

Bild 10 zeigt das Kraft-Weg-Diagramm einer Speiche.

Bringt man auf eine Speiche eine bestimmte Kraft auf, so verlängert sich die Speiche. Der Zusammenhang Kraft/Weg ist linear, d. h., doppelt soviel Kraft erzeugt doppelt soviel Längenänderung.

Beim Aufbringen der Vorspannkraft längt sich die Speiche um den Betrag  $\Delta l_{sp}$ .

Eine zusätzliche Kraft  $\Delta F$ , die die Speiche belastet, längt sie um einen weiteren Betrag  $\Delta l$ . Dies gilt für die Speiche, die zusätzlich belastet wird.

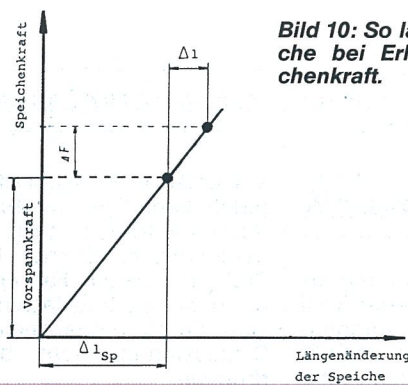
Die Kettenkraft bewirkt im Hinterrad jedoch, daß die Hälfte aller Speichen zusätzlich belastet, die andere Hälfte entlastet wird.

In Bild 11 ist zu sehen, wie das Kraft-Weg-Diagramm aussieht, wenn eine Speiche um den Betrag  $\Delta F$  entlastet wird. Die Dehnung der Speiche aus der Vorspannkraft wird um den Betrag  $\Delta l_{sp}$  verkleinert.

Fügt man beide Diagramme zusammen, so erhält man Bild 12. Zu sehen ist, wie bei gleicher Längenänderung der einzelnen Speiche ( $\Delta l$ ) die Belastung für die einzelne Speiche natürlich auch gleich ist, die Gesamtkraft  $F$  aber, die man braucht, um eine Speiche zu längen und die andere zu verkürzen,  $2 \cdot \Delta F$  ist. (Die Schlangenlinie gibt die Belastung der Speiche an, die im Rhythmus des Tretens zusätzlich Last aufnehmen muß.)

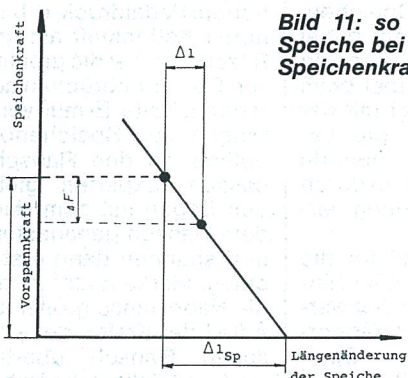
Oder umgekehrt: Bringt man auf ein verspanntes System (wie es die gegeneinander gespannten Speichen darstellen) eine Kraft  $F$  auf, so werden die einzelnen Elemente (Speichen) nur mit einer Teilkraft davon (hier 50%) belastet.

10



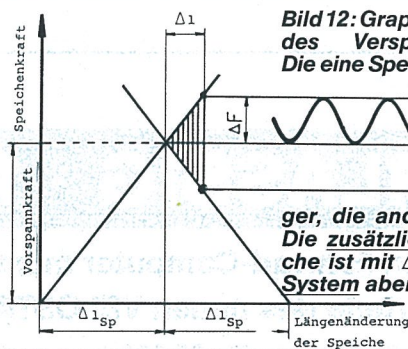
**Bild 10: So längt sich die Speiche bei Erhöhung der Speichenkraft.**

11



**Bild 11: so verkürzt sich die Speiche bei Verminderung der Speichenkraft.**

12



**Bild 12: Graphische Darstellung des Verspannungs-Prinzips. Die eine Speiche wird um  $\Delta l$  längt, die andere um  $\Delta l$  kürzer. Die zusätzliche Last pro Speiche ist mit  $\Delta F$  bezeichnet; das System aber ist mit  $F_A$  belastet.**

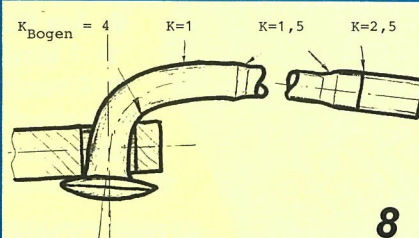
gespannt sind (der Bogen wird nicht an den Flansch angepaßt, hat die linke Seite eine geringere Steifigkeit und wird weniger an der Momentübertragung beteiligt).

Günstiger liegen die Verhältnisse beim radial gespeichten Rad, weil der Verdrehwinkel des rechten Flansches zur Felge durch die Kettenkraft größer ist, nämlich ca.  $1^\circ - 4^\circ$ . So weit kann aber das Naben-Mittelrohr nicht verdreht werden, ohne daß ein wesentlicher Teil der Last auf den linken Flansch übergeht und somit alle 36 Speichen an der Aufnahme der Kettenkraft beteiligt werden.

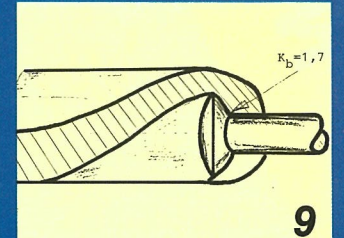
## Wo brechen Speichen?

Berechnet man die Spannung in einer Speiche und ermittelt daraus die Lebensdauer, so stellt man fest, daß die rechnerische Lebensdauer viel größer ist als die tatsächliche. In Bild 8 ist angegeben, um wieviel die Spannungsspitzen am Gewinde, im Bogen und an der Verjüngung größer sind als im glatten 1,8 mm-Draht. Sofort erkennt man, daß der Bruch wegen des hohen Kerbfaktors zuerst im Speichenbogen eintreten muß ( $K_{\text{Bogen}} = 4$ ), was sich mit der praktischen Erfahrung auch vollkommen deckt.

**Bild 7: Bei den praktischen Tests wurden neue Nabenmodelle für Sonnenräder eingesetzt – hier ein Prototyp aus Stahl.**



**Bild 8: Kerbfaktoren – Schwachpunkt der Speiche ist die Innenseite des Bogens. Ein zu großer Bogen, der nicht exakt am Flansch anliegt, mindert die Lebensdauer der Speiche erheblich. Die Faktoren K geben den Abfall an Festigkeit an verschiedenen Punkten an.  $K = 2,5$  bedeutet also beispielsweise, daß die tatsächliche Spannung 2,5-mal höher ist als die im glatten Stab mit  $K = 1$ . Deutlich wird, daß der Schwachpunkt nicht im Gewinde mit seinen scharfen Kerben zu suchen ist, sondern im Bogen. Dort also müssen sinnvolle Verbesserungen ansetzen! Hochfeste Werkstoffe dagegen können sich nicht positiv genug auswirken –**



**hochfester Stahl ist nämlich entsprechend kerbempfindlicher, so daß man den Speichenschwachpunkt bei seiner Verwendung allenfalls verlagern würde.**

**Bild 9: Verankerung für gerade Speiche im gebogenen Flansch (s. auch „tour“ 1/86, „Strada Nuova“). Bei geraden Speichen sitzt der schwächste Punkt im Gewinde, denn der Bogen fällt ja weg. Und obwohl sich beim statischen Zugversuch (der Zerreißprobe) kaum Unterschiede nachweisen lassen – ist ihre Lebensdauer bis zu sechsmal höher als die von herkömmlichen Modellen!**