MASCHINENBAU UNTERSTÜTZT DEN SPORT: MIT WIRKUNGSGRADOPTIMIERUNG ZUM WELTREKORD

FB TECHNIK

Prof. Dr.-Ing. Hubert Hinzen
hubert.hinzen@t-online.de

Dipl.-Ing. Alain Hinzen
mail@alainhinzen.de

MASCHINENBAU UND SPORT

Der Begriff „Maschinenbau" wird von unbedarften Zeitgenossen möglicherweise zu eng gefasst. Über die klassischen Tätigkeitsfelder hinaus ist der Maschinenbau in vielfältiger Weise aktiv, was im Fachbereich Technik zu Überlegungen geführt hat, das Lehrangebot um einen Studiengang Sport- und Rehatechnik zu erweitern. Unabhängig davon wird im Fachbereich schon seit Jahren Fahrradtechnik optimiert. Diese Aktivitäten erlebten am 24. September des letzten Jahres eine Weltrekordmarke: Mit einem Liegerad der „heckverkleideten" Klasse wurde auf der Radrennbahn von Öschelbronn bei Stuttgart innerhalb von 12 Stunden eine Strecke von 461 km zurückgelegt. Dazu braucht es zunächst einmal einen Athleten, der über diese Zeitdauer hinweg in der Lage ist, entsprechend in die Pedale zu treten. Der Ingenieur würde sagen, dass man dazu einen Motor mit einer Dauerleistung von ca. 220 W benötigt. Weiterhin muss aber auch das Fahrzeug so beschaffen sein, dass diese Leistung möglichst effizient zum Vortrieb genutzt wird. Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Athlet nicht nur als Motor fungiert, sonders als Ingenieur selber sein Fahrzeug optimiert.

Der Gesamtfahrwiderstand des Radfahrens setzt sich aus der Rollreibung der Reifen, den Reibungsverlusten im Antrieb und dem Luftwiderstand zusammen, der bei diesen hohen Geschwindigkeiten die größte Komponente darstellt. Das Liegerad reduziert diesen Anteil deutlich, weil es einen geringeren Luftwiderstand hat als ein konventionelles Fahrrad. In der „heckverkleideten" Klasse dürfen strömungsbegünstigende Komponenten nur hinter dem Fahrer angebracht werden. Die Heckverkleidung wurde mit einer elastischen Dichtung genau an den Körper des Fahrers angepasst, um Verwirbelungen durch Lufteintritt in die

Abb. 1: Alain Hinzen unterwegs zu seinem Weltrekord

Verkleidung so weit wie möglich zu reduzieren, so dass der Fahrer eigentlich nur noch seine Beine bewegen kann.

ROLLREIBUNG REIFEN

Die optimierte Aerodynamik führt dazu, dass die Rollreibung der Reifen auf der Fahrbahn einen größeren Anteil am Gesamtwiderstand hat. Deren Zustandekommen lässt sich anhand von Bild 2 modellhaft erklären:

- Die Coulomb'sche Festkörperreibung im linken Bilddrittel ist aus der Schulphysik bekannt: Soll der Klotz gegenüber der Unterlage horizontal bewegt werden, so ist dazu eine relativ große Reibkraft FR erforderlich, weil die gesamte Bewegung als Schlupf zwischen Klotz und Unterlage zu überwinden ist.

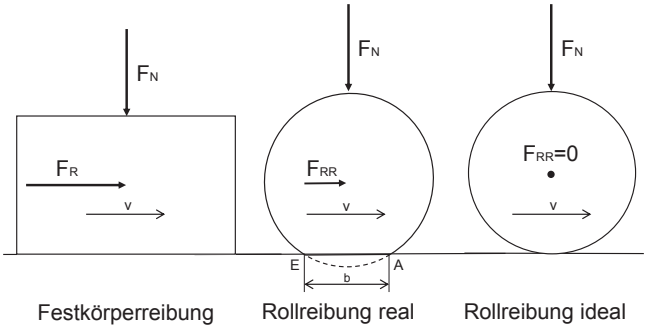

Abb. 2: Reibungszustände

- Eine perfekte Rollreibung im rechten Bilddrittel würde diesen Schlupf völlig unterbinden, so dass keinerlei Kraft zur Überwindung der Rollbewegung erforderlich wäre. Diese perfekte Rollreibung würde aber einen punktförmigen Kontakt ohne Fläche voraussetzen und ist damit eine Illusion, weil keine Normalkraft FN als Produkt aus Druck und Fläche übertragen werden könnte.

- Bei der realen Rollreibung in Bildmitte verformt sich die Kontaktzone elastisch unter dem Einfluss der zu übertragenden Normalkraft, so dass ein „Reifenlatsch" mit der Länge b entsteht und damit eine Fläche zustande kommt, auf der sich dann die Normalkraft als Druck abstützen kann. Diese elastische Deformation hat aber zur Folge, dass der ursprüngliche Kreisbogenabschnitt, den der Punkt auf dem Umfang des Reifens von A nach E zurücklegen will, auf die Sekante von A nach E abgekürzt wird. Dieser Effekt lässt sich nach [1] in Gleichungen fassen und bringt zum Ausdruck, dass es auf dem direkten Weg von A nach E zu Relativbewegungen, also zu Schlupf kommen muss, der seinerseits wiederum Festköperreibung nach dem linken Bilddrittel hervorruft. Etwas übertrieben könnte man formulieren, dass das Rad (oder die Rollreibung) erfunden worden ist, um die Festkörperreibung zu vermeiden, aber gänzlich ohne Festkörperreibung geht es eben doch nicht. Der Einfluss dieser Festkörperreibung lässt sich aber reduzieren, indem die Wegdifferenz zwischen dem Kreisbogenabschnitt von A nach E und der Sekanten von A nach E minimiert wird. Der reale Radfahrer hat diesen Zusammenhang längst begriffen und pumpt seinen Reifen intensiv auf. Wie am

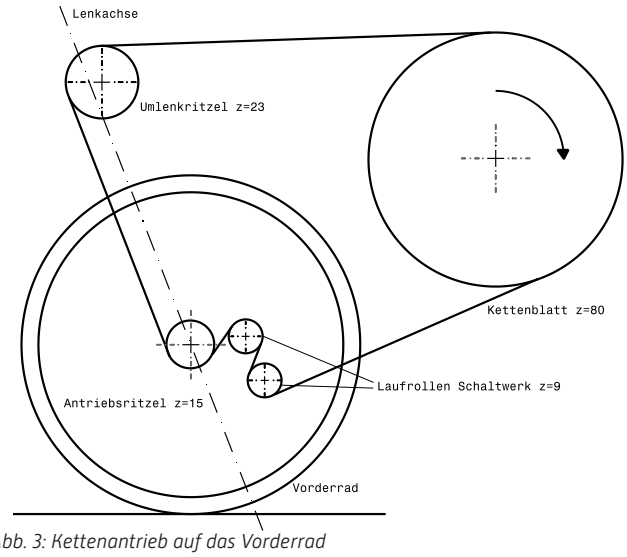

Abb. 3: Kettenantrieb auf das Vorderrad

Schattenwurf von Bild 1 zu erkennen ist, ist die Kontaktlänge zwischen Reifen und Fahrbahn tatsächlich sehr kurz. Darüber hinaus nehmen aber noch weitere Parameter Einfluss auf die Rollreibung, was auf den Prüfständen des Labors Fahrradtechnik der Hochschule Trier eingehend untersucht wird.

Selbst bei einem weitgehend optimierten Rollreibungsbeiwert von 0,003 entsteht hier eine Verlustleistung von etwa 28 Watt (s. [1, 2, 3]).

WIRKUNGSGRAD KETTENTRIEB

Die Beinmuskulatur als Motor generiert eine Leistung an der Tretlagerwelle, von wo aus sie mittels Kettentrieb auf das Antriebsrad übertragen wird. In [1] wurden die Reibleistungen ermittelt, die durch den klassischen Antrieb auf das Hinterrad entstehen. Bei diesem Liegerad befindet sich das Antriebsritzel aber am Vorderrad, weil dadurch Vorteile bei der Aerodynamik und beim Gewicht erzielt werden können. Diese Konstruktionsvariante ist aber nur dann sinnvoll, wenn der Zugtrum der Kette parallel zur Lenkachse auf das Antriebsritzel geführt wird. Nur unter dieser Bedingung leitet die Kette kein Moment in den Lenker ein, welches vom Fahrer mit den eigenen Händen abgestützt werden müsste, was ihn nicht nur auf die Dauer unnötig ermüden würde, sondern auch das Lenkverhalten negativ beeinflussen würde. Solche Nebenwirkungen können bei diesem Liegerad jedoch weitgehend ausgeschlossen werden.
Die Reibleistung eines Kettentriebes entsteht vor allen Dingen durch die Drehung seiner Gelenke. Da diese bei Geradeausbewegung der Kette in Ruhe sind, entsteht in dieser Phase auch keine Reibung. Gleiches trifft auch zu, wenn sich die Kette auf dem Umfang von Kettenblatt oder Ritzel bewegt. Das Kettengelenk gerät aber in Bewegung, wenn die Geradeausfahrt in die Kurvenfahrt übergeht und umgekehrt. Weiterhin muss unterschieden werden nach dem Zugtrumabschnitt der Kette, der Zugkraft überträgt und deshalb im Kettengelenk eine höhere Reibung verursacht. Der Leertrum dient nur dazu, die Kette wieder auf die Zugtrumseite zurück zu führen. Dabei wird zwar keine Kraft übertragen, aber die Gelenke müssen bewegt werden, was eine allerdings geringe Reibung verursacht.
Das folgende Schema trägt zusammen, an welcher Stelle welche Reibleistung in Milliwatt entsteht.

	Kettenblatt z = 80	Umlenkritzel z = 23	Antriebsritzel z = 15	2 Laufrollen Schaltwerk z = 9
P_R [mW]	657	4.108	3.504	2.364

Daraus ergibt sich der Wirkungsgrad zu:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\text{Antriebsleistung - Verlustleistung(en)}}{\text{Antriebsleistung}}$$

$$\eta = \frac{220\text{W} - 0{,}657\text{W} - 4{,}108\text{W} - 3{,}504\text{W} - 2{,}364\text{W}}{220\text{W}} = 95{,}2\%$$

Der Fahrer ist kein perfekter Motor und hat entsprechend seiner nicht perfekt konstanten Verfassung zuweilen das Bedürfnis, den Tretrhythmus zu variieren, Alleine aus diesem Grund wird ein Schaltwerk erforderlich, auch wenn damit gut 2 Watt Verlustleistung verbunden sind.

DER REKORDTAG

Nachdem die beiden Schiedsrichter des Weltverbandes die Zeitmesstechnik installiert hatten, erfolgte der Start morgen kurz nach 8 Uhr. Zuvor waren in der Heckverkleidung zwei Flaschen mit Flüssignahrung untergebracht worden, aus denen sich der Fahrer über Schläuche versorgt, weiterhin hat er auch noch feste Nahrung in Reichweite. Die innere Begrenzungslinie des Bahnovals darf nur für Zwischenstopps überfahren werden, um Proviant aufzufüllen oder einem natürlichen Bedürfnis nachzukommen. Bei den drei Boxenstopps kann der Fahrer zwar noch gezielt bremsen, aber die Monotonie der Beinbewegung erlaubt es nicht mehr, sich im Stillstand am Boden abzustützen. So wird er von zwei Helfern in Empfang genommen, die ihn dann auch aus dem Fahrzeug heraus heben. Die Durchschnittsgeschwindigkeit lag während der ersten Stunden deutlich über 40 km/h, wurde aber im weiteren Verlauf durch Magenprobleme etwas beeinträchtigt. Eine Stunde vor Abschluss war die alte Rekordmarke erreicht, was noch einmal Auftrieb gab und die Geschwindigkeit wieder deutlich ansteigen ließ. Dies ist nun sein dritter Weltrekord nach den Marken über 6 Stunden (248 km) und 100 Meilen (3:39:33 h).

NACHTRAG

Am 09. - 11.06.17 konnte Alain Hinzen mit diesem Liegerad alle vier Weltmeistertitel in dieser Kategorie gewinnen. Weiterhin stand am 08.07.17 im Velodrom von Grenchen (Schweiz) der wohl begehrteste Weltrekord auf dem Programm: Innerhalb von einer Stunde wurden 54,8 Kilometer zurückgelegt. Im Vergleich dazu liegt der Weltrekord für „normale" Rennräder bei 51,1 km.

LITERATUR

[1] Hinzen, H.: Maschinenelemente 3; DeGruyter 2016

[2] Hinzen, H.: Messung der Rollreibung von Fahrradreifen; Lehre und Forschung 2009, Hochschule Trier

[3] Hinzen, H., Petry, C.: Fahrradantriebe - Messung von Wirkungsgrad und Betriebsfestigkeit; Lehre und Forschung 2011, Hochschule Trier

[4] Hinzen, H., Petry, C.: Wirkungsgrad von Fahrradantrieben; Lehre und Forschung 2012, Hochschule Trier