

**HET ABC
VAN WIELTJES SPAKEN**

WIEL VAN DEN BROEK

Vijfde druk

VOORWOORD

Wielen bouwen is een ambacht; ervaring en vakmanschap zijn belangrijker dan boekjeswijsheid. Wie wielen wil bouwen, zal zich in het ambacht moeten bekwamen. Er is in Nederland weinig literatuur over het spaken van wielen; wat nagenoeg geheel ontbreekt is een theoretische onderbouwing. Als we begrijpen welke krachten er op een wiel werken, hoe groot deze krachten zijn en wat de invloed is van het vlechtpatroon, kunnen we alle zin en onzin die over wielenspaken verteld wordt, wat beter op z'n waarde schatten. Het is helaas onmogelijk een wiel te bouwen, dat supersterk is en vederlicht. Elke keuze is een compromis. Die keuze is aan de bouwer: U dus! Wees niet bang, door schade en schande wordt men wijs en oefening baart kunst.

INHOUD:

I.	Inleiding	3
II.	Spaken en spaaklengtes	4
III.	Naven	5
IV.	Velgen	6
V.	Krachten op de spaak	8
VI.	Vlechtpatronen en krachtverdeling	10
VII.	Wieltjes vlechten: 0x en 1x gekruist	11
VIII.	Wieltjes vlechten: 2x,3x,4x en 5x gekruist	12
IX.	De kunst van het opspannen en uitrichten	13
X.	Aangepaste wielen	15
XI.	Nieuwe fabriekswielen	17
XII.	Rolweerstand	18
XIII.	Tabellen	20
	Nawoord	24

INLEIDING

De eerste fietswielen waren wagenwielen met houten spaken en velgen, versterkt met ijzer. Toen men de houten spaken verving door stalen, bleef het spaakpatroon radiaal d.w.z. de spaken liepen recht van naafhuis naar velg. Zo'n patroon is ongeschikt om de krachten van aandrijving en remmen op te nemen. De naaf zal de spaken eerst "opwinden" voor de kracht doorgegeven wordt. Door de spaken kruisend te monteren, ontstond een wiel dat deze krachten wel kon opnemen. In figuur 1 zien we de aandrijfszijde van een achterwiel met (terugtrap)remnaaf. Als we twee naast elkaar gelegen spaakgaten in de naafflens bekijken, b.v. de spaken D2 en B1, zien we het volgende:

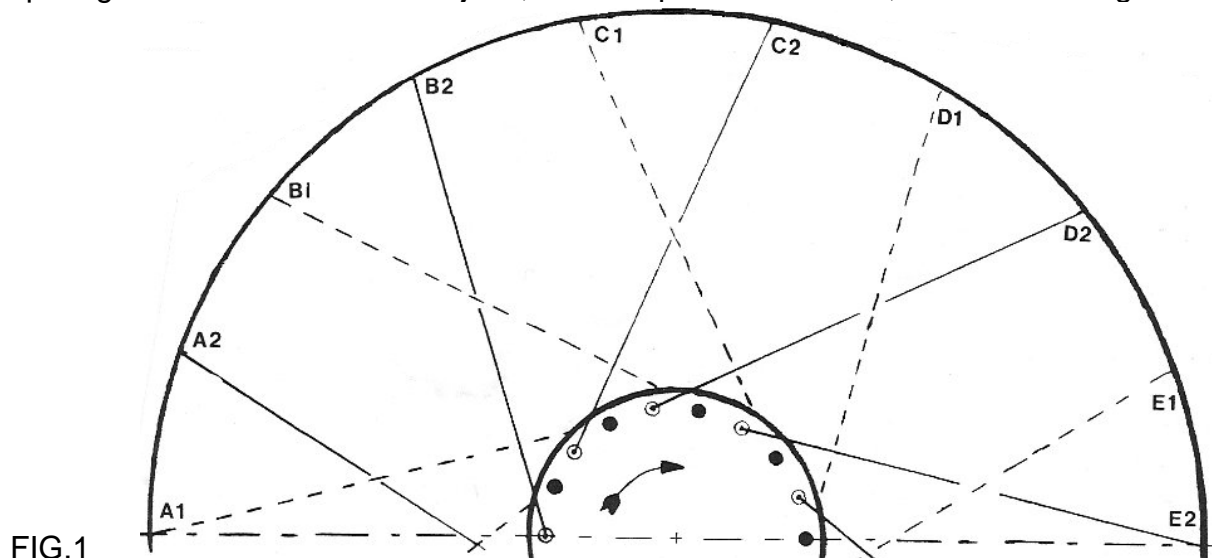


FIG.1

1. De spaakkop van spaak B1 zit aan de buitenkant van de naafflens. Deze spaak is dus van buiten naar binnen gestoken; de spaakkop van D2 zit aan de binnenkant en is van binnen naar buiten gestoken.

A1,B1,C1...enz. heten de binnenste spaken.

A2,B2,C2...enz. heten de buitenste spaken.

2. De spaak B1 kruist op weg naar de velg, aan de aandrijfszijde, de volgende spaken: eerst D2 (z.g.n.lage kruis), dan C2 en B2 (z.g.n. hoge kruis). We noemen dit vlechtpatroon 3x gekruist, 3 kruis, of 3x *. De hoek tussen D2 en B1 is $\pm 120^\circ$.

3. We zien dat spaak D2 over B1 en C1, maar onder D1 doorgaat. We zien dat spaak B1 onder D2 en C2, maar over B2 loopt. Dit is wielen vlechten. Bij robot gespaakte wielen zal D2 gewoonlijk over B1, C1 en D1 gaan; B1 zal onder D2, C2 en B2 lopen!

4. De kracht van de aandrijving (rechtsom), zal door alle spaken doorgegeven worden naar de velg. De spaken A1, B1,..enz. worden op trek belast: de trekkende spaken. De spaken A2, B2,..enz. worden ontlast; deze noemt men de statische spaken. In figuur 1 worden de binnenste spaken op trek belast. Als we remmen is het krachtverloop andersom: de buitenste spaken worden nu op trek belast.

**N.B. Soms zien we afwijkende notaties van spaakpatronen. Het vlechtpatroon 3X duidt men dan aan met kruis over 4. Hier bedoelt men: het hoge kruis omvat 4 spaakkoppen. Kijk eens goed naar figuur 1! Het vlechtpatroon 4X, duidt men aan met kruis over 6.*

SPAKEN EN SPAAKLENGTES

De spaaklengte wordt opgegeven in millimeters; de dikte met een inchmaat. In een kindercrossfietsje zitten spaken nr. 12 d.w.z. 1/12 inch; hoe hoger het nummer, hoe dunner de spaak. Bij "gewone stadsfietsen" zit in het voorwiel een spaak nr.14 (2mm dik) en in het achterwiel een sterkere spaak nr.13 (2,3mm dik), omdat 2/3 van het gewicht op het achterwiel drukt en er bovendien de krachten van de aandrijving en eventuele remnaaf op inwerken. Spaken nr.13 zijn stugger en stijver; ze veren bij ontlasting minder "in" en hebben een grovere schroefdraad. De nippels zullen daardoor eerder loslopen. Deze spaken dienen daarom strakker te staan dan 14'ers.

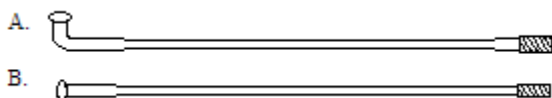


FIG. 2

Spaken breken bijna nooit in het midden, maar vrijwel altijd bij de spaakkop en soms in de nippel. De duurdere spaken hebben daarom verdikte uiteinden (double butted, zie FIG.2a). Een veel gebruikte racespaak is 14-15-14; single butted komt soms ook voor: v.b. 13-14, zie FIG.2b. De moderne aërodynamische spaken hebben een rechte conische kop zoals bij FIG.2b en een afgeplat middendeel. Bij sommige spaken is dit zo breed dat de gaten in de naaf vergroot moeten worden om de spaak erdoor te krijgen.

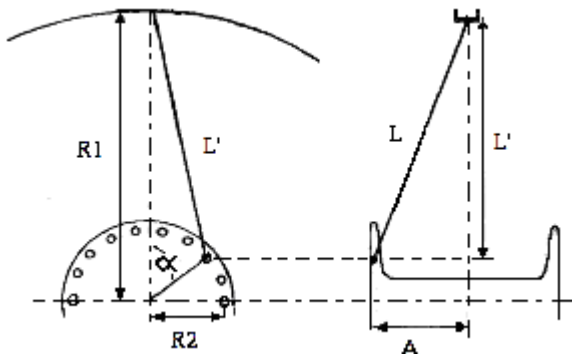
Het is vaak moeilijk weinig gebruikte maten te krijgen; weliswaar is het meeste te bestellen (per 100 of per gros!), maar vanwege levertijd en leverbaarheid, moeten we soms spaken kopen die iets afwijken van de gewenste maat. Tussen te kort en te lang zit 4mm. Als de spaken door de nippels naar buiten komen hadden we 2mm korter moeten nemen, en als we nog schroefdraad op de spaak kunnen zien, 2mm langer. De draad op de spaak is gerold d.w.z. het materiaal uit de "dalen" vormt de "heuvels"; de draad is dus het dikste deel van de spaak! De schroefdraad is engels b.v. 14xWW 1/56 (dus 1/14 inch WhitWorth met 56 gangen per inch).

Omdat veel velgen alleen geschikt zijn voor 14-er nippels, zijn er tegenwoordig ook wel 14-er nippels met een 13-er draad; de wanddikte is echter minimaal; deze nippels raken snel beschadigd. Er zijn ook 13-er spaken waar een 14-er draad op zit, een beetje betere oplossing, mits de spaken niet te lang zijn; deze draad is n.l. gesneden: de nippel loopt vast op de spaak en er is een kans op breuk in de nippel, omdat de schroefdraad het zwakste punt is! De nippels zijn meestal van vernikkeld messing; dure nippels zijn van sterk aluminium. Goedkope spaken zijn van koolstofstaal, tegen roest beschermd door verzinken, vernikkelen of verchromen. Kwaliteitsspaken zijn van chroomstaal als X30Cr13 (Hoshi) of chroomnikkelstaal zoals X5CrNi18-8 (Sapim en Alpina) en X5CrNi18-10 (DT). Rijke grammenjagers kunnen zelfs titanium spaken kopen bij DT. Voor speciale wielen zijn er kunststof spaken verkrijgbaar o.a. Vectran spaken voor Spox wielen en carbon van het Taiwanese CN-spokes. Mavic gebruikt voor de Ksyrium SL aluminium spaken van Zicral (AA7075). Deze speciale spaken zijn duur, vaak €5 tot €10 per stuk en passen vaak slechts in een merk wiel.

Een ervaren wielenbouwer weet welke spaaklengte bij een bepaalde naaf/velg combinatie en vlechtpatroon hoort. Bij weinig gebruikte combinaties kan hij tabellen gebruiken, of de spaaklengte berekenen. De spaak kan door rekken en het zetten van de spaakkop in het gaatje van de naafflens, wel 2 mm langer worden, maar door de dikte van de nippel boven het velgbed niet mee te rekenen, compenseert zich dit.

Pas de cos.regel toe in fig.3a:

$(L')^2 = (R1)^2 + (R2)^2 - 2(R1)(R2)\cos\alpha$; en pas Pythagoras toe in fig.3b: $L^2 = (L')^2 + A^2$;
 spaaklengte $L = \sqrt{\{(R1)^2 + (R2)^2 + A^2 - 2(R1)(R2)\cos K \times 720^\circ / N\}}$



R1=halve diameter velg incl. bodem
 R2=halve diameter naaf van spaakgat tot spaakgat
 A= afstand flens tot midden wiel
 K= gekozen vlechtpatroon (0,1,2,3,4, of 5 kruis)
 N= het aantal spaken in het wiel

FIG.3a

FIG.3b

NAVEN

Naven zijn er in veel vormen en maten. Ook al zijn twee naven van hetzelfde type (hoge of lage flens, zie FIG.4 en 5), er kunnen millimeters verschil in diameter zijn, en dus in spaaklengte. De breedte van de voornaaf ligt gewoonlijk tussen de 90 en 100mm; de breedte van de achternaaf tussen de 115 en 140mm. Let op de hartlijnen in FIG.6; we kunnen hier goed zien dat **de flenzen t.o.v. elkaar verdraaid zijn!**

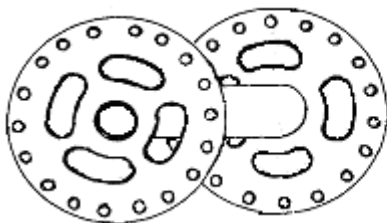


FIG.4

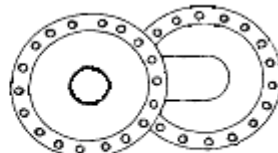


FIG.5

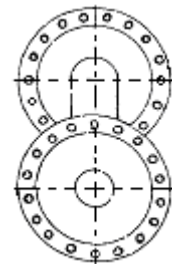


FIG.6

De hoogte van de flens varieert van 30mm voor een lage flens tot 120mm voor een trommelrem. Bij de oude types Sturmey Archer trommelrem kwam zelfs een hoge en een lage flens voor (zie FIG.7A). Omdat de hoogte van de rem het onmogelijk maakte om het wiel te vlechten, werden hier zgn. lissen gebruikt om de spaken in te haken. Dit was geen fijn systeem; de belasting van de spaakkop was hoog, omdat hij slechts gedeeltelijk gesteund werd door de flens. Het spaken van zo'n wiel was lastig, omdat de kop steeds uit de lissen schoot; gelukkig heeft men nu gekozen voor twee gelijke hoge flenzen. Het is onbegrijpelijk dat Shimano dit idee weer uit de mottenballen haalde voor hun Deore M555 schijfremnaven (zie FIG.7B).

De belangrijkste bron van problemen voor achterwielen, is het feit dat deze paraplu-gespaakt worden. Technisch betekent dit dat de spaakspanning rechts 50-60% hoger is dan links. De afstand tussen de flenzen is in een achterwiel vaak kleiner dan in een voorwiel om ruimte te maken voor de tandwielen. Het zwaar belaste achterwiel is daardoor zijdelings minder stijf.

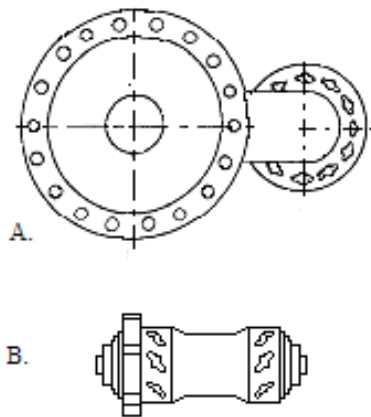


FIG. 7

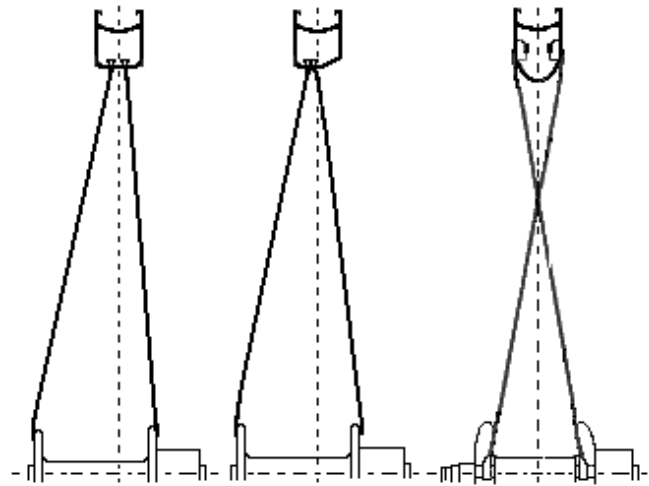


FIG. 8

a.

b.

c.

Omdat rechts het freewheel zit, en de velg toch in het midden van het frame moet lopen, staan de spaken in het aandrijfscherm veel strakker. Zeker de trekkende spaken rechts werken voortdurend onder hoogspanning. Aan de linkerzijde zijn het met name de statische spaken, die bedreigd worden; niet met te hoge, maar met te lage spanning, hetgeen loslopen van de nippels in de hand werkt. Een methode om het spanningsverschil te verminderen, is het inbouwen van een asymmetrische velg (o.a. Ritchey velgen en Rolf wielen). Hier liggen de nippelgaatjes allemaal links uit het midden (FIG.8b). Dit is natuurlijk alleen een velg voor achterwielen! Een goed idee van Shimano was het kruisen van de spaken in het verticale vlak (zie FIG.8c). Hierdoor is de spaakspanning links en rechts nagenoeg gelijk. De spaakkoppen, helaas nog wel met bocht, verhuizen naar de velg en de nippels komen in de naafflens. De naafflens bestaat dan uit aluminium blokjes waarin de nippels passen. Vergelijkbare blokjes vinden we ook bij navens voor conische spaken. Het zwakste punt van het wiel, de spaakbocht, verdwijnt op die manier. De blokjes vreten wel ruimte op de naaf; er kunnen dus minder spaken gemonteerd worden. Maar dat is niet zo erg; minder spaken besparen gewicht en luchtweerstand. Bij voorwielen valt er veel meer winst te behalen in vermindering van luchtweerstand; het achterwiel zit in het zog van de zitbuis.

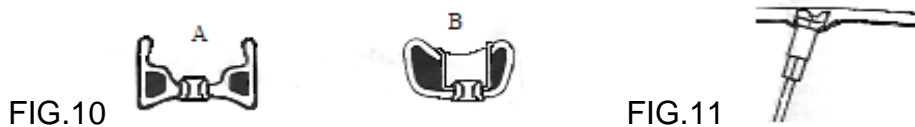
VELGEN

De standaard velgdiameters zijn "historisch" gegroeid d.w.z. er ontstonden in diverse landen onderlinge afspraken tussen rijwiel- en bandenindustrie, over de te gebruiken afmetingen. Deze landelijke afspraken zijn de oorzaak van de enorme variëteit in maten en maataanduidingen. Inmiddels staan op vrijwel alle banden ook z.g.n. ETRTO-maten. Een voorbeeld is: 37-590. Het eerste getal geeft de diameter van de band aan in opgepompte toestand (37mm); het tweede getal de diameter van de hieldraad d.w.z. de plek waarop de band zich vast klemt op de velg. Deze maat is beter bekend als 26x1 3/8. De standaard engelse 28x1 1/2 maat is in ETRTO: 40x635. De standaard franse 28x1 1/4 maat is in ETRTO: 32x622. De standaard engelse 27x1 1/4 maat is in ETRTO: 32x630. Dit wil zeggen dat de diameter van een franse 28 inch velg kleiner is, dan de diameter van een engelse 27 inch velg. Het moet duidelijk zijn dat een engelse 28 inch band niet past op een franse 28 inch velg en omgekeerd!



De voornaamste types velgen zien we in FIG.9:
 9A: Westwood velg; deze wordt gebruikt op "gewone" fietsen, en uitgevoerd in (roestvrij) staal.
 9B: U-velg of Endrick velg; uitgevoerd in staal, r.v.s., of aluminium op de goedkopere sportfietsen, semi-racefietsen en A.T.B.'s.
 9C: Tube velg: deze wordt gebruikt in wedstrijdacefietsen of snelle trimfietsen. Gewoonlijk uitgevoerd in aluminium, hoewel er ook houten en koolstof velgen bestaan. De tubes worden op de velg gelijmd!
 9D: Doosvelg met hoornranden; deze worden gebruikt op supersportfietsen, racefietsen en A.T.B.'s. Door de hoornranden wordt voorkomen, dat de hieldraad van de bandjes van de velg schuift bij hoge bandenspanning (6 tot 9 bar). Als deze te laag is, kunnen de hoornranden snel beschadigd raken.

Vroeger werden onder de nippels nippelplaatjes geschoven om te voorkomen dat de nippel door de velg zou scheuren. Tegenwoordig zit er meestal een versterkingsringetje om het nippelgat (zie fig. 10A). Soms houdt dit ringetje een bus vast die aan beide velgbodems (zie fig. 10B) trekt; we noemen dit dubbelgebust (komt voor bij type 9C en D). Dit is de sterkste constructie.



Westwood velgen (type 9A) hebben meestal geen versterkingsring; ze worden geleverd in voorwiel-(14-er nippelgaatjes) en achterwieluitvoering (13-er nippelgaatjes). Bij trommelremmen worden deze velgen vaak gedopt uitgevoerd, d.w.z. het spaakgat bevindt zich in een voorgevormd putje (zie FIG.11), dat reeds wijst in de richting waarin de spaak straks gaat lopen. Dit is met name bij hoge flens naven gemakkelijk, omdat de hoek tussen spaak en velg erg klein kan worden, waardoor de nippel de spaak verbuigt. Dit levert een extra stresspunt op, en kan aanleiding zijn voor spaakbreuk in de nippel. Bij gedopte velgen dienen de spaaklengtes enkele mm's korter gekozen te worden als in gangbare tabellen wordt aangegeven. Dit kan ook het geval zijn als het velgtype afwijkt van het gangbare; een doosvelg zal t.o.v. een Westwoodvelg van dezelfde bandenmaat een kleinere velgdiameter hebben (van bodem tot bodem, de hieldraad komt uiteraard op dezelfde plek): kies hier dan ook iets kortere spaken.

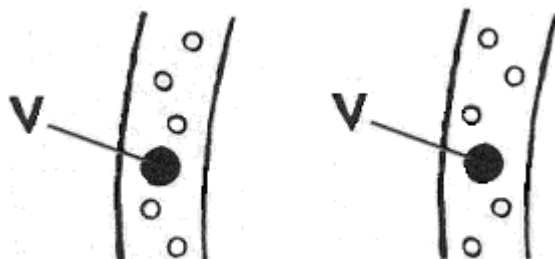


FIG.12a FIG.12b

De spaaknippelgaten in een velg zitten uit het midden. Als we in de binnenkant van het velgbed kijken, ontstaan er t.o.v. het ventielgat twee patronen:
 12a: De velg heeft het nippelgaatje boven het ventielgat RECHTS uit het midden staan:

een rechtse velg; dit resulteert bij 't spaken in een wiel met statische buitenste spaken. 12b: Deze velg heeft het nippelgaatje boven het ventielgat LINKS uit het midden staan: een linkse velg; dit resulteert bij het spaken in een wiel met trekkende buitenste spaken. N.B. Het heeft geen zin de velg om te draaien.

Het patroon 12a zien we gewoonlijk in toer- en sportfietsen met remnaaf; patroon 12b in (semi)racefietsen. Het aantal spaakgaten varieert van 12 voor een kinderfietsje, tot 48 voor een tandem. Omdat het aantal spaken in linker- en rechter flens gelijk is, en er evenveel binnenste als buitenste spaken zijn, is het aantal spaakgaten een veelvoud van vier. Racevelgen zijn verkrijgbaar van 12 tot 40 gaats. De 12 gaats worden b.v. op de baan, of in tijdritten gebruikt (alleen in het voorwiel). De 40 gaats zitten in cyclo-crossfietsen en baantandems. De standaard was 36 gaats, maar we zien een verschuiving naar 32 spaaks wielen. Speciale velgen zijn soms moeilijk verkrijgbaar; zoeken en/ of bestellen dus!

De velgbreedte hangt samen met de banddiameter. Brede banden horen bij brede velgen. Hier is echter veel speelruimte aanwezig, mits de diameter van de velg juist is. Te brede banden scheuren vaak langs de hieldraad; bij te smalle banden wil de binnenband wel eens eruit knallen.

DE KRACHTEN OP DE SPAAK

Even een **theoretisch experiment**: we nemen een **absoluut stijve velg** en we bevestigen daarin een naaf aan twee recht tegenover elkaar staande spaken (radiaal). Als we tijdens het op spanning brengen van de spaken met een spaakspanningsmeter de kracht die de nippels uitoefenen op de spaken meten, blijkt dat de spanning in beide spaken exact gelijk blijft: **ACTIE = - REACTIE!** We brengen de spaakspanning op 500 N (N= Newton: 1 kg is circa 10 N). We zetten dit wiel nu rechtop, met de spaken verticaal, en hangen 'n gewicht van 10 kg aan de naaf. Dit zal 'n kracht van 100 N uitoefenen. De spanning in de bovenste spaak wordt geen 600 maar 550 N (en in de onderste 450 N). Beide spaken nemen de helft van deze kracht op! Ook voor remmen en aandrijving geldt: alle spaken nemen die krachten op. Hoe meer spaken, hoe lager de belasting per spaak! Absoluut stijve velgen bestaan helaas niet; en de werkelijkheid is veel gecompliceerder, zoals we zullen gaan zien.

Een spaak kan alleen krachten in zijn lengterichting doorgeven. Om een kracht over te brengen van naaf naar velg, of omgekeerd, zullen de spaken strak moeten staan. Als een spaak op druk belast wordt, neemt de spaakspanning evenredig af. Dit kan tot gevolg hebben dat, bij onvoldoende voorspanning, de nippel losloopt door trillingen. Losgelopen spaken zijn net zo erg als gebroken spaken; ze dragen niet bij tot de sterkte van het wiel. De andere spaken zullen dus hoger belast worden. Uitgaande van een 36 spaaks voor- en achterwiel met spaken nr.14, is de trekkracht op de spaak in ruste (statisch) ongeveer 800N. Als we zo'n wiel in een fiets zetten van 10 kg, met een rijder van 80 kg, zal ongeveer 2/3 van het gewicht op het achterwiel rusten (60 kg). Het gewicht drukt de naaf naar beneden. Doordat de velg enigszins meegeeft, is het effect van spanningsvermindering onder groter dan dat van de extra belasting voor de bovenste spaken. Bij een 36 spaaks achterwiel met 60 kg druk erop is de "ontlasting" ongeveer 200N en de extra belasting 10N. Bij het fietsen zal de spaakspanning van dit wiel, in elke spaak, bij elke omwenteling (dus 500 maal per kilometer), variëren tussen 600 en 810N. In een 20 spaaks uitvoering van het achterwiel met dezelfde velg, is de

afname van de spanning door gewichtsbelasting 250N en de toename 30N. De spanningswisseling neemt met 33% toe; dit is misschien minder als je zou verwachten. Zeer hoge stijve velgen geven minder variatie in spaakspanning en zijn voor wielen met weinig spaken zonder meer verplicht. De Rolf wielen hebben de spaken in paren staan; de gaatjes in de velg zijn dus niet evenredig verdeeld. Doordat er nu twee spaken tegelijk ontlast worden, is de variatie in spaakspanning kleiner.

Spaken zijn heel sterk; deze staalsoorten hebben een treksterkte van ongeveer 1200 N/mm². Dit betekent dat een spaak nr.14 (1/14"=2mm dik) pas zal breken bij een belasting groter dan 3800 N. Toch is een hoge treksterkte niet het belangrijkste gegeven van een spaak; rekgrens en vermoeidheidsgrens zijn veel belangrijker. Als de spaak over de rekgrens belast wordt, neemt de voorspanning af; deze grens ligt rond de 900 N/mm². Voor de meeste spaken mag de belasting niet hoger zijn dan 2200N! De vermoeidheidsgrens wordt bepaald door bestendigheid tegen wisselende belastingen: voor een goede spaak meer dan 1 miljoen maal. De spaakfabrikant Sapim geeft voor hun CX-ray zelfs 3,5 miljoen cycli. Is dat nou veel? Vergis u niet : na 2000 km heeft het wiel al 1 miljoen omwentelingen gedraaid. Dit doet spaken breken: niet de te hoge spanning, maar metaalmoetheid; gelukkig is staal hier niet zo gevoelig voor.

In een modern 16 spaaks voorwiel is de spaakspanning 1000 tot 1200N (aan beide zijden gelijk). In paraplugespaakte achterwielen (zie figuur 8a) kan de spaakspanning flink oplopen. Links is de spanning soms 900 N en rechts in het spakenscherm aan de pionkant zelfs 1500 N! Hier zitten we aan de grens van het toelaatbare.

De variatie in gewichtsbelasting is voor elke spaak gelijk, en onafhankelijk van het vlechtpatroon (wel van het aantal spaken). Naast **statische spanning** en **gewicht-belasting**, werken ook nog **stootbelastingen** op de spaken. Het rijden door kuilen en tegen stoeprandjes, levert niet alleen zeer hoge belasting, maar vooral ontlasting (!) van de spaken op (> 250N !). Als de statische spanning van de spaken te laag is, zal de nippel zich door deze krachtenwisselingen loswerken. Wielen zijn stijf ten opzichte van de band. Toch kan het op 8 a 10 bar brengen van de bandjes of tubes, de spanning van de spaken met 30 tot 40N doen zakken.

N.B. De bovenstaande krachten zijn onafhankelijk van het vlechtpatroon, evenals de remkrachten van velgremmen (deze gaan dus niet door spaken en naven!). De remkracht werkt op twee plaatsen; bovenaan de velg bij de remblokken en onder de band. De reactiekracht komt van de voorvork. Deze duwt de naaf naar voren; de voorste spaken worden ontlast en de achterste spaken extra belast. Dit zijn de spaken die tijdens het rijden het minst belast worden, daarom spelen remkrachten van velgremmen nauwelijks een rol. Wat wel een rol kan spelen is het verschuiven van het gewicht. De druk op het achterwiel neemt bij remmen af en de druk op het voorwiel neemt toe; in het extreme geval rust alle gewicht op het voorwiel (pas op!).

Remkrachten van naaf- of schijfremmen en aandrijfkrachten werken wel op de spaken; nu worden de statische spaken op trek belast. De spaakbelasting dan gedeeltelijk afhankelijk van het vlechtpatroon. Remkrachten zijn soms dubbel zo hoog als aandrijfkrachten. Het verdient aanbeveling bij remnaven of schijfremmen zeer sterke spaken te gebruiken, de buitenste spaken statisch te maken en zo vaak mogelijk te kruisen.

HET VLECHTPATROON EN DE KRACHTVERDELING

De spaakbelasting door het aandrieffkoppel, is o.a. afhankelijk van rijder, verzet en naafflenshoogte. Als een 75 kg wegende combinatie van rijder + fiets tegen een 18% helling omhoog gaat, is de theoretische kracht voor de aandrijving $750\text{N} \times 0,18 = 135\text{N}$. Het moment dat geleverd wordt, is dan $135\text{N} \times 0,335\text{m}$ (straal van het wiel) = 45Nm . Ditzelfde moment gaat door de naafflens en de spaken. Stel de straal van de flens is $0,025\text{m}$, dan is de kracht daar: $45\text{Nm} : 0,025\text{m} = 1800\text{N}$! In ons voorbeeld met een flens van 5 cm en 36 spaken zou de extra belasting 50N per spaak zijn, als de spaak tenminste precies haaks op de hartlijn door de naafflens zou staan.

In een 36 spaaks wiel, 3X gekruist, liggen de theoretische waarden iets hoger : circa 58 N. We gebruiken deze waarde als standaard voor de berekeningen in tabel I. We geven bovendien de relatieve zijdelingse stijfheid (RZS), en relatieve torsie stijfheid (RTS) t.o.v. 3x gekruist.

TABEL I. *VLECHTPATROON* THEOR.SPAAKBELASTING* RZS in% * RTS in% *

4X	51 N	91	116
3X	58 N	100	100
2X	78 N	108	60
1X	193 N	114	19
0X	ONEINDIG	116	0

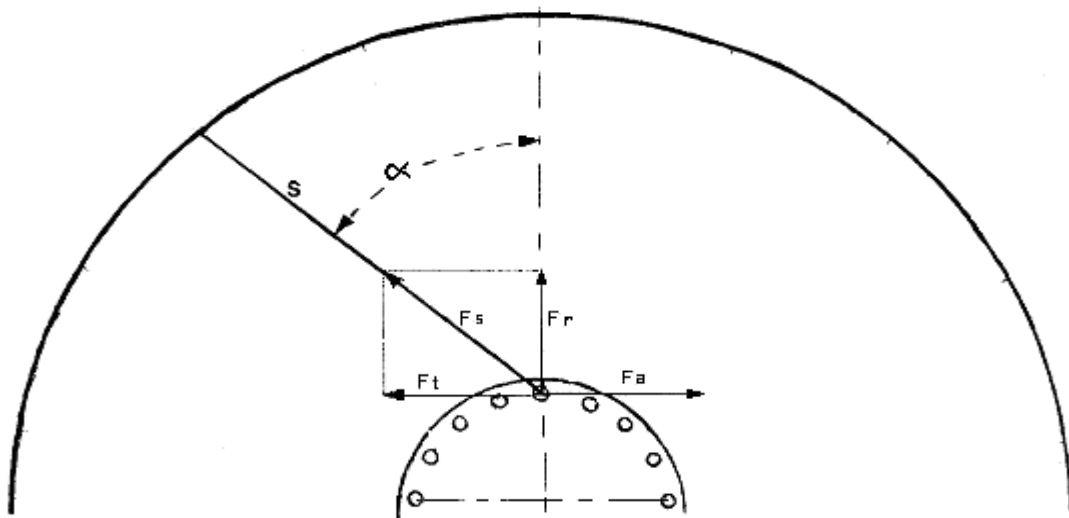


FIG.13

Wanneer we een trekkende spaak S (zie FIG.13) in een 3x kruisend wiel bekijken, zien we dat de aandrijfkracht F_a , loodrecht werkt op de hartlijn van de naaf. De spaak S kan echter alleen krachten opnemen in zijn lengterichting. Er ontstaat een kracht F_s in de spaak, die de aandrijfkracht overbrengt, waarvan de tangentiële component F_t , de torsie van het wiel voorkomt. F_t is altijd gelijk aan F_a , maar tegengesteld; F_s wordt zo groot als noodzakelijk om $F_t = -F_a$ te krijgen. Bij een 3X kruisend wiel is hoek α ongeveer 60° , dus $F_s = 50\text{N} : \sin 60^\circ = 58\text{N}$. Er ontstaat tevens een radiale component F_r , die de zijdelingse stijfheid verbetert.

Naarmate hoek α groter wordt, nemen F_r en F_s in grootte af. Als hoek α negentig graden is, geldt $F_t = F_s$: de spaakbelasting is dan minimaal. Helaas is dan $F_r = 0$, hetgeen ten koste gaat van de zijdelingse stijfheid. Als α groter is dan 90 graden, neemt de spaakbelasting weer toe, terwijl F_r negatief wordt. De zijdelingse stijfheid gaat daardoor snel achteruit. Als de hoek α kleiner wordt (een minder kruisend vlechtpatroon), nemen F_s en F_r toe, want F_t blijft gelijk! De spaakbelasting door aandrijfkraften (torsie) neemt dus toe. In een radiaal gespaakt wiel is F_s theoretisch oneindig groot. In de praktijk zal de naaf zich "opwinden" b.v. 2° . Dan is $F_s = 50N: \sin 2^\circ = 1433N$. Een wiel waarin aandrijf- of remkrachten op de naaf komen, mag daarom niet radiaal gespaakt worden! In de praktijk zijn de spaakbelastingen voor het "aandrijfscherm" hoger. De naafflens aan de aandrijfszijde neemt meer kracht op, omdat de stijfheid van de naaf beperkt is. Bij een stijve naaf, b.v. de Sturmey Archer 3 versnellingsnaaf, zal een spaak uit het rechter scherm 60% opnemen en 'n linker 40%. Bij een aluminium naaf zijn de waardes veel ongunstiger; hier neemt rechts 85% op en links 15%. Voor 36 spaaks wielen zijn 3x en 4x kruisend geschikte spaakpatronen. Het 4X kruisen levert problemen op met een lage flens naaf, omdat de spaken over elkaar gaan lopen. Bij hoge flenzen gaat het prima. Een hoge flens geeft bovendien een veel lagere spaakbelasting dan een lage flens; als de flens twee maal zo hoog is, wordt de spaakbelasting door aandrijving gehalveerd. Naarmate meer spaken in het wiel zitten, kunnen we vaker kruisen. Een 48 of 44 spaaks wiel, kan 5x gekruist worden zonder dat de hoek α groter wordt dan 90 graden. Een 40 of 36 spaaks wiel kan max. 4x gekruist worden. Een 32 of 28 spaaks wiel 3x; 24 of 20 2x, een 16 spaaks 1x. Let op; hoek α is bij een eenmaal gekruist 16 spaaks wiel $\pm 30^\circ$. De theoretische belasting door aandrijfkraften is hoog: (1800N:16): $\sin 30^\circ = 225N$ per spaak! De werkelijke krachten in het rechterscherm liggen hoger: $\pm 400N$.

Een voorwiel zonder remnaaf of schijfrem kunnen we op alle mogelijke manieren spaken. Het lichtst, het sterkst en het stijfst, zijn radiaal gespaakte wielen. In deze wielen kunnen we gerust 32 of minder spaken gebruiken. Bij achterwielen is de zaak gecompliceerder. We zouden ernaar moeten streven het parapluspaken te vermijden. Dit kan door brede naven en achternerven te nemen, of door asymmetrische frames te bouwen. Voor een 36 of 32 spaaks wiel is 3 x gekruist gewenst. Bij kleine wielen, zoals 20 inch, neem ik met minder spaken en minder kruisen genoeg. De spaak komt anders te schuin in de velg (gevaar voor spaakbreuk in de nippel). Kleine wielen zijn sowieso sterker en stijver; ze hebben bovendien een lagere spaakbelasting (kleinere aandrijfkraft en meer toeren per minuut).

WIELTJES VLECHTEN: 0x EN 1x GEKRUIST

Er is feitelijk weinig verschil tussen het vlechten van een voorwiel of een achterwiel. In een voorwiel kunnen we elk vlechtpatroon gebruiken. Een goed gespaakt voorwiel levert nooit problemen op. Bij een achterwiel dient minstens een scherm, liefst meerdere malen, gekruist te zijn; dit is afhankelijk van het aantal spaken (zie blz. 9).

De meest eenvoudige manier van wielen spaken is radiaal (0x gekruist). Het kan op drie manieren:

1. Allemaal buitenste spaken (alle spaakkoppen binnen)
2. Allemaal binnenste spaken (alle spaakkoppen buiten)
3. Om en om.

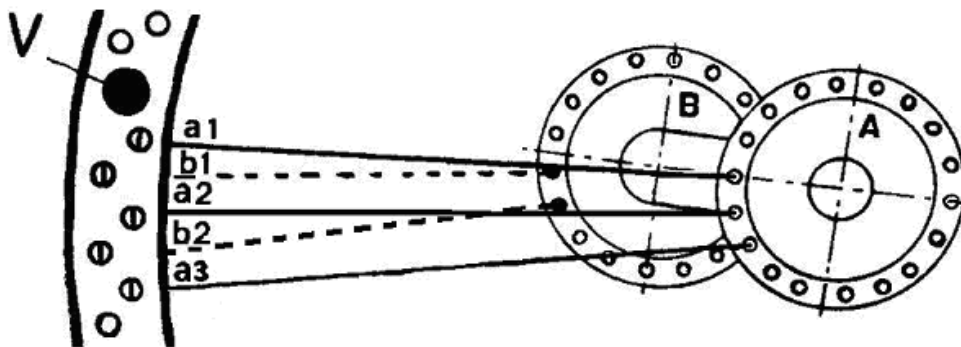


FIG.14

Voor de derde methode zou ik geen enkel argument weten. De tweede methode is volgens sommigen mooier. De eerste methode is het beste; het wiel is ongeveer 10% stijver, omdat de spaken verder uit elkaar staan en de spaakkop wordt beter gesteund door de flens, waardoor hij minder kan werken. Dit is een zwak punt bij radiale wielen; niet alleen spaken breken, maar ook naafflenzen! Deze worden bij radiaal spaken zwaar belast. Een radiaal wiel is echter aërodynamisch, superlicht en superstijf.

We beginnen met een 36 spaaks wiel en met een LINKSE velg (zie fig.14). Als u een rechtse velg gebruikt: waar links staat, rechts lezen; de nummering van de spaken gaat nu met de klok mee! Steek 18 spaken van binnen naar buiten door flens A (willekeurig bij een voorwiel, aandrijfzijde bij een achterwiel). Begin alle vlechtpatronen steeds vanaf het ventielgat. Anders komt soms er een kruising van spaken boven het ventiel, hetgeen oppompen van de band moeilijk maakt. Steek de eerste spaak LINKS naast het ventiel (A1). Vervolgens naar LINKS A2, A3 enz., tot we weer terug zijn bij het ventiel. We kijken nu langs spaak A1 naar flens B (zie fig.14), en we kiezen het spaakgat LINKS van A1 op flens B. Hierdoor steken we de eerste spaak van binnen naar buiten. We monteren deze spaak LINKS van A1 in de velg tussen A1 en A2 in het gaatje B1. Nu steken we de overige spaken in de flens, en monteren deze in B2, B3 enz., tot we weer bij het ventiel zijn. Als alles goed uitkomt, kunnen we het wieltje opspannen en uitrichten.

Ook het vlechtpatroon 1x kruis, kan met uitsluitend buitenste spaken gevlochten worden. Uitgaande van fig.14, steken we gewoon de eerste spaak bij A2 naar binnen, en de tweede bij A1. Zo gaan we de hele velg weer rond. Natuurlijk dient aan de andere zijde de eerste spaak bij B2 naar binnengestoken te worden, en de tweede bij B1. Bij een 1x gekruist vlechtpatroon, slaan we op de velg een gaatje over (v.b. B1 tussen A1 en A2). We kunnen nu zeggen dat het lage kruis één spaakgat op de velg omvat. Naarmate er vaker gekruist wordt, neemt dit aantal toe. Bij 2x zijn het vijf spaakgaten op de velg, bij 3x negen, en bij 4x dertien.

WIELTJES VLECHTEN: 2x,3x,4x EN 5x GEKRUIST

Het vlechtwerk voor al deze spaakpatronen is nagenoeg identiek. Bij een bepaalde spaaklengte + naaf + velg, ligt het spaakpatroon feitelijk vast. We gaan uit van een 36 spaaks naaf (hiermee vervalt 5x gekruist!) en een LINKSE* velg.

** Hebben we een rechtse velg, dan waar LINKS staat, rechts lezen! Het wiel bovendien met de klok mee spaken.*

BIJ EEN ACHTERNAAF BEGINNEN WE AAN DE AANDRIJFZIJDE. De flens waaraan we beginnen noemen we flens A.

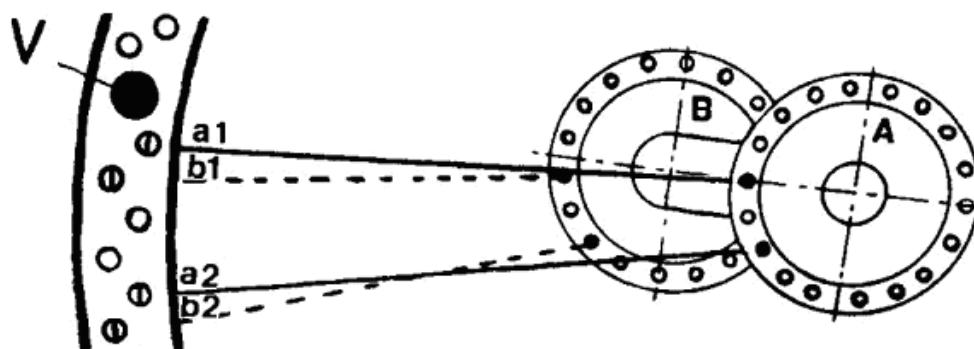


FIG.15

We steken spaak A1 (zie fig.15) van buiten naar binnen en bevestigen deze in het spaakgat in de velg LINKS naast het ventielgat. We slaan nu een gaatje op de naaf over en steken de tweede spaak (A2) van buiten naar binnen. Op de velg slaan we nu drie gaatjes over, en monteren de nippel in het vierde spaakgat LINKS van het ventiel. Zo gaan we door tot kant A vol is: negen spaken! Zoals we in fig.15 zien liggen de spaakgaten op de andere flens (B) iets verschoven. We trekken een denkbeeldige lijn door het gaatje in de naafflens A waarin A1 zit. In het gaatje op naafflens B dat LINKS van A1 zit, steken we een volgende spaak (B1) van buiten naar binnen. We monteren spaak B1 LINKS van A1. Voor montage van B2, slaan we weer een gaatje op flens B over, en drie gaatjes op de velg. B2 komt LINKS van A2 enz., tot ook in flens B negen spaken zitten.

We houden kant A voor ons, en draaien nu de naaf LINKSOM. Steek nu de eerste spaak LINKS naast A1 in de naaf, van binnen naar buiten. Draai deze spaak naar LINKS, zodat hij 2, 3, of 4 spaken van scherm A kruist. Dit is natuurlijk afhankelijk van het vlechtpatroon, dat u gekozen heeft!! We halen deze spaak onder de laatste door, en monteren hem in het juiste nippelgat in de velg (A zijde!). Zo gaan we door tot flens A vol is. Als we goed gewerkt hebben, staan de spaken nu in keurige groepjes van drie. We steken nu de spaken van binnen naar buiten door flens B. Ook hier weer kruisen en onder de laatste spaak doorhalen. Er is slechts één juiste montage mogelijk, komt het niet uit, dan is ergens een fout gemaakt; dit betekent vaak opnieuw beginnen.

DE KUNST VAN HET OPSPANNEN EN UITRICHTEN

Als men een nieuw wiel monteert, is tijdens de eerste meters een "plonk" geluid hoorbaar. Hierbij treden veranderingen in spaakspanning op. Tijdens het opspannen, zal er door wrijving in de nippel torsiespanning op de spaak komen, d.w.z. de spaak wordt om zijn lengte-as "opgewonden". Als de spaak tijdens het rijden naar beneden wijst, zal het gewicht van de rijder de spaakspanning doen verminderen. Hierdoor neemt de wrijving in de nippel af, en zal de torsiespanning in de spaak zich ontladen; de spaak springt terug (losser!). Een manier om dit te voorkomen is: de nippel iets verder doordraaien en daarna wat lossier zetten; dan ontleedt de torsiespanning zich. We kunnen dit ook bereiken door vloeibare pakking of vet aan de schroefdraad te doen, of de spaak vast te houden met een nijptang. De tang kan de spaak echter beschadigen. Een voordeel van de eerste methode is bovendien, dat de nippel niet vast oxideert. De nippel dient ruim in de velg te passen. Zodra we gaan vlechten, zal de spaak een hoek -

met de velg gaan maken. De nippel moet dat ook kunnen, anders snijdt hij in de spaak; dit leidt tot spaakbreuk in de nippel.

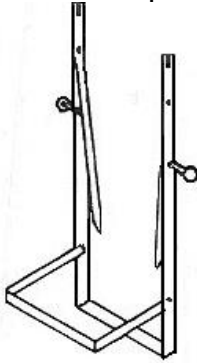


FIG.16 A:Richtbok

B:Naafuitlijner

C:Nippelspanner *

In het ideale wiel hebben alle spaken exact dezelfde spanning en is de velg perfect rond, zonder afwijking zijwaarts of in de hoogte. Het opspannen en uitrichten van een wiel, is voor alle vlechtpatronen hetzelfde. We hebben er het volgende gereedschap bij nodig: een richtbok, een naafuitlijner en een nippelspanner. We beginnen alle nippels aan te draaien met een schroevendraaier tot er nog één draadgang zichtbaar is op de spaak. Mogelijk staat er dan al spanning op de spaken. Zoniet alle spaken, ronde na ronde, een halve slag draaien, tot er spanning op komt. We werken altijd vanaf het ventiel! Als er zeer veel rondes komen, zijn de spaken te lang en zullen ze door de nippel naar buiten komen. Dit kan bij sommige velgen lekke banden veroorzaken, dus kortere spaken gebruiken of de spaken afknippen en afvijlen. In tubevelgen hebben we er weinig last van; bij doosvelgen een goed velglint gebruiken, geen rubber!.

Zodra er spanning op de spaken komt, ruilen we de schroevendraaier in voor een goede nippelspanner. Als alle spaken even ver zijn aangedraaid bij een volkomen ronde velg, zal het wiel ook volkomen rond zijn; dit is het vaak niet. Is er erg veel zijwaartse slag dan haal ik deze er eerst globaal uit. Als de velg naar rechts moet, de rechter spaken over het betreffende stuk een halve- of kwart slag vaster zetten, en de linker spaken een halve- of kwart slag losser. N.B. Wanneer we alleen de rechter spaken een slag vaster zetten, introduceren we een hoogteslag!

Als het wiel een beetje recht is, gaan we op hoogteslagen controleren. "Deuken" zijn er lastiger uit te halen als "hobbels". Bedenk dat de naaf de krachten op de spaken door geeft naar de andere kant van het wiel. Terwijl je zowel links als rechts, de spaken bij een hobbel aantrekt, moeten de ertegenover liggende spaken losser; anders is de kans groot dat we van een "eivormig" naar een "ellipsvormig" wiel gaan. Bij een deuk zet je bij voorbeeld 2 rechtse en 2 linkse spaken een halve slag losser, en alle andere een kwartslag vaster. Bij de las (vaak door een sticker gecamoufleerd) kan soms toch een vervorming blijven. Neem nu een naafuitlijner en kijk of de velg in het midden staat. Dit is een eenvoudige beugel met een stelschroef in het midden; eerst aan de ene kant tegen de velg houden en de stelschroef tot aan de naaf draaien; daarna aan de andere kant houden: de stelschroef moet nu weer precies aan de naaf raken. Als dit niet het geval is: alle spaken aan de kant waar de velg naartoe moet, vaster zetten, en de andere kant evenredig losser. Zodra de hoogteslagen eruit zijn, gaan we de restanten van de zijslagen eruit halen. Heeft de velg geen hoogteslag, en geen zijslag meer, en

** Koop een goede nippelspanner; de meeste zijn van de kwaliteit verchromd kaasstaal, en draaien alle nippels "rond".*

staat hij ook nog in het midden, dan brengen we de spaken op eindspanning. Bij een paraplugespaakt achterwiel ontstaat er tussen links en rechts een groot verschil. Een kwart slag rechts heeft het effect van een halve slag links.

Hoe strak moeten spaken staan? Strak! Knijp maar eens in een wieltje van een vakman. Als het wiel op eindspanning is, alle spaken even een kwartslag vast- en losdraaien; hierbij zal de torsiespanning verdwijnen. Nog even voor de laatste maal controleren; dan de band erop en rijden maar. Na ongeveer 500 km zetten we het wiel nog eens in de richtbok. Indien de spaken flink strak stonden (en er zijn geen ongelukjes gebeurd) is het wiel nog perfect. Sommige wielbouwers zetten hun spaken dan alsnog een halve slag vaster. Bij een goed wiel zijn de toleranties erg klein: $\pm 0,2$ mm.

Zeker bij reparatie van langdurig gebruikte wielen, kan het voorkomen dat een nippel "rond" gedraaid wordt. Er zit niets anders op dan deze met de waterpomptang te verwijderen en een nieuwe nippel te monteren. Bega niet de fout andere spaken losser of vaster te zetten om het wiel recht te krijgen. Dit veroorzaakt zeer onregelmatige spaakspanningen; een van de hoofdoorzaken voor spaakproblemen. Zo'n wiel wordt zelden echt recht en heeft veel last van spaakbreuk. Een goed voorwiel gaat soms wel 50.000 km mee; zelfs een goed achterwiel haalt vaak niet eens de helft. Een slecht wiel geeft soms binnen 5.000 kilometer al problemen. Als er meer dan 2 spaken in een wiel gebroken zijn, spaak ik het over (als de naaf de moeite loont). Ik neem nieuwe spaken en bijna altijd een nieuwe velg; een gebruikte velg is nooit meer echt rond.

AANGEPASTE WIELEN

Zoals we gezien hebben, resulteert een rechtse velg volgens ons "bouwrecept", in statische buitenste spaken en een linkse velg in trekkende buitenste spaken. Om de buitenste spaken in een linkse velg statisch te krijgen, doen we het volgende (zie fig.17). Steek A1 van buiten naar binnen, in het tweede nippelgaatje, rechts van het ventiel. Een gaatje overslaan op de flens, en 3 gaatjes op de velg (beiden naar rechts!). Rechtsom blijven werken tot de eerste 9 spaken erin zitten. We steken nu spaak B1 (let op de hartlijn: links van A1!) van buiten naar binnen, en monteren hem naast het ventielgat. B2 enz. weer rechtsom monteren. We nemen nu kant A weer voor ons, en draaien de naaf rechtsom; we steken nu tussen A1 en A2 een spaak van binnen naar buiten. Afhankelijk van het gekozen vlechtpatroon kruisen, en onder de laatste spaak doorhalen. Ik verwacht dat u nu wel weet hoe u verder moet gaan en ook hoe u een rechtse velg met de buitenste spaken trekkend moet maken!

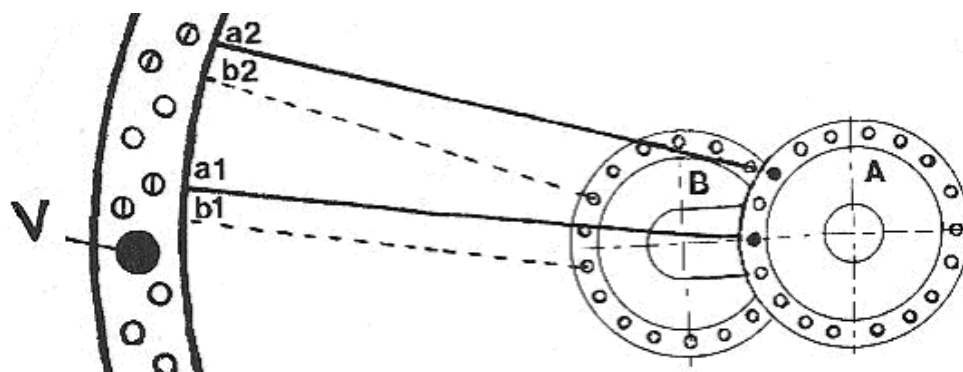


FIG.17

Een methode om aan deze bezwaren iets tegemoet te komen, is montage van 13 of 13-14 spaken rechts, en 14-15-14 spaken links. De spaken aan beide zijden kunnen nu iets strakker gezet worden. De 14-15-14 spaken zijn minder stug dan gewone 14 spaken, en zullen dus minder snel loslopen. De 13 of (slecht verkrijgbare) 13-14'ers kunnen een grotere belasting hebben, maar de nippel moet in de velg passen. Het is al eens opgemerkt dat de spaken vooral breken achter de kop (in de flens). Dit is de zwaarst belaste plek. Het enige dat we als wielbouwer hieraan kunnen doen, is zorgen dat de spaakkop zo perfect mogelijk past. Als de gaatjes in de flens scherpe randen hebben, kunnen we deze met een boortje of vijltje afronden. Als er ruimte is tussen de spaakkop en de flens, dient deze zo mogelijk weggewerkt te worden met vulringetjes; een omslachtige maar effectieve methode. Sommige fietsenmakers versterken zwaarbelaste wielen, door om het hoge kruis een koperdraad te wikkelen en deze m.b.v. een soldeerbout vast te solderen. Het helpt spaakbreuk te voorkomen door toegenomen stijfheid en vermindering van trillingen, maar als er toch een spaak breekt, is het lastiger te repareren.

Een geheel ander ontwerp voor spaakpatronen is links 3 of 4x gekruist en rechts radiaal; dit wordt o.a. bij Shimano schijfremwielen toegepast. Dit vereist een zeer stijve naaf, want de aandrijfkraften gaan geheel door de naaf naar links. We zouden ook rechts 1x kunnen kruisen en links 3x om de aandrijfkraft beter te verdelen over beide flenzen. Nog een ontwerp: kies bij 3x gekruist wiel de statische spaken 3mm korter als en de trekkende spaken 3mm langer (voor een 28" 36 gaats wiel). De statische spaken krijgen nu een hogere voorspanning (voorkomt loslopen), en de trekkende spaken een lagere belasting door aandrijfkraften (vergelijkbaar met 4x gekruist).

Midden jaren negentig dook het "snowflake-wheel" weer eens op. Hierbij zijn de trekkende en statische spaken in elkaar gedraaid. Het ziet leuk uit en het is stijf, maar andere voordelen zijn er niet. De belasting in de schuin staande nippels is hoog. Het probleem van wielen is helemaal niet het gebrek aan stijfheid, maar metaalmoeheid en daarvoor biedt dit wiel geen oplossing. Gelukkig is ook deze mode weer voorbij.



FIG.18

Tot slot nog een "fout" ontwerp. Rechts 12 trekkende spaken en 6 statische spaken en links 3x gekruist. Dit ontwerp is met de standaard 3x spaaklengte te maken. Het gaat uit van de klassieke denkfout, dat alleen trekkende spaken aandrijfkraften overbrengen. Een statische spaak met voldoende voorspanning doet dit ook! Dat brengt ons bij het enige voordeel van dit ontwerp: de spanning in de statische spaken is hoger, maar te hoog om aanbevolen te worden als spaakpatroon.

NIEUWE FABRIEKSWIELEN

Vanaf midden jaren tachtig zijn er veel speciale fabriekswielen op de markt gekomen. Een van de eerste was de firma Roval. Het waren complete wielen; naven, spaken en velgen hoorden bij elkaar. De spaken hadden geen gebogen, maar een hamervormige kop. Het voorwiel was radiaal gespaakt; het achterwiel was links radiaal en rechts 1x gekruist. De aandrijfszijde had tweemaal zoveel spaken. De firma's Zipp en (later) Campagnolo en Mavic, hebben de hoge superstijve velgmode geïntroduceerd: een klein aantal aërodynamische spaken radiaal en/ of 1x gekruist (aandrijfscherm). Men kiest hier voor 12 of 16 spaaks wielen. De belasting door aandrijfkrachten is hoog: meer dan 300N. De spaken moeten onder flinke spanning gemonteerd worden; van 800 N voor radiale tot 1500 N voor de gekruiste spaken in het paraplugespaakte aandrijfscherm! In de huidige aërodynamische wielen zijn rechte spaken te vinden met conische koppen en een afgeplat middenstuk. De luchtweerstand van deze wieltjes is uiteraard lager, maar de spaakbelasting hoger, de wielen zijn wat zwaarder, zijwind gevoeliger en zijdelings minder stijf.

Een echte vernieuwing zijn de Rolf wielen. Op de stijve hoge velgen staan de spaakgaten nu **niet meer symmetrisch verdeeld, maar in paren**. De trekkrachten van de linker en de rechter flens heffen elkaar op; de zigzag spanningen van de conventionele velg verdwijnen grotendeels. Bij het achterwiel wordt een asymmetrische velg gekozen: de velggaten zitten aan de linkse kant zodat de het parapluspaaken minder wordt(zie figuur 8b). Shimano heeft het idee van de gepaarde spaken opgepikt; zij monteren de (gebogen) spaken zelfs met de kop aan de velg; de nippels zitten dus in de naaf (16 gaats). Door de linkerkant van de velg te koppelen aan de rechterflens kruisen de spaken elkaar in het verticale vlak door het wiel (zie figuur 8c). Bij dit ontwerp kan de spaakspanning links en rechts gelijkmatig worden. Dat is zeer gewenst, maar soms lijkt een goed ontwerp voor het achterwiel volkomen ondergeschikt te zijn aan de grote sprong voorwaarts, die het stapje van nog een extra tandwiel zou moeten voorstellen. Campagnolo kiest momenteel vaak voor een achterwiel met twee maal zoveel spaken in het aandrijfscherm; de spaken staan dan **in groepjes van 3**.

Hoge stijve velgen verdelen de gewichtbelasting beter over de spaken en zijn een absolute must. Het kruisen in het verticale vlak zal vermoedelijk ook een verbetering zijn. De gepaarde spaken kunnen mij ook overtuigen; als deze naar beneden wijzen zullen beide spaken ontlast worden; de spanningsdaling per spaak is dus lager. Hierdoor is de variatie in spaakspanning door gewichtsbelasting lager en dus de kans op metaalmoeheid lager. Het paraplugespaakte wiel is een bron van veel ellende; daar moeten we vanaf. Dit geldt ook voor de spaken met een gebogen kop. Zeker bij toepassing van schijfremmen zal de spaak sterker uitgevoerd moeten worden; alleen dan kunnen we met zestien of twintig spaken betrouwbaar rijden.

Vanaf 1985 zijn er vele types "vaste" wielen verschenen. In het begin vooral dichte wielen van mylar honingraat, bekleed met carbonfibers; hier is veel aërodynamisch voordeel te behalen. Later komen er met twee, drie, vier en vijf spaken. Het is echter moeilijk om qua gewicht in de buurt van gespaakte wielen te komen. Kunststof wielen hebben bovendien problemen met velgremmen door de slechte afvoer van de remwarmte. Hier moeten we speciale remblokjes gebruiken. Een belangrijk nadeel van deze wieltjes is, dat ze niet zijn te richten. Zelfs in nieuwstaat, zijn de gemeten afwijkingen soms al groter dan ik bij een gevlochten wiel zou accepteren. Tot mijn verrassing hadden ook de gegoten aluminium spaakwielen van Grimeca hier last van.

ROLWEERSTAND

Strikt genomen is de constructie van het wiel pas af als de buitenband eromheen zit. De rolweerstand van een wiel neemt theoretisch af met het groter worden van de diameter. Onder wioldiameter wordt hier verstaan: de buitenmaat van de opgepompte band. Kleine wieltjes hebben dus een grotere rolweerstand, tenminste als de banden en bandenspanning identiek zijn. Praktijkmetingen laten zien dat de invloed van wioldiameter kleiner is dan die van de bandenkeuze. De rolweerstand van brede banden is lager, maar omdat de spanning gewoonlijk ook lager is, verdwijnt dit voordeel weer.

Extra smalle bandjes als de 20mm racebandjes gebruiken dus wat meer energie dan hun 25mm broers; ze wegen natuurlijk wel iets minder. Zeker anti-lekbanden hebben een relatief hoge rolweerstand; ook losse anti-lek strips leveren extra rolweerstand op. De rolweerstandscoefficiënt C_R is voor de volgende banden ongeveer :

Clement Seta tube 22mm met 8 bar = 0,002	Raceband 23 mm met 7 bar = 0,003
Toerband 32 mm met 5 bar = 0,005	ATBband grof profiel 47 mm met 3 bar = 0,008
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 de bandenspanning. Dit is bij stugge banden niet direct met de hand te voelen; de rolweerstand $R_{rol} = m.g. C_R$. Voor het opgenomen vermogen door rolweerstand moeten we dit vermenigvuldigen met snelheid v (in m/s) en delen door het rendement van de aandrijving (95%= 0,95).
Voorbeeld: fietser+fietser 80 kg bij 20 km/u: $P_{rol} = 80. 9,81.0,003.5,56/0,95 = 14W$

In het algemeen zal een hard opgepompte band een lagere rolweerstand hebben, maar hier is de bodem een belangrijke factor. Als we met onze racefiets op een rul zandpad terechtkomen, staan we binnen enkele meters stil. De rolweerstand neemt enorm toe; de vervorming van het zand door onze bandjes slokt zoveel energie op! Als we met onze ATB met 2,5 bar in de noppenbanden over een asfaltweg gaan, lijkt het alsof er iemand permanent aan het truitje trekt. De vervorming van de banden, door het drukken op de contactplaats met het asfalt, vreet energie en levert dus een hoge rolweerstand op. Wanneer we met deze fiets over het rulle zandpad rijden merken we nauwelijks verschil met het rijden op de weg. De druk per vierkante centimeter contactoppervlak ligt veel lager. Het zand zal maar weinig vervormen, omdat de contactplaats van de band met de ondergrond veel groter is. De rolweerstand van de ATB noppenbanden met 2,5 bar op zand is dus lager dan die van de 8 bar Clement Extra Seta racetube. Ook door stuiteren kan er een aanzienlijk energieverlies ontstaan. Als je met keiharde bandjes over de kasseien knalt is dit goed voelbaar; naast loszittende fietsonderdelen en vullingen van je gebit, gaat er ook veel energie verloren. Een wat bredere band met een wat lagere druk, kan op kasseien lichter lopen dan een acht bar superlichte racetube. Ook hier geldt de wet van Cruijff: elk voordeel heb ze nadeel!

Vervorming neemt dus energie op. In de jaren negentig was er een firma "Greentire", die vaste banden met een vaste polyurethaan schuimvulling verkocht. Nooit lek, gingen heel lang mee; zolang zelfs, dat ik ze maar heb weggegooid voor ze versleten waren. De rolweerstand was gigantisch door energieopname van het schuim. Dit was goed te demonstreren door het wieltje te laten stuiteren op de vloer van de werkplaats. Een racewieltje komt tot dezelfde hoogte terug; het vaste bandje kwam amper tot de helft.

Bij een noppenband zullen op asfalt de noppen ver naar binnen gedrukt worden. Het profiel van een band leidt dus ook tot vervorming. Voor een harde ondergrond zal

een band met gesloten middenrille een lagere rolweerstand hebben. Natuurlijk zal zo'n band eerder doorslaan in een modderige klim, maar hier kunnen we door het kiezen van een iets lagere bandenspanning, en de band voldoende grip laten houden via de noppen aan de zijkant van het profiel. Ondergrond, rijstijl, gewicht en persoonlijke voorkeur spelen een grote rol bij de bandenkeuze.

Op smalle racebandjes is de druk per vierkante centimeter contactoppervlak met de weg zo hoog, dat de invloed van het profiel nihil is. Een zeer belangrijke factor bij de rolweerstand van banden is de soepelheid van de zijwand. Dit wordt door de keuze van de draad voor het karkas bepaald. Hoe dunner de draad, hoe meer draadjes per centimeter, hoe soepeler de band, hoe lager de rolweerstand. In ouderwetse tubes werd hier voor Egyptische katoen gekozen of zelfs voor pure zijde, als lichtgewicht en soepelheid belangrijker waren dan de prijs. Moderner is de keuze voor kevlar; dit is wel sterker, maar ook iets stijver dan katoen of zijde. De gebruikte rubbersoorten hebben ook invloed; moderne "silica" rubbers hebben meer grip op het wegdek (zeker in de regen), maar daarvoor lopen ze iets zwaarder.

Zelfs iets zo onschuldigs als een binnenband heeft een behoorlijk effect op de rolweerstand. Het lichtst, het soepelst en het best bestand tegen lekrijden, zijn de latex binnenbanden. Dit natuurrubber heeft echter het nadeel dat het langzaam druk verliest. Elke dag oppompen werkt uitstekend, maar niet iedereen vindt dat leuk; butylrubbers zijn iets stugger maar luchtdicht.

In de ATB-wereld zijn er momenteel tubelessbanden; het is voorspelbaar dat we die ook in de racewereld gaan zien. Dit kan natuurlijk alleen in combinatie met luchtdichte velgen. In de velgenbranche zijn sowieso nogal wat ontwikkelingen; met name de combinatie met schijfremmen betekent dat de nieuwe types velg geen last meer hebben van slijtage aan de velgrand; men kan dus velgen van kunststof of magnesium gebruiken.

Bij het gebruik van velgremmen is de slijtage aanzienlijk, zeker bij ATB's. Te lang doorrijden kan vervelende consequenties hebben. Soms knalt de binnenband door de velg naar buiten; zeker in de voorvork een gevaarlijk verschijnsel. Ook spontane vervorming van de velg ("chippen") door de hoge spaakspanning en gesleten velgranden komt wel voor. De moderne hoge spaakspanningen veroorzaken een enorme druk in de velg. Zolang die druk in het vlak van het wiel ligt, is er geen probleem. Als het wiel een zwakke plek heeft of een tik krijgt, kan die druk de velg daar naar buiten duwen. Veel moderne velgen hebben een indicatiegroef voor slijtage op het remvlak aan de zijkant. Als deze plaatselijk niet meer te zien is, moet de velg vervangen worden.

Omdat ik mijn lezers een lang en gezond leven toewens, wil ik besluiten met de aanbeveling: **spaak een nieuw wiel, U kunt het!**

TABEL II

E.T.R.T.O.	ENGELS	DUIJS	FRANS
62-203	12 1/2 x 2 1/4	12 1/2 x 2 1/4	
37-298	14x1 3/8	14x1 3/8	350x35 A
47-305	16x2x1 3/4	16x1.75/2	16x1.75
37-340	16x1 3/8	16x 1 3/8	400 A Confort
32-357	17x1 1/4	17x1 1/4	
47-355	18x2x1 3/4	18x1.75/2	18x1.75
37-387	18x1 3/8	18x 1 3/8	
47-406	20x2x1 3/4	20x1.75/2	20x1.75
57-406	20x2.125	20x2.125	20x2.125
40-432	20x1 1/2	20x1 1/2	
37-438	20x1 3/8	20x1 3/8	
37-440	20x 1 3/8	20x 1 3/8	500 A Confort
37-451	20x1 3/8 B S R	20x1 3/8 B S R	
37-489	22x 1 3/8	22x1 3/8	
37-498	22x 1 3/8x 1 1/4	22x 1 1/4x 1 3/8	
47-507	24x2x1 3/4	24x1.75/2	24x1.75
40-534	24x1 1/2	24x1 1/2	
37-540	24x1 3/8	24x 1 3/8	600 A Confort
32-541	24x 1 3/8x 1 1/4	24x1 1/4x1 3/8	600x32 A
47-559	26x2x1 3/4	26x1.75/2	26x1.75
57-559	26x2.125	26x2.125	26x2.125
40-571	26x1 5/8x1 1/2	26x1.75x1 1/2	650x38/40 C
54-571	26x 1 3/4x2	26x2x1 3/4	650x50 C
37-584	26x 1 1/2x 1 3/8	26x1 3/8x1 1/2	650x35 B
40-584	26x1 1/2	26x1 1/2	650 B Standard
32-590	26x 1 3/8x 1 1/4	26x1 1/4x1 3/8	650x32 A
37-590	26x 1 3/8	26x 1 3/8	650x35 A
40-590	26x 1 3/8x 1 1/2	26x1 1/2x1 3/8	650x38 A
32-597	26x1 1/4	26x1 1/4	
20-622	28x 3/4	28x 3/4	700x20 C
25-622	28x1	28x1	700x23 C
25-622	28x1 5/8x1(1/16)	28x1 1/16x1 3/4	700x25 C
28-622	28x1 5/8x1 1/8	28x1 1/8x 1 3/4	700x28 C - 700 C
32-622	28x 1 5/8x1 1/4	28x1 1/4x 1 3/4	700x32 C 700 C Course
37-622	28x1 5/8x1 3/8	28x1 3/8x 1 5/8	700x35 C
47-622	28x 1 5/8	28x1.75	700x40/42 C
25-630	27x1 1/4x1 1/16	27x1 1/16x1 1/4	
28-630	27x1 1/4 Fifty	27x1 1/8x1 1/4	
32-630	27x1 1/4	27x 1 1/4	
40-635	28x1 1/2	28x1 1/2	700 B Standard
44-635	28x1 1/2x1 5/8	28x1.75x1 1/2	700x40/42 B

TABEL III

De nu volgende spaaklengtes zijn indicaties; afhankelijk van de maatvoering van de onderdelenfabrikant.

36 SPAAKS WIELEN 3X GEKRUIST

VELGMAAT	LAGEFLENS	REMNAAF	3V.-NAAF
635	303	298	
622	300	296	292
590	286	283	274
541	258	253	
406	190	185	

36 SPAAKS ACHTERWIELEN MET STURMEY ARCHER ACHTERNAVEN

VELGMAAT TROMMELREM(LOUD:3X) TROMMELREM(NIEUW:3X)

635	292/297	
622	285/290	287
590	268/274	270

36 SPAAKS VOORWIELEN MET STURMEY ARCHER TROMMELREM

VELGMAAT OUD(2X+3X) OUD(3X) NIEUW(3X)

635		292/302	
622	268/295	287/295	287
590	252/278	268/278	270

36 SPAAKS WIELEN 4X GEKRUIST

VELGMAAT REMNAAF 3V.NAAF

635	309	306
622	304	302
590	287	283

NOG ENKELE KINDERFIETS MATEN:

12" 16 SPAAKS 1X :VOOR 88	ACHTER 84 (REMNAAF:JET)
16" 20 " 2X : " 142	" 138 (")
20" 24 " 2X : " 192	" 188 (")
24" 28 " 3X : " 246	" 242 (")

TABEL IV (geldt voor ouderwetse lage velgen)

TUBEWIELEN LAGE FLENS NAVEN (achterwiel rechts 2mm korter nemen)

		RADIAAL	3X	4X
28" VELG	40 SPAAKS	290	298	305
	36 SPAAKS	"	300	307
	32 SPAAKS	"	302	
	28 SPAAKS	"	305	
26" VELG	32 SPAAKS	270	284	
	28 SPAAKS	"	286	
24" VELG	32 SPAAKS	242	254	
	28 SPAAKS	"	256	

TUBEWIELEN MET HOGE FLENS NAAF

28" VELG	36 SPAAKS		293	305
----------	-----------	--	-----	-----

RACEWIELEN MET BANDJES LAGEFLENS (AANDRIJFZIJDE 2MM KORTER!)

630 VELG	36 SPAAKS	288	300	310
622 VELG	40 SPAAKS	286	296	306
	36 SPAAKS	"	298	305
	32 SPAAKS	"	300	
571 VELG	36 SPAAKS	266	274	279
	32 SPAAKS	"	276	
	28 SPAAKS	"	278	

MAVIC open cd-4 (622) : 36	283	294	299
" " " (571) : 36	260	269	274
ARAYA 24" (541) : 36	234	246	252
MOULTON 17" (357) : 36	162	174	

HOGEFLENS (622 velg) : 36	275	292	304
---------------------------	-----	-----	-----

ATB-VELGEN (559)

36 SP	254	264	270
32 SP	"	270	
28 SP	"	274	

Er is veel variatie in velgbodems bij ATB velgen, let goed op!

NAWOORD

Naar ik hoop, heeft u inmiddels ook werkelijk wieltjes gespaakt. Zodra het wiel klaar is, kunt u het geheel weer demonteren en opnieuw beginnen. Ik vertrouw erop dat u na het lezen van dit boekje, met wat spaakervaring en enig denkwerk, ook wel zonder handleiding een 5x gekruist 48 spaaks wiel kunt bouwen.

Lange tijd was het gespaakte wiel een goed compromis tussen prijs, gewicht en duurzaamheid. Met het goedkoper worden van koolstofvezels en andere kunststoffen, leek het niet ondenkbaar, dat het gespaakte wiel in het museum terecht zou komen en het wieltjesspaken tussen de oude ambachten. De beste zeilboten stammen uit de tijd van de concurrentie met de stoomboot. Zo moeten ook de spaak-, naaf- en velg-fabrikanten hun bestaansrecht bewijzen. We zien nog steeds nieuwe ontwikkelingen: sterkere spaken, nieuwe spaakpatronen en velgen. Uiteindelijk zullen veel ontwerpen toch weer de grens gaan opzoeken van het haalbare, maar het wordt voor de bouwer wel makkelijker om voor sterkte en duurzaamheid te kiezen.

UITGAVE: STICHTING VELOFILIE Oudenboschstraat 43 Wijnandsrade
Vijfde druk, januari 2006

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Broek, Wiel van den

Het ABC van wieltjes spaken / Wiel van den Broek.-
Wijnandsrade : Stichting Velofilie.- Ill., tab.
ISBN: 90-801450-1-7
NUGI 430
Trefw.: fietswielen