

Fahrradantriebe – Messung von Wirkungsgrad und Betriebsfestigkeit

Prof. Dr.-Ing. Hubert Hinzen, Christian Petry (Bachelor of Engineering)

36

1 Einführung in die Problematik

Die zunehmende Bedeutung des Fahrrads als Fortbewegungsmittel und Sportgerät führt zwangsläufig dazu, es mit allen möglichen Mitteln verbessern zu wollen. Manche Neuheitenpräsentation kommt eher als Modenschau daher, was es für den unbedarften Nutzer eines Fahrrades zuweilen schwierig macht, zwischen technischem Fortschritt und Mode-Gag zu unterscheiden.

Der Fahrradtrieb selber hat hingegen eine weitgehend technisch orientierte Entwicklung durchlaufen: In der Urform des Fahrrades hat sich der Pedaleur noch mit den Füßen am Boden abgestützt, bevor man auf die Idee kam, mit einer Kurbel direkt auf das Laufrad zu treiben. Damit wurde die ursprüngliche Funktion des Fahrrades als Fahrzeug um die eines Getriebes erweitert, welches die menschliche Beinmuskulatur (Motor) an das Fahrrad (Arbeitsmaschine) ankoppelt. Dieser erste Direkttrieb auf das Vorderrad war in seiner Wirksamkeit noch eingeschränkt, weil er nur ein einziges Übersetzungsverhältnis erlaubte, zu dessen Optimierung der Durchmesser des Vorderrades dermaßen vergrößert werden musste, dass die fahrtechnisch wenig vorteilhafte Variante des Hochrades entstand.

Der anschließend entwickelte Kettenantrieb auf das Hinterrad machte das Fahrrad zunächst einmal zu dem heute üblichen strassentauglichen Fahrzeug. Dadurch konnte das Übersetzungsverhältnis des Getriebes nicht nur in weiten Grenzen verändert werden, sondern durch Erweiterung des Kettentriebes zum Schaltgetriebe konnte das Übersetzungsverhältnis sogar während der Fahrt an die sich ständig ändernden Anforderungen angepasst werden. Die so entstandene Kettenschaltung kann grundsätzlich auch durch andere Bauformen gleichförmig übersetzender Getriebe ausgeführt werden, die hinsichtlich Langlebigkeit, Zuverlässigkeit, Witterungsunabhängigkeit und Bedienungskomfort wesentliche Vorteile bie-

ten. Dabei spielt bereits seit vielen Jahrzehnten die mit einem Planetengetriebe bestückte Nabenschaltung eine wesentliche Rolle. Während früher eine einzige Planetenstufe mit nur drei Gängen genutzt wurde, ermöglichen neuere Entwicklungen mit bis zu drei Planetenstufen insgesamt bis 14 Gänge, was sie in dieser Hinsicht den Kettenschaltungen ebenbürtig macht.

Bei der zielstrebigsten Optimierung dieser Fahrradtriebe geht es vor allen Dingen um den Wirkungsgrad: Das Radfahren gibt besonders dann viel Sinn, wenn die bescheidene Muskelleistung so weit wie irgend möglich für den Antrieb des Fahrrades genutzt wird und nicht etwa durch Reibung verbraucht wird. Insofern kommt der messtechnischen Erfassung des Wirkungsgrades als Quotient von Nutzen zu Aufwand (hier Getriebeausgangsleistung zu Getriebeeingangsleistung) eine besondere Bedeutung zu. Weiterhin entscheidet sich die Tauglichkeit eines Fahrradtriebes an seiner Betriebsfestigkeit, er soll die geforderte Leistung über einen möglichst langen Zeitraum übertragen können.

Nach der Entwicklungen mehrerer Prüftechniken für Fahrradreifen (s. Forschungsberichte der vergangenen Jahre) schlug der Fachbereich Technik der Fachhochschule Trier nun auch einem namhaften deutschen Hersteller von hochwertigen Fahrradtrieben einen Prüfstand vor, der die Lastbedingungen des realen Fahrbetriebes modellhaft und repräsentativ im Labor nachbildet und die beiden o.g. Aspekte mit zuvor nie gekannter Genauigkeit meßtechnisch erfasst.

2 Suche nach dem optimalen Prüfkonzept

Eine erste Überlegung zur Realisierung eines solchen Prüfkonzeptes dürfte wohl darin bestehen, die menschliche Muskulatur als Motor durch einen Elektromotor und die Leistungsabgabe am Hinterrad durch eine Bremse zu ersetzen. Diese Ausführungsform hätte jedoch zwei wesentliche Nachteile:

- Die für den Betrieb erforderliche Leistung würde an der Bremse vollständig in Wärme umgesetzt werden, also ungenutzt verloren gehen.
- Die Ermittlung des Wirkungsgrades bereitet besondere Probleme, weil die Verlustleistung als Differenz von Abtriebs- und Antriebsleistung erfasst werden müsste. Unter der Annahme, dass beide Messungen nur mit einem Fehler von 1 % behaftet sind, könnten nie die zu erwartenden Wirkungsgrade nahe bei 100 % mit der erforderlichen Genauigkeit ermittelt werden.

2.1 Verspannungsprinzip

Nicht zuletzt aufgrund einiger erfolgreicher Anwendungen in vorangegangenen ähnlichen Aufgabenstellungen wurde auch hier das „Verspannungsprinzip“ angewandt: Die am Abtrieb vorliegende Leistung wird nicht etwa verbremst, sondern mechanisch wieder auf den Antrieb zurückgeführt. Die Leistung wird also ständig „im Kreis herumgeführt“: Das gesamte System überträgt zwar die volle Leistung, aber es braucht nur die Leistung eingespeist zu werden, die im System selber als Verlustleistung auch tatsächlich verloren geht. Diese Anordnung kommt der theoretische Idealvorstellung des „perpetuum mobile“ denkbar nahe.

Zur mechanischen Rückführung der Leistung wird ein weiteres Getriebe erforderlich, welches genau das umgekehrte Übersetzungsverhältnis aufweisen muss. Es liegt also auf der Hand, für das Prüfgetriebe und das Rückführungsgetriebe zwei baugleiche Getriebe zu verwenden, von denen das eine untersetzt und das zweite in gleicher Weise übersetzt, wodurch sich eine Anordnung nach Bild 1 ergibt.

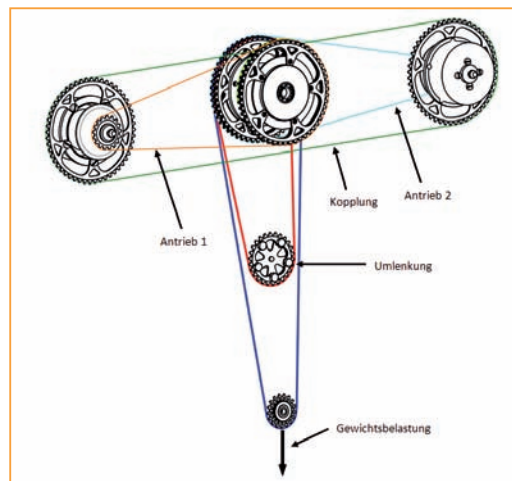


Bild 1: Verspannte Anordnung zweier Fahrrad- antriebe

Der Kettentrieb im vorne links ist wie ein Fahrrad- antrieb angeordnet: Über das Kettenblatt in der Mitte wird wie über die Tretlagerkurbel ein Moment eingeleitet. Die dadurch in der Kette hervorgerufene Kraft leitet am linken Ritzel ein Abtriebs- moment ein, welches in der dahinter liegenden Nabe weiter gewandelt wird. Der Abtrieb am Nabenflansch geht aber nicht wie beim Fahrrad aufs Hinterrad, sondern treibt eine weitere Kette an, die mit der gegenüberliegenden Nabe gekoppelt ist, die ihrerseits vom Kettentrieb hinten rechts angetrieben wird. Wird nun der vorderen Kettentrieb in der vom Fahrrad gewohnten Weise vorwärts angetrieben, so läuft der hintere Kettentrieb rückwärts.

Damit ist zunächst aber nur der Bewegungsab- lauf geklärt. Soll die Anordnung unter Last gesetzt werden, so müssen die beiden Kettenblät- ter gegeneinander mit einem Moment belastet, also gegeneinander „verdreh“ werden. Zu diesem Zweck werden diese beiden Kettenblätter verdrehfest mit je einem weiteren innenliegen- den Kettenblatt gekoppelt. Zur Lastaufbringung wird eine weitere Kette von dem vorderen dieser beiden letztgenannten Kettenblätter nach unten

38

über ein gewichtsbelastetes Ritzel geführt und von dort aus mit dem hinteren der beiden innenliegenden Kettenblätter verbunden. Um einen vollständigen Bewegungsablauf zu ermöglichen, werden die freien lastlosen Kettenenden über ein weiteres lastloses Ritzel gekoppelt. Über das Gewicht am unteren Ritzel wird das Lastniveau im ganzen System definiert festgelegt.

2.2 Belastungswaage

Das so belastete und bewegte System ruft in den beiden Naben Momente hervor, die meßtechnisch erfasst werden sollen. Zu diesem Zweck werden die beiden Naben nicht etwa in einem festen Gestell gelagert, sondern vielmehr an einem gemeinsamen Waagebalken angebracht, der auf Höhe der beiden Antriebskettenblätter gelagert ist.

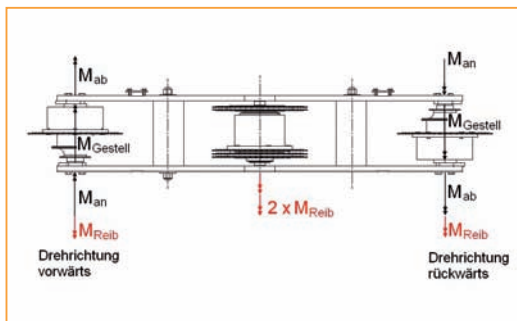


Bild 2: Momentengleichgewicht an der Belastungswaage

Betrachtet man das Momentengleichgewicht an diesem Waagebalken, so tritt an jeder der beiden Naben neben dem An- und Abtriebsmoment auch noch ein Gestellmoment auf, welches sich am Fahrradrahmen abstützt.

Da diese Momente der beiden Naben genau gleich gross sind, aber umgekehrtes Vorzeichen haben, gleichen sie sich genau aus und haben keinen Einfluss auf die Waage. Die Reibmomente der Naben sind aber beide der gemeinsamen Bewegung entgegengesetzt gerichtet, addieren

sich deshalb und wirken damit auf die Waage. Bild 3 illustriert, wie dieses für die Bestimmung des Wirkungsgrades wichtige Reibmoment sichtbar gemacht wird.

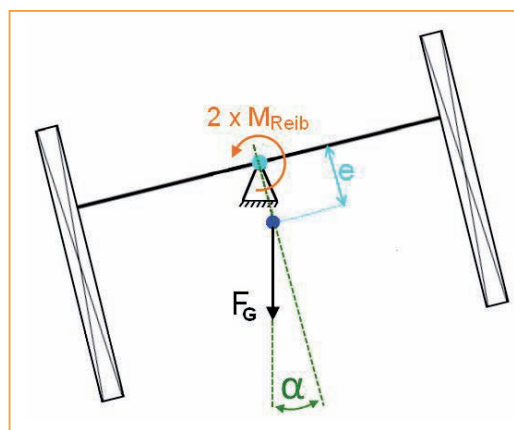


Bild 3: Anzeige der Belastungswaage

Würde der Waagebalken nur gelagert werden, so würde er sich wegen des Reibmomentes ständig um diese Lagerung herum drehen. Wenn der Schwerpunkt des Waagebalkens nach unten verlagert wird, so geht aufgrund der Massewirkung vom Schwerpunkt ein Rückstellmoment aus, welches mit der Summe der beiden Reibmomente im Gleichgewicht stehen muss, so dass sich der Waagebalken bei einem Winkel α einpendelt. Aus dieser Betrachtung heraus kann am Winkel α direkt auf das Reibmoment geschlossen werden. Die zusätzlich am Waagebalken angebrachten Massen sind längsverschiebbar: Werden die Massebalken weiter oben arretiert, so wird die Waage zunehmend empfindlicher, während eine Fixierung weiter unten den Meßbereich vergrößert.

Auf diese Weise wird das Reibmoment direkt gemessen und braucht nicht als Differenz zwischen An- und Abtriebsmoment ermittelt zu werden, wodurch die Meßgenauigkeit enorm gesteigert wird. Die Höhe des Lastniveaus wird einfach durch die Gewichtskraft am Lastritzel festgelegt.

3 Konstruktive Ausführung des Prüfstandes

Bild 4 zeigt schließlich, wie der Prüfstand konstruktiv ausgeführt wurde.

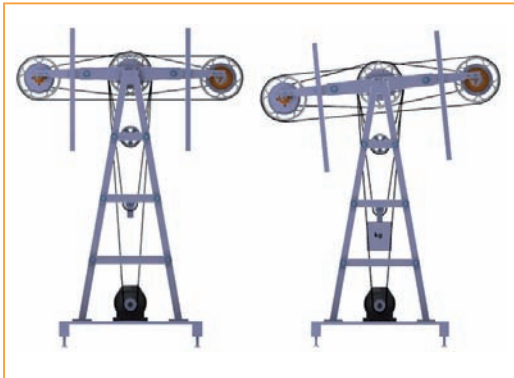


Bild 4: Konstruktive Ausführung des Prüfstandes

Nach der Lastaufbringung durch das Gewicht am Lastritzel muss der gesamte Antriebsstrang in Bewegung gesetzt werden, wozu ein weiterer Kettentrieb mit elektromotorischem Antrieb installiert wurde. Dem unbedarften Betrachter präsentiert sich dieser Prüfstand zunächst einmal als eine eher verwirrende Anzahl an Kettentrieben, bei der insgesamt fast 10 m Fahrradkette verbaut wurde. Die Last kann vom Leerlauf bis auf 2,5 kW gesteigert werden, was die menschliche Muskulatur vollständig überfordern würde. Von Verschleissuntersuchungen von Fahrradreifen ist bekannt, dass bei diesem Lastniveau die Festigkeit der Fahrradkette bereits in Verlegenheit gerät. Dennoch ist die Leistungsaufnahme des Motors minimal. Neben den in diesen Bildern dargestellten Untersuchungen von Getriebenaben können natürlich auch klassische Kettenschaltungen geprüft werden.

Neben den Wirkungsgradmessungen können mit diesem Prüfstand auch Dauerversuche unternommen werden: Mit denkbar geringstem Energieaufwand kann täglich eine Fahrstrecke von 1.000 km zurückgelegt werden, nach gut einem Monat hat das Fahrradgetriebe die Erde um-

rundet und nach einem Jahr die Distanz bis zum Mond zurückgelegt.

39

Kontakt



Prof. Dr.-Ing. Hubert Hinzen
Fachbereich Technik/
Fachrichtung Maschinenbau
Studiengang Mechanik und
Maschinenlehre
FH Trier/Schneidershof
+49 651 8103-471
H.Hinzen@fh-trier.de

Deutsche Bank

Mit Kompetenz zum Erfolg – Finanzlösungen für Studenten.

Als Studentin oder Student haben Sie alle Hände voll zu tun und können sich nicht ständig mit Geldfragen beschäftigen. Wir halten Ihnen den Rücken frei – mit der ganzen Kompetenz und den weltweiten Leistungen der Deutschen Bank. So bleiben Sie flexibel – während Ihres Studiums und auch später beim Start ins Berufsleben. Bei uns erwarten Sie unsere Berater für Jungakademiker, die große Erfahrung in allen Finanzfragen rund ums Studium mitbringen. Sprechen Sie mit uns.

Investment & FinanzCenter Trier
Hosenstraße 20, 54290 Trier
Telefon (0651) 467-293

Leistung aus Leidenschaft

