

# Leicht und bärenstark

## Das Laufrad – ein technisches Wunderwerk (1)

Das Vorderrad eines Rennrades wiegt weniger als ein Kilogramm und hält fast eine halbe Tonne Belastung aus. Ein solches Speichenrad ist im Grunde eine faszinierende Konstruktion – auch im Zeitalter hochfester Kunststoffe ist noch nichts Leichteres erdacht worden.

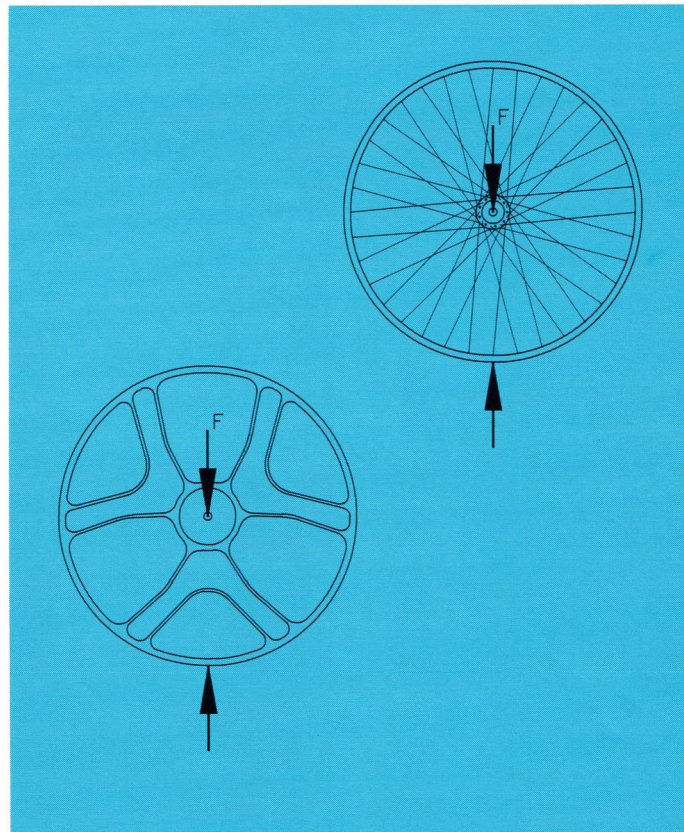
### Wie trägt das Laufrad die Last?

Die wichtigste Belastung, mit dem Ihr Laufrad fertig werden muß, ist Ihr Gewicht. Um zu verstehen, wie Ihre Pfunde durch die Gegend geschleppt werden, sollten Sie sich zuerst das Druckgußrad links ansehen.

Das Laufrad steht auf den untersten Speichen. Das Gewicht drückt auf die Achse und durch diese Speichen auf die Straße. Die untersten Speichen werden zusammengepreßt, sie werden auf Druck belastet.

Sehen Sie sich jetzt das Laufrad rechts an. Es überträgt Kräfte eigentlich genauso. Der wichtige Unterschied: Die Speichen sind vorgespannt und dadurch gedehnt. Wenn jetzt Ihr Gewicht auf die Achse drückt, werden die unteren Speichen nicht zusammengepreßt, sondern ihre Dehnung wird verringert – sie werden weniger auf Zug belastet.

Beide Laufräder übertra-



gen die Gewichtskraft aber eigentlich auf die gleiche Weise: Die Kraft, mit der die unteren Speichen des Druckgußrades zusammengepreßt werden, ist gleich der Gewichtskraft, die auf die

Achse drückt. Im gespannten Laufrad verringert sich die Vorspannung der unteren Speichen. Und wenn Sie die Kräfte, um die die unteren Speichen entlastet werden, zusammenzählen, kommt

wiederum ungefähr die Gewichtskraft heraus, die auf die Achse drückt.

Es gilt also: Auch beim gespannten Speichenrad hängt die Nabe nicht an den oberen Speichen, sie steht auf den unteren.

Auch diese Vorstellung ist nur ein Modell der Wirklichkeit, das aber gut genug ist, um alle Vorgänge in Ihrem Speichenrad zu erklären.

Eigentlich sind alle Speichen ein bißchen beteiligt (übrigens auch in dem Druckgußrad). Wenn Ihnen der verhaßte Mathematiklehrer irgendwann die Vektorrechnung beigegeben hat, können Sie genauer rechnen: Nehmen Sie die Speichenkräfte und addieren Sie die Kraftvektoren. Es kommt nicht ungefähr, sondern genau die Achslast heraus.

Für das Verständnis dieses Artikels brauchen Sie solche Rechnungen nicht.

## Was passiert im belasteten Laufrad?

Werden die Speichen weniger auf Zug belastet, verringert sich ihre Dehnung, sie werden kürzer. Dadurch bekommt die Felge dort, wo das Rad auf der Straße steht, eine „Delle“. Da der Umfang der Felge ungefähr gleich bleiben muß, wird rundum der Durchmesser ein ganz klein wenig größer. Daher müssen sich rundum die Speichen ein klein wenig mehr dehnen.

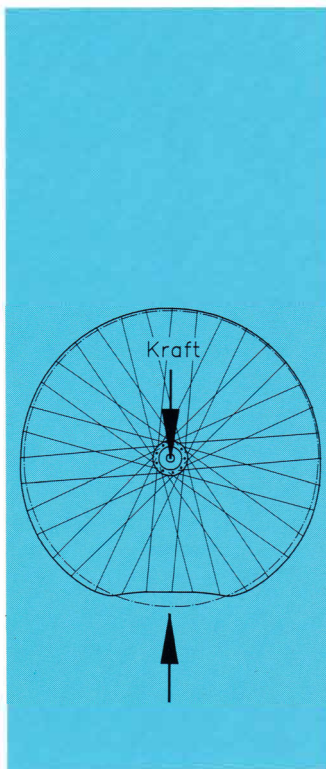
Der Betrag, um den die unteren vier bis sechs Speichen entlastet werden, entspricht in etwa dem Gewicht, das auf das Rad drückt. Er entspricht auch der Summe der zusätzlichen Kräfte, die rundum an ca. 30 Speichen zerren. (1)

Deshalb gilt: Im belasteten Laufrad verringert sich die Spannung der unteren Speichen wesentlich, rundum erhöht sich die Spannung der Speichen gleichmäßig (2) um einen geringen Betrag.

Bei jeder Radumdrehung wird daher die Vorspannkraft in einer Speiche einmal geringfügig erhöht, einmal deutlich verringert. Das passiert auf 100 km fast fünfzigtausendmal, auf 20000 km fast zehnmillionenmal. Sie sehen, Ihre armen Speichen müssen sich ganz schön recken und strecken.

(1) Diese Angaben gelten nicht allgemein für Speichenräder. Sie entsprechen aber dem, was an gebräuchlichen Laufrädern gemessen werden kann, bzw. dem, was unter Berücksichtigung der Steifheit gebräuchlicher Speichen und Felgen berechnet werden kann.

(2) „Gleichmäßig“ stimmt nur ungefähr. In Wirklichkeit sind die Kräfte in den Speichen am höchsten, die auf beiden Seiten die „Delle“ begrenzen.



## Wie überträgt das Hinterrad Antriebskräfte?

In allen möglichen Ratgebern ist zu lesen, daß nur die in Laufrichtung nach „hinten“ zeigenden Speichen Antriebskräfte übertragen. Dies wäre richtig, wenn die Speichen lose herumhängen würden. Das Speichenrad ist aber vorgespannt.

Suchen Sie sich einen Partner zum Armdrücken und probieren Sie es aus. Betrachten Sie die Kraft, mit der Sie Ihre Hände zusammendrücken, als „Vorspannkraft“. Sie gewinnen (und bewirken eine Bewegung), wenn Sie Ihre Armkraft erhöhen. Sie gewinnen aber auch (und bewirken die gleiche Bewegung), wenn Ihr „Gegner“ müde wird und seine Armkraft verringert.

Ähnlich funktioniert das auch im Hinterrad Ihres Fahrrades. Wenn Sie eine Seite eines 36-Speichen-Laufrades vor sich haben, sehen Sie 18 Speichen vor sich, neun davon „ziehen“ (die Vorspannkraft wird erhöht), die anderen neun „schieben“ (die Vorspannkraft wird verringert). Und die Anstrengung ist gerecht aufgeteilt:

Jede der 18 Speichen ist für ein Achtzehntel des Vortriebs zuständig.

Nicht so gerecht ist die Verteilung auf die beiden Seiten des Hinterrades: Normalerweise muß die Zahnkranzseite den größten Teil der Arbeit tun. Der Grund ist das dünne Röhrchen (der „Nabenkörper“), das die beiden Seiten miteinander verbindet: Soll es Kräfte auf die andere Seite übertragen, verdreht es sich. Wenn Sie ein Hinterrad mit dreifach gekreuzten Speichen vor sich haben, überträgt bei Verwendung einer Niederflanschnabe die Zahnkranzseite ca. 87% der Antriebskraft, bei Verwendung einer Hochflanschnabe werden es ca. 93% sein. Anders sieht es aus, wenn der Nabenkörper sehr dick ist, z. B. bei der guten alten Dreigangnabe.

Entscheidend aber ist, daß diese ca. 90% brav und ehrlich auf alle Speichen der Zahnkranzseite aufgeteilt werden. Da es Ihnen nicht gelingen wird, wirklich gleichmäßig „rund“ zu treten, wird mit jedem Pedaltritt zwar die Vorspannkraft einer Speiche einmal vergrößert und dann wieder verringert. Aber der Betrag, um den es sich dabei handelt, ist relativ gering.

Solange nicht ein leistungsstarker Radprofi ein Bergrennen bestreitet oder ein Reiseradler mit 24 Zähnen am Kettenblatt und 34 am Zahnkranz doch noch gerade eben die 25-Prozent-Steigung bezwingt, können Sie folgendes annehmen: Die Belastung der Speichen durch den Antrieb beträgt kaum mehr als fünf Prozent dessen, was Sie Ihren Laufrädern allein durch das Befahren einer wunderschön glatten Asphaltstraße antun.

## Was kann das Laufrad tragen?

Will man dies nicht mit wissenschaftlicher, sondern einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit wissen, ist die Berechnung einfach:

In den vier bis sechs Speichen, auf denen das Laufrad

„steht“, wird (wie oben erklärt) die Vorspannung um den Betrag jener Kraft reduziert, die auf die Achse drückt. Auf glatter Straße handelt es sich um das Gewicht von Mensch, Fahrrad und Gepäck, auf Kopfsteinpflaster wird deutlich heftiger auf dem Laufrad herumgeprügelt.

Es kann dies solange recht gut verdauen, wie die von oben einwirkende Kraft nicht größer ist als die Summe der Vorspannkräfte jener Speichen, auf denen das Laufrad „steht“. Dann nämlich wird die Vorspannkraft Null, was nichts anderes bedeutet als lose Speichen dort, wo das Rad auf der Straße steht.

Eine solche Überlastung bedeutet erst einmal nicht mehr, als daß sich die Felge weiter verformt und Nachbarspeichen beim Tragen der Last aushelfen müssen.

## Was kann passieren, wenn das Laufrad überlastet wird?

Lose Speichen bedeuten nichts Gutes. Unartige Speichennippel haben nämlich die Angewohnheit, sich in solchen Fällen loszudrehen. Bei häufiger Wiederholung bekommt dies dem Rundlauf der Felge nicht.

Schlimmer aber: Sind die Speichen lose, muß die Felge einsam und allein mit eventuellen Seitenkräften fertig werden. Normalerweise wird sie bei dieser Arbeit von der Vorspannung hilfsbereiter Speichen unterstützt, und ihre Festigkeit ist so bemessen, daß sie mit Hilfe dieser Speichen mit allen schrägen Kanten und ähnlichen Widrigkeiten fertig werden kann.

Sind die unteren Speichen – etwa durch eine Schlaglochkante – aber lose, dann sollte diese Kante nicht auch noch schräg verlaufen. Denn allein die Felge hält die dann entstehenden Seitenkräfte nicht aus: Sie verbiegt sich.

Dies setzt sich durch das Laufrad fort, das die wenig beliebte Form eines Kartoffelchips annimmt. Der Gesichtsausdruck des Besitzers verändert sich häufig in ähnlicher Weise.



# Leicht und bärenstark

## Wie kann die Tragfähigkeit eines Laufrades erhöht werden?

### 1. Die einfachste Möglichkeit: Vorspannkraft der Speichen erhöhen.

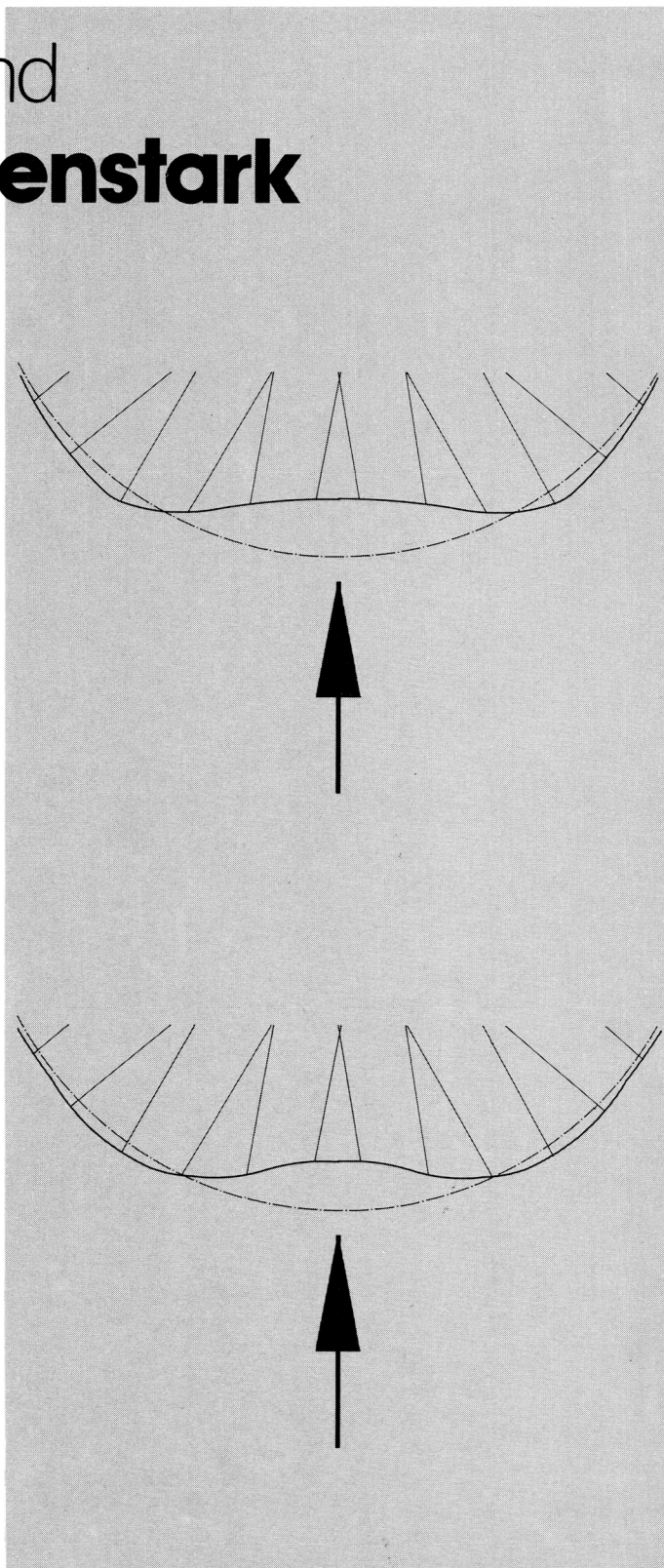
Theoretisch gibt es eine zu hohe Speichenspannung (die die Lebensdauer verringern würde), praktisch aber keine gebräuchliche Felge, mit der diese Vorspannung möglich wäre. Der Praktiker bestimmt diese Vorspannkraft, die mit einer bestimmten Felge möglich ist, indem er langsam die Speichen fester zieht und dabei das Laufrad „durchknetet“. (Genauerer dazu im zweiten Teil dieses Artikels). Sobald dies dazu führt, daß sich die Felge in Schlangenlinien windet, nimmt er die Kraft geringfügig zurück.

### 2. Mehr Speichen verwenden.

Hinterräder von Reiserädern haben oft 40, Hinterräder von Tandems 48 Speichen.

### 3. Steifere (in der Regel schwerere) Felgen verwenden.

Steifere Felgen lassen nicht nur höhere Vorspannkraft zu, sie widersetzen sich auch heftiger dem „Eindellen“ dort, wo das Rad auf der Straße steht. Dies führt zu einer längeren „Delle“ und der Beteiligung einer größeren Speichenzahl. Wäre die Felge absolut steif und wären die Speichen beliebig dehnbar, würde die Belastung rundum gleichmäßig verteilt werden (das „ideale Speichenrad“ des Physiklehrers).



### 4. Dünnere Speichen verwenden.

Dünnere Speichen dehnen sich bei gleicher Vorspannkraft stärker. Verringert sich diese Kraft, müßte sich die Felge stärker eindellen als bei Verwendung einer dickeren Speiche. Dies hat den gleichen Effekt, als wenn eine steifere Felge verwendet worden wäre. Sowohl die

steifere Felge als auch die flexibleren Speichen bringen Ihr Laufrad in die richtige Richtung: Das „ideale Speichenrad“ kann viel größere Kräfte verdauen als die Laufräder, die in der Praxis vorhanden sind.

Aber bevor Sie jetzt nach 1-mm-Speichen Ausschau halten, sollten Sie noch das nächste Heft lesen.

## Überlastung von Speichen

Wenn das vertraute „Pling“ ertönt, sind die meisten genervten Radfahrer der Überzeugung, die Speiche wäre überlastet worden und deshalb gebrochen. In Zugversuchen können Wissenschaftler ermitteln, bei welcher Kraft eine Speiche bricht. Bei einer 2-mm-Speiche aus Nirostastahl ist dies bei 2500 bis 3000 N der Fall (man kann also vier Radfahrer an eine einzige Speiche hängen), fast das Dreifache dessen, was Sie Ihren Speichen im Gebrauch zumuten können. Bevor diese Kraft erreicht ist, würde die Speiche aus der Felge reißen. Einzige Ausnahme: Ein Autofahrer stellt dadurch einen ungewöhnlichen Lastfall her, daß er sein Gefährt urplötzlich quer über den Radweg plaziert.

Es ergibt sich also eine wundervolle Schlußfolgerung:

## Speichen können nicht brechen!

Das glauben Sie mir nicht? Na gut, dann behaupte ich etwas anderes: Speichen brechen nicht durch Überlastung, sondern durch Materialermüdung. Wie es dazu kommt und was man dagegen tun kann, darüber schreibe ich im nächsten Heft.

Hans-Joachim Zierke

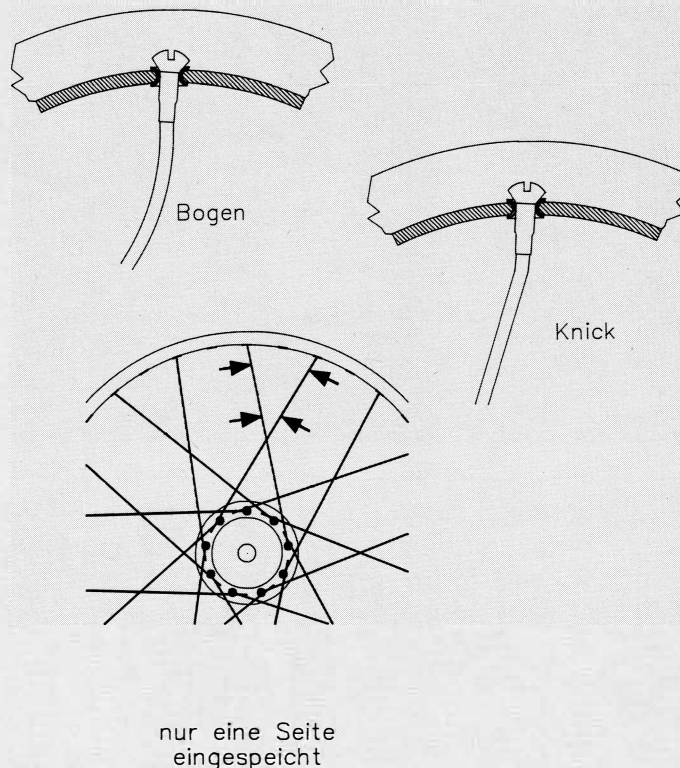
# Solides Handwerk

## Das Laufrad – ein technisches Wunderwerk (2)

Mit jeder Radumdrehung nimmt die Spannung in den Speichen einmal zu und einmal ab. Die Vorspannung, die der Mechaniker den Speichen spendiert hat, wird dadurch einmal deutlich verringert und dann etwas erhöht. „Spannungsausschlag“ wird dies genannt. Hält sich dieser Wert brav in gewissen Grenzen, schadet es der Speiche nicht, wenn die Spannung ausschlägt. Wo diese Grenzen liegen, kann man berechnen, das Ergebnis ist abhängig von der Vorspannung, die man dem Rad bei der Fertigung mitgegeben hat. Hand aufs Herz, wenn Sie schon einmal ein Laufrad eingespeicht haben, haben Sie gedacht, daß Sie mit Ihrem Nippelspanner über etwas so Kompliziertes wie den „zulässigen Spannungsausschlag“ entschieden haben?

Die Auswirkungen sind aber leicht zu beschreiben: Bleibt der Spannungsausschlag immer hübsch zulässig, können Ihre Speichen Sie lange Jahre durch Freud und Leid begleiten. Werden die Grenzen überschritten, desertieren die ersten meist bereits nach wenigen tausend Kilometern mit dem bekannten „pläng“. Dieser Zusammenhang erklärt auch, warum Radrennfahrer bei kurzen Zeitfahrten superleichte Felgen und nur 18 Speichen im Vorderrad verwenden können – Sie aber nicht. Bei solchen Laufrädern sind die Spannungsausschläge arg unzulässig, aber die Rennmechaniker wechseln einfach nach wenigen Kilometern die Speichen aus.

Im ersten Teil meines Artikels habe ich Ihnen berichtet, warum dünnere Speichen, steifere Felgen, höhere Speichenzahl und höhere Vorspannung die Tragfähigkeit eines Laufrades erhöhen. Außerdem konnte ich Sie ein bißchen beruhigen: Es ist nicht möglich, mit realistischen Belastungen eine Speiche in einem Laufrad zu zerreißen. Leider setzt unseren Speichen etwas anderes zu: Materialermüdung.



Im schwachgespannten Rad greift man sich überkreuzende Speichen, um diese am Nippel anzuknicken. Verläßt die Speiche im Bogen den Nippel, steht sie unter – schädlicher – zusätzlicher Biegespannung.

Je mehr Speichen, desto geringer der Spannungsausschlag. Sowohl dünnere Speichen als auch steifere Felgen verringern diesen Ausschlag bei jenen Belastungen, die durch das Rollen auf mehr oder weniger ebenem Untergrund entstehen.

### „Kerbfaktoren“ – der Speichenbogen ist das Übel

Wären unsere Speichen einfach nur Stäbe, an denen herumgezogen wird, hätten gebrochene Speichen Seltenheitswert. Das Problem aber ist der Bogen, mit dem die Speiche in den Nabenflansch eingehängt wird. Dort wird eben nicht nur gezogen, sondern auch heftigst gebogen. Pech für den Radler: An dieser Stelle wirkt sich der Spannungsausschlag durch Rollen und Treten ungefähr viermal so heftig aus wie normal. Dieser „Kerbfaktor“, der nur ein Durchschnittswert sein und glücklicherweise vom Fahrradmechaniker etwas beeinflusst werden kann, ist das Hauptproblem bei der Haltbarkeit der Speichen. Jede Speiche, die im Dauergebrauch an einer anderen Stelle als dem Bogen bricht, wurde entweder falsch gefertigt oder falsch montiert. Brüche am Übergang zum dünnen Teil einer Doppel-dickendspeiche gehen auf Fertigungsfehler zurück, Brüche am Gewinde meistens auf Montagefehler.

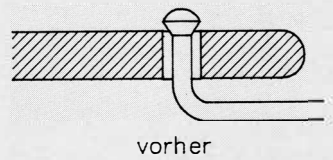
## Welche Speiche ist die beste?

Jede gute Speiche wird aus Nirostahl gefertigt. Dies liegt keineswegs an überlegener Festigkeit. Der Grund ist einfach: Laufräder, die lange halten sollen, müssen auch nach einem Jahr Schlechtwettergebrauch nachzentriert werden können. Verchromen oder Verzinken verhindert nicht in hinreichender Weise, daß die Speiche im Messingnippel festrostet. Dies birgt ein hohes Risiko, beim Nachzentrieren die Speiche zu beschädigen.

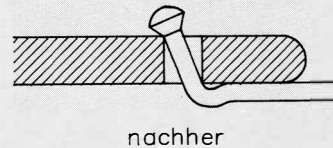
Die Widerstandsfähigkeit gegen Materialermüdung nimmt proportional mit der Festigkeit der Speiche zu. Diese kann durch festeres Material und/oder größeren Querschnitt verbessert werden. Man braucht also dicke Speichen, um den Spannungsausschlag zu verringern. *Die besten Speichen haben daher einen dicken Bogen und einen dünnen Schaft.* Gefertigt werden diese als Doppeldickendspeiche 2 mm/1,6 mm/2 mm, als Doppeldickendspeiche 2 mm/1,8 mm/2 mm, als Eindickendspeiche 2,34 mm/2 mm sowie als 3D-Speiche 2,34 mm/1,8 mm/2 mm. Die 3D-Speiche von Union ist jene, deren Maße die Bezeichnung „belastungsgerecht“ verdienen, bei korrekter Fertigung wäre dies die beste Speiche für die gebräuchlichen Naben.

Die Voraussetzung dafür, solche Vorteile in die Praxis umzusetzen, ist eine einwandfreie Fertigung. Und genau an dieser Stelle liegt vieles im argen. Speichen werden maschinell gefertigt. Hierbei geht bisweilen etwas daneben, und nur eine strenge Endkontrolle kann verhindern, daß Speichen mit bereits „eingebauten“ Bruchstellen das Werk verlassen. Verzicht auf solche Kontrollen verringert die Kosten des Herstellers und steigert den Ärger des Kunden. Achten Sie bei neuen Speichen auf Risse oder Kanten im Speichenbogen. *Wenn bestimmte Speichenhersteller wie Hoshi oder DT bei Mechanikern einen besseren Ruf genießen als andere, liegt dies zuallererst an korrekter und gleichmäßiger Fertigung des Speichenbogens.*

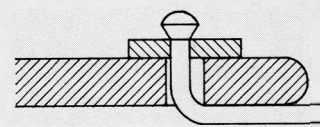
Speichen mit dünnem Mittel-



vorher



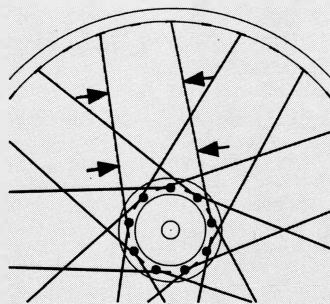
nachher



mit Scheibe

**Nichts ist schädlicher für die Lebensdauer der Speiche als Luft am Speichenbogen. Ist der Nabenflansch schlecht geformt, muß mit Biegen der Speiche oder mit Scheibchen eingegriffen werden. Während die Verspannung des Rades erhöht wird ...**

**... ist „Durchwalken“ angesagt. Parallele Speichen werden so kräftig wie möglich zusammengedrückt. Hierdurch passen sich Speichenbogen und Nabenflansch in dem bloßen Auge nicht sichtbarer, dennoch aber wichtiger Größenordnung aneinander an.**



nur eine Seite eingespeicht

**Von oben nach unten: radial eingespeicht, dreifach gekreuzt, vierfach gekreuzt.**

teil mögen theoretisch und in der Hand erfahrener Mechaniker auch praktisch die besseren sein – doch führt dies nicht unter allen Umständen zum besseren Laufrad. Sobald man „Saft“ auf diese Speichen gibt, verdreht sich der Mittelteil, weshalb „alte Hasen“ den Nippel immer etwas zuweit und dann zurück drehen – reine Gefühlsache. Und bei dünneren Speichen hat eine Nippeldrehung Einfluß auf einen größeren Bereich der Felge. Sind Sie Anfänger, sollten Sie Ihre ersten Laufräder auf jeden Fall mit durchgehenden 2-mm-Speichen oder 2,34 mm/2 mm-Eindickendspeichen fertigen.

## Die kleinen Tricks der Praktiker

Die erste Maßnahme wird getroffen, bevor die eigentliche Arbeit überhaupt beginnt: Die Gewinde der Speichen werden in eine Wachsfähigkeit (z. B. zur Lackpflege) getaucht. Danach läßt man diese antrocknen. Dies dauert eine Weile, Großhersteller von Qualitätslaufrädern mixen sich daher bisweilen schnelltrocknende Lösungen – Zeit ist Geld bei den Profis. „Spoke Prep“, wie eine dieser Mischungen genannt wird, gibt es auch in kleinen Döschen, wird meines Wissens aber nicht importiert. Manche Mechaniker haben die Gewinde gefettet, um nach längerem Gebrauch leicht nachzentrieren zu können. Andere haben die Nippel festgeklebt (mit Reifenkitt), um allmähliches Lösen der Nippel zu verhindern. Wachs leistet beides.

Der Mechaniker ist durchaus in der Lage, „Kerbfaktoren“ zu beeinflussen. Meistens weiß er dies nicht – er baut seine Laufräder aus Erfahrung richtig. In einer Fahrradwerkstatt wurde mir bedeutet, ich müsse meine Speichen in einer bestimmten Weise anordnen, dann würden sie nicht brechen. Auf meine Frage nach dem Grund erhielt ich die Antwort: „Der alte L. macht das so, und seine Laufräder haben immer gehalten.“ Das gelobte Einlegesystem hatte mit der Haltbarkeit nicht das geringste zu tun – aber der „alte L.“ beherrscht seit vielen Jahrzehnten sein Handwerk.

Am wichtigsten sind Vorkehrungen, die dafür sorgen, daß an den Speichen möglichst nur gezogen, nicht aber herumgebogen wird. Der Speichenbogen sollte satt und möglichst auf ganzer Länge am Nabenflansch anliegen. Entfernen Sie die Speichen aus einem alten, gut gefertigten Laufrad, sind im Aluminium-Flansch der Nabe die Abdrücke der Speichenbögen zu sehen – sie haben sich ein „Bettchen“ gegraben. Diese Nachgiebigkeit macht Aluminium zum idealen Material für Nabenflansche, die mit konventionellen Speichen verwendet werden sollen. Pfliffige Mechaniker haben sich bei Stahlnaben geholfen, indem sie auf der Bogen- und Messingscheibchen unterlegten, die die gleiche Funktion erfüllen sollten. Wer den Grund nicht verstanden hat, tut das gleiche auch bei Alunaben.

Haben die Speichen „richtig Luft“, muß etwas getan werden. Entweder legt man auf der Kopfseite Scheibchen unter – möglichst aus nichtrostendem Material. Oder man biegt die Speiche in eine bessere Form. Dies kann mit weichem (!) Werkzeug erfolgen – auf keinen Fall aber mit einem normalen Hammer, sonst wird der Flansch beschädigt. Es soll angeblich Handwerker geben, die diese Arbeit per Daumendruck durchführen. Denen möchte ich nicht zwischen die Finger geraten, wenn sie schlechte Laune haben... Die beste und einfachste Maßnahme gegen losen Sitz der Speiche ist allerdings der Einkauf einer Nabe mit sinnvoll geformtem Flansch.

Wird ein Laufrad mit drei- oder viermal gekreuzten Speichen gefertigt, muß die gleiche Arbeit auch am Nippel erfolgen, damit die Speiche hier nicht unter Biegespannung steht, sondern mit leichtem Knick den Nippel verläßt. Hierzu greift man zwei gekreuzte Speichen und drückt sie nah den Nippeln so kräftig wie möglich zusammen. Erfolgreich ist dies nur bei sehr geringer Vorspannung, also gleich nach dem Einlegen der Speichen. Wenn Ihren Händen harte Arbeit fremd ist, sollten Sie hierzu Lederhandschuhe tragen. Ich weiß, daß einige Profis stattdessen mit weich



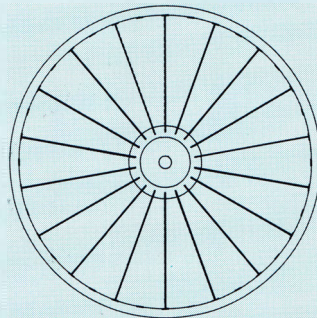
überzogenen Zangen arbeiten. Ich habe aber dergleichen noch nicht im Werkzeugfachhandel gefunden.

Fast alle Speichenbrüche am Nippel gehen darauf zurück, daß auf die hier beschriebene Arbeit verzichtet wurde.

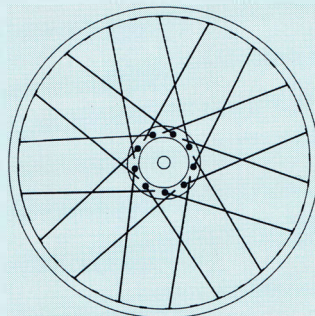
Das Grobe ist danach getan. Während die Vorspannung langsam erhöht wird, erfolgt die Feinarbeit: das Laufrad wird „durchgewalkt“. Hierzu greift man parallele Speichenpaare und drückt sie so kräftig wie möglich zusammen. Am Speichenbogen passiert dann etwas, was Wissenschaftler „mikroplastische Verformung“ nennen und den Kerbfaktor herabsetzt. Das „Durchwalken“ gibt dem Handwerker nebenbei noch wichtige Informationen: Knackt es in den Speichen, hat es mit dem „richtigen Dreh“ am Nippelspanner noch nicht ganz geklappt – die Speiche stand vorher unter Torsions-(Verdreh-)Spannung. Führt das Durchwalken zu einer „eiernden“ Felge, ist die Vorspannung zu hoch und muß ca. eine volle Nippeldrehung zurückgenommen werden.

## Gleichmäßige Vorspannung

...sollte selbstverständlich sein, ist es jedoch leider nicht. Ob ein Laufrad gleichmäßig gespannt ist, können Sie, sofern Sie nicht unmusikalisch sind, einfach kontrollieren: mit einem Schraubenzieher neben dem Nippel angeschlagen, geben alle Speichen ungefähr den gleichen Ton. Korrekt wird so gearbeitet: Das Laufrad wird nach dem Einlegen der Speichen ganz leicht vorgespannt. Die Speichen werden angepaßt, das Laufrad sauber zentriert und alle Speichen auf etwa gleichen Ton gebracht (bei Hinterrädern für Kettenschaltungs-Zahnkränze wird jeweils eine Seite gleichmäßig gespannt). Danach wird nach und nach „Saft“ auf die Speichen gegeben. *Seeräuber-Augenklappen sind zur Zeit nicht Mode. Tragen Sie einen Augenschutz, sofern Sie nach dem Einlegen der Speichen kein festes Felgenband (Gummiband reicht nicht) aufgezogen haben. Eine beim Spannen durch Verdrehung*

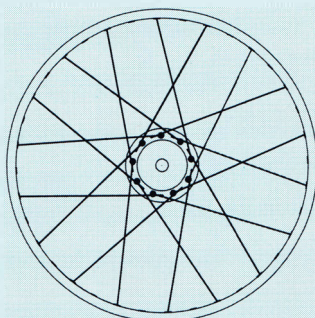


nur eine Seite eingespeicht



nur eine Seite eingespeicht

Dreifach-Kreuzung



nur eine Seite eingespeicht

Vierfach-Kreuzung

brechende Speiche trifft Ihr Auge mit ähnlicher Kraft, als wenn Sie auf einen Nagel fallen würden. Vermeiden Sie es, bei hoher Spannung größere Korrekturen machen zu müssen. Beim fertigen Laufrad sollten die Speichen nach wie vor eine gleichmäßige Vorspannung aufweisen, sonst deutet runder Lauf nur auf gegeneinander korrigierte Fehler. Nach kurzem Gebrauch ist „Eiern“ die Folge. Es ist nicht vermeidbar, am Felgenstoß (der Felgenstoß ist die „Naht“ in der Felge) ein wenig zu pfuschen: Ich habe noch keine Drahtreifenfelge in den Händen gehabt, die genau genug gearbeitet war, um auch hier jede Abweichung vermeiden zu können.

## Das Einspeichsystem

Bisweilen wird empfohlen, man möge die Speichen am Felgenstoß überkreuzen, um die Enden besser zusammenzuhalten. Vergessen Sie es. Die Enden werden im fertigen Laufrad – auch bei radialer Einspeichung (!) – mit ungefähr einer halben Tonne zusammengepreßt. Das sollte reichen.

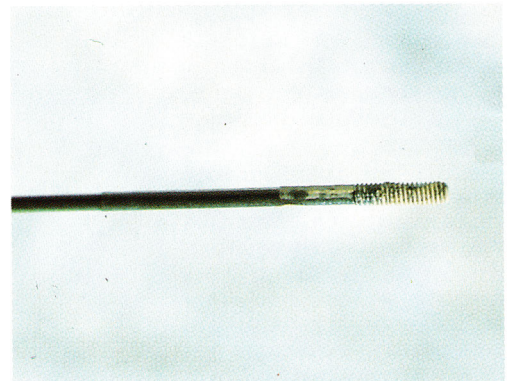
Das Einspeichsystem beeinflusst die Belastbarkeit eines Laufrades gegenüber der Antriebskraft, nicht jedoch

gegenüber der Belastung durch Rollen. Wird keine Nabenbremse (z. B. Trommelbremse) verwendet, ist das Einspeichsystem des Vorderrades daher ohne Einfluß auf die Haltbarkeit der Speichen. Antriebsbelastung und Einspeichsysteme für das Hinterrad betrachte ich im nächsten Heft. Im Vorderrad können Sie, sofern Sie keine Weltrekorde im Sprint aufstellen möchten, daher beliebig herumkreuzen – drei-, zwei-, einmal oder gar nicht. Bisweilen wird behauptet, radial gespeichte Laufräder seien „härter“ als dreifach gekreuzte. Tatsächlich ergibt sich durch längere Speichen mehr Verformung. Sie beträgt in diesem Fall wenige Zehntausendstel des Federweges, den ein auf 7 bar aufgepumpter 25-mm-Reifen zur Verfügung stellt. Nicht auszuschließen ist, daß begabte Menschen den Unterschied festzustellen in der Lage sind – ich gehöre nicht dazu.

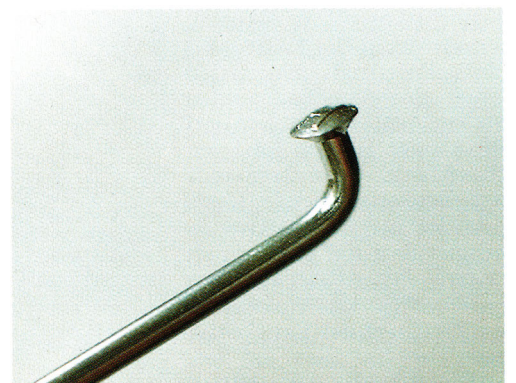
Hauptargument gegen Radialeinspeichung ist die Haltbarkeit des Nabenflansches. Statt viel Theorie Empfehlungen für die Praxis: Radiale Einspeichung ist problemlos

– bei Stahlmaben,  
– bei Alu-Hochflanschnaben, sofern es sich nicht um Superleicht-Ausführungen handelt,

Wachs auf dem Speichengewinde ist die beste Versicherung, auch nach langem Schlechtwettergebrauch problemlos nachzentrieren zu können.



Der schwächste Punkt im Laufrad ist der Speichenbogen. Dieser Bogen muß vom Hersteller präzise gefertigt werden, und er muß im fertigen Laufrad voll auf dem Nabenflansch aufliegen, wenn das Laufrad ein haltbares sein soll.





- bei hochwertigen Alu-Niederflanschnaben mit nicht mehr als 28 Speichenlöchern.

Werden dünne Speichen verwendet, können auch 32-Loch-Niederflanschnaben noch radial gespeicht werden. Gehen Sie aber kein Risiko ein. Bricht der Nabenflansch, kann sich das Vorderrad in Sekunden schnelle zerlegen.

---

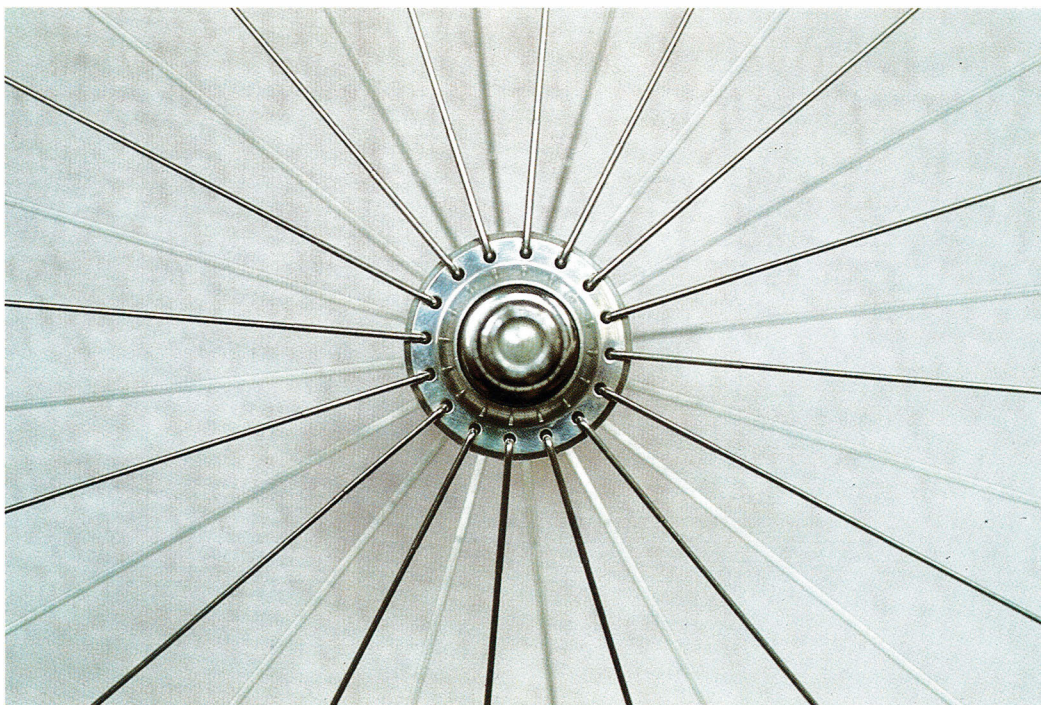
## Der Preis

---

Aus diesem Artikel geht hervor, wieviel Arbeit die Fertigung eines Laufrades macht, das wirklich halten soll. Ein gut ausgebildeter und trainierter Mechaniker benötigt für ein Laufradpaar fast anderthalb Stunden, will er wirklich korrekt arbeiten. Werden Sie dann zur Kasse gebeten, sollten Sie nicht vergessen, was Ihr Maurer pro Stunde nimmt.

*Hans-Joachim Zierke*

Im nächsten Heft: Dritter und letzter Teil, Einspeichsysteme für das Hinterrad.



So sieht das Vorderrad meines Reiserades aus: Bei richtiger Fertigung reichen 32 Speichen auch für diesen Verwendungszweck völlig. Die übrigen vier Speichen fahre ich lieber zusätzlich im Hinterrad spazieren. Speichen Sie Alu-Niederflanschnaben mit 36 oder mehr Speichenlöchern auf keinen Fall radial ein, wenn Ihnen der Flansch nicht in Stücke fliegen soll.



# Jedem Tritt gewachsen

## Das Laufrad – ein technisches Wunderwerk (3)

**M**eistens wird angenommen, nur die nach „hinten“ weisenden Speichen würden Ihre Strampelkraft übertragen. Dies ist falsch. Alle Speichen sind vorgespannt, dreht man an der Nabe; vergrößert sich die Kraft in den „ziehenden“, nach hinten weisenden Speichen, bei den „schiebenden“ verringert sich die Kraft entsprechend.

Diese Werte sind nicht genau gleich. Bei jedem Ihrer Tritte verdreht sich die Nabe nämlich etwas gegenüber der Felge. Wie heftig, hängt von der Art der Einspeichung ab. Ist das Rad auf beiden Seiten radial eingespeicht, dreht sich die Nabe um mehrere Grad. Bei Fünffachkreuzung (nur mit bestimmten 48-Loch-Naben möglich) ist das System fast starr. Die unterschiedliche Steifheit verschiedener Einspeich-Systeme gibt dem Handwerker Möglichkeiten zum Spielen. Doch davon später.

Im Gegensatz zu Ihrem Gewicht wird Ihre Tretkraft gleichmäßig auf die Speichen verteilt. Dies ist der Grund, warum das Treten die Speichen nicht besonders belastet. Allerdings sind normalerweise fast nur die Speichen auf der Zahnkranzseite gefordert. Weil sich das dünne Röhrchen zwischen den beiden Flanschen verdrehen kann, ist die linke Seite für ungefähr 10 % des Vortriebs zuständig. Ist der Nabenkörper dicker, etwa bei den Edelprodukten von Phil Wood, Bullseye oder Technobull, sieht das Verhältnis deutlich besser aus. High-low-Naben übertragen 100 % der Kraft auf der Kranzseite.

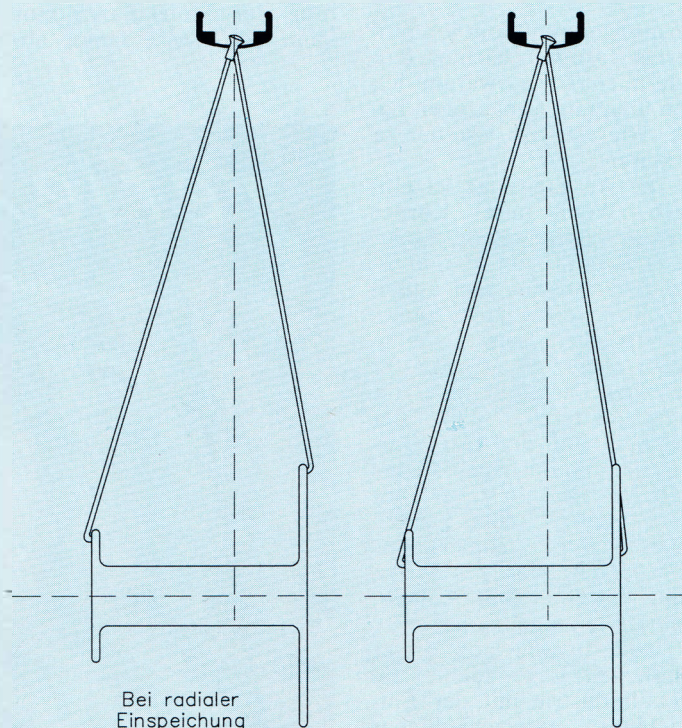
Wie heftig sich der Vortrieb in zusätzliche Speichenkraft umsetzt, hängt etwas von der Größe des Flansches

Bisher hatte ich mich vor allem damit beschäftigt, wie ein Laufrad mit der ständigen Belastung durch Ihr Gewicht fertig wird. Außerdem erklärte ich, wie gute Handwerker stabile Laufräder fertigen. Dieser letzte Teil soll sich damit beschäftigen, wie Laufräder Antriebskräfte übertragen. Diesmal geht es also nur um Hinterräder.

ab: Niederflanschnaben erzeugen etwas größere Kräfte als Hochflanschnaben. Im Grunde darf man aber nicht einfach die Nabe vermessen, entscheidend ist die Größe jenes Kreises, den die Speichen als Tangente berühren: Deshalb ist Vierfachkreuzung für die Übertragung von Antriebskräften geringfügig sinnvoller als Dreifachkreuzung – der entstehende „Speichenkreis“ ist ein kleines bißchen größer.

### Wie groß ist die Belastung durch das Treten?

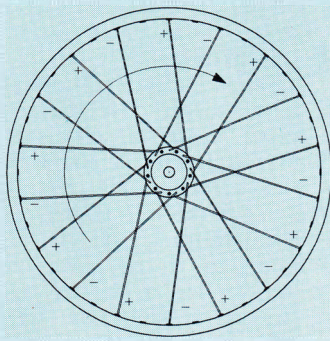
Beim normalen Dahinstrampeln ändert sich bei jedem Tritt (abhängig auch davon, wie „rund“ der Tritt ist) die Kraft, die in jeder Speiche wirkt, um 5 bis 40 N. Dies geschieht 120- bis 180-mal pro Minute, und zwar jedesmal um 150 bis 300 N, je nach Laufrad-Konstruktion und Fahrergewicht. Im normalen Alltagsbetrieb ist die Belastung durch den Antrieb daher so gering, daß sie gestrost vergessen werden kann. Anders sieht es aus, wenn trainierte Radsportler oder sportliche Reiseradler (im zweiten Fall macht's die Übersetzung) Berge erklimmen. In diesem Spezialfall kann die Belastung durch den Antrieb ähnlich groß werden wie durch das Rollen. Da sich steile Berge nicht von morgens bis abends vor dem Rad auftürmen (wenn es auch manchmal so scheinen mag), ist auch für Sportler der Kettenzug das bei weitem kleinere Übel. Es ist kaum möglich, Bedingungen zu konstruieren, wo der Antrieb für mehr als 10 % der Speichenquälerei zuständig ist. Berücksich-



2 + 3. Hält man eine High-low-Nabe in der Hand, sieht das Prinzip einleuchtend aus: Könnte sie auf beiden Seiten radial eingespeicht werden (oben), würde sich ein nennenswerter Unterschied in der Speichen-

länge und im Verhältnis der Vorspannungen ergeben. Die Realität sieht anders aus (unten): Da die Naben tangential (gekreuzt) eingespeicht werden, ergibt sich fast kein Effekt.





eine Seite eingespeicht  
gezeichnet

**1. Wenn Sie mit der Kette an der Nabe herumzerren, übertragen alle Speichen einer Seite diese Kraft. Betrachten wir die Kraft, die von den 18 Speichen einer Seite übertragen wird: In neun Speichen verringert sich die Vorspannung entsprechend einem Achtezehntel dieser Kraft, in den anderen Speichen wird sie entsprechend erhöht.**

tigt werden muß allerdings, daß sich am steilen Berg die Entlastung der untersten Speiche durch das Fahrergewicht mit gleichzeitiger Entlastung durch den Wiegetritt recht unheilträchtig addiert.

Ein Laufrad mit Vierfachkreuzung ist schwieriger zu fertigen als eines mit Dreifachkreuzung. Dieser Aufwand ist nirgends unsinniger als beim braven „Holländer“ oder beim Lastenrad. Er ist

nirgendwo berechtigter als bei einem Hinterrad für extrem sportliche Verwendung. Die Ergebnisse der Physik stehen in merkwürdigem Kontrast zu der Praxis, die ich beobachte. Für den „normalen Alltagsfahrer“ gilt: Verwenden Sie stinknormale Dreifachkreuzung oder die Radialräder mit den neuen Spezialnaben von Weco oder Sachs. Alles andere ist überflüssiger Hokusfokus.

## Sportskanonen und Monster

Kommen wir zu unseren Sportskanonen. Zuerst muß ich zugeben, ich hatte keinen Windkanal zur Verfügung, eventuelle aerodynamische Vorteile radialer Einspeichung zu ermitteln. Sieht man hiervon ab, gibt es kaum ein erstaunlicheres Einspeichsystem als: „Kranzseite gekreuzt, linke Seite radial“. 100 % der Antriebskraft werden rechts übertragen, das Verhältnis der Speichenvorspannungen rechts und links wird schlechter als normal, schweren Fahrern kann der linke Flansch brechen, falls eine Niederflanschnabe verwendet wird. „Mechanical monstrosities“ hat der Großvater aller Fahrrad-Ingenieure, Archibald Sharp, solche Ideen getauft. Wer statt Dreifachkreuzung Vierfachkreuzung verwenden möchte, muß sich nicht durch die Behauptung irritieren lassen, so gefertigte Lauf-

räder seien „weich“. Dies ist nämlich nur wenig den ca. 7 mm längeren Speichen geschuldet, sondern meist dem Umstand, daß wegen der schwierigeren Fertigung die Speichen oft weniger stark angezogen werden. Die sinnvollste Vorspannung ist immer die höchstmögliche, die von der verwendeten Felge zugelassen wird, gleichgültig, wie oft die Speichen gekreuzt werden. Wer mehr als 10% der Antriebskraft auf der linken Seite übertragen lassen möchte, kann rechts dreifach und links vierfach kreuzen. Früher habe ich solche Spielchen bei meinem Stadttrenner getrieben, bis ich nachrechnete und einsah, mein Antritt sei nicht so beeindruckend, daß sich dies irgendwie lohnen könnte.

Das theoretisch sinnvollste System (konventionelle Naben vorausgesetzt) sieht so aus: Radial auf der Kranzseite, tangential (drei- oder vierfach) auf der linken. Fast 100 % der Antriebskraft wird auf der durch das Rollen we-

# Jedem Tritt gewachsen

niger gequälten linken Seite übertragen. Die Praxis hält allerdings Probleme bereit: „Eines Tages radelte ich friedlich die Straße entlang, als plötzlich das Hinterrad zusammenbrach. Die Radialspeichen hatten ein vier Speichenköpfe umfassendes Stück Alu aus meiner Dura-Ace-Niederflansch-Nabe gerissen“, berichtete ein Kollege. Kein Wunder, bei Radialspeichung im Hinterrad sollten immer Hochflanschnaben verwendet werden. Als weitere Überraschung ermöglicht dieses Einspeichsystem, den dünnen Nabenkörper von Rennradnaben in der Mitte durchzuberechnen. Voraussetzung sind also Hochflanschnaben mit dickem Nabenkörper. Ich selbst habe eine Technobull-Nabe so eingespeicht. Durchaus erfolgreich, mir ist seither keine Speiche gebrochen. Vorher allerdings auch nicht.

## Das „schiefe“ Hinterrad

Fast alle Speichenbrüche ereignen sich auf der Zahnkranzseite des Hinterrades. Auf dieser Seite muß wegen des breiten Ritzelpaketes deutlich kräftiger vorgespannt werden als „gegenüber“. Entsprechend sorgt



Radialspeichung auf der Zahnkranzseite, Vierfachkreuzung links – das gibt ein sehr haltbares Hinterrad. Möglich ist der Trick aber nur mit soliden Hochflanschnaben.

Ihr Gewicht für unterschiedlich starke Änderungen der Speichenkraft auf den beiden Seiten. Sinnen wir auf Abhilfe:

1. Es gibt keinen Grund, warum zwischen der auf dem äußeren Kranz liegenden Kette und dem Rahmen mehr als ein halber Millimeter Platz sein soll. Häufig können auf der Zahnkranzseite Scheiben von der Achse heruntergenommen und gegenüber ergänzt werden. Danach kann die Nabe weiter zur Mitte zentriert werden.

2. Viele sogenannte „Zwölfgangschaltungen“ haben real acht Gänge. Wenn Sie den Sechsfachkranz gegen ein Fünffach-Exemplar tauschen und gleichzeitig zu einem sinnvollen Schaltschema wechseln, gewinnen Sie fünf-

einhalb Millimeter Platz für ein stabileres Hinterrad und bekommen real zehn Gänge.

3. Bei vielen Mountain-bikes wird hinten bereits eine Klemmbreite von 130 mm verwendet. Es gibt kein Gesetz, daß die Verwendung passender MTB-Naben an anderen Fahrrädern verbietet. Den Hinterbau von Stahlrahmen um 4 mm aufzuweiten ist kein Problem, diese Arbeit kann aber nur von der Fachwerkstatt mit Spezialwerkzeug zum Parallelrichten der Ausfallenden durchgeführt werden.

4. Das oben vorgestellte Einspeichsystem – Zahnkranzseite radial, linke Seite Vierfachkreuzung – verbesserte bei meinem Reiserad das Verhältnis der Vorspannungen links : rechts von 1:1,83

auf 1:1,61. Der Grund ist der große Unterschied in der Speichenlänge.

5. Sogenannte High-low-Naben (rechts Hochflansch, links Niederflansch) sollen angeblich die gleiche Funktion erfüllen. Ich rechnete dies für die alte Campagnolo-Ausführung und Vierfachkreuzung durch. Das Verhältnis der Vorspannungen verbesserte sich von 1:1,83 auf 1:1,79. Gleichzeitig werden links nicht mehr 10 %, sondern 0 % der Antriebskräfte übertragen. Ungefähr ein Nullsummenspiel, sieht man vom Preis dieser Exoten ab. Campagnolo hat sein Modell vom Markt genommen, Maxicar bietet seine Ausführung immer noch an.

Wer mag, mag sie kaufen – Dreifachkreuzung auf der Kranzseite mit Vierfachkreuzung links erzielt einen größeren Effekt, kostenlos.

6. Der Rahmenbauer Hans Mittendorf bietet die konsequente Lösung des Problems – allerdings nur bei seinen penibel gefertigten und dementsprechend teuren Rahmen. Er verwendet für den Hinterbau eine reale Klemmbreite von 142 mm und kröpft das linke Ausfallende 16 mm nach innen. Dadurch paßt eine normale Nabe mit 126 mm Klemmbreite so in den Rahmen, daß das Hinterrad symmetrisch oder fast symmetrisch gespannt werden kann. Nachteil: Die Tretlagerachse muß 8 mm länger sein.

*Hans-Joachim Zierke*