". Daarbij trekt het vaak weer krom.

Wie een autogene lasinstallatie heeft of huurt, kan dus beter solderen. Met een simpele lastrafo kan men d.m.v. koolspitsvlambogen ook wel hardsolderen. Deze methode is in onbruik geraakt, maar ze zullen nog wel leverbaar zijn. Als men de beperkingen van het lassen met beklede elektroden voor lief neemt, kan toch veel plezier aan zelfbouw beleven, al blijven de producten noodgedwongen zwaar. De te gebruiken elektroden zijn 1,5 en 2mm, stroomsterkte 20 tot 35 A. Veel voorkomende fouten zijn slakinsluitingen en hechtingsfouten.

Het volgende procédé is het MIG/MAG-lassen, ook wel CO₂-lassen genoemd. Deze lassets zijn in de afgelopen jaren binnen het bereik van de doe-het-zelver gekomen. De allerkleinste uitvoeringen hebben slechts voor enkele minuten gas in hun dure gasflesjes. Ik adviseer de meer gangbare 10 liter flessen te nemen. Hierin zijn vrijwel alle soorten beschermgas leverbaar en het is per liter stukken goedkoper. Hoewel de warmte-inbreng minder is dan bij beklede elektroden, blijft er naast de lasnaad een kwetsbare overgang van kristalstructuren, die aanleiding kan zijn voor framebreuk; kies dus geen te dunne buizen. MIG/MAG-lassen is bruikbaar bij wanddiktes vanaf 1,2 mm; dit is een relatief dikwandige buis. Er zijn meerdere fouten

mogelijk, o.a. gasinsluitingen en bindingsfouten. De belangrijkste oorzaak voor gasinsluitingen, is dat de toorts te schuin (d.w.z. niet haaks op de buis) gehouden wordt. Hierdoor kan de gasstroom lucht aanzuigen. Tijdens het lassen dient men erop te letten, dat het moedermateriaal voldoende smelt. Bij een te hoge lassnelheid ontstaan bindingsfouten!

Voor wanddiktes van 1,2 tot 1,5 mm, kiest men gewoonlijk een draadsnelheid van 3-5 m/min, bij een draaddiameter van 0,8mm. De gassnelheid is dan 8 tot 10 l/min.

De enige goede lasmethode voor frames is TIG-lassen; helaas is de benodigde apparatuur nogal prijzig. Men maakt hierbij gebruik van een lastoorts, waarbij een vlamboog getrokken wordt tussen een wolfram spits en het werkstuk, onder een beschermgas als argon of helium. Net als bij autogeelassen wordt met een lasdraad materiaal toegevoegd. De kijk op dit lasprocédé is zeer goed te noemen. De warmte-inbreng is gering en de las behoeft nauwelijks nabewerking. Vaak is het noodzakelijk om ook de binnenkant van de buis tijdens het lassen d.m.v. inert gas te beschermen. Gelaste topframes van staal, aluminium of titanium, zijn allemaal TIG-gelast. Ook RVS kan TIG gelast worden. Zoals bij elke verbindingsmethode hangt de kwaliteit af van het vakmanschap van de bouwer. Enige richtwaarden voor dit proces:

*staal (elektrode minpool): wanddikte 0,9mm, elektrode 1,6mm

lasstroom 100 A, argon 3 l/min, lasdraad 1,5mm

*aluminium (wisselstroom!): wanddikte 1,5mm, elektrode 1,6mm

lasstroom 115 A, argon 6 l/min, lasdraad 1,6mm

4^e POPNAGELEN

Dit is een simpele wijze van verbinden waarvoor de investeringen in gereedschap gering zijn. Een boormachine, een popnageltang, enkele lijmklemmen, een winkelhaak, een centerpunt en een rolmaat zijn de gewenste hulpmiddelen. Vaak zit het meeste al in de gereedschapskist.

De materiaalkeuze is in principe vrij, maar is in de praktijk altijd aluminiumplaat, eventueel hier en daar versterkt met profielen. Hoewel de techniek eenvoudig is en weinig training vergt, is zorgvuldig werken een must! Een goede popnagelverbinding dient aan één voorwaarde te voldoen om effectief bij te dragen aan de sterkte van een frame: hij moet de platen vast op elkaar klemmen. Net als bij de klinknagelverbinding komt de sterkte namelijk uit de wrijving tussen de platen. Als er speling is tussen de verbonden platen b.v. door braamvorming bij het boren, bestaat de kans dat de verbinding gaat "werken". Door wisselende belastingen op het frame, zal de popnagel de gaatjes in de plaat oprekken. Het frame piept en knarst, omdat de platen schuiven en er kunnen scheuren in de plaat optreden. Zorg er dus voor dat de beide platen bij het doorboren vast op elkaar geklemd worden, zodat zich geen braam tussen de platen kan vormen. Verwijder de eventuele braam aan de achterkant, door met de hand met een boortje van enkele mm's grotere diameter, de braam "eraf te draaien". Ook daar kan speling in de verbinding door ontstaan. Helaas is dit in de eindfase van de bouw niet mogelijk, omdat we nergens meer bij kunnen; kies dus meer verbindingen dan strikt noodzakelijk. Dat zorgt voor een lagere belasting per verbinding en dus minder kans op problemen. Het is mogelijk een van de te poppen

platen geheel vooraf te boren. Doe dit niet met beide platen, omdat de plaat zich zet tijdens het poppen en de gaatjes t.o.v. elkaar kunnen gaan verschuiven. Probeer zoveel mogelijk van buiten naar binnen te poppen, zo komt namelijk de vlakke kant van de popnagel boven; mooier en vuilwerend. Neem popnagels van 3 en/ of 5mm; liever veel kleine dan enkele grote nagels. Groter dan 5 mm is af te raden; het kost te veel kracht bij het verwerken als u met een eenvoudig handapparaat werkt. Met een machine gaat het duidelijk beter en makkelijker. Bovendien kunt u de plaat beter vasthouden, zodat er minder deukjes en vervormingen optreden.

7. DE AFWERKING

Om het frame te beschermen tegen corrosie, zal men een afwerklaag aanbrengen; gewoonlijk wordt het frame gespoten met lak. Voor de afwerking dienen de frames zo goed mogelijk geprepareerd te worden. Bij stalen fabrieksframes is stralen en fosfateren gebruikelijk voor het aanbrengen van de grondlak. Zo worden de vloeimiddelrestanten verwijderd. Dit spul is glashard; het trekt bovendien vocht aan. Resten die onder de laklaag blijven zitten, zwellen als puisten er doorheen.

Na stralen en ontvetten kan men staal ook verchromen door een elektrolytisch proces. Eloxeren is een elektrolytisch proces voor de bescherming voor aluminium. Aluminium is in principe corrosiebestendig, maar bij de sterkere legeringen is deze eigenschap verloren gegaan. Magnesium is erg corrosiegevoelig en ook hier is het een tendens om het via een elektrolytisch proces een keramische hardingslaag aan te brengen (Keronite). Titanium en RVS zijn corrosiebestendig; toch spuit men vaak blanke lak over de stickers. Aluminium dient men met 2-componentenlak te spuiten; deze wordt ook voor gewapende kunststoffen gebruikt.

Een ouderwetse verf is een hars (=bindmiddel) en een pigment (=kleurstof) opgelost in lichte koolwaterstoffen (=terpentine). Het oplosmiddel verdampt, hars en kleurstof blijven achter. Het hars reageert met zuurstof, zodat dit na uitharding niet meer in terpentine oplost. Vroeger gebruikte men natuurlijke harsen, tegenwoordig veelal alkydhars (=polyester). In spuitbusvorm zijn, naast langzaam drogende alkydharsen, ook sneldrogende acrylaat- en nitrocelluloselakken verkrijgbaar. Een ergerlijk verschijnsel bij meerlagen spuiten is dat het oplosmiddel uit de nieuwe laag de onderlaag nogal eens aantast; probeer het eerst uit voor je begint. Een nieuwe tendens zijn de waterbasiscoatings. Hier is het hars (gewoonlijk acrylaat) d.m.v. een emulgator (=zeep) tot een dispersie (=brij) vermengd. Door droging verdwijnt het water en het hars blijft achter.

De meest hoogwaardige lakken bestaan uit twee componenten. Na menging dienen deze snel verwerkt te worden. Er ontstaan "thermoharder" netwerken in de lak (epoxy of polyurethaan). Een grofmazig netwerk is flexibel en stootvast, en een fijnmazig netwerk is hard, maar zeker niet stootvast! Als toplaag kiest men gewoonlijk polyurethaan, omdat dit ongevoelig is voor UV-licht. Men kan twee componentenlak langer houdbaar maken door te zorgen, dat een van de componenten pas bij hogere

temperatuur actief wordt en het gespotene daarna moffelen (drogen in een oven). Een oven wordt ook toegepast in een andere verftechniek: poedercoatings. Elektro-statisch (positief) geladen poeders worden op een geleidende ondergrond gespoten en bij 200°C vastgebakken.

Helaas zijn deze methodes alleen geschikt voor fabrikanten. Doe-het-zelvers gebruiken nog vaak oplosmiddellakken. Zorg dat de ondergrond vet-, stof-, en oxidevrij is. Gebruik een grondlak; deze bevat metaalmoleculen en -ionen, die een betere hechting geven aan de ondergrond. Draag bij spuiten een stofmasker en denk eraan dat er explosieve dampen ontstaan: pas op met elektrische vonken! Van mij mag u ook met de kwast verven.

8. STUURGEOMETRIE

Negen en negentig procent van de fietsen heeft een balhoofdhoek tussen de 70 en 76°. Steile balhoofdhoeken en een grote vorkdoorbuiging ("sprong") maken het stuurkarakter directer. Minder steile balhoofdhoeken en weinig gebogen vorken maken het stuurkarakter stabiel. Ook de wielbasis is belangrijk: korte fietsen zijn nerveuzer; verder hoort bij een kleine wielmaat een minder gebogen voorvork. Als de vorkdoorbuiging klein is, is de naloop groot en het stuurkarakter erg stabiel. Het bewaren van het evenwicht bij lage snelheden gebeurt dan met een grote stuuruitslag, een gevolg van te grote stabiliteit. Een bepaalde mate van instabiliteit is gewenst! Als de vorkdoorbuiging groot is, zullen de krachten die via de vork op het stuur uitgeoefend worden, ook groot zijn. Vooral bij hoge snelheden op hobbelige wegen maakt dit het sturen lastiger. Racefietsen hebben dus een kleine vorkdoorbui-

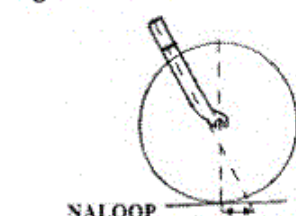


FIG.10a Goed.

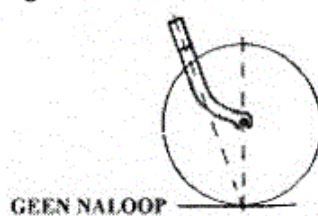


FIG.10b Fout.

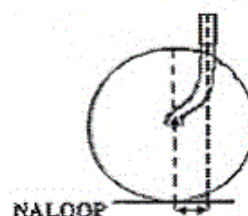


FIG.10c Omgekeerd.

ging en een grote naloop (fig. 10a), en toerfietsen een grote vorkdoorbuiging en een kleinere naloop. Een goede stuurgeometrie leidt tot een licht "oversteer" karakter d.w.z. de fiets heeft de neiging een ingezette bocht automatisch te volgen; scherpsturend noemt de coureur dat. Veel gewicht op het voorwiel b.v. door montage van een triathlonstuur, maakt de besturing van de fiets nerveuzer. Als de naloop nul is (fig.10b), heeft de fiets geen eigen stabiliteit meer. Bij nog sterkere doorbuiging krijgen we "voorloop" en wil de fiets alle kanten op behalve rechtdoor; dit is vermoeiend en gevaarlijk! We kunnen in principe ook een naloop krijgen door de vork om te draaien, zoals bij fig.10c; dit wordt o.a. toegepast bij stayerfietsen. Voor ons als fietsconstructeurs is de naloop een afgeleide maat. Wij kiezen een balhoofdhoek en nemen daar een vorkdoorbuiging bij, die de door ons gewenste stabiliteit geeft.

TABEL VII	* BALHOOFD	* VORKDOORBUIGING
	70°	45-57 mm
	71	43-54
	72	41-51
	73	39-48
	74	37-45
	75	35-42
	76	33-39

Sommige voorvorken zijn niet gebogen maar recht. N.B. Deze vorkschedes maken wel degelijk een hoek met de binnenbalhoofdbuis, zodat de naloop niet te groot wordt! In tabel VII staan aanbevolen maten voor een 28 inch voorwiel. Naarmate de wielbasis groter is, dient men de waardes dichterbij het aanbevolen maximum te kiezen. Als de wieldiameter kleiner is, 20 inch ofwel 480 mm i.p.v. 670 mm, neem dan een evenredig kleinere vorkdoorbuiging: 72 % van de aanbevolen waarde in de tabel. Kies bij tandems een relatief grote vorkdoorbuiging, b.v. 50mm bij 72°. Besteed veel aandacht aan het uitlijnen; met een tandem staan er twee mensenlevens op het spel. Het theoretisch stuurgedrag van alle voertuigen met een enkel sturend voorwiel is aan dezelfde basisprincipes onderworpen. Ligfietsen vormen dus geen aparte klasse; toch zien we daar duidelijke afwijkingen van de hierboven aangegeven richtwaardes, met name als de trapas op het sturende voorframe zit. De invloed van de trapkracht op de besturing is bij gangbare balhoofdhoeken zeer groot. Om deze te verminderen kan men twee wegen kiezen: balhoofd 0° of 90°. Als compromis treffen we soms 45° aan, o.a. bij de eerste Flevo-bikes (zie FIG.11.). De invloed van de aandrijving is hier nog steeds groot; feitelijk bestuurt men de fiets met benen en heupen. Het fietsen erop vergt dagen training. Er is ook een driewielige versie van deze fiets; omdat je het evenwicht niet direct hoeft te bewaren, leer je het sturen vlugger aan.

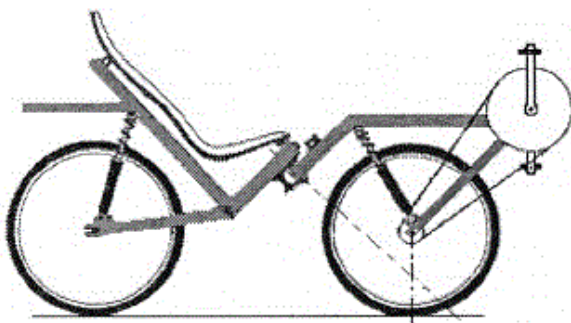


FIG. 11.

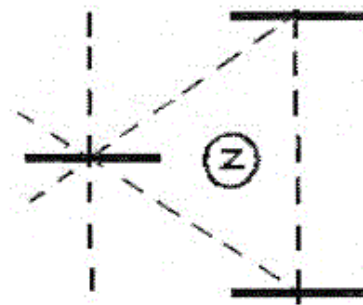
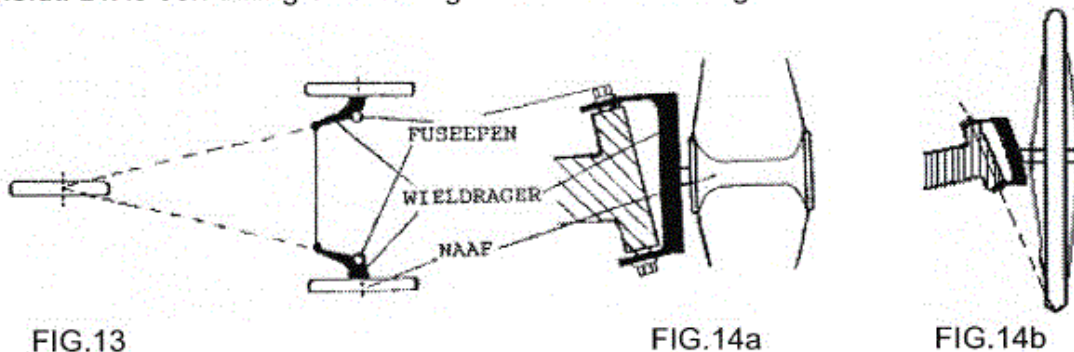


FIG. 12.

Voor de klassieke driewieler met één sturend voorwiel beveel ik ook een grote vorkdoorbuiging aan. Driewielers zijn in de bocht niet zo stabiel, omdat het zwaartepunt Z te dicht bij de kantellijnen ligt. Het binnenwiel heeft in de bocht de neiging omhoog te komen. Zodra het zwaartepunt over de kantellijn is, slaat de driewieler om. Het zwaartepunt dient zo laag mogelijk te liggen en zo ver mogelijk van de lijn door de achteras en de voorassen (zie FIG.12). In de beginjaren van de

Human Powered Vehicles (HPV) waren de driewielers dominant. Driewielers met twee sturende voorwielen, zoals de Alleweder van Bart Verhees, hebben een met de auto vergelijkbare stuurproblematiek. Hier is zelfs gekozen voor McPherson ophanging (remmen in de verende vorkpoten). Een ander bekend product was de Jouta. Deze driewieler had één aangedreven voorwiel en twee sturende achterwielen (het "molenwiek"-principe). Helaas is het bochtgedrag van dit type besturing nogal lastig; er valt wel aan te wennen, maar het is niet zelfstabiliserend. Bij een voorwielbesturing met fusees zal het voertuig na het uitkomen van de bocht uit zichzelf weer rechtdoor willen gaan, net als een auto. Bij molenwiekbesturing moet je blijven sturen. Een ander probleem is dat het voorste deel van de fiets gaat hellen in de bocht; net als bij een tweewieler. Die hellingshoek wordt nu niet bepaald door de snelheid, maar door de balhoofdhoek van de achterkant. Er ontstaat een compromis: bij te langzaam nemen van de bocht wil de rijder naar binnen vallen. Bij het te snel nemen van de bocht wil de rijder naar buiten. Rest ons de bespreking van de geometrie van twee sturende voorwielen. Wanneer we met een dergelijke driewieler een bocht maken, zal het wiel aan de binnenkant een kleinere draaicirkel moeten beschrijven dan het buitenste wiel. Beide wielen zijn d.m.v. het stuurstangstelsel met elkaar verbonden. De vorm van het trapezium wordt bepaald door de afstand naar het midden van de achteras, het z.g.n. Ackermanprincipe (zie FIG.13).

Het draaipunt van de wielen wordt gevormd door de fusees (zie FIG.14a). Deze dienen schuin naar binnen ($5-10^\circ$), en naar achter ($1-5^\circ$) te hellen. Als u een enkel sturend voorwiel met fusee zou nemen, dan dient de hoek tussen voorwiel en wegdek zo gekozen te worden, dat de hartlijn door de fusee het wegdek snijdt op het vlak door het wiel, zie FIG.14b. Centerpoint besturing noemt men dat; een nadeel hiervan is dat speling in het stuurstangstelsel of de fuseepen zeer snel tot een z.g.n. shimmy leidt! Dit is een trilling om de lengteas van het voertuig.



Bij twee sturende voorwielen kiest men daarom een wat steilere hoek (ook wel K.P.I. genoemd); het snijpunt met het wegdek valt nu tussen de wielen. De afstand tussen snijpunt en wielvlak noemt men de schuurstraal. Beide waardes zijn bepalend voor het stuurgedrag van de driewieler, met name voor stabiliteit en het zelfcorrigerend effect bij het uitkomen van de bocht. Een grotere schuurstraal levert een sterker zelfcorrigerend gedrag op. Maar de besturing wordt zwaarder en het kost energie. In de besturing kunnen energieverliezen ontstaan door slecht sporen (niet evenwijdig lopen van de wielen). "Toespoor" is het naar binnen wijzen van de wielen en "uitspoor" het naar buiten wijzen; dit laatste leidt tot instabiel gedrag en moet vermeden worden.

Wie vering toepast, kan de wielen t.o.v. de as iets naar buiten te laten hellen (V-vorm). Door inverting staan de wielen dan bij gebruik weer loodrecht op het wegdek. De wielen van een driewieler krijgen grote zijwaartse belastingen in de bochten. Gebruik sterke spaken en liefst geen 28 inch wielen. De remmen op de parallelle wielen dienen met dezelfde kracht aan te grijpen anders wil onze driewieler de bocht om. We moeten dus een "balansconstructie" voor het gelijktijdig bedienen verzinnen.

9. DE AANDRIJVING

Op een baanfiets (vaste aandrijving zonder versnellingen) is het rendement van de ketting maximaal 98 %. Bij een gewone racefiets met freewheel en versnellingen halen we hooguit 96 %; in de zware versnellingen nog iets minder. In het slappe part van de ketting zit namelijk de derailleur (zie FIG.15 bij B). Hier zijn 2 tot 4 procenten verlies, bij een vuile of roestige ketting zelfs het dubbele. Ook het gebruik van kleine tandwielen (11-12) op het blok kost tot 1 % vermogen en extra slijtage van ketting en tandwielen. De hoek die de ketting draait om de derailleurwielletjes is eigenlijk te groot (of de wielletjes te klein). Dit geldt zeker in de zware verzetten, waardoor de ketting sneller slijt. Bij ligfietsen wordt vaak gebruik gemaakt van slangachtige beschermings-systemen en geleiderollen voor de ketting. Zeker als ze in het trekkende deel van de ketting zitten (zie FIG.15 bij A) zijn dit vermogenvreters (een tot drie procent). In het slappe part B zal het ongeveer de helft zijn.

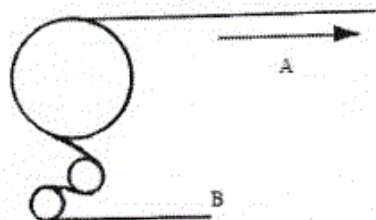


FIG.15

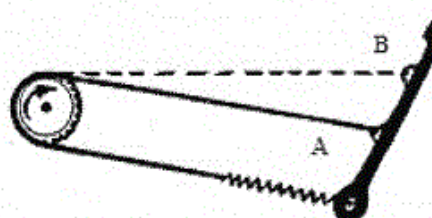


FIG.16

Naast derailleurs zijn er ook naafversnellingen (planetaire stelsels) te krijgen, o.a. van Shimano en Sturmey Archer; deze zijn bruikbaar, maar er zijn relatief veel verliezen. Slechts een van al die versnellingen heeft een rendement van 98%; de rest zal afhankelijk van het aantal ingeschakelde planeten gemiddeld 87-94% halen. SRAM heeft de firma Sachs opgekocht en kocht daarmee een heel goede 7-bak en een 3-bak met combinatie voor achterderailleur (eigenlijk een vervanging van het triple-crankstel voor). De Sachs 12-bak gaf veel problemen en is niet meer in productie. De versnellingsbakken van SRAM en de Duitse firma Rolhoff (een lichte 14-bak) hebben zich bewezen als topklasse onder de versnellingsnaven. De Rolhoff is te combineren met schijfremmen, maar zo'n achterwiel kost helaas al gauw 1000 euro.

Aandrijvingen via hefboomen of roeibewegingen werken gewoonlijk met kettingen, freewheels en een veerretoursysteem (zie FIG.16). Door het verplaatsen van het aanhechtingspunt op de hefboom van A naar B, krijgen we een traploos verstelbaar versnellingsysteem. Dit principe is al heel vaak uitgevonden! In de HPV is hand-

aandrijving een aparte discipline. Men kiest toch vaak voor roterende crankstellen. De hefboomen van de vliegende Hollander en de klassieke rolstoelwielen bieden voor de duursport meestal te weinig mogelijkheden. Eind jaren negentig is Derek Thijs zijn roeifietsen gaan uitrusten met een aandrijving via een stalen kabel: de Sneek. Dit systeem werkt goed bij de roeifietsen van Thijs; de slijtage is nog aan de hoge kant.

10. DE MENS ALS MOTOR

Wat kan de mens als motor van een voortbewegingsmachine leveren aan pk's? Nou, tegenwoordig is de oude eenheid paardenkracht vervangen door de Watt (W). Een pk is ± 740 Watt. Gedurende enkele seconden kan een getrainde atleet meer dan 2300W (3 pk) leveren. Als het over een langdurige maximuminspanning gaat (b.v. een uur), zakt dat naar 300-400W; een gezonde, maar niet echt getrainde, jongeman levert maximaal 150-200W. Uitgaande van eenzelfde trainingsintensiteit neemt het vermogen tot je 25^e toe, en blijft dit tot je 40^e nagenoeg gelijk. Na je 40^e zal het afnemen met ongeveer 1-1,5% per jaar. Als we op een windstille dag op de vlakke weg onderin de beugel van de racefiets zitten, zien we het volgende verband tussen vermogen en snelheid:

50W: ± 20 km/u ; 140W: ± 30 km/u ; 300W: ± 40 km/u ; 1000W: ± 60 km/u

Dit laatste vermogen geldt natuurlijk alleen voor de kortstondige eindspurt. Het vermogen (P =power) van de fietser is het product van weerstand (R =resistance) en snelheid (v =velocity). Op ons snelheidsmetertje lezen we de snelheid af in km/u; als we dit delen door 3,6 komen we op de snelheid in m/s. Er zijn diverse vormen van weerstand: rolweerstand R_r , luchtweerstand R_l , hellingweerstand R_h en acceleratieweerstand R_a . Deze weerstanden samen opgeteld (R_{totaal}) vermenigvuldigen we met de snelheid en delen we door het rendement van de aandrijving; meestal zo'n 95%.

De luchtweerstand $R_{\text{lucht}} = 0,5 \cdot \rho_{\text{lucht}} \cdot C_w \cdot A \cdot v^2$ Hier is ρ_{lucht} de soortelijke massa van de lucht bij 1 bar (in Nederland $\pm 1,22$ kg/m³; op 1800m is dat $\pm 1,0$ kg/m³). C_w is de vormfactor, voor een diep zittende coureur 0,9 en voor de opafiets 1,1; A is het frontaal oppervlak. Voor een vent van 2m en 100 kg rechtop met een opafiets zal $A = 0,75\text{m}^2$ zijn. Voor een diepzittende coureur zal dat $0,35\text{m}^2$ zijn (rechtop $0,6\text{m}^2$). Bij het opgenomen vermogen door luchtweerstand moeten we vermenigvuldigen met snelheid v en delen door het rendement van de aandrijving (0,95).

Voorbeeld is onze coureur: $P_{\text{lucht}} = 0,5 \cdot 1,22 \cdot 0,9 \cdot 0,35 \cdot 5,56^3 / 0,95 = 35\text{W}$.

Voor de opafietser geldt: $P_{\text{lucht}} = 0,5 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 0,75 \cdot 5,56^3 / 0,95 = 91\text{W}$.

Een heel klein deel van de rolweerstand van een fiets komt voor rekening van de lagers; bij een goed onderhouden kwaliteitsfiets is dit verwaarloosbaar. Het overgrote deel van de rolweerstand komt uit de banden. Het oppervlak waarover we rijden, hard of zacht en ruw of glad, heeft een grote invloed op de snelheid. De bandenkeuze zal hier vaak op aangepast worden. Een glad hard oppervlak als een wielervedbaan en een profielloze keihard opgepompte racetube leveren de laagste rolweerstand. Tijdens

een cyclocross zal dit wielje een hoge weerstand opleveren, doordat er energie verspild wordt voor vervorming van het terrein en het doorslaan bij het kracht zetten. De rolweerstand $R_{rol} = m \cdot g \cdot C_r$. Deze rolweerstandscoefficiënt C_r op asfalt is ongeveer :

Clement seta tube met 8 bar = 0,002	Raceband 23 mm met 7 bar = 0,003
ATBband grof profiel 47 mm met 3 bar = 0,008	Toerband 32 mm met 5 bar = 0,005
Antilekband 37 mm met 5 bar = 0,007	Antilekband 37 mm met 3 bar = 0,01

Bij de laatste waarde zien we het belang van het letten op de bandenspanning. Dit is bij stugge banden niet direct met de hand te voelen. Het opgenomen vermogen door rolweerstand bij de opafietsers incl. fiets zo'n 120 kg met antilekbanden bij 20 km/u:
 $P_{rol} = 120 \cdot 9,81 \cdot 0,007 \cdot 5,56 / 0,95 = 48W$; voor een coureur+fiets samen 80 kg bij 20 km/u:
 $P_{rol} = 80 \cdot 9,81 \cdot 0,003 \cdot 5,56 / 0,95 = 14W$.

Als we de luchtweerstand erbij tellen, geldt op vlakke weg bij 20 km/u: voor de racefiets $P_{totaal} = 49W$ en voor de opafiets $P_{totaal} = 139W$! Dat is nogal een verschil! Bij 36 km/u rijden we 10 m/s en dan is P_{rol} voor de racefiets $\pm 40W$. Op een vlakke weg, tijdens een windstille dag, hebben we $\pm 250W$ nodig. De hellingsweerstand is nul, dus de luchtweerstand is 210W; dit is meer dan 5 maal de rolweerstand. Bij 18 km/u is de rolweerstand 20W en de luchtweerstand 25W. Levert u weinig vermogen, dan is de rolweerstand dus erg belangrijk. Als uw duurvermogen lager ligt als 150W zal een gestroomlijnde driewieler als de Alleweder daarom geen snelheidswinst bieden.

De acceleratieweerstand R_a is massa (m) maal versnelling (a). Als 't beschikbare vermogen groter is dan het opgenomen vermogen, zal de fietser versnellen. Bij een hogere snelheid neemt vooral de luchtweerstand toe; zodra 't beschikbare vermogen gelijk is aan het opgenomen vermogen, rijden we met een constante snelheid.

Het opgenomen vermogen door hellingweerstand is: $P_{helling} = m \cdot g \cdot \% \cdot v / 0,95$. Hierin is m de massa in kg, g de zwaartekracht 9,81 N/kg (afgerond 10), "%" is de helling procenten. Bij hoeken kleiner dan 10° komt dit overeen met de sinus (sinus $10^\circ = 0,17 = 17\%$); v is snelheid in m/s en we delen door het rendement van de aandrijving (95% = 0,95). Een voorbeeld: een rijder, samen met zijn fiets 75 kg, gaat de Mont Ventoux op. De klim is 18 km lang en wordt in een uur voltooid (5 m/s); het stijgingspercentage is 9%. Het benodigde klimvermogen $P_{helling} = 75 \times 10 \times 0,09 \times 5 = 337,5 W$. Onze held heeft ook nog de luchtweerstand van 25W en de rolweerstand 20W overwonnen. In totaal is er dan een beschikbaar vermogen nodig van circa 380W. Helaas is er nog 5% verlies in de aandrijving; we moeten nog delen door 0,95. Dan komen we op een afgegeven vermogen van 400W! Deze man verdient een profcontract. Stel hij heeft een verzet gebruikt van 42-21; de buitenband had een omtrek van 2,1m dan krijgen we per omwenteling van de crank: $(42: 21) \times 2,1 = 4,2 m$; dit is 238 omwentelingen per kilometer en ongeveer 71 omw./min.

Op zijn zestigste, en 25 kilo zwaarder, wil hij de klim nog eens overdoen, maar dan brengt hij nog slechts 150W. Wat voor verzet zou hij moeten steken, als hij minimaal 60 omw./min. (1 per seconde) wil maken? Als de snelheid laag is, wordt nagenoeg het totale vermogen omgezet in klimvermogen. Ruwweg houdt hij dus 135W over als $P_{helling}$; invullen in de formule. De snelheid wordt dan $1,5 m/s = 5,4 km/u$. De klim zal dus ongeveer 3.20 uur duren; dit zijn 200 minuten ofwel 12000

omwentelingen. De afgelegde afstand per omwenteling wordt dan $18000\text{m} : 12000 = 1,50\text{m}$. Stel het kleinste tandwiel voor is 24; in combinatie met een 34 als grootste tandwiel achter, vinden we 1,48 m per omwenteling.

Welke krachten oefenen wij uit op het frame? De belangrijkste krachten oefenen we uit via de pedalen. Hier geldt de formule: de gemiddelde kracht is het gemiddelde vermogen gedeeld door de pedaalsnelheid: $F_{\text{gem}} = P_{\text{gem}} / v_{\text{pedaal}}$. Een voorbeeld:

P_{gem} is 300W, het traptempo 60 omw./min., cranklengte 175mm ($d = 0,35\text{m}$).
 v_{pedaal} is dan: $\pi \times 0,35\text{m} \times 1/\text{s} = 1,1 \text{ m/s}$ en F_{gem} is dan: $300 \text{ Nm/s} : 1,1 \text{ m/s} = 273 \text{ N}$.
Het gaat hier om gemiddelde kracht. De piek van de kracht zal 1,5-2,5 maal hoger liggen; bij hoge vermogens, zoals een spurt, zullen ook de krachten sterk toenemen. De coureur kan dan niet meer blijven zitten, omdat de krachten die hij uitoefent groter zijn dan zijn gewicht. Dit effect heet in het engels "jacking". Het is vergelijkbaar met de aanloop van een hoogspringer, waarbij energie in voorwaartse richting, omgezet wordt in verticale richting. Pieken tot 2500 N zijn al gemeten! Bij inspanningen van ongeveer 250W, zal de kracht rond 20-30% van het lichaamsgewicht liggen.

We praten bij een om een as draaiende kracht over een moment of bij een krachtenstelsel over een koppel. Volgens deze definitie is onze aandrijfkraft geen zuiver koppel, omdat we eigenlijk maar met een been tegelijk kracht zetten. Moment is kracht maal arm: $M = F \times r$. Bij een verzet van 42 tanden voor en 21 tanden achter, wordt het toerental van de achteras verdubbeld en de kracht gehalveerd!

Welke kracht F heeft een coureur nodig om een lange 17% helling op te rijden? Het antwoord is simpel: stel het totaal gewicht van coureur+fiets is 1000N, dan wordt dus $F = 1000\text{N} \times 0,17 = 170\text{N}$. Het moment dat geleverd moet worden, bij een wiel met 670mm doorsnede: $M = 170\text{N} \times 0,335\text{m} = 57\text{Nm}$. Dit moment gaat ook door spaken en naven. Stel onze naaf heeft een straal van 0,025m; dan wordt de kracht in de naafflens $57\text{Nm} / 0,025\text{m} = 2280\text{N}$. Als er 36 spaken aanwezig zijn, is dat 63N per spaak. Maar dit is alleen het geval als de spaak haaks op de hartlijn van de flens staat; bij een 3x gekruist achterwiel is de hoek met de hartlijn 60° en moeten we nog eens delen door $\sin 60^\circ$; dat levert een waarde op van 73N per spaak.

Stel deze coureur heeft door een defect aan zijn derailleur slechts de beschikking over het verzet 42-14. De maximale gemiddelde pedaalkracht die hij kan zetten is 500N en de cranks zijn 175mm. Komt hij daarmee boven?

Het maximaal moment is: $(0,175\text{m} \times 500\text{N}) / (42 : 14) = 29 \text{ Nm}$! Nee dus, hij heeft bijna het dubbele, 57 Nm, nodig. Dit betekent dat hij 42x 28 moet schakelen. Nu is bekend dat lage trapfrequenties (<40) snel schadelijk zijn voor de kniegewrichten. Als we dit minimum aanhouden, hoeveel vermogen moet hij dan leveren?

Hij maakt 40 omw./min. (= 0,67 per sec). ;de wielomtrek = $\pi \times d = 2,1\text{m}$; het verzet is 42: 28 = 1,5. Zijn snelheid v is: $2,1\text{m} \times 0,67 \text{ 1/s} \times 1,5 = 2\text{m/s}$ (=7,2km/u). Zijn benodigd klimvermogen $P_{\text{helling}} = 1000\text{N} \times 0,17 \times 2 \text{ m/s} = 340\text{W}$. Als we nog 40W rekenen voor rol- en luchtweerstand en rendementsverlies, komen we op 380W uit. Hieruit blijkt dat er een goede coureur voor nodig is; zeker als de klim erg lang is.

11. CONSTRUCTIEF DENKEN

Elke constructie heeft voordelen en nadelen. Het kinderdriewielertje heeft een directe aandrijving, dat wil zeggen dat pedalen en cranks vastzitten aan het wiel. Dit is een hele simpele constructie, maar er is ook een groot nadeel. Eenmaal rond draaien van het trapstel, is eenmaal ronddraaien van het wiel. Als je een beetje vaart maakt, draaien de wieltjes sneller dan de benen kunnen bijhouden. Om deze reden werd het voorwiel van de eerste fietsen eind negentiende eeuw steeds groter. Je moest met dat wiel ook nog sturen! Met de introductie van kettingaandrijving kon het wiel sneller draaien dan de pedalen. Daarmee verhuisde de aandrijving naar de achterkant; het sturen bleef de taak van het voorwiel. Heel belangrijk was dat de zitpositie lager werd en de rijder met beide voeten aan de grond kon komen.

Het ontwerpen is het belangrijkste moment bij de constructie van een nieuwe fiets. Het overgrote deel van de problemen, die bij het bouwen ontstaan, is terug te voeren op slecht denkwerk in de ontwerpfase! De persoonlijke voorkeur voor bepaalde rijeigenschappen speelt een belangrijke rol. Ik kies voor een relatief grote naloop; fijn rustig en stabiel, maar iemand anders zal een dergelijk stuurkarakter als sloom kwalificeren. Vervelender is overigens als u niet eens weet wat u wilt!

Om te beginnen met ontwerpen kunt u de maten van een fiets opmeten en op millimeterpapier (schaal 1:10) weergeven. Probeer nu om een eigen model te tekenen, waarvan de maten en hoeken realistisch zijn. De meeste van mijn ontwerpen zijn niet verder gekomen (papier is geduldig en goedkoop). Als de beslissing is genomen om werkelijk een fiets te bouwen, teken dan een wat groter model (1:5). Probeer hierbij vooral de hoeken en belangrijke maten te bepalen. Teken het ontwerp, als het klaar is, op ware grootte b.v. op 'n stuk behang. Controleer daarna alle hoeken en maten nog eens. Werk verder uitsluitend vanaf de tekening. Het timmermansoog van de vakman ziet afwijkingen van $\pm 0,5^\circ$ en $\pm 1\text{mm}$. Geef alle nokjes aan!

Het denken over constructies en ontwerpen vergt enige kennis van mechanica. Hoe grijpen de krachten aan en is het ontwerp sterk genoeg om de krachten die erop werken te weerstaan? In FIG.17 zien we de combinatie van krachten die op een herenframe (diamantframe) werken. De statische belasting, een fiets van 10 kg en een rijder van 80 kg, is klein in vergelijking met de dynamische krachten. Als een coureur op snelheid door een diepe kuil raast, ontstaan er piekbelastingen, die 2 tot 3X zo hoog zijn! Het frame moet dit kunnen verdragen: het zou de schokken zelfs niet door moeten geven aan de rijder. Maar op een rubberen frame kan de rijder weer geen krachten uitoefenen!

Een fietsframe moet zo stijf zijn, dat de aandrijfkrachten van een sterke rijder zonder verliezen overgebracht kunnen worden. Het zou zo slap moeten zijn, dat een coureur een dagje kasseien kan fietsen zonder pijn in zijn polsen. Deze eigenschappen zijn slecht te verenigen; gewoonlijk zijn stijve frames "hard". Het frame vormt het verbindend element tussen de onderdelen. Het moet zo sterk mogelijk zijn en voldoende stijf. De toerist stelt andere eisen dan de coureur.

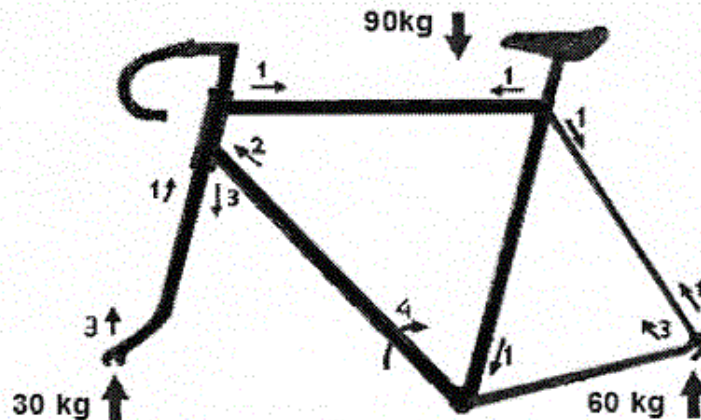


FIG.17 1=druk 2=trek 3=buiging(trek en druk) 4=torsie,"opwinding" rond de lengteas

Begin jaren tachtig probeerde men de frames zo plat mogelijk te maken om de luchtweerstand te verminderen. Zo creëer je een frame dat in het framevlak erg stijf is en in het zijdelingse vlak erg slap. Met zo'n frame valt nauwelijks te spurten. In het midden van de jaren tachtig werd lichtgewicht weer belangrijker. De aluminium Vitus fietsen waren populair; slap, maar voor de lichtere rijder stijf genoeg. Begin jaren negentig zagen we een tendens naar steeds stijvere frames. Omdat stijfheid toeneemt met de derde macht van de diameter, kiest men voor een kleinere wanddikte én een grotere diameter; zo wordt het frame lichter én stijver. Over luchtweerstand praat niemand meer en het nut van stijvere frames is op z'n minst twijfelachtig. Mode is de motor van de verkoop!

Het comfort van deze frames is pover, omdat metalen de trillingen en schokken van het wegdek vrijwel geheel doorgeven aan de fietser. De totaal andere structuur van composieten geeft een betere demping. Vooral als monocoque (één geheel) gebouwde frames, zijn superstijf en toch schokdempend! De stijfheid wordt bepaald door:

1. De stijfheid van het framemateriaal.
2. De gekozen verbindingmethode.
3. De geometrie.

ad.1 De stijfheid is afhankelijk van E-modulus, buisdiameter, en wanddikte. Uit tabel I blijkt dat alleen met carbonfiber een structurele stijfheidsverbetering mogelijk is. Alle andere materialen zijn relatief nagenoeg even stijf als staal (E/sm). Metaalmatrix buizen hebben een hogere relatieve stijfheid, maar worden nog niet zoveel toegepast.

ad.2 De framestijfheid van een frame met dezelfde buis zal als volgt afnemen.
Het stijfst: solderen met lugs (soldeermoffen), dan lassen, lugloos solderen, lijmen.

ad.3 Bij een korte wielbasis en steile framehoeken, wordt een frame zo stijf mogelijk.

Wees voorzichtig met gewichtsbesparing als u van het gangbare diamantframe afwijkt (hoe ver kan te ver gaan?). De standaard hoofdbuis voor het fietsframe is 28,6x1,2 (28,6mm buitendiameter en 1,2mm wanddikte). Maar het diamantframe is

een uitgekende constructie; wie tandems, ligfietsen of vouwfietsen ontwerpt, zal een minder ideale verdeling van de belastingen krijgen. Bouw met een frameset voor een baanfiets geen randonneur: dat gaat mis!

De ijzerhandel op de hoek heeft gewoonlijk staal in de kwaliteit PBY (=pisbakken-ijzer). Dit wordt vaak aangeduid met St37 of Fe360. Het is goedkoop en in veel maten leverbaar, als koker (vierkant) en als gelaste buis (met naad dus). Door het lage koolstofgehalte is het goed te bewerken, maar de rekgrens is laag. Laat bij het afwijken van de platgetreden paden in de framebouw (ligfietsen e.d.) vooral het "boerenverstand" werken en kies veiligheid boven lichtgewicht! Voor de achtervork geldt minimaal 20x1 (liggend) en 15x1 (staand). De driehoek is een stijve constructie; probeer waar mogelijk dit ideaal te bereiken door een buis(je) extra ertussen te zetten. Dat maakt het frame niet alleen stijver, maar voorkomt ook breuk door "metaalmoeheid". Bij een "korte wielbasis" ligfiets is de trapas een zwaar belast punt. Als we met het rechterbeen trappen, zal de trekkracht in de ketting de vervorming van de buis waaraan het bracket zit, tegenwerken. Als we met het linkerbeen trappen, werken deze krachten juist samen!

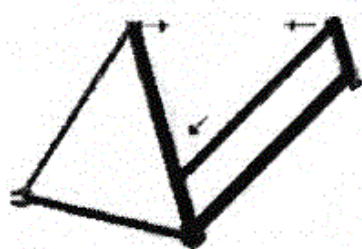


FIG.18a

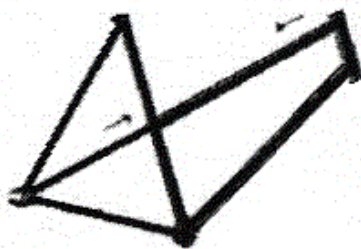


FIG.18b

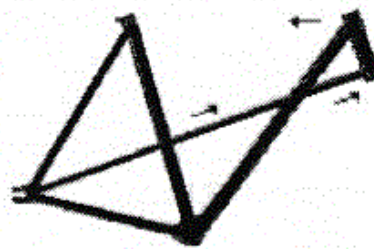


FIG.18c

De krachten op ons diamantframe zijn goed in evenwicht; voor andere ontwerpen geldt dit niet altijd. Bekijken we eens een ouderwets damesframe. De drukkrachten in de bovenbuis van de racefiets bij FIG.17 heffen elkaar op. Bij de damesfiets FIG.18a lukt dat niet; de reactiekrachten van de wielen willen het frame "dichtvouwen". Het gevolg is dat er grote krachten op de zitbuis bij het bracket worden uitgeoefend. Bij de betere kwaliteit frames is er een versterkingsbuisje ingeperst om vervorming van de zitbuis te voorkomen. Goedkope fietsen zakken hier door; kijk maar eens naar oude stadsbarrels bij het station. De zijdelingse stijfheid van deze damesfietsen is beroerd. Zelfs als de navens redelijk spelingvrij zijn, zal zijdelings heen en weer schudden het frame een soort slangendans laten uitvoeren. Met een zware last achterop is de situatie nog slechter; zolang we rechtdoor rijden hoeft het nog geen problemen op te leveren. Zodra we echter snel moeten reageren, zal de traagheid van de last zich wreken door torsie van het frame. De wielen staan nu niet meer in een lijn, het frame spoort niet meer. Als we nu gaan corrigeren om ons evenwicht te bewaren of contact met auto's te voorkomen, zwiepen de reactiekrachten ons juist de verkeerde kant op.

Er is maar een goed damesframe: zie FIG.18b. In de nieuwe generatie stadsfietsen en damesfietsen kiest men voor grote diameter aluminium buizen. Hierbij zien we constructies terugkomen als FIG.18c, waarvan Archibald Sharp in 1896 al hoopte ze (met zijn boek "Bicycles and tricycles") voorgoed in het rareiteitenkabinet van

technische mislukkingen te hebben gezet. De verhoering van de ingenieur als vormgever, of nog erger: de vormgever als ingenieur, leidt ertoe dat deze ontwerpen weer een kans krijgen. Op de kruising is de stijfheid van het frame nauwelijks groter dan die van de hoofdbuis en een frame is zo stijf als de slapste doorsnede. Door te kiezen voor idioot grote diameters is het frame misschien zelfs stijver dan de klassieke damesfiets; maar de dunne buizen zijn overbodig gewicht en materiaal.

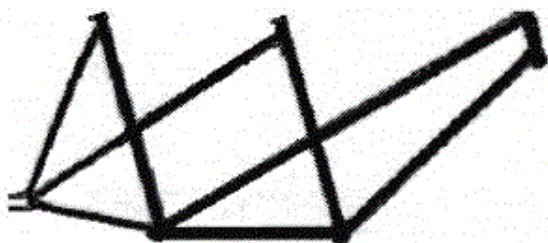


FIG.19a

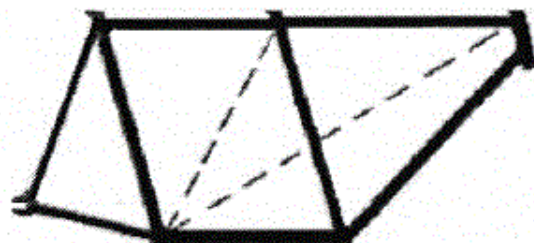


FIG.19b

Alle slechte dingen die ik over het klassieke damesframe verteld heb, gelden nog sterker voor DD(dames-dames)tandems. Door de toename van de wielbasis zal het buigend moment groter worden (moment is kracht maal arm). Door de slaptte van het frame leiden stuurcorrecties tot zwiepers en gevaar voor mensenlevens. Beneden moet een tandem goed stijf zijn. In staal voldoet 36x2 of 44x1 heel aardig. Eventueel mag de buis in de horizontale richting geovaliseerd worden. Een heel bruikbaar ontwerp voor een DD-tandem, bestaat voor de rest uit 30x2 buis volgens FIG.19a. Uiteraard is ook een klassiek HH ontwerp mogelijk als FIG.19b. Hierbij doet zich het probleem voor dat het achterframe een ruit vormt. De krachten op het frame zullen de horizontale buizen op buiging belasten; deze belasting is ongunstig en dient vermeden te worden. In de techniek kiezen we dan vaak voor vakwerkconstructies. Wij lossen dit hier op door een extra diagonale buis in het achterframe zetten; zo krijgen we stijve driehoeken. Nog stijver is de "marathon"-constructie, waarbij deze buis ook nog naar het balhoofd loopt. Het summum is natuurlijk een dubbele marathon uitvoering die sprekend lijkt op de DD-tandem met een extra bovenbuis. Bij het bouwen van zo'n tandem kun je de zware 30x2 buis uit het DD-ontwerp vervangen door 32x1 en 28,6x1,2 zitbuizen; je krijgt dan een lichtere en stijvere tandem. Een van de beste wijzigingen in mijn tandems was de stap van 28" wielen naar 26" ATB-wielen. De keuze voor bredere banden leverde als bijwerking ook minder spaakproblemen en meer comfort op. Kies voor banden met een gesloten middenrille met minimaal 5 bar, anders wordt de rolweerstand te hoog!

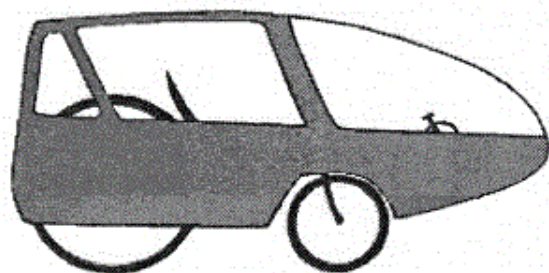


FIG.20a

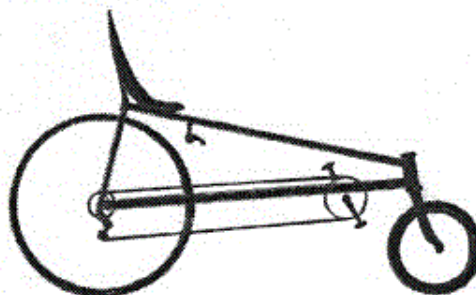


FIG.20b

Bij ligfietsen is de gewichtsverdeling tussen voor- en achterwiel een probleem. Globaal maken we de volgende indeling: korte wielbasis (KWB) met de trapas voor het balhoofd, en lange wielbasis (LWB) met het balhoofd voor de trapas. De eerste Belgische productieligfiets Velerique (FIG.20a) was van het eerste type. De eerste Nederlandse productieligfiets Roulandt (1983) was van het laatste type (FIG.20b).

Bij het ontwerpen moet men ervan uitgaan, dat het zwaartepunt zich op "navelhoogte" bevindt. Trek een loodlijn vanuit dit punt naar de wielbasis. De verhouding tussen de afstand naar voor- en achterwiel geeft de verhouding in gewichtsverdeling weer. Het minimum voor vind ik 25%. Dit wil zeggen dat de afstand van het zwaartepunt naar het voorwiel maximaal 3X de afstand naar het achterwiel mag zijn; maak desnoods de achtervork wat langer. De druk op het aangedreven wiel moet minimaal 40, liever zelfs 50 procent zijn. De voorwiel aangedreven Flevobike sloeg vaak door bij het wegrijden op nat wegdek. De ontwerper Vrielink heeft een stad- en klimstand bedacht door, m.b.v. een omklapbare nok, de framehoeken te veranderen. Hierdoor schuift het zwaartepunt naar voren en komt er meer gewicht op het voorwiel.

Bij ligfietsen kan het frame van de KWB-fiets makkelijk in een enkele grote diameter worden uitgevoerd, b.v. in buis 36x2 of koker 35x35x2. Wie lichter wil bouwen, moet een dikkere dunwandige buis zoals 44x1 nemen. Bij een LWB of ligfietstandem is dit onvoldoende, omdat door toename van de wielbasis het buigend moment te groot wordt. Hier moeten we kiezen voor nog dikkere buis, frameconstructies met driehoeken, gepopnagelde frames, of carbon monocoques.

De verbindingsmethode en de materiaalkeuze zijn erg belangrijk voor het ontwerp. In veel opzichten is popnagelen en het bouwen met composieten simpeler als lassen of solderen. Wie nog nooit gelast heeft en weinig in gereedschap wil investeren, kan om deze redenen voor popnagelverbindingen of composieten kiezen. Beide bewerkingsvormen zijn wel erg arbeidsintensief! Het ontwerpen van een gepopt frame eist een eigen benadering. Bedenk dat sterkte en stijfheid vooral uit "oversize" diameters moeten komen. Kies voor het verwerken van enkele koker- of U-profielen in het frame. Dit vergemakkelijkt het uitrichten: verreweg het grootste probleem tijdens de bouw. Goed plaatmateriaal is o.a. AlMg3 van 0,8 mm zoals gebruikt in de "Alleweder"-driewieler. Ook het ontwerpen van composiete frames eist een benadering die afgestemd is op de specifieke mogelijkheden en moeilijkheden van het materiaal. Hier zijn vooral de mallenbouw en de vezel- en harsverwerking belangrijk.

12. DE PROBLEMEN VAN VERING

Het ideale veersysteem absorbeert de schokken van het wegdek en handhaaft het contact tussen band en wegdek te allen tijden. De werking van de vering zou niet beïnvloed mogen worden door aandrijving, remmen of gewichtsbelasting; technisch is dit helaas niet mogelijk. Uitgangspunt voor de constructie van vering is dat het afgeveerde gewicht zo gering mogelijk moet zijn. Alles wat er meer mee veert dan het wiel, is ballast. In het algemeen probeert men bij het ontwerpen van vering ingewik-

kelde constructies te vermijden; elk draaipunt kan speling gaan vertonen en daarmee slecht weggedrag. De veerverwerking en demping moeten optimaal zijn afgesteld op rijder en terrein. Bij een goed veerelement moet zeker de veerdruk en liefst ook de demping instelbaar zijn. Een uitgekiende constructie kan door verkeerde veer en/ of demper slechter werken dan een matige constructie met een juiste keuze! Luchtveren hebben als voordeel licht gewicht en goede terugkeer. Ze hebben een progressieve compressie d.w.z. dat op het einde van de slag steeds meer kracht nodig is voor een beetje veerweg; verder is de constructie door de benodigde afdichtingen duur. Stalen veren hebben een lineaire compressie, maar zijn tamelijk zwaar. Elastomeren zijn licht en goedkoop, maar de werking is temperatuurafhankelijk; ze verharden door veroudering snel en de terugkeer is slecht.

Ook de eerste hoge fietsen uit de vorige eeuw, de "boneshakers", hadden al problemen met het comfort, zoals de naam al doet vermoeden. Het ontwerpen van veersystemen voor fietsen is dan ook niet nieuw. De Amerikaanse Bluell velocipede (1869) was al uitgerust met een soort elliptische bladveren. Zeker in die tijd, toen de wielen gemaakt werden met ijzeren velgen waar een streepje leer of rubber op geplakt zat, was dit geen luxe. In alle ontwerpen uit die tijd zien we een zwevend opgehangen zadel; ook het frame werd soms verend uitgevoerd. Het ontbreken van demping op de meeste veersystemen maakte ze niet erg populair; dit werd verergerd door de toename van de frameslapte door speling op de lagering en de hogere prijs (productiekosten). De introductie van de luchtband was de doodsteek voor de geveerde ontwerpen uit die tijd. Toch zijn er van tijd tot tijd geveerde fietsen op de markt geweest. Een succesvol ontwerp was de Moulton vouwfiets uit de jaren zestig. Omdat kleine wieltjes elk putje oppikken, had deze fiets rubberblokvering. In combinatie met hogedrukbandjes leverde dit een licht lopend en comfortabel fietsje op; helaas wel prijzig. Het succes leidde tot imitatie; hier zag men af van vering en ging men dikke lage druk banden gebruiken. De rolweerstand werd gigantisch en de "minifiets-rage" was zo voorbij.

Voor traditionele fietsontwerpen heeft vering wat nadelen. De fiets moet een hoog bracket hebben om een veerweg mogelijk te maken; de pedalen komen anders te vlug aan de grond. Dit maakt het weer moeilijk om bij stilstand een voetje aan de grond te zetten. In feite dwingt men de rijder tot een te lage zadelstand; dit gaat ten koste van het rendement en het fietsplezier.

Binnen de ligfietswereld wordt vering als noodzakelijk gezien om het potentieel aanwezige zitgenot ook werkelijk te benutten. Met name KWB (korte wielbasis) ontwerpen zijn op klinkerwegen en slechte fietspaden oncomfortabel. Tot begin jaren negentig moest men zich behelpen met rubberblokvering. Helaas was de demping hiervan slecht, waardoor hinderlijk deinen vaak onvermijdelijk was. Met de opkomst van vering bij ATB-fietsen is er pas belangstelling gekomen van de onderdelenfabrikanten. Op dit moment is er een groot aanbod van hydraulisch gedempte veersystemen en vorken. Hiermee doen ook de ligfietsers hun voordeel. Het is een misvatting dat de problemen van veersystemen alleen voor ATB's gelden en dat ligfietsen door de naar voren gerichte trapbeweging geen last ervan zouden hebben.

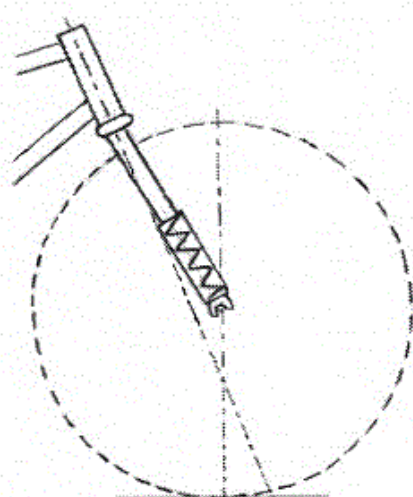


FIG.21a

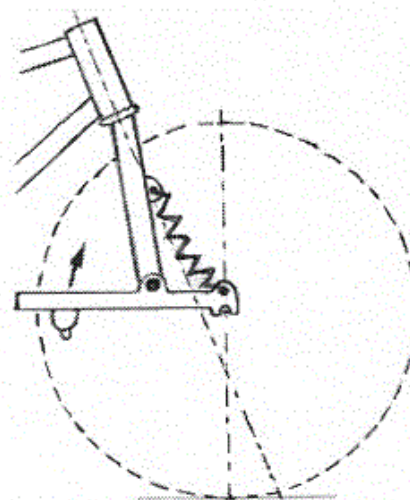


FIG.21b

Bij de voorvorken is de telescoopvork populair. Af en toe zijn er ontwerpers die wat anders maken: een schommelarmvoorvork of een vervormbaar parallellogram met hulpvork; maar het is moeilijk te concurreren tegen een gevestigd en goed product (zie FIG.21a). Een vervelend verschijnsel bij het remmen is, dat er meer druk op het voorwiel komt. Hierdoor duikt de fiets in de vering; de vering is dus al ingedrukt en de veerwerking nihil. Een ontwerp waarbij de remkracht dit tegenwerkt, is te zien in het ontwerp van de schommelarmvoorvork in FIG. 21b.

Bij achtervorken zijn de zaken veel ingewikkelder; hier is nog geen enkel concept als winnaar aan te wijzen. De belangrijkste oorzaak hiervan is dat de aandrijving gewoonlijk via het achterwiel verloopt. Een probleem is dat de trapfrequentie bijna gelijk is aan de eigenfrequentie van het frame, wat een deining in het veersysteem kan veroorzaken (bobbing); dit verschijnsel kan ook in de voorvork optreden. De kracht die de rijder op het pedaal uitoefent, vooral bij accelereren, kan geabsorbeerd worden door de vering. De rijder pompt dan zijn kostbare energie in het veersysteem! Deze doemgedachte heeft jarenlang de experimenten met achtervering beheerst; zeker in de beginfase eisten mountainbikers de mogelijkheid hun veersysteem tijdens de klim fixeren. Omdat de geveerde ATB's tijdens de afdalingen veel sneller en gecontroleerder dalen, is de acceptatie van vering inmiddels verbeterd. De rijders passen nu bij het klimmen hun rijstijl aan (ze blijven langer zitten).

Als het draaipunt van de achtervork lager zit dan de trekkende ketting, kan een deel van de trapenergie dus door de vering worden opgenomen (zie FIG. 22). De eerste ATB's met achtervering hadden een hoog draaipunt. Helaas kwam dit de stijfheid van het achterframe niet ten goede. Verder trok de ketting het achterwiel naar voren/ beneden de grond in (zie FIG. 23). De vering werkt dan nauwelijks meer, omdat de klap van de kuil naar boven, groter moet zijn dan de kracht die de rijder naar beneden uitoefent. Dit geeft flinke schokken op de pedalen. Tegenwoordig zit het draaipunt lager, ter hoogte van het middelste kettingblad: ideaal is als de kettinglijn door het draaipunt loopt (zie FIG.24). Ook de remkracht op onze achtervork kan de

vering beïnvloeden; de remnokken hebben vaak een behoorlijke afstand tot het draaipunt en de remkracht van het achterwiel kan de vork naar beneden drukken. De vering is dan gedeeltelijk geblokkeerd.

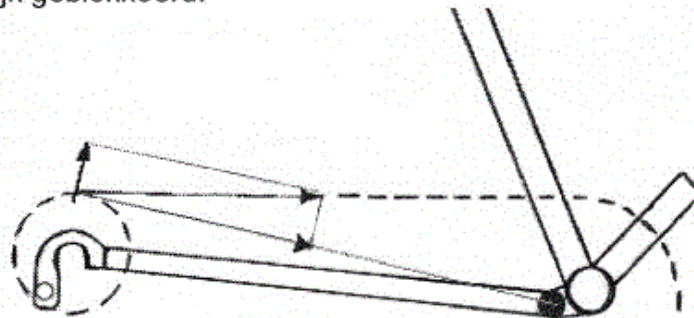


FIG. 22

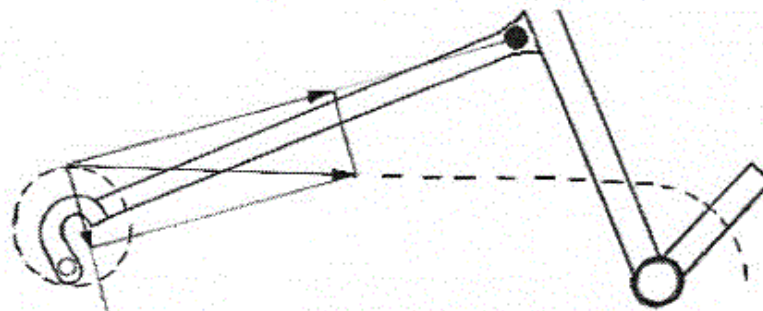


FIG. 23

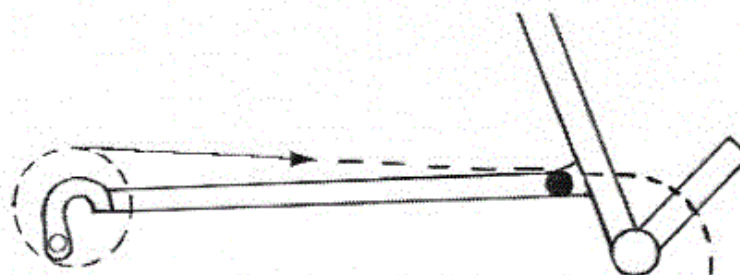


FIG. 24

Een slecht ontworpen vering zal de schokken vaak niet opgevangen als de rijder kracht zet of remt; zo'n vering noemt men "niet actief". Een bekende methode om veringen "actief" te maken, is het plaatsen van een draaipunt direct voor de pat: de "Horst Link". De vering zal al reageren op een kleine kracht van onderen (zie FIG.25). Er zijn vier belangrijke hoofdconstructies, maar daarop zijn 101 varianten.

In het steenkoolengels dat de ATB-wereld kenmerkt, zijn dat:

"MacPherson strut", "Unified reartriangel", "Cantileverbeam" en "Rising rate linkage". Bij de eerste constructie zit het draaipunt op de achtervork. Het veerelement met demper zit aan het eindpunt van de staande achtervork. Door toepassing van een HorstLink voor de achterpat zal het veersysteem redelijk actief zijn. Bij een juiste keuze van het draaipunt van de achtervork is de invloed van de aandrijving gering. De remwerking van V-brakes zal zijdelingse belasting (en extra wrijving) in de demper tot resultaat hebben, doordat de staande vork naar beneden gedrukt wordt. Tijdens het remmen is er een slechte werking van de vering; onhandig in de afdaling als je beide functies nodig hebt. Een schijfrem of naafrem wordt van harte aanbevolen. Er is

in de bovenste driehoek weinig ruimte. We zien bij dit systeem vaak een onderbroken zitbuis. De overgang naar de cantileverbeam is niet altijd duidelijk aan te geven.

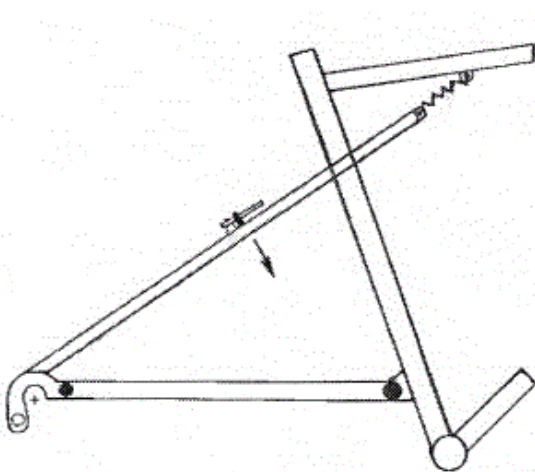


FIG.25 McPherson strut (met HorstLink)

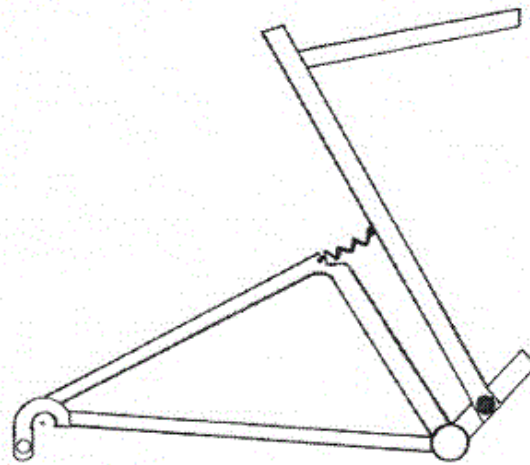


FIG.26 Unified reartriangle

Bij de unified reartriangle (FIG.26) vormen de achtervork en het bracket een geheel. De pedalen zijn niet afgeveerd en het gewicht van de rijder is dus ook deels onafgeveerd. De plaats van het draaipunt bepaalt in welke mate rem- en aandrijfkrachten de werking van de vering beïnvloeden. Tenzij er belangrijke constructieve beperkingen zijn, zal ik het niemand aanbevelen.

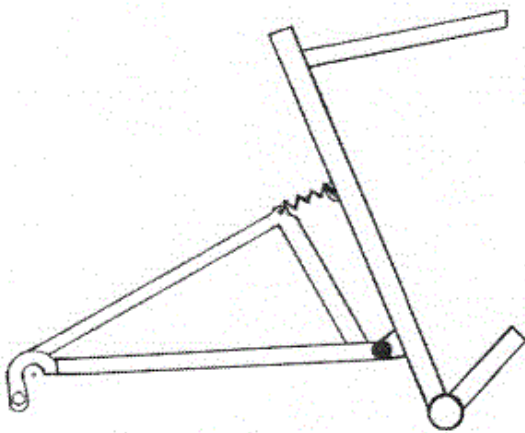


FIG.27 Cantileverbeam

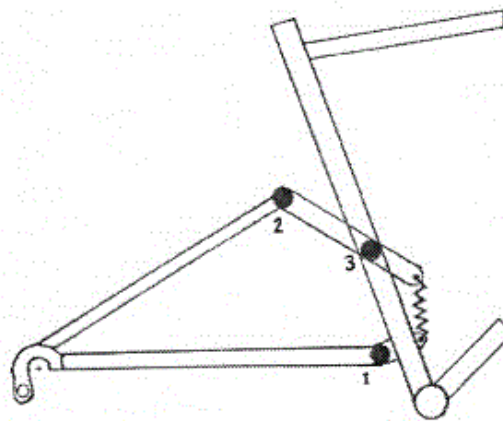


FIG. 28 Rising rate linkage

Bij ligfietsen is de cantileverbeam (FIG.27) favoriet. Een simpel systeem, dat mits het draaipunt ter hoogte van het middelste kettingblad gekozen wordt, redelijk onafhankelijk is van de kracht van de rijder. Bij een groot blad zal de kracht omhoog iets positief zijn waardoor het aanspreken van de vering verbeterd wordt; fijn in de afdaling. Bij het kleine blad zal de vering iets verstarren; fijn in de beklimming. De remwerking heeft nauwelijks invloed. Men kiest vaak voor een onderbroken zitbuis.

Het enige bezwaar tegen de "rising rate linkage" (FIG.28) is dat deze constructie een minimum van heeft van drie draaipunten. Dit is ingewikkelder, maar de techni-

sche mogelijkheden van dit systeem zijn veruit superieur aan de andere concepten. Bij conventionele veersystemen zal het veerelement rechtevenredig met de verplaatsing van de achteras worden ingedrukt; als we aan het einde van de veer komen wordt die verplaatsing zeer snel beperkt. Door de keuze van de draaipunten 2 en 3 kunnen we dit bij de "Rising rate linkage" kiezen. De afmetingen tussen draaipunt 2 en 3, en van punt 3 naar de bovenste bevestiging van het veerelement zijn bepalend voor de beweging van de achteras. Heel leuk hierbij is dat de draaicirkel van het bovenste bevestigingspunt in het eerste deel van de slag en versterkingsfactor heeft van bij voorbeeld 2:1 d.w.z. 2cm beweging van de achteras geeft 1cm indrukken van de vering. In het onderste deel van de slag zal door de draaibeweging van de korte arm de veer nog maar heel weinig indrukt worden. Een halve centimeter indrukken kan dan 2cm beweging voor de achteras betekenen: 4:1 dus. De eigenschappen van dit ontwerp passen goed bij luchtvering.

Experimenten met diverse constructies volgens dit principe, laten zien dat het mogelijk is de voornaamste problemen als remwerking en trapkracht, technisch nagevoeg te elimineren. Wel kiest men vaak nog een of twee extra draaipunten. Een oplossing voor de kracht van V-brakes, is ervoor te zorgen dat deze kracht evenwijdig is aan de lijn door de draaipunten 2 en 3. Daardoor zal de reactiekracht direct doorgegeven worden naar het draaipunt 3 op het frame; de vering wordt dan niet beïnvloed. Er zijn vierpuntsconstructies (parallellogram of trapezium) waarbij het wiel evenwijdig aan de trapas inveert: zo wordt de aandrijfkracht geëlimineerd o.a. NRS van Giant. Voor de extra druk op het achterwiel bij acceleratie is nog geen oplossing.

De uitvoering van de diverse draaipunten hoeft niet altijd technische problemen op te leveren. Tenslotte bouwen we al tientallen jaren motorfietsen met vergelijkbare constructies en veel grotere belastingen. Er zijn natuurlijk keuzes te maken voor de uitvoering van de lagering. Een lage wrijving in het lager is niet onze grootste zorg; de beweging van het lager is gewoonlijk beperkt tot een verdraaiing van enkele tientallen graden. Er zijn veel ATB-merken die voor wentellagers kiezen, vaak naaldlagers om de radiale krachten op te vangen in combinatie met kogeltaatslagers om de axiale krachten op te vangen. Ik vind de keuze voor wentellagers overdreven. Het enige voordeel is het sneller reageren op kleine oneffenheden, maar dan moeten de veer en demper deze eigenschap ook hebben.

De gebruikelijke oplossing in de techniek voor lagering in dit soort constructies zijn de lagerbus voor radiale krachten en kraaglagers voor de axiale krachten. De meest simpele zijn van brons en dienen gesmeerd te worden via een smeernippel. Er bestaan echter ook zelfsmurende lagerbussen; hierbij is een percentage koolstof aan het brons toegevoegd en deze koolstof is verzadigd met olie. Lagerbussen en kraaglagers van nylon of teflon zijn voor ons doel eigenlijk niet sterk en slijtagebestendig genoeg. In moderne uitvoering zijn er ook goede kwaliteiten ongesmeerde lagerbussen. Deze bestaan uit een dunne stalen mantel met een spleet in de lengterichting. De stalen mantel is voorzien van een laagje brons met daarover een teflon coating. Voordeel bij dit systeem is dat we verschillende wanddiktes kunnen kopen. Voor een as van 20mm doorsnede is de wanddikte van de lagerbus 1 tot 1,5mm. Het geheel moet goed passen; speling in het lager is funest voor de rijeigen-

schappen. Een te strakke passing zal snelle slijtage opleveren. De meest simpele constructie is opgebouwd uit twee bronzen kraaglaggers 15mm buiten- en 10mm binnendiameter met een hoogwaardige M10 rvs bout als 12.8; deze constructie komen we in ligfietsen en goedkope ATB's wel tegen, maar echt hightech is dit niet.

13. DE IDEALE ZIT

Het is de vraag of de "ideale zit" bestaat; tenslotte bestaan er ook geen ideale mannen of vrouwen. Het feit dat nagenoeg alle framebouwers balhoofd- en zitbuis-hoeken tussen 70 en 80° gebruiken, bewijst dat ze het er toch over eens zijn, dat ze in de buurt van een optimum liggen. Bij tijdritfietsen is de "zit" echter geheel ondergeschikt aan de aërodynamica! Ook ligfietsers laten niet of nauwelijks achteruitgang in prestaties zien; dit toont aan dat het belang van de zit beperkt is.

Gedurende de omwenteling van het crankstel, levert men over een bereik van negentig graden (tussen 50 en 140°), het grootste deel van het vermogen (zie FIG.29a). Theoretisch dient de knie zich in de 90°-stand recht boven de bal van de voet te bevinden, en deze weer recht boven de pedaallas (zie FIG.29b). Sommige geleerden beweren dat de voorkant van de knieschijf in deze loodlijn moet vallen, anderen houden het op het kniegewricht; dit scheelt ongeveer 25 mm.

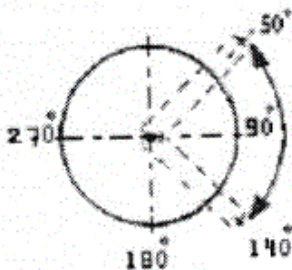


FIG.29a



FIG.29b

Een rijder die 175 mm cranks monteert i.p.v. 170 mm, zou z'n zadel 5 mm naar voren moeten schuiven; hiermee verandert de zithoek. Wil men de lichaamslengte constant houden, zal men ook een 5 mm langere stuurpen moeten monteren. Het zwaartepunt schuift dus naar voren en er komt meer gewicht op het voorwiel. In een standaard fabrieksframe zal de zitbuis in een klein frame gewoonlijk tamelijk steil staan. De minder steile zitbuis van een groot frame helt meer naar achter; hierdoor neemt de lengte van de bovenbuis toe. Wil men de bovenbuis nog langer maken en de wielbasis gelijk houden, moet men de voorvork steiler zetten en de vorkdoorbuiging kleiner maken.

Er bestaan tabellen met de titel "Antropometrie volwassen Nederlanders"; we moeten de machine aanpassen aan de mens: ergonomie heet dat. Wie serieus frames bouwt, kan daar veel gegevens uit halen.

14. HET ONTWERPEN VAN EEN KLASSIEK FRAME

Eerst worden de maten van de gebruiker genomen. Dit gebeurt gewoonlijk op een pasfiets; de plaats van zadel, stuur en pedalen vormen de echte maten van een fiets! Op basis van deze maten zal de bouwer een frame ontwerpen. Een modernere methode is een meting van de lichaamsmaten en verwerking van deze gegevens in een computer. Maar elk ontwerp is een benadering; de gebruiker kan als enige oordelen. Vaak is het een kwestie van wennen aan de nieuwe zit! (zie FIG.30a en 30b). We vertalen nu lichaamsmaten (in mm's!) in framematen:

De binnenbeenlengte bepaalt de cranklengte. De maten 170 en 175 mm zijn goed leverbaar. Andere maten (165 t/m 185) alleen in de dure prijsklasse.

Globaal is de cranklengte: $C=0.05 \times L2 + 130$.

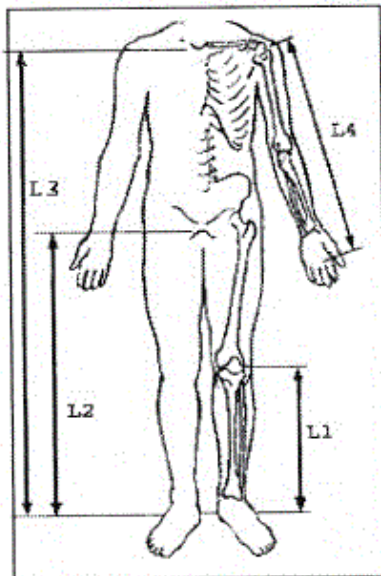


FIG.30a

kniehoogte(L1)	=L1
binnenbeenlengte(L2)	=L2
lengte lichaam+benen(L3)	=L3
armlengte(L4)	=L4
lengte bovenbeen	=L2-L1 =L5
lengte bovenlichaam	=L3-L2 =L6

ALLE MATEN IN
MILLIMETERS

hart op hart gemeten!

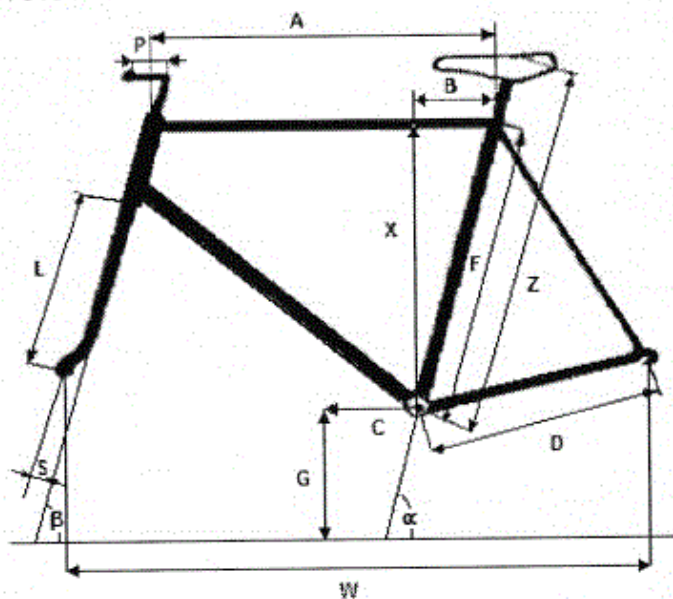


FIG.30b

cranklengte	:C
brackethoogte	:G
bovenbuis	:A
framehoogte	:X
balhoofdshoek	: β
zitbuisshoek	: α
framemaat	:F
zitbuisafstand	:B
zithoogte	:Z
stuurpen	:P
achtervork	:D
voorvork	:L
wielbasis	:W
vorkdoorbuiging	:S

De grondspeling is voor een racefiets ongeveer 100 mm. Een toerfiets kan beter uit de voeten met 90 mm; de criteriumrijder mag wel 110 mm hebben; een crossfiets of ATB zelfs 125 mm. Brackethoogte G (hart trapas) is cranklengte + grondspeling. De framehoogte (hart trapas- hart bovenbuis= Italiaanse framemaat) is: $X = L2 - G - 60$. De verhouding kniehoogte/binnenbeenlengte bepaalt de zithoek: $\alpha = 50 + 40 \times L1/L2$. De lengte van arm en lichaam bepalen de lengte van bovenbuis en stuurpen. Voor mensen van 1,5 m tot 2 m geldt globaal: $A = 375 + (L6 + L4) \times 0,15$. De stuurpenlengte $P = A - 470$.

Als de bovenbuis korter is dan 550 mm, beveel ik aan de balhoofdhoek minder steil te kiezen en de vorkdoorbuiging groter (v.b. 72° en 46 mm): zo voorkom je contact tussen de toeclip en het voorwiel. Als de bovenbuis langer is dan 570 mm kan men een steilere hoek nemen en minder vorkdoorbuiging (v.b. $73,5^\circ$ en 40 mm); zo beperk je de wielbasis. De keuze van een korte achtervork (<400 mm) is alleen mogelijk door verticale uitvalpatten te nemen. Het soldeerwerk van deze patjes moet zeer nauwkeurig gedaan worden. Als ze 1mm uit de hartlijn staan, spoort de fiets al slecht! Maak een mal voor de achtervork, zodat de patten op één lijn blijven. Let op: door de vormgeving van de patten ligt het theoretische snijpunt van de staande en liggende vork is soms 10-20mm boven de plaats van de achteras. Een korte achtervork geeft een stijver frame en meer gewicht op het achterwiel. Langere achtervorken geven iets meer comfort en ruimte voor dikkere banden of spatborden. Houdt rekening met het gebruik; wie toerisme wil inbouwen, kiest voor oogjes aan de patjes en meer ruimte in de vork. Wie een frame groter dan 64 cm bouwt, zal ontdekken dat veel framesets te klein zijn; o.a. Reynolds levert extra lange sets.

We gaan nu ons frame tekenen. We trekken een horizontale basislijn, en daarop een loodlijn. Eerst tekenen we de brackethoogte G af. Van dat punt gaan we X mm omhoog. Dit is het midden van de bovenbuis. We trekken nu door G een lijn evenwijdig aan de basislijn. Vervolgens gaan we vanuit G met een lijn onder de hoek α rechts omhoog. Door X trekken we nu weer een lijn evenwijdig aan de basis. Het snijpunt F is het midden van de zadellug. Vanuit F gaan we A mm naar links; vanuit punt A gaan we onder hoek β links naar beneden. Evenwijdig aan deze lijn komt een tweede lijn op afstand S (sprong of vorkdoorbuiging). Uitgaande van standaard racewielen met een straal van 335 mm, trekken we een op deze hoogte een lijn evenwijdig aan de basis. Het snijpunt is de as van het voorwiel. Vanuit het bracket (punt G) cirkelen we de achtervorklengte D om; het snijpunt van dit cirkelstuk en de 335 mm lijn is de achteras. Vanuit de vooras gaan we met de voorvorklengte L mm omhoog. Stel dat de onderste balhoofdtring 10 mm is, dan komt pas op L+10 mm het balhoofd! Alle maten liggen nu vast en we kunnen de tekening afmaken. Vergeet niet alle nokjes en kabelgeleidingen aan te geven. Als de balhoofdmaat korter wordt dan 100 mm, ik kies ervoor om deze maat niet kleiner te maken, maar de bovenbuis af te laten lopen naar de zitbuis.

De tekening op ware grootte is nu klaar. Hoe lopen de derailleurkabels? Is er een voorderrailleurnok? Neemt u een tweede bidonhouder?

15. HET BOUWEN VAN EEN KLASSIEK FRAME

Echt klassieke stalen frames worden gebouwd met lugs, maar ik vrees dat deze manier van bouwen in het museum terecht komt door de massale keuze voor het lichtere aluminium. Goedkope lugs worden gemaakt uit plaatstaal, dat vervormd wordt en aaneen gelast. De pasvorm is vaak niet geweldig. Het fabricageproces voor gegoten lugs is duur. Men noemt dit het verloren-was-procedé (Italiaans: microfusione, Engels: investment casting). Als de passing erg nauw is, uitsluitend met zilversoldeer werken; dit laatste geldt ook bij het bouwen met r.v.s. buis en lugs. Met plaatstalen lugs kan men de hoeken 3 tot 4 graden variëren: voor gegoten lugs is dit slechts een graad. Het vakmanschap van de framebouwer zit voor een groot deel in het bewerken van de lugs!

De ouderwetse opafiets werd gebouwd met zware lugs. Hierdoor kon men de buizen recht afzagen en hoefden deze niet passend gevijld of gefreesd te worden (zie FIG.31). Bij lichte buizen dient de passing zo perfect mogelijk te zijn; bij de lugloze bouwwijze ook!

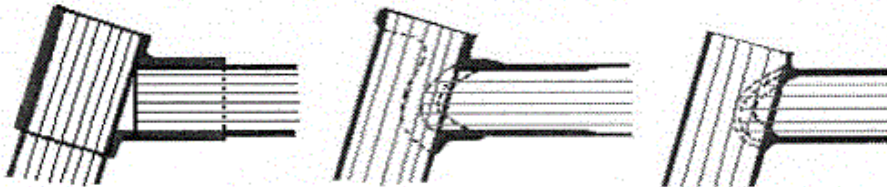


FIG.31

In fabrieken bouwt men een frame met lugs als volgt. De buis wordt op maat gezaagd of gefreesd. De buizen en lugs worden in elkaar geschoven en in een grote ijzeren mal vastgezet. Vaak wordt door de lugs en buis een gaatje geboord; hierin wordt een pennetje gestoken. Sommige fabrikanten zetten het frame vast door met koper (smeltpunt 1100°C) enkele puntjes van de lugs vast te solderen. Nu kan de buis t.o.v. lug niet meer verdraaien; vervolgens wordt met een acetyleenbrander elke verbinding heet gestookt en lug voor lug gesoldeerd. De grote mal voert de warmte van het frame tamelijk vlug af. Deze snelle warmteafvoer kan de kwaliteit nadelig beïnvloeden door harding van het staal. Kleine framebouwers werken daarom vaak met heel simpele mallen of geheel zonder.

De bouwwijze bij het lassen of lugloos solderen van een frame is identiek; ondanks eventuele mallen zal ikzelf na elke las of soldering controleren en zonodig richten. Wie daarmee wacht tot het frame compleet is zal meer kracht moeten zetten. Bovendien kan het richten van de ene buis de stand van een andere buis beïnvloeden. Bij een oversize onderbuis zal het bracket mee torderen, als je balhoofd en zitbuis in een vlak richt; dat komt nooit meer goed. Natuurlijk zijn er toleranties als je een frame uitlijnt. Zonder dure meetapparatuur, maar met een frameliniaal en een goed gevoel voor symmetrie, kun je tot een graad en op ± 1 mm nauwkeurig meten. Zeker bij een fiets met brede banden levert dit geen problemen op. Bij smalle bandjes of tubes kunnen er bij kleine afwijkingen al problemen met het weggedrag optreden; met name de shimmy is berucht. Als de fiets echt naar links of naar rechts trekt, is de

afwijking al veel groter. Controleer eerst of de wielen goed in het midden gespaakt zijn. Kijk daarna of de wielen een vlak vormen!

Bij stalen frames kunnen wij, ook als het frame gelast is, de nokjes solderen. Bij aluminium worden ze vaak gepopnageld en/ of gelijmd. In de bouwbeschrijvingen ga ik uit van een stalen buis. Ik ben een man van staal; aluminium is veel lastiger te verwerken. Een stalen buis is in de fabriek als laatste behandeling door een bak preserveerolie gegaan. Voor het bouwen moet de buis ontvet worden. Neem een poetsdoek + ontvetter en maak de buis uit- en inwendig schoon.

Een buis uit een frameset van kwaliteit is butted. Van alle versterkingen is aan de buitenkant van de buis niets te zien. De zitbuis zal alleen over het stuk tussen bracket en voorderrailleur, verdikt zijn. De buis is bij levering ongeveer 620 mm lang; als we nu een 50cm frame bouwen, zagen we al gauw de hele butt eraf, als we de buis op maat maken. Dat zal u niet meer overkomen nu (?). Bij Reynolds frames is een butt kort (gemerkt!) en de andere lang. De korte kant mag alleen passend gevild worden! Aan de lange zijde op maat zagen dus. Bij Columbus buis zijn beide butted stukken gewoonlijk even lang. Hier dus aan beide zijden ongeveer even veel afzagen. Een extra waarschuwing voor de z.g.n. Genius buizen van dit merk. Deze buis heeft zeer korte butted uiteindes met een speciale inwendige vormgeving, die in één bepaalde stand verwerkt dienen te worden. Voor TIG-lassen en solderen bestaan aparte sets.

Vroeger waren buizen rond. Tegenwoordig zijn er veel geprofileerde buizen, sommige plat (minder luchtweerstand), andere veelvormig (meer frame stijfheid). Een bekende vertegenwoordiger uit de laatste groep is de Columbus Max buis. De framebouwer dient hier nauwkeurig te werken, want narichten is moeilijk. Een frame van Reynolds 753 buis is helemaal niet te richten, want die buis heeft geen rekgrens. Het frame dient dus perfect gesoldeerd te worden, anders is het bij fabricage al schrootrijp. Men mag de buis niet boven de 700 °C verhitten. Het frame moet dus met lugs en zilversoldeer gemaakt worden. De voorvork is natuurlijk ook niet te verbuigen. Door een deel van de doorbuiging, die de fabriek voor de veredeling heeft aangebracht, eraf te zagen, bepaalt de framebouwer de sprong van de voorvork. Reynolds voorvorken worden gebogen geleverd; gelieve deze doorbuiging ("rake") bij bestelling te specificeren. Columbus vorkschedes zijn recht en door de bouwer te buigen.

De binnenbalhoofdbuis dient langer te zijn als de balhoofdbuis zelf; dit hangt af van uw balhoofdstel. Balhoofden volgens het "A-headset"-ontwerp moeten op een binnenbalhoofdbuis zonder schroefdraad gemonteerd worden. Zeker naaldgelagerde balhoofdstellen van b.v. Stronglight vragen veel ruimte (tot 44 mm). Kies de schroefdraad vanaf de vorkkroon 50 mm langer dan de balhoofdbuis en zaag die later op maat. Soldeer of las de patjes in de vorkpoten (controleer of de eventuele vorkdoorbuiging klopt!). Maak een simpele mal voor het bouwen van de voorvork (zie FIG.32a). Op de grondplaat tekenen we met een kraspen of potlood een centrale lijn. Aan de onderkant zetten we een 100 mm breed houtblok midden op de lijn. De binnenbalhoofdbuis is meestal 25,4 mm dik. We tekenen op 12,7 mm van de bovenkant een lijntje op het blokje hout. Met een lijmkleem kunnen we de binnenbalhoofdbuis nu vastzetten aan een houten hulpblokje.

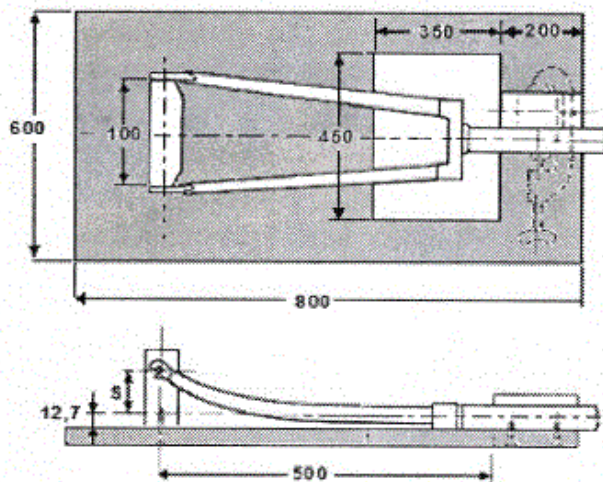


FIG.32a

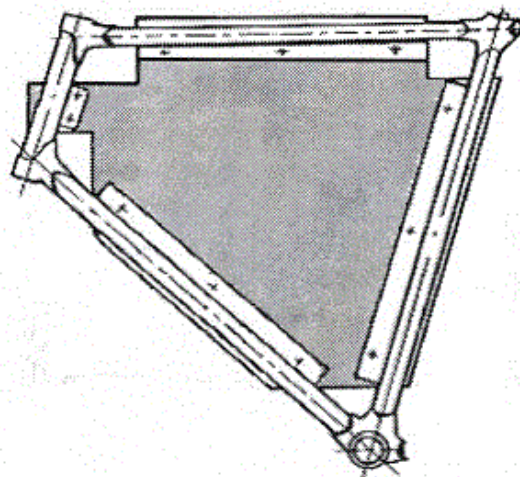


FIG.32b

De patjes zetten we vast in het 100 mm blok op hoogte 12,7 mm (bij gebogen vork + S mm vorkdoorbuiging!). Als de vork na het bouwen nog gebogen moet worden, neem dan 500 mm buis 30X2; las of soldeer hier twee strippen aan die 30mm oversteken; boor op 10 mm een gat van 8 mm in beide lippen. Schuif de buis over de binnenbalhoofdbuis en steek door de gaten en de rembevestiging in de vorkkroon een bout. Vijl de ronding van de vorkschedes in een houtblok, klem de patten absoluut vast en buig de vork. Maak in elke vorkschede een gaatje (2 mm), zodat de lucht tijdens het solderen of lassen uit de vork kan ontsnappen.

Voor het hoofdframe kunnen we ook een mal maken (zie FIG.32b). Men kan het verschil in dikte tussen bovenbuis en onder- en zitbuis opvangen door een latje onder de bovenbuis te lijmen. Bij het hoofdframe maak ik eerst de balhoofd/ onderbuisverbinding; na het solderen of lassen, eerst de hoeken controleren. Vervolgens komt de brackethuls (let op de schroefdraad!) aan de zitbuis; controleer met een lange liniaal of het bracket perfect haaks op de zitbuis staat. Dan gaan we beide samenstellen duurzaam verenigen; controleer of zitbuis en balhoofdbuis in een vlak liggen. Als laatste verbinding leggen we de bovenbuis erin.

Controleer op de tekening of alle maten en hoeken kloppen. Boor 4cm van boven, aan de achterkant, in de zitbuis een gaatje van 2-3 mm. Dit vormt het eindpunt van de zaagsnede voor de zadelklem. Slijp met een dunne snijschijf voorzichtig van boven naar beneden; vijl de binnenkant van de buis glad i.v.m. krassen op de zadelpen.

We gaan nu de liggende achtervork maken. Let erop dat de uitsparingen voor banden en voorblad op de goede plaats komen. Als we de juiste lengte bepaald hebben, bevestigen we de patjes. Fixeer nu de patjes met een oude naaf en las of soldeer het mannetje ertussen, richt de zaak nauwkeurig uit en bevestig de liggende achtervork. Leg een meetlat in het bracket en in de patjes. Lopen ze mooi evenwijdig? Zoniet: richten! Zo ja kan de staande achtervork erin. Ik adviseer pluggen in de buis te solderen, of de buis direct aan zitbuis of zadelklembout te solderen. Vergeet niet om ventilatiegaten in de buis te boren! De laatste belangrijke soldering is de

remmannetje. Bij het afwerken komen er nog veel nokjes aan ons frame: zadelpen-
 klem, voorderrailleurnok, bidonnokjes, kabelgeleiders en stoppers. Solderen is hier
 beter dan lassen.

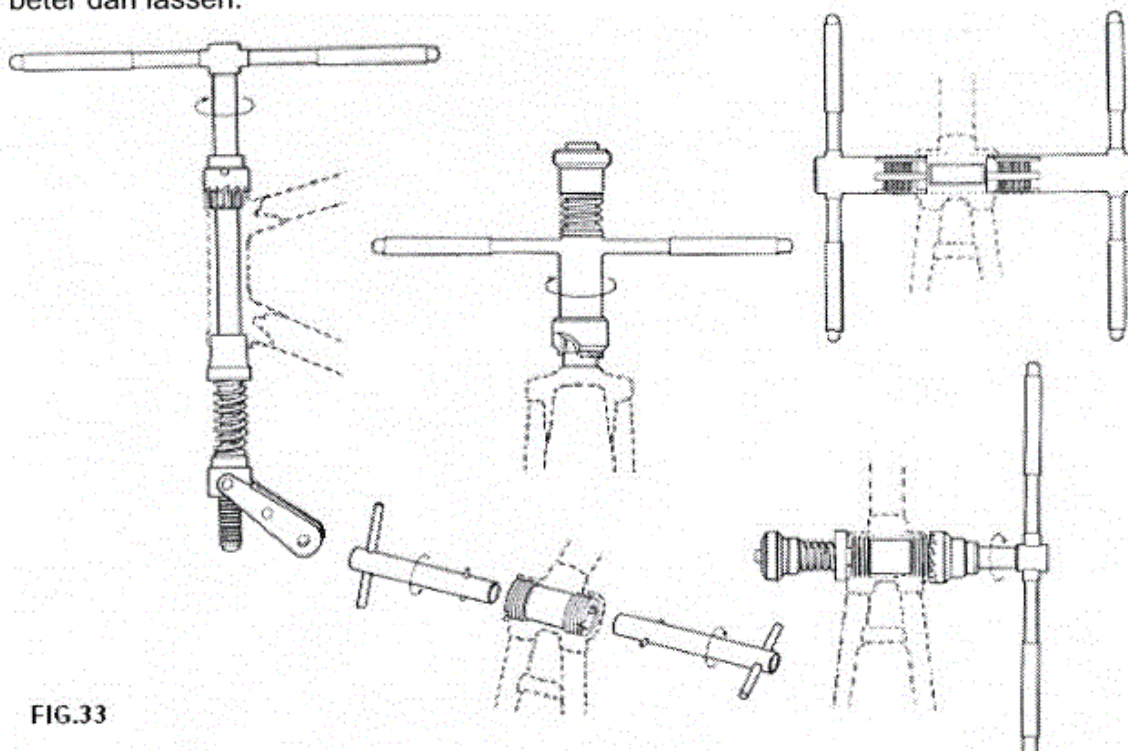


FIG.33

Voor de afwerking hebben we veel speciaalgereedschap nodig (zie FIG.33). Ga
 een goede relatie aan met uw fietsenmaker. 1. Met de balhoofdfrees brengen we de
 binnendiameter van de balhoofdbuis op 30 mm, bovendien frezen we de boven en
 onderkant perfect haaks. 2. Met de zittingringfrees brengen we de diameter van
 vorkkroon terug tot 26,4 mm en vlakken we de vorkkroon haaks af. 3. Met de
 bracketdraadtap snijden we de draad na. 4. Vervolgens draaien we hulpbus in het
 bracket. Hierop past de vlakfrees, die haaks op de schroefdraad, de buitenkanten van
 het bracket vlakkt. Bij een goed bracket heeft u misschien 3 en 4 niet nodig. Maar 1 en
 2 zijn vaak niet te vermijden.

De afwerking van het frame is een tijdrovende zaak. Goed schuren met fijn schuur-
 papier en met sleutelvijsjes de randen nalopen; kleine beschadigingen en oneffen-
 heden wegwerken met wat plamuur of tinsoldeer. Het is slim om nu de fiets geheel op
 te bouwen en een proefrit te maken. Controleer of het frame goed spoort. Zit alles op
 de goede plaats? Rijdt ie lekker? Voor het lakken kunt u nog iets veranderen!

16. EEN EENVOUDIGE LIGFIETS IN STAAL

Het bouwen van ligfietsen is natuurlijk nauwelijks afwijkend van het bouwen van gewone fietsen. Tijdens het bouwen is richten ook hier de rode draad. Veel bouwers kopen een standaard voorvork of passen een oude vork aan. De meeste ligfietsbouwers kiezen voor lage fietsen. Alleen dan is er een groot aërodynamisch voordeel te behalen. Dit houdt in dat er een klein voorwiel gebruikt wordt (vaak 20" wieltjes ETRTO-406); hiervoor zijn diverse lichtlopende en extra sterke banden verkrijgbaar. Bij het achterwiel kunnen we kiezen voor een 20" of voor een groter wiel. Bij een 28" of 26" wiel kunnen we met een standaard verzet rijden. Bij een 20" wiel moeten we grotere tandwielen voor kiezen; deze zijn verkrijgbaar, maar nogal duur. Verder kunnen we vering nemen: voor en/ of achter. Er zijn standaard 20" telescoopvorken te krijgen; achter kunt u er zelf een ontwerpen. Zitjes zijn er in alle maten, maar als u dat wilt, kunt u natuurlijk ook het zitje zelf maken. We hebben buis en/ of koker nodig en moeten toch soldeerdelen kopen: nokjes, patjes, trapassen en een voorvorklug (als we de vork tenminste zelf maken).

De zithoek is gewoonlijk tussen 25°(sterk liggend, racy) en 45°(comfortabeler, beter zicht op het verkeer). Als we voor een racy houding kiezen, moeten we ook een lage zitpositie kiezen, want alleen dan is er snelheidswinst te boeken. Voor de beginnende ligfietser is deze houding niet altijd prettig. De meeste ontwerpen gaat uit van achterwielaandrijving, maar voorwielaandrijving kan natuurlijk ook. Het probleem is dat u met dit voorwiel ook moet sturen. Er zijn buiten Flevobike weinig fabrikanten meer met een "chacha-sturing"(balhoofd 45° en trapas aan de voorbouw). Men kan ook voorwielaandrijving kiezen via een steile balhoofdhoek b.v. 85° met een rechte vork, en de ketting via rollen omleiden naar het voorwiel. Er zijn diverse modellen o.a. de rug-aan-rugtandem en Ace Liberator met dit ontwerp. Neem hierbij wel een KWB fiets, anders is er te weinig druk op het aangedreven wiel. Geleiderollen voor kettingen zijn bij veel firma's leverbaar, in kunststoffen als nylon en teflon. De lagering is verkrijgbaar in diverse kwaliteiten en soms schuifbaar over een asje om bij voorbeeld een grotere wieluitslag mogelijk te maken.

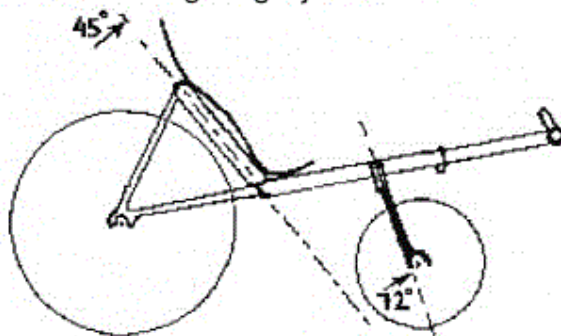


FIG.34

We zullen nu een eenvoudige ligfiets in staal bouwen. In dit voorbeeld kies ik voor een korte wielbasis, een 20" voorwiel en een onderstuur. Als u een onderstuur neemt, kunt u gewoonlijk met een omgekeerde lange stuurpen op de gewenste maat komen. Kiest u voor een bovenstuur dan kan een oude minifiets soms bruikbare onderdelen

verschaffen. De voorvork neem ik uit een kindercrossfiets; de vooras staat 25 mm voor het hart van de vork en de balhoofdhoek is normaal (72°). Er is veel discussie mogelijk over trapashoogte en de zithoek. Ik kies voor 10 cm boven het zitje en 45° (zie FIG.34). Om de bouw simpel te houden gebruik ik als hoofdkoker 35X2, en een erin schuivend trapasdeel en stoelsteun (koker 30X1,5). Op de trapas komt nog een kort stukje buis (28,6X1,2) om de voorderrailleur te bevestigen. Het balhoofd wordt een 32X1 buis met een lengte van 100 mm. Zorg dat de balhoofdbuis perfect haaks is afgezaagd. Hier komt tevens de geleiding voor de ketting. De ketting van dit type ligfiets is erg lang en smerig; monteer maar een afdekplaatje erop, want wasmiddelen helpen nog steeds niet. Wanneer de trapas verstelbaar is tussen 800 en 1050 mm gemeten vanaf de overgang tussen zitje en rugleuning, past 99 % van de volwassen Nederlanders op uw fiets.

Als lengte van de hoofdkoker neem ik 800 mm. Aan de voorkant komt de klem: zaagsnede 4 mm breed en 50 mm lang. Zet de klembout vast in twee opgesoldeerde hoekijzertjes, waarin een moer gesoldeerd wordt. Zaag de andere kant van de hoofdkoker in, zodat de stoelsteun onder een hoek van 55° erin gesoldeerd kan worden. Vervolgens boren we op 400 mm van de binnenhoek een gat voor de montage van de balhoofdbuis. Dit mag niet 90° op de buis zijn, maar onder een hoek van 82° . Boor b.v. een recht gat van 25 mm en vijl dit scheef uit naar 32mm. Las of soldeer het hoofdframe nu, en vergeet bevestigingslipjes voor de stoel niet. De trapaskoker (400 mm) dient minimaal 100 mm in de klem te blijven zitten! Zaag en vijl de koker zodanig dat de trapashuls goed past (zuiver haaks), en soldeer tegelijk een hulpbuis voor de voorderrailleur. Als u de trapas uit een oude fiets gebruikt, kunt u mogelijk gewoon de zitbuis handhaven. Nog simpeler is een klemconstructie waarbij het bracket kan schuiven op of onder het frame; o.a. bij Tempelman kan men klembrackets leveren (maar die zijn voor 40x40 koker). Soldeer een oude liggende achtervork aan het hoofdframe. Monteer de voorvork en richt het achterframe, zodat het goed spoort. Zet daarna de staande achtervork erin.

Neem een ruime keuze in verzetten; drie bladen voor is zeker gewenst. Om snelheid te maken wordt bij een 28" achterwiel minimaal 52x13 of 48x11 bij een 26" aanbevolen. Bij 20" moeten we eigenlijk nog grotere tandwielen voor kiezen. De franse firma T.A. levert zelfs triples met max. 68 tanden en cranks tot 185 mm.

De voorrem is bij de ligfiets het belangrijkste. Het blijkt dat de 20" velg in bergachtig terrein niet altijd de warmte kwijt kan, wat tot klapbanden kan leiden. Een hoge velg (groot koelend oppervlak), of nog beter een schijfrem, lost dit probleem meestal op.

17. DE LIGFIETS IN CARBON

We kunnen het hoofdframe van deze ligfiets ook in kunststofcomposieten bouwen. Voor de constructie beveel ik de "volle kern (wood-core) methode" aan; dit houdt in, dat we een vorm omkleden met fibers. Deze vorm blijft dus in het frame zitten. Op zwaar belaste punten komen drie lagen (200 gr/m^2), elders moet twee voldoende zijn. Carbonfiber is het stijfst, maar als toplaag neem ik carbon-kevlar weefsel. Dit is beter bestand tegen krassen en stoten. Er worden veel metalen delen in het

frame verwerkt. Ook als u voor glasfiber kiest, raad ik u daarom aan epoxy als matrix te nemen. Polyester hecht zich slecht aan metalen! Er mag geen direct contact zijn tussen metaal en carbon. Gebruik een tussenlaagje van glasvezel of kevlar.

Om het frame aan te passen aan de lengte van de rijder kan men een excentrische trapas nemen, of een klemconstructie waarbij men het bracket kan verschuiven op of onder het frame (klembracket). Bij de bouwbeschrijving ga ik ervan uit dat u een standaard voorvork van een crossfietsje gebruikt. Voor de kern zijn er diverse keuzemogelijkheden: PS-schuim (piepschuim), PUR-schuim (isolatieschuim), en balsahout. Balsahout laat zich beter bewerken dan schuim, daarom kies ik ervoor; het is via modelbouwwinkels verkrijgbaar, maar de afmetingen zijn voor ons doel te klein (verlijmen dus). PS-schuim is met een gloeidraad goed in vorm te snijden; bij verlijmen van blokken PS moet u epoxyhars gebruiken. PUR zult u moeten zagen en schuren, want het is veel sterker dan PS. Zorg ervoor dat u geen te kleine diameters neemt; de hoofdbuis moet minimaal 50-60mm zijn.

Maak geen grote hoeveelheden hars tegelijk aan. Sommige soorten zijn binnen een half uur al te hard om te verwerken. Dit gegeven is op de verpakking van de harssoort te vinden als verwerkingstijd. Verder zien we vaak de term "potlife"; dit is de tijd dat het product bewaarbaar is. Hierbij dienen we op te merken dat dit geldt bij bewaren rond 10°C (keldertemperatuur). Vriescou en hoge temperaturen maken veel harssoorten binnen enkele dagen al onbruikbaar. De verwerkingstemperatuur (werkplaats temperatuur) is ook erg belangrijk. Wanneer hars en harder al vermengd zijn, gaat het uitharden bij 28°C veel sneller dan bij 12°C, maak bij hogere temperaturen dus kleinere porties hars aan. Meng epoxyhars en harder in de juiste hoeveelheden; zéér goed mengen!

Lijm, timmer en schuur de kern in de gewenste vorm; integreer het zitje. Zet een dun triplex plaatje op enkele plaatsen vast. Plak hierop wat P.S.-schuim; met een verfstripper kan een goede pasvorm bereikt worden. Zorg ervoor dat alle hoeken afgerond zijn, want koolstofvezel laat zich niet in een haakse hoek drukken! Maak de metalen delen (trapas, patjes, balhoofdbuis) schoon, vetvrij, en zo ruw mogelijk, door er zaagsnedes e.d. op te maken. Maak passende gaten in de kern: **LIJN DE KERN VAN HET FRAME 100% UIT IN EEN MAL!** Het is onmogelijk een uitgehard frame te richten: het dient kaarsrecht uit de mal te komen! Smeer nu de te verwerken metalen delen en de betreffende stukken kern in met hars, en **FIXEER** deze in de mal. Versterk de zwaar belaste punten met wat koolstofband. Dit zijn alle knooppunten en plaatsen waar metalen delen in of op komen. Smeer hars op het model, leg het koolstof erin, en druk nieuwe hars met stotende bewegingen (tamponneren) in het weefsel. Na 24 uur uitharding, de vorm opnieuw bijschuren en vervelende klodders afslijpen. De bedoeling is nu dat de kern uit de mal gehaald wordt; monteer de voorvork en **CONTROLEER ALLES NOG EENS!** Mocht de kern onverhoopt niet recht zijn, bedenk dan hoe u met enkele slimme zaagsnedes de kern kunt aanpassen. Zet de kern daarna opnieuw in de mal en plak een koolstofstrook over de zaagsnedes; laat dit weer uitharden en controleer het opnieuw op rechtheid. Als de kern perfect uitgelijnd is, gaan we hem omkleden. Voor een optimale hechting dient de vorm ruw te zijn. Kies de vezelrichting zo, dat de krachten onder een hoek van 45° aangrijpen.

Het is ideaal om eerst al het knipwerk te doen (valt niet mee!). U kunt dan namelijk doorwerken en nat-in-nat plakken. Dit geeft het maximale vezel-hars gehalte. Ik ga hierbij uit van carbonweefsel van ongeveer 200 gram per vierkante meter. Als u voor dunner materiaal of minder stijf materiaal kiest moet u meer lagen verwerken; neem ruime overlappingsen. Eerst smeren we de kern in met hars. Daarna komt de eerste laag koolstofvezel erop en vervolgens weer hars. Denk eraan het hars niet over het koolstof uitsmeren, maar met stotende bewegingen in het koolstof drukken!! Om ervoor te zorgen dat er geen luchtinsluitingen zijn, lopen we met een rollertje over het weefsel. Vervolgens komt op dezelfde wijze een tweede laag en de toplaag erover. Vul putjes en gaatjes op met een dikkere hars tot een egaal vlak oppervlak ontstaat.

Na enkele dagen uitharding bij kamertemperatuur kunt u de fiets schuren en lakken. Epoxy's zijn gevoelig voor u.v. licht, daarom is lakken gewenst. Schuur met steeds fijner papier tot u tevreden bent over de gladheid. Breng nu een twee componenten lak in de gewenste kleur aan. Erg geschikt is de PolyUrethaanlak DD (desmodur-desmophen). Dit is zowel met de kwast of roller als de verfspuit op te brengen. De Amsterdamse firma PolyService BV stuurt per postorder harsen, lakken en vezelmatten in alle maten en soorten door het gehele land. Wees voorzichtig met chemicaliën, lees de waarschuwingen op het etiket en neem ze serieus. Gebruik ademfilters tegen stof en oplosmiddelen, trek wegwerphandschoenen aan en pas op voor explosieve dampen.

18. EEN DEELBARE TANDEM

Als volgend voorbeeld neem ik de demontabele tandem die ik ooit gemaakt heb, door lugloos te solderen. Het voordeel van dit ontwerp is dat je het middenstuk eruit kunt laten en een gewone fiets overhoudt. Het voorframe bestaat uit een balhoofdbuis (naadloos 32x1), boven en onderbuis (30x2), en een passtuk (vierkante koker 30x1,5), zie FIG.35. De zitbuis van het middenframe bestaat uit een stuk buis van 200mm (30x2) voor de helft gesoldeerd in een vierkante koker (35x2) met een lengte van 400mm; hieraan is een excentrisch bracket gesoldeerd van het fabrikaat Haden. Dit bestaat uit een stalen bus, waarop twee klembouten gesoldeerd worden. Hierin komt een aluminium huis waarin (uit het midden!) de trapas gemonteerd kan worden. Door het huis te draaien is de kettinglengte traploos te verstellen.

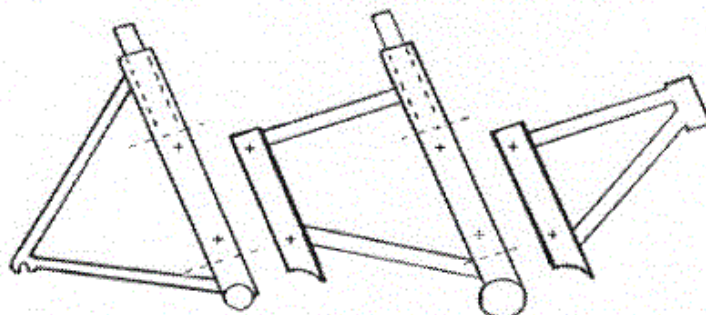


FIG.35

De 35x2 koker is aan de voorkant voor een deel opengeslepen; hierin past het passtuk van het voorframe. De liggende "onderbuis" is een vierkante koker 30x1,5 evenals het tweede passtuk; de bovenbuis is rond 30x2. De zitbuisconstructie van het achterframe is identiek aan die van het middenframe. De trapaslug is niet meer dan een stukje gasbuis met een lengte van 70 mm en een binnendiameter van 38 mm; hierin kun je een vast kogellager persen. De passtukken worden vastgezet met M8 bouten dwars op de lengterichting van het frame. De moeren hiervan zijn vast gesoldeerd op de koker. De passtukken haken in het frame en drukken tegen de zitkoker. De bouten klemmen het passtuk, maar dragen verder geen krachten!

Het voorframe is als volgt gebouwd. Maak eerst de verbinding balhoofd/ liggende onderbuis; soldeer dan het passtuk eraan. Zet dit vertikaal op een vlakke ondergrond en controleer met een winkelhaak; zet de bovenbuis erin en herhaal de controle. Soldeer bij het achterframe eerst de trapashuls perfect haaks aan de koker. Slijp de 35x2 koker m.b.v. een haakse slijpmachine op maat van het passtuk open. Zet het passtuk erin en doorboor beide kokers. Soldeer twee moeren op de gaten en zet de bouten vast. Soldeer daarna een liggende achtervork eraan. Om deze te richten legt u een liniaal in het bracket en in de patjes. Controleer of de vork goed in het midden staat. Soldeer de ronde 30x2 zitbuis in de 35x2 koker en bevestig de staande achtervork.

We gaan nu verder met het middenframe. Eerst wordt het tweede passtuk aan de liggende onderkoker gesoldeerd en op een vlakke ondergrond gecontroleerd. Slijp de zitbuiskoker nu op maat van het passtuk open en soldeer de 30x2 zitbuis erin. Daarna heb ik de liggende onderkoker (30x1,5) aan de zitbuiskoker gesoldeerd. Boor nu de gaten in het passtuk van het middenframe. Gebruik het achterframe als mal en boor dan de gaten in de zitkoker. Zet de passtukken vast en richt het frame uit; nu gaan we de bovenbuis in het middenframe solderen. Als dit gebeurd is, solderen we de bus van het Hadenbracket aan het frame (haaks!). De klemdelen die het huis vastklemmen, solderen we als laatste en slijpen deze daarna samen met de bus door. Deze volgorde aanhouden: anders vervormt de bus en past het trapashuis niet meer!

Het frame is nu in grote lijnen klaar, maar er moeten nog veel nokjes, klemmen e.d. op komen. Zorg voor makkelijke (de)montage door oogjes voor kabelgeleiding door te zagen, zodat de binnenkabels makkelijk ge(de)monteerd kunnen worden.

19. DE LUCHTWEERSTAND VERMINDEREN

Een andere opwindende mogelijkheid is het bouwen van een stroomlijn voor onze fiets. De ideale vorm is de druppelvorm: voor rond achter spits. Rek de vorm lang uit en maak het frontaal oppervlak zo klein mogelijk. Zorg dat de wielen de vorm zomin mogelijk verstoren, d.w.z. trek de stroomlijn zover mogelijk naar beneden door. Alle gaten in de stroomlijn verslechteren de C_w -waarde van het voertuig. Een driewieler kan makkelijk stil blijven staan; een tweewieler heeft daarvoor hulpstukken nodig. Traditioneel gebruikt men daar voeten voor, door gaten of dichtklappende luikjes in de omhulling; steunwielletjes bevallen in de praktijk slecht. Aandacht voor frisse lucht is geen echte luxe; met name recordvoertuigen zijn soms zo dicht dat er zuurstoftekort optreedt. Helaas is de zijwindgevoeligheid van deze stroomlijnen erg groot. Voor veel

tweewielers is windkracht zeven al gevaarlijk. Driewielers zijn stabiel, maar ook de Alleweder wordt bij windkracht 9 erg gevoelig voor turbulenties van gebouwen en passerende vrachtwagens!

Voor het vormen van de stroomlijn dient een mal gemaakt te worden. U kunt kiezen tussen een positieve en een negatieve mal. Voor een zo glad mogelijke buitenkant maakt u een negatieve mal d.w.z. het laminaat wordt aan de binnenkant van de mal geplakt. Om aanhechting van de stroomlijn aan de mal te voorkomen gebruiken we enkele lagen van het lossingmiddel PVA (polyvinylalcohol). Dit is oplosbaar in water. Het is gebruikelijk op een aantal plaatsen in de mal een aansluiting voor een waterslang te verwerken. Als de vorm uitgehard is, kunnen we door waterdruk op deze punten te zetten mal en stroomlijn van elkaar scheiden. Als de stroomlijn een dragende functie moet krijgen, zoals bij de C-Alleweder, dient men voor carbon-epoxy te kiezen. Als dit niet het geval is, dus als de vorm een omhulsel om een frame is, kunnen we eventueel glasvezels nemen. Een mal voor een fietsstroomlijn kan ook in twee delen gesplitst worden, een onder- en bovendeel of een linkse/ rechtse helft. Het maken van een goede mal is zeer bewerkelijk; zeker als u hem meer malen zou willen gebruiken.

Voor een goede stroomlijn is een totale modelvorm gewenst. U heeft op de teken-tafel of de computer een ontwerp. Nu gaat u om de zes centimeter een dwarsdoorsnede maken. Deze dwarsdoorsnede tekent u op ware grootte en snijdt u met de decoupeerzaag uit een 1 cm dikke multiplexplaat. Nu koopt u 5 cm dikke piepschuim platen; hier zaagt u dezelfde figuur uit, maar dan 3cm groter aan alle kanten. U neemt twee lange staven en maakt met de gatenboor in multiplex en PS gaten met dezelfde diameter als de staven. Rijg nu plaat voor plaat om en om aan de staven. Een groot model moet aan de onderkant gesteund worden anders zakt het door. Met een hete draad kunt u het overvloedige piepschuim eraf scheren. De ruwe vorm is dan klaar. Het verdient aanbeveling met epoxy en glasvezeldoek alles tot een geheel te plakken. Bouw aan de binnenkant van de vorm enkele plekken met de slangpilaren voor een tuinslang in. Nu moet alles met plamuur en gips perfect glad gemaakt worden. Als het voldoende glad is, brengt u de lossingslaag PVA aan. Eerst smeren we de kern in met hars. Daarna komt de eerste laag vezel erop en vervolgens weer hars. Denk eraan het hars niet over de vezels uitsmeren, maar met stotende bewegingen in de vezel drukken! Om ervoor te zorgen dat er geen luchtinsluitingen zijn, lopen we met een rollertje over het weefsel. Vervolgens komt op dezelfde wijze een tweede laag en de toplaag erover. Vul putjes en gaatjes op met een dikkere hars tot een egaal vlak oppervlak ontstaat. We hebben nu een positieve mal gebruikt. Dit is in de afwerking meer werk. Als u een negatieve mal wil hebben, moet u de vorm die u net gemaakt heeft, als hulpvorm gebruiken; d.w.z. de binnenkant ervan als mal gaan gebruiken. Als u meerdere stroomlijnen gaat maken, is dit aan te bevelen. Het eindproduct is dan sneller klaar. Neem wel geen duur koolstof om de hulpmal te maken!

Naar mijn mening weet U nu voldoende over framebouw, om na te denken over "uw eigen fiets". Een lange reis begint met de eerste stap en die heeft u met het lezen van dit boekje gezet.

NAWOORD

Als u het boekje geheel gelezen en begrepen heeft, weet u veel meer van framebouw dan ik toen ik mijn eerste frame bouwde. Het feit dat een onbekende schotse wielrenner in 1993 nog in staat was, dankzij een eigenbouw fiets, het werelduurrecord te verbeteren, toont aan dat er toch nog altijd creatieve mogelijkheden zijn in de framebouw.

Al gaat u niet voor het werelduurrecord, er blijft nog veel te verbeteren aan de fiets. Waarom zouden alleen andere mensen goede ideeën hebben? Denk na, probeer en geef de moed niet te gauw op. De ideale fiets is superstijf, veert 100%, heeft geen luchtweerstand en weegt niets. Zolang die fiets nog niet gemaakt wordt, kunnen u en ik nog zelf frames bouwen.

UITGAVE: Stichting Velofilie Oudenboschstr. 43 Wijnandsrade
Vierde druk, januari 2004

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Broek, Wiel van den
Fietsconstructie / Wiel van den Broek.-[ill. van de auteur].
Wijnandsrade : Stichting Velofilie.- Ill.,
ISBN: 90-801450-2-5
NUGI 430
Trefw.: fietsframes.