



Das

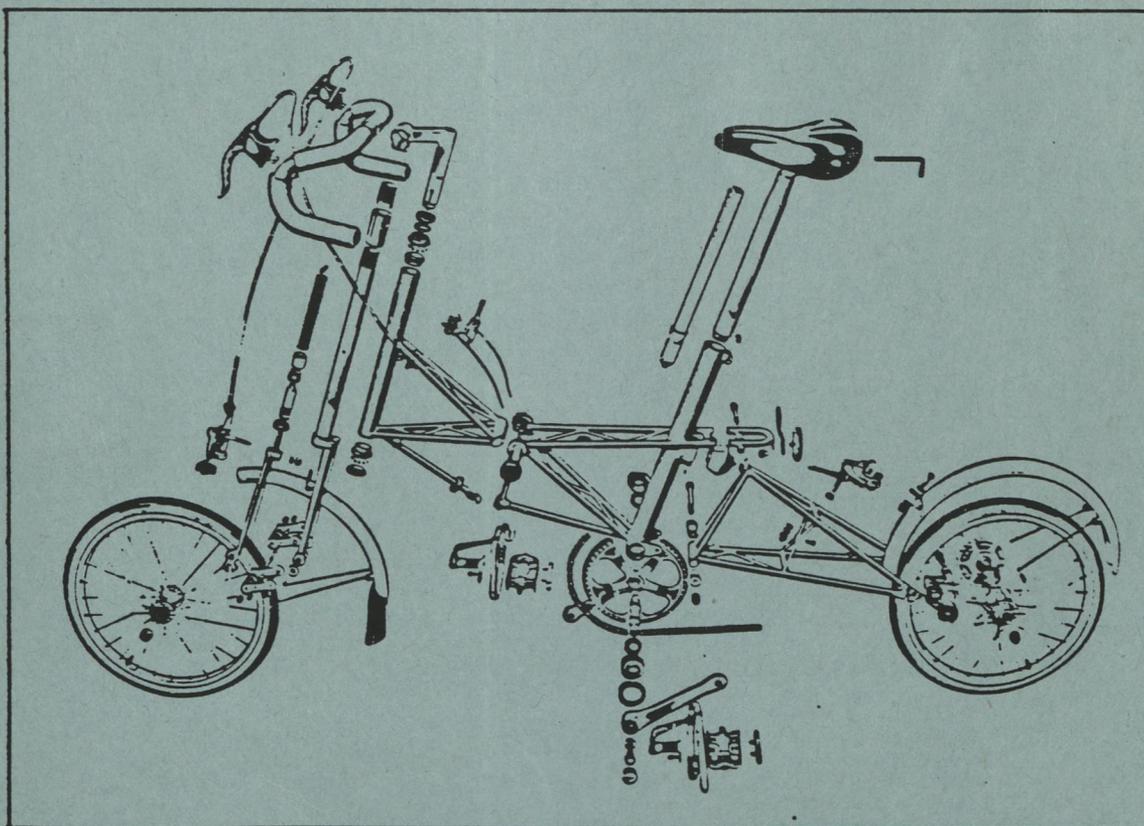
5

Fahrrad-Magazin

5 - 1986

FAHRRADTECHNIK I

Auslegung von Kettenschaltungen
Messung von Fahrwiderständen
Wirkungsgrad im Fahrradtrieb
Fahrradelektrik
Fahrradbremsen
Test Leitra



3. Auflage 1989 6 DM

IMPRESSUM

Herausgeber
Dr. Friedrich Bode

Redaktion
Friedrich Bode

Redaktionsanschrift
Am Broicher Weg 2, 4053 Jüchen-Bedburdyck
Telefon 02181-43448

Vertrieb
Pro Velo - Buch- und Zeitschriftenverlag
Am Broicher Weg 2, 4053 Jüchen

Satz und Druck: INFOTEXT

PRO VELO erscheint viermal im Jahr: im März, Juni, September und Dezember. Einzelpreis 6 DM einschließlich 7% MWSt, bei Rechnungsstellung zuzüglich 1 DM Versandkosten.

Bei Vorauszahlung werden keine Versandkosten berechnet. Bestellungen bitte durch Bank- oder Postüberweisung auf das Konto "PRO VELO-Verlag, 4053 Jüchen" beim Postgiro Essen, Konto 16909-431 (BLZ 360 100 43).

Die gewünschten Ausgaben sowie die vollständige Bestellanschrift auf dem Überweisungsträger bitte deutlich angeben.

Abonnement: 20 DM für 4 Ausgaben. Das Abo verlängert sich automatisch. Abbestellungen bitte 2 Monate vor Auslaufen des Abos.

Die bereits erschienenen Hefte von PRO VELO werden stets vorrätig gehalten.

Bisher erschienen:

- PRO VELO 5: Fahrradtechnik I**
- PRO VELO 6: Fahrradtechnik II**
- PRO VELO 7: Neue Fahrräder I**
- PRO VELO 8: Neue Fahrräder II**
- PRO VELO 9: Fahrradsicherheit**
- PRO VELO 10: Fahrradzukunft**
- PRO VELO 11: Neue Fahrrad-Komponenten**
- PRO VELO 12: Erfahrungen mit Fahrrädern III**
- PRO VELO 13: Fahrrad-Tests I**
- PRO VELO 14: Fahrradtechnik III**
- PRO VELO 15: Fahrradzukunft II**
- PRO VELO 16: Fahrradtechnik IV**
- PRO VELO 17: Fahrradtechnik V**

INHALT

Impressum	3
Langsam radfahren - Zur Auslegung von Kettenschaltungen (Teil 1)	4
Experimente mit neuen Materialien für Fahrradrahmen	9
Vierzig Tage zum Nachdenken	9
Fahrradelektrik	10
Messung von Rollwiderstand und Luftwiderstand bei Fahrrädern	14
Der Wirkungsgrad im Fahrradtrieb	16
Messung von Fahrwiderständen im Fahrradtrieb	21
Erfahrungen mit Fahrradbremsen in der Praxis	34
Grundlagen der Funktion von Fahrradlichtmaschinen	38
Forschungsdienst Fahrrad	40
Erste Testergebnisse der LEITRA-Prototypen	41
Konstruktion LEITRA M 1	44

PRO VELO 5 - 3. Auflage 1989
1. Auflage 1986

Copyright © 1986, 1989 by Friedrich Bode

ISSN 0177-7661
ISBN 3-925209-06-9

LANGSAM RADFAHREN

Zur Auslegung von Kettenschaltungen

1 VORBEMERKUNGEN

Was würden Sie von einem Motorradhersteller halten, der in sein Mofa-Modell serienmäßig das Getriebe der 500 ccm - Maschine einbaut und Ihnen das Produkt als besonders sportliche Version des Mofas verkaufen will? Beim Fahrrad jedenfalls ist eine vergleichbare Vorgehensweise durchaus nicht ungewöhnlich. (1)

Wäre ein PKW - Fünfgang - Getriebe so gestuft wie viele Zahnkränze, würde man verwundert feststellen, daß der vierte Gang völlig fehlt und statt dessen ein zusätzlicher Gang zwischen dem ersten und zweiten Gang eingefügt ist.

Diskussionen über "die" richtige Auslegung einer Kettenschaltung sind aber so wenig sinnvoll wie die Frage nach "der" Getriebeauslegung für alle PKW oder nach der Einheitsrahmenhöhe für alle Radfahrer. (2) Getriebeauslegungen beim Fahrrad müssen analog zu anderen Fahrzeugen ganz erhebliche Unterschiede in der Antriebsleistung - d.h. hier in individuellen Leistungsvermögen oder in der Leistungsbereitschaft des Fahrers - sowie in Leistungsbedarf des Fahrzeugs berücksichtigen. Der Stellenwert einer angepaßten Schaltung für ein zufriedenstellendes Fahrgefühl, insbesondere für die Mehrheit der

1 In jüngster Zeit ist sogar eine massive Tendenz hin zu einer sportlichen Fahrradmode festzustellen: 1984 stieg der Anteil der Rennsport- bzw. Leichtlaufräder an den produzierten Erwachsenenrädern in der Bundesrepublik von 33 auf 53 % ! (Angaben des Verbandes der Fahrrad- und Motorrad-Industrie VFM.) Dabei sind die Kettenschaltungen dieser Rad-Kategorien in aller Regel für die betreffenden Benutzer zu sportlich, d.h. für eine zu hohe Antriebsleistung ausgelegt.

2 Der Begriff des Radfahrers wird hier selbstverständlich im weiteren Sinne, also unter Einschluß der Radfahrerinnen verwendet.

Radfahrer mit durchschnittlichem oder geringerem Leistungsvermögen, muß deutlich höher eingestuft werden als landläufig angenommen wird.

Die Frage lautet also: Welche Maßstäbe lassen sich finden, um die Anpassung einer Kettenschaltung an die individuellen Bedingungen vorzunehmen, und welche Schaltungen sind für welche Bedingungen zu empfehlen? Dazu werden zunächst Grundbegriffe und Grundtypen von Schaltungsauslegungen vorgestellt, und in der nächsten Ausgabe werden aus der Darstellung von Fahrleistungen ergonomische Getriebebestufungen begründet sowie einige Standardempfehlungen gegeben. (3)

2 GRUNDBEGRIFFE

Übersetzungsverhältnis i

Verhältnis der Antriebsdrehzahl n_A (Trittfrequenz) zur Drehzahl des angetriebenen Laufrades n_B . Beim Kettentrieb gleichbedeutend mit dem Quotienten der Zähnezahlen des getriebenen Rades z_B und des treibenden Rades z_A .

$$i = \frac{n_A}{n_B} \quad \text{bzw.} \quad i = \frac{z_B}{z_A} \quad [1]$$

Zähnezahlverhältnis u

Kehrwert des Übersetzungsverhältnisses. (Im Fahrradjargon mißverständlich als Übersetzung bezeichnet.)

$$u = \frac{1}{i} \quad \text{bzw.} \quad u = \frac{z_A}{z_B} \quad [2]$$

Entfaltung e

Pro Kurbelumdrehung zurückgelegte Strecke.

$$e = d \cdot u \quad [3]$$

(d: wirksamer Durchmesser des angetriebenen Laufrades; für ein "28-Zoll"-Rad (32x522) wird im folgenden $d = 680$ mm angenommen.)

Die kleinste mögliche Entfaltung eines Rades e_{\min} ist ein Maß für seine Bergtauglichkeit oder Steigungsfähigkeit.

3 Leser, die im Umgang mit Formeln nicht geübt sind, können diese beruhigt überspringen - sie dienen lediglich einer exakten Definition und verbergen nichts, was nicht auch im Text erläutert wäre.

Entfaltungsschritt Δe

Differenz zweier benachbarter Entfaltungen
(4)

$$\Delta e_i = e_{i+1} - e_i ; (e_{i+1} > e_i) \quad [4]$$

Stufensprung

Verhältnis zweier benachbarter Entfaltungen
bzw. Zähnezahlerhältnisse.

$$\varphi_i = \frac{e_{i+1}}{e_i} ; (e_{i+1} > e_i) \quad \text{bzw.}$$

$$\varphi_i = \frac{u_{i+1}}{u_i} ; (u_{i+1} > u_i) \quad [5]$$

Der Stufensprung gibt das Vielfache an, um das ein Gang "größer" ist als sein Vorgänger. Je kleiner der Stufensprung ist, desto weniger braucht der Fahrer seine Trittfrequenz beim Schaltvorgang zu ändern.

4 Der Index i ist nicht mit dem Übersetzungsverhältnis i zu verwechseln. Er dient lediglich zu Numerierung (von kleinen zu großen Entfaltungen hin).

Übersetzungsbereich m

Verhältnis der größtmöglichen Entfaltung zur kleinsten. Der Übersetzungsbereich oder die Gesamtübersetzung ist ein Kennwert für die Vielseitigkeit einer Schaltung.

$$m = \frac{e_{\max}}{e_{\min}} \quad \text{bzw.} \quad m = \frac{u_{\max}}{u_{\min}} \quad [6]$$

Der Übersetzungsbereich ist gleichbedeutend mit dem Produkt aller Stufensprünge.

$$m = \prod_{i=1}^{n-1} \varphi_i \quad [7]$$

Ein Berechnungsbeispiel für die verwendeten Größen findet sich in Tabelle 1.

3 GRUNDLAGEN EINER SCHALTUNGS AUSLEGUNG

Für die Beurteilung einer Schaltung sind vor allem

1. die Berggängigkeit (e_{\min})
2. die Vielseitigkeit (m) und
3. die Art der Stufung (φ) interessant.

Zähnezahlen	Zähnezahl- verhältnis	Entfaltung (m)	Entfaltungs- schritt (m)	Stufensprung
<u>Kettenblatt</u> $z_A = 46$	-	-	-	-
<u>Zahnkranz</u>				
$z_{B,1} = 24$	$u_1 = 1,92$	$e_1 = 4,09$	$\Delta e_1 = 0,59$	$\varphi_1 = 1,14$
$z_{B,2} = 21$	$u_2 = 2,19$	$e_2 = 4,68$	$\Delta e_2 = 0,78$	$\varphi_2 = 1,17$
$z_{B,3} = 18$	$u_3 = 2,56$	$e_3 = 5,46$	$\Delta e_3 = 0,68$	$\varphi_3 = 1,13$
$z_{B,4} = 16$	$u_4 = 2,88$	$e_4 = 6,14$	$\Delta e_4 = 0,88$	$\varphi_4 = 1,14$
$z_{B,5} = 14$	$u_5 = 3,29$	$e_5 = 7,02$		
<u>Übersetzungsbereich</u> $m = 1,71$ (171 %)				

Tabelle 1

Berechnungsbeispiel: 5-Gang-Schaltung 46/24-21-18-16-14

($d = 680$ mm)

Während die Stufungsarten noch etwas eingehender betrachtet werden müssen, erlauben e_{\min} und m bereits einen ersten Vergleich verschiedener Schaltungen.

Beispiele	kleinste Entfaltg. e_{\min} (m)	Übers.-bereich m (%)
1-Gang 46/20	4,91	100
3-Gang Nabe 46/20	3,61	186
5-Gang 46/24-21-18-16-14	4,09	171
10-Gang 42-52/24-21-18-16-14	3,74	212
10-Gang 36-48/32-26-21-17-14	2,40	305
15-G. 32-42-52/28-24-20-17-14	2,44	325

Es zeigt sich, daß die Anzahl der theoretisch möglichen Gänge weder ein Maß für die Bergtauglichkeit noch für die Vielseitigkeit einer Schaltung darstellen muß. Mit einer Dreigangnabe kann man beispielsweise sowohl eine kleinere Entfaltung als auch einen größeren Übersetzungsbereich gegenüber einer üblichen 5-Gang-Kettenschaltung realisieren. (5). Sogar im Vergleich zur weitverbreiteten 10-Gang-Schaltung 42-52/24-14 liefert die Dreigangnabe noch kleinere Entfaltungen.

Stufungsarten

Je nach Aufbau des hinteren Zahnkranzes lassen sich die meisten Kettenschaltungen einer der folgenden drei Stufungsarten zuordnen:

- A Schaltungen mit geometrisch progressiver Stufung
- B Schaltungen mit geometrischer Stufung
- C Schaltungen mit geometrisch degressiver Stufung

Diese drei Prinzipien werden im folgenden kurz dargestellt und mit typischen Beispielen aus dem Bereich der 10-Gang-Kettenschaltungen erläutert.

Ⓐ Progressive Stufung

Mit steigender Gangzahl wächst der Stufensprung am Zahnkranz an.

$$\psi_{B,i} < \psi_{B,i+1}$$

(8)

5 Konstruktiv bedingte Vor- oder Nachteile werden hier nicht betrachtet.

Die Entfaltungsschritte Δe wachsen damit überproportional. (s. Bild 1) Einen Sonderfall dieser Gruppe bilden die Schaltungen mit arithmetischer Stufung. Bei einer solchen noch häufig anzutreffenden Anordnung ist am hinteren Zahnkranz die Zähnezahldifferenz zweier benachbarter Ritzel konstant.

$$\Delta z_B = \text{const}$$

(9)

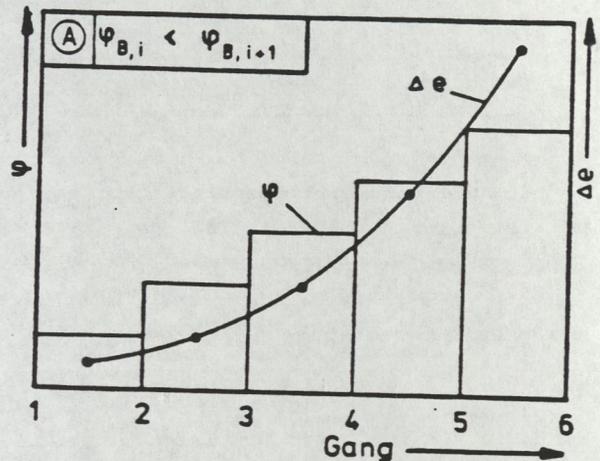


Bild 1 (Prinzipialskizze):

Stufensprünge ψ und Entfaltungsschritte Δe bei geometrisch progressiver Stufung

Beispiel (6)

Zehngangschaltung 42-52/26-23-20-17-14

Stufensprung vorn Stufensprung hinten

$$\psi_A = 1,24$$

$$\psi_{B,1} = 1,13$$

$$\psi_{B,2} = 1,15$$

$$\psi_{B,3} = 1,18$$

$$\psi_{B,4} = 1,21$$

An dem Entfaltungsbild (Bild 4.1A) läßt sich erkennen, daß bei kleinen Entfaltungen sehr kleine Entfaltungsschritte vorliegen und bei den großen Entfaltungen recht große Schritte. Falls die Kette nicht diagonal geführt werden soll, ergeben sich die mit Pfeilen angedeuteten Schaltmöglichkeiten.

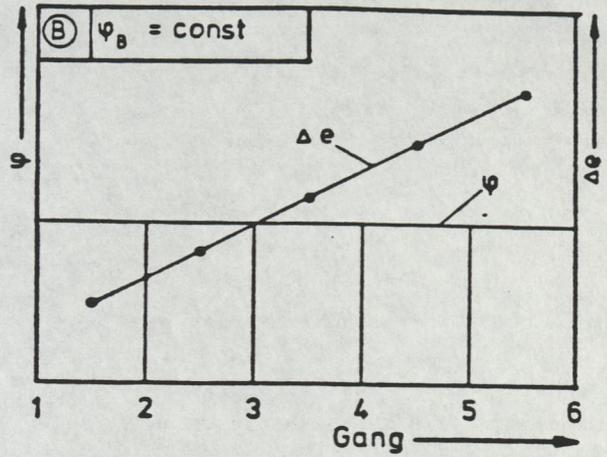
6 Bei allen Beispielen wird von 5-fach-Zahnkranzen ausgegangen. Die dargestellten Prinzipien sind natürlich weder von der Größe der Stufensprünge noch von deren Anzahl abhängig.

ⓑ Geometrische Stufung

Hier wird versucht, den Stufensprung möglichst gleich zu halten, wodurch bei allen Schaltvorgängen gleichbleibende Sprünge in der Trittfrequenz gewährleistet werden.

$$\psi_B = \text{const} \quad \text{bzw.} \quad [10]$$

$$\Delta n_A = \text{const} \quad [11]$$



Die Entfaltungsschritte steigen zwar immer noch mit steigenden Gangzahlen, jedoch weniger stark als zuvor. (s. Bild 2) Damit eröffnen sich aber gleichzeitig eine Vielzahl sinnvoller Kombinationsmöglichkeiten der vorderen Kettenblätter mit einem solchen Zahnkranz. Sie erlauben es, den Übersetzungsbereich zu vergrößern oder die Stufensprünge des Zahnkranzes sinnvoll zu verfeinern.

Bild 2 (Prinzipskizze):
Stufensprünge ψ und Entfaltungsschritte Δe bei geometrischer Stufung

Der Bedienungsaufwand für ein solches System kann allerdings beträchtlich sein - insbesondere, wenn ein Stufensprung der vorderen Kettenblätter relativ groß gewählt wird.

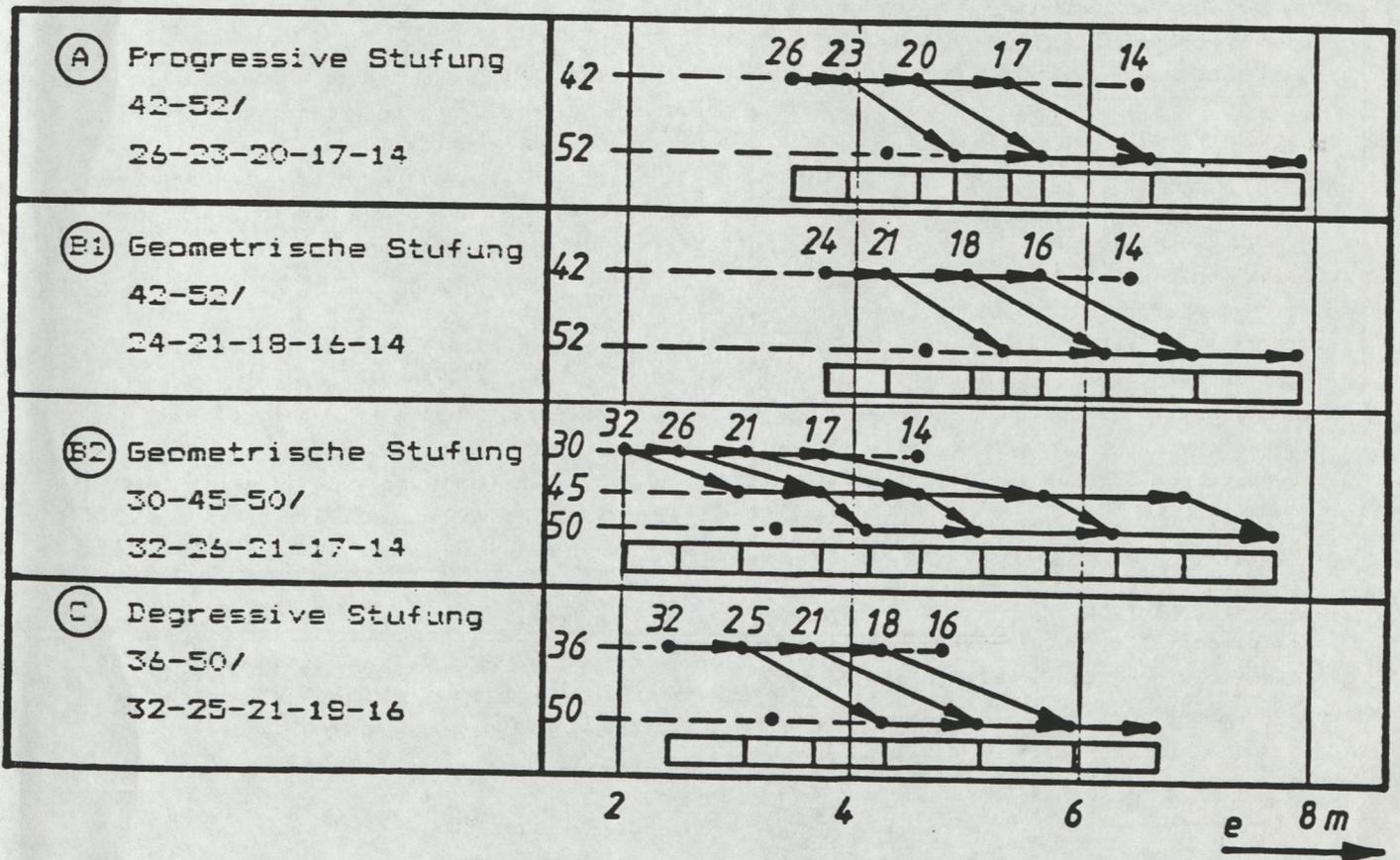


Bild 4:
Entfaltungsbeispiele bei unterschiedlichen Stufungsarten
($d = 680 \text{ mm}$)

Zwei Beispiele zur Demonstration:

1 Die übliche Zehngangschaltung

42-52/24-21-18-16-14

Stufensprung vorn Stufensprung hinten

$\varphi_A = 1.24$ $\varphi_{B,1} = 1.14$
 $\varphi_{B,2} = 1.17$
 $\varphi_{B,3} = 1.13$
 $\varphi_{B,4} = 1.14$

mittlerer Stufensprung hinten: $\varphi_B = 1.14$

Der Stufensprung am Kettenblatt entspricht dabei etwa 1,5 durchschnittlichen Sprüngen am Zahnkranz.

$$\varphi_A \approx \varphi_B^{1,5}$$

Das heißt, durch den Wechsel des vorderen Kettenblattes werden alle Entfaltungen um 1,5 Gänge verschoben (s. Bild 4, B1), und man kann etwa in die Mitte zwischen zwei Entfaltungen schalten.

2 Eine 15-Gang-Schaltung

30-45-50/32-26-21-17-14

Stufensprung vorn Stufensprung hinten

$\varphi_{A,1} = 1.50$ $\varphi_{B,1} = 1.21$
 $\varphi_{A,2} = 1.11$ $\varphi_{B,2} = 1.24$
 $\varphi_{B,3} = 1.24$
 $\varphi_{B,4} = 1.23$

mittlerer Stufensprung hinten: $\varphi_B = 1.23$

Dieses Stufungsprinzip (s. Bild 4, B2) findet man häufig auf dem US-Markt bei hochwertigen Touristkrädern. Hier erlaubt der halbe Stufensprung $\varphi_{A,2}$ eine Verfeinerung der Übersetzungstabelle bei höheren Geschwindigkeiten und der doppelte Sprung untersetzt am Berg um zwei ganze Gänge.

$$\varphi_{A,1} \approx \varphi_B^2 \qquad \varphi_{A,2} \approx \varphi_B^{0,5}$$

© Regressive Stufung

Um das gleiche Ziel zu erreichen, nämlich in der Ebene kleinere Stufensprünge als am Berg zur Verfügung zu haben, verwenden bereits viele Tourenfahrer Schaltungen mit abnehmendem Stufensprung.

$$\varphi_{B,i} > \varphi_{B,i+1}$$

[12]

Damit lassen sich als Sonderfall Äquidistanzen (gleichmäßige Schritte) bei den Entfaltungen annähern. (s. Bild 3)

$$\Delta e = \text{const}$$

[13]

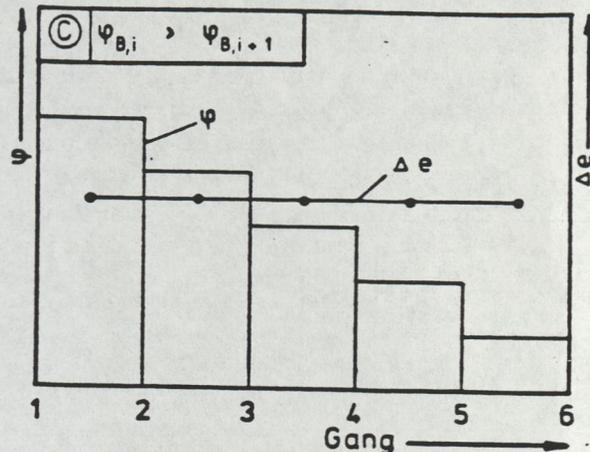


Bild 3 (Prinzipskizze):

Stufensprünge φ und Entfaltungsschritte Δe bei geometrisch degressiver Stufung

Beispiel

Zehngangschaltung

36-50/32-25-21-18-16

Stufensprung vorn Stufensprung hinten

$\varphi_A = 1.39$ $\varphi_{B,1} = 1.28$
 $\varphi_{B,2} = 1.19$
 $\varphi_{B,3} = 1.17$
 $\varphi_{B,4} = 1.13$

Will man hier die Kette nicht diagonal schalten, ergeben sich allerdings praktisch keine Zwischenschritte mehr, und im Entfaltungsbereich von 4 m sind jeweils zwei Schaltvorgänge (vorn und hinten) erforderlich, um eine benachbarte Entfaltung zu erreichen. (s. Bild 4, C)

Bei solchen zur Zeit noch ungewöhnlichen Anordnungen werden erhöhte technische Anforderungen an das Schaltwerk gestellt, das bei einem Schaltvorgang u.U. Zähnezahldifferenzen bis zu 20 (vorn) bzw. 10 (hinten) bewältigen muß. Es muß Gesamtkapazitäten bis zu 40 Zähnen aufweisen.

Zur Beurteilung der Größe von Stufensprüngen sollte man wissen, daß im Rennsport φ_B meist zwischen 1.05 und 1.11 liegt, während der Stufensprung einer Dreigangnabe etwa 1.36 beträgt.

(wird fortgesetzt)

Anschrift des Verfassers:

Manfred Otto, StR

Lehr- und Forschungsgebiet Maschinenelemente
 Eilfschornsteinstr. 18

5100 Aachen

Experimente mit neuen Materialien für Fahrradrahmen

In letzter Zeit werden immer häufiger Versuche unternommen, ein Rennrad leichter zu machen. Die größte Aufmerksamkeit muß dabei dem Rahmen als schwerstem Bauteil gewidmet werden. Es wird daher oft versucht, durch geringere Wanddicken oder Verwendung von Leichtmetall hier Gewicht zu sparen. Die Problematik liegt darin, daß der Rahmen nicht nur leicht, sondern auch verwindungssteif und hoch belastbar sein muß. Maßgebend für eine hohe Steifigkeit bei niedrigem Gewicht ist der spezifische E-Modul (= Steifigkeit bzw. Elastizitätsmodul/Dichte). Ein Blick auf die Tabelle zeigt, daß sich bei Stahl und Aluminium gleiche Werte ergeben.

Werkstoff	spez. E-Modul (km)
Stahl	2700
Aluminium	2700
Titan	2400
GFK	1200
CFK	4000 - 6000
Beryllium	16000

Das bedeutet: Wenn ein Alu-Rahmen bei gleichen Abmessungen leichter ist als ein Stahlrahmen, muß seine Steifigkeit zwangsläufig niedriger sein. Dies gilt auch für Titan und ganz besonders für GFK, da deren spez. E-Modul niedriger ist. Ein in Schweden entwickeltes Rad mit GFK-Rahmen (Marke ITERA), das in unserer Abteilung näher untersucht wurde, zeichnet sich daher nicht nur durch ein hohes Gewicht, sondern auch durch ungenügende Steifigkeit aus. Der ideale Werkstoff scheint auf den ersten Blick Beryllium zu sein.

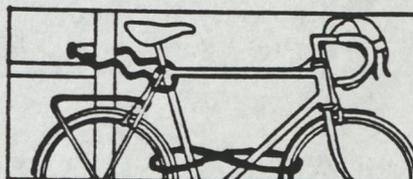
Leider sind aus diesem exotischen Leichtmetall Rohre kaum erhältlich. Darüber hinaus ist zu beachten, daß der bei der Bearbeitung anfallende Metallstaub extrem giftig ist. Praktikabel zur Gewichtseinsparung bei hoher Steifigkeit ist daher nur kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK). Er hat auch den Vorteil, daß seine Festigkeit 50% höher ist als die der bei Rennrahmen üblicherweise verwendeten Stähle.

Als langjähriger Bastler und Radfahrer war es für mich eine technische Herausforderung, einen Rahmen aus diesem Werkstoff zu bauen. Nach aufwendigen Analysen und Berechnungen sowie Vergleichsmessungen an einem ausgedienten Stahlrahmen begann im Herbst 1980 die Arbeit. Am Anfang stand eine "Verfahrensprüfung". Mit Hilfe von Metallrohren erprobte ich die für die Muffen notwendige Fügetechnik, die durch Auflaminieren mit ca. 3 cm breiten Faserbändern ("unidirektionale Gelege") realisiert wurde. Für jede Muffe wurde gemäß der Beanspruchung vorher festgelegt, wo Faserstränge notwendig waren

und deren Lage in eine Zeichnung eingetragen. Die Rohre konnte ich bis auf die Gabelscheiden fertig beziehen. Letztere mußte ich durch Auflaminieren auf zwei Balsaholzkerne selbst herstellen. Besonderes Kopfzerbrechen machte mir der Gabelkopf, der hoch belastet ist und dessen Bruch sofort zu einem kapitalen Sturz führt. Er besteht vollständig aus CFK. Im Sommer 1981 war der Eigenbau fertig. Bis auf die Ausfallenden (Alu) und das Gabelschaftrohr (Titan) bestehen Rahmen und Gabel vollständig aus Kunststoff. Das Rahmengewicht (ohne Steuersatz) beträgt 1000 g, die Gabel wiegt weitere 420 g. Das sind meines Wissens die niedrigsten Werte, die bisher erreicht wurden. Dazu waren allerdings über 100 Arbeitsstunden und für etwa 1000 DM Material notwendig. Dies ließe sich bei Serienfertigung mit Sicherheit deutlich reduzieren.

Ausgerüstet weitgehend mit serienmäßigen Teilen (CLB-Bremsen, Huret-Schaltung usw.) liegt das Gesamtgewicht bei 6,5 kg. Die Fahrerprobung verlief zufriedenstellend. Das niedrige Gewicht ist vor allem am Berg spürbar. Die Steifigkeit des Rahmens ist gerade noch ausreichend, sie ist jedoch niedriger als bei einem herkömmlichen Stahlrahmen. Dies ist auf eine nicht optimale Herstellungstechnik der Rohre zurückzuführen, was bei einem zweiten Versuch leicht geändert werden könnte. Wer sich durch den hohen Preis und den Arbeitsaufwand nicht abschrecken läßt und einen Nachbau wagen möchte, dem stehe ich mit Ratschlägen gerne zur Verfügung.

ROLF LIMPERT



VIERZIG TAGE ZUM NACHDENKEN

Vierzig Tage brauchten die Tuaregs mit den Karawanen von der Nordküste bis zu ihrer Oase Tamanrasset. Das waren vierzig Tage Schweigen, Erzählen, Singen, Hitze, Durst, Laufen, Erfrischung in der kalten Nacht und Warten in der Oase. Seit Jahrhunderten! Als dann das erste Flugzeug in der Oase gelandet war, sagte der Pilot voller Stolz zu den blau verschleierten Männern: "Was ihr in vierzig Tagen mit Mühe schafft, machen wir jetzt an einem Tag." Die Tuaregs fragten nur: "Was macht ihr an den anderen neununddreißig Tagen?" (Aus: Johannes Beck: Kleine Fahrradschule. In: Johannes Beck/Heiner Boehncke (Hg.): Jahrbuch für Lehrer. 4. Reinbek 1979, S. 268 - 276, hier 275.)

Ob der Industrie und dem Gesetzgeber wohl immer klar vor Augen steht, ...

... was ein Radfahrer von seiner elektrischen Anlage erwarten muß?

Problem		Bedingungen
Unterwegs sicher erkannt werden, von hinten und von vorn		Die Erkennbarkeit ist wichtig in jeder Situation: sowohl bei Dunkelheit, als auch bei Nebel oder bei beidem gleichzeitig, im größeren Verkehrsgewühl mit stop and go, bei langsamerer Fahrt ebenso noch, wie im Schiebebetrieb, z. B. bergauf, auch noch für ermüdete und alkoholisierte Kfz-Verkehrsteilnehmer.
Selbst stets Licht haben	im Stand	Erkannt werden beim Warten an Kreuzungen trotz des oft stark blendenden entgegenkommenden Kfz-Verkehrs. Es ist auch unverzichtbar, daß man im Stand finden kann: Straßenschilder, Hausnummern, Türklingeln, Briefkästen mit deren jeweiligen Namensschildern, Schlüssel, Papiere; Uhrzeit ablesen kann etc.
	unterwegs sehen, wo man hinfährt	Fahrbahnzustand: Eisschollen, Glätte, Matsch, Pfützen, Splitt Rechtzeitige Fremdkörpererkennung auf der Fahrbahn: Steine oder Erdklumpen oder große Blätter? Zweige oder Bauholz oder dgl.? Glassplitter?

... wie man am Fahrrad die Stromversorgung in den Griff bekommen kann?

Lösung	Einzelheiten
Akkubatterie mit Ladeanlage als Normalfall	Die obigen Bedingungen lassen sich so viele Jahre lang einwandfrei erfüllen. Gegebenenfalls muß am Fahrradabstellplatz eine Netzsteckdose installiert sein, oder die Anlage muß zum Aufladen (unproblematisch) abnehmbar sein.
Generator („Lichtmaschine“, Dynamo) als Notstromaggregat	Diese Versorgung deckt nur einige Bedingungen während der Fahrt ab, ab einer gewissen Mindestfahrgeschwindigkeit und bis zu einer maximalen Höchstgeschwindigkeit, über die hinaus (Talabfahrt) Lampen durchbrennen können. Ungeeignet an Steigungen und im Schiebebetrieb, meist unbrauchbar bei Glätte, Schnee(matsch), etwas fehlendem Luftdruck etc.

... welche Randbedingungen dabei unbedingt erfüllt werden müssen?

Bedingungen	Einzelheiten
mechanische	Bis ins kleinste Detail muß die Anlage robustesten Kräftebeanspruchungen standhalten können, wie sie auftreten z. B. durch Umstürzen des gesamten Fahrrads, an Bordsteinen, Schlaglöchern, streifenden Zweigen, Gepäckstücken etc., bei Diebstahlversuchen, Rupfbeanspruchungen in engen Fahrradständern, Schulhof-„Scherzen“, Kinderneugier, Fehlbedienung.
umgebungsmäßige	Nässe, Temperaturdifferenzen, Frost, Streusalz etc.
bedienungsmäßige	Der Benutzer hat keinerlei Pannenvorkenntnisse, keine ADAC-Straßenwacht und keine Benzin-Lobby hinter sich, sondern stattdessen zwischen verdreckten Beinen das bockige Fahrrad, ferner verregnete Brillengläser und klamme Finger.

... welche Ausstattung für Fahrradbetrieb ganz und gar ungeeignet ist?

Ungeeignete Ausstattung	Gründe, Beanstandungen, Negativkatalog
Die derzeitige Standard-Ausstattung unserer Fahrräder	Der bislang allein angebotene und vorgeschriebene Dynamo kann (natürlich) nur im Fahrbetrieb funktionieren, und da nur mit erheblichen Einschränkungen. Standlicht ist nicht möglich.
	Die Zuleitungen sind mechanisch viel zu schwach, ihre Enden sind gänzlich unversorgt. Dementsprechend unzuverlässig sind alle Stromwege, abgesehen vom fragwürdigen Rückweg des Stroms über die Lagerkugeln des Lenkers.
	Standardausstattung der Leuchten sind Schraubfassungen in Plastikgehäusen. Zwischen Lampengewinde und Fassung soll die Leitung untergebracht werden. Am Generator hat man stattdessen entweder eine Rändelschraube oder eine Lochklemme.
	Die Leuchten sind mechanisch nicht stabil. Der Lampenwechsel ist mit wenigen Ausnahmen nach wie vor ein Abenteuer.
Schon im Ansatz ungeeignete Prinzipien	Kunststoffe sollen mechanische Kräfte aufnehmen können, ausgerechnet in Größenordnungen, wie sie beim Fahrradbetrieb auftreten, es sei denn extrem zähes Material.
	Jegliche Miniaturisierung elektrischer Bauteile. Sie zerbrechen leicht, lassen sich schlecht montieren, gehen leicht verloren, wo ohnehin häufig ein System gleich in Einzelteile auseinanderfällt, wenn man es öffnet (z. B. zum Lampenwechsel).
	Systeme, die mit anderen Spannungen als 6 V betrieben werden (z. B. digitale Tachometer).
	Leuchten, deren Lampenwechsel länger als Ruck und Zuck dauert.

... an welchem technischen Modell man sich vergleichsweise orientieren sollte?

Kraftfahrzeug-Elektrik	Fahrrad-Elektrik
Die Masse eines Kraftfahrzeugs ist von Natur aus groß. Ferner ist sie stets bestens gefedert. Die einzelnen elektrischen Bauelemente erfahren somit praktisch nie mechanische Stöße. Sie werden in der großen gefederten Fahrzeugmasse aufgefangen.	Die Masse eines Fahrrads ist schon von Natur aus klein, durch die Kaufentscheidung des Fahrers womöglich sogar ganz besonders klein. Auf jeden Fall ist die Fahrradmasse völlig ungefedert. Alle mechanischen Stöße landen völlig ungedämpft an elektrischen Bauelementen.
Die Querschnitte elektrischer Leitungen sind meist dicker bemessen, als es elektrisch erforderlich wäre. Das kommt der mechanischen Festigkeit zugute, obwohl das hier gar kein Thema ist.	Die Querschnitte der elektrischen Leitungen sind so klein, daß sie keinerlei mechanische Beanspruchung aushalten. Bei der Herausnahme eines Fahrrads aus einem vollgepackten Fahrradständer sind die Leitungen schnell abgerissen.
Die Leitungsenden sind ausnahmslos mit solidesten Steckern ausgestattet. Hierfür hat sich eine Spezialindustrie etabliert.	Die Leitungsenden sind grundsätzlich unversorgt. Mit wenigen Ausnahmen sieht eine Fahrrad-Installation daher stets so aus, als ob sie von einem völligen Laien erstellt worden wäre: Spielzeug-Niveau.
Kfz-Lampen haben Bajonettfassungen, nie Schraubfassungen.	Mit wenigen Ausnahmen ist für Fahrradlampen die Schraubfassung das Normale.

Wo liegen deutliche Grenzen?

Wer nachts viel in Ulm, um Ulm oder um Ulm herum mit dem Fahrrad unterwegs ist, hat viel Gelegenheit, über Fahrradelektrik nachzudenken. Das hängt mit dem häufigen Nebel, den zahlreichen Steigungen und dem Mangel an speziellen Fahrradwegen zusammen - bei dem starken Verkehrsaufkommen in diesem Raum schon eine schwierige Situation.

Ich frage mich dabei oft, ob die Hersteller von Fahrrad-Elektrik-Komponenten und die Mitglieder in den Gesetzgeber-Kommissionen wohl selbst Radfahrer sind. Ich kann es mir eigentlich nicht vorstellen.

Physikalisch-technisch läßt sich leicht darüber klar werden, daß dem Generator am Fahrrad wegen der dortigen speziellen Verhältnisse Wirkungsgrade von mehr als etwa 20 bis 30 % nicht vergönnt sein können. Das bedeutet, daß von den etwa 40 Watt, die ein Radfahrer im Dauerbetrieb in die Pedale bringt, schon etwa ein Viertel bis Hälfte ins Licht geht, der Fortbewegung also entzogen wird.

Die bestehende Konzeption ist daher für mich eine unbegreifliche Sackgasse. Angesichts eines Marktes von Millionen Stückzahlen völlig unfaßbar: in einem Zeitalter, wo fast täglich auf anderen Gebieten technische Brillianz präsentiert wird.

Eine Beleuchtung mit Fahrrad?

Angeboten und verkauft werden im Fahrradfachhandel Tretlager, Pedale und Bremsen zu Preisen von 250 DM und darüber. Sollte jemand eine wirklich funktionstüchtige elektrische Anlage benötigen, und sie wird ihm für - sagen wie - etwa 100 DM angeboten, so wird sie ihm dann wohl auch so viel wert sein. Er kann dann auch eine Qualität für jahrelange Haltbarkeit erwarten.

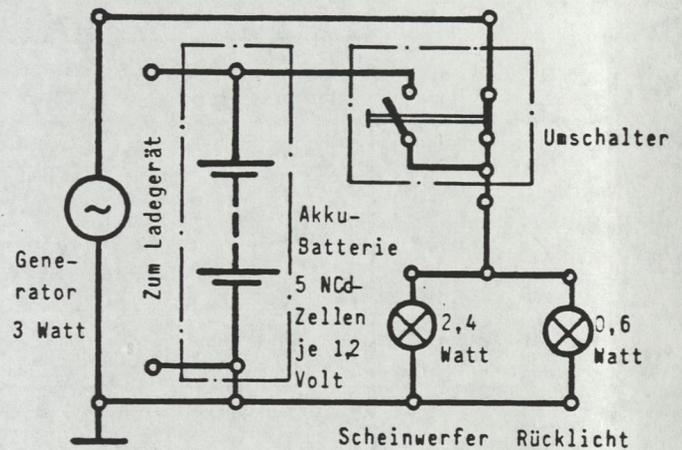
Meine eigene Anlage

Ich selbst betreibe seit über drei Jahren eine Akkuanlage. Sie ist in einem stabilen Plastikgehäuse am Lenker untergebracht. Es enthält gleichzeitig auch den Umschalter für den Notstrom-generator-Betrieb, falls die Akkus mal leer sein sollten. Ich bin von maximal 1 Stunde Fahrzeit ausgegangen. Längere Betriebszeiten sind kein Problem.

Vom großen Kfz-Vorbild her habe ich mich natürlich für Steckertechnik entschieden. Alles ist sorgfältig verschraubt und damit bei Reparaturen oder Erweiterung auch wieder lösbar.

Die Anlage wird in PRO VELO Heft 6 ausführlich beschrieben, zusammen mit Abbildungen, Stückliste, Bezugsquellen und Preisen, sowie Montagehinweisen.

Das nachstehende Bild zeigt eine Grundausstattung der Anlage. Ich persönlich habe sie etwas erweitert um Überwachungs-Einrichtungen, Uhr, Kompaß und einiges andere.



6 Volt-Fahrrad-Beleuchtungs-Anlage, umschaltbar von Akku auf Generator

Einzelerfahrungen

Mein erster Halogen-Scheinwerfer (von Union) mußte komplett ersetzt werden, wenn die Lampe durchbrannte. Damit das allerdings nicht passierte, war die Lampe mit sogenannten Z(ener)-Dioden geschützt. Das war gut. Sie schützten nämlich auch die Rücklichtlampe automatisch mit.

Bald wurde der Scheinwerfer ersetzt durch einen mit auswechselbarer Lampe. Die Z-Dioden fehlten jetzt allerdings. Das war schlecht.

Union argumentierte seinerzeit, sie hätten die Dioden jetzt mit dem Generator integriert. (Man müsse sich jetzt halt einen neuen Generator kaufen, wenn man Überspannungsschutz bei zu hoher Fahrgeschwindigkeit wollte.)

Mittlerweile liefert auch iku einen Halogenscheinwerfer mit auswechsel-

barer Halogenlampe (vorrätig beim Fahrradhändler und sogar - oh Wunder! - mit Bajonettfassung).

Ich möchte allerdings gern einmal dabei sein, wenn der Hersteller unterwegs an diesem Scheinwerfer die Lampe auswechselt und ihm dabei zunächst dieses und jenes auf den Boden fällt und er so ein Scheinwerfergehäuse nachher wieder auf offener Szene verschließen will.

Dabei dürfte die innere Leitungsführung im Weg sein. Wie einfach ist der Bajonettlampenwechsel am Kraftfahrzeug!

Immerhin: laut Fahrradhändler ist auch der iku-Scheinwerfer Z-Dioden-geschützt!

Eine erfreuliche Entwicklung weist die neue Rückleuchte von ULO vor: Art.-Nr. 237. Abgesehen von Verbesserungen in den Lichtdaten (bei gleicher Lampe wie vorher: 0,6 W) besticht diese Schlußleuchte durch

- einen Schraubanschluß für die Leitung,
- zusätzlich durch einen Klemmanschluß im Gehäuse innen,
- die Geschwindigkeit, mit der man im Gehäuse-Innern angekommen ist und die Lampe wechseln kann (leider noch eine Schraublampe),
- eine vorsorglich in der Rückleuchte mitgelieferte Ersatzlampe,
- und Verbesserungen am Reflektor, für den jetzt zwei Jahre garantiert wird!

Man möchte freudig ausrufen:
„Die Leute von ULO haben's geblickt.“

(Was ich übrigens gegen Schraubfassungen habe, hängt mit einer Narbe am rechten Daumen zusammen: die typische Schraubfassungsnarbe. Wenn man mit rechter Manneskraft eine festkorrodierte Schraublampe aufdreht, kann sie leicht zerbrechen. Einen Splitter trug ich davon 1 1/2 Jahre mit mir herum, bis ich mich zur 1 1/2 stündigen Operation unterm Röntgen-Monitor durchrang.)

Das Materialproblem

Die Bauelemente, die über die Leuchten hinausgehen, erhält man leider nie in Fahrrad-Fachgeschäften. Sie gehören zu Waren von Elektronikshops oder des Kfz-Zubehörhandels. Vielfach sind sie nicht am Ort erhältlich. In Katalogen sehen sie mitunter anders aus, als man sie sich vorstellt. Man zahlt so oft viel Lehrgeld, bis man eine Anlage beisammen hat, wie man sie eigentlich haben wollte.

Es wäre zu hoffen, daß der Fachhandel sich allmählich auch mehr um die Fahrradelektrik kümmert.

Zusammenfassung

Die Fahrrad-Elektrik muß aus dem Zustand der Vorläufigkeit und der Fahrerschwernis entlassen und in eine solide Ausstattung überführt werden.

Hierzu bietet sich an:

- Stromversorgung durch Akkus (6 V) einschließlich Ladegerät; Generatoren zusätzlich, aber nur als Notbehelf,
- alle Leuchten sind mit Bajonettsockel für die Lampen ausgestattet und sind ohne Werkzeug leicht zu öffnen und wieder zu verschließen,
- alle Geräte haben Steckkontakte, die Rückleitung hat ebenfalls einen eigenen elektrischen Anschluß,
- der Querschnitt der Zuleitungen sollte 0,5 mm² nicht unterschreiten,
- der Vertrieb der elektrischen Fahrradausrüstung liegt in den Händen des Fahrradfachhandels.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Horst Krämer, Goerdelerweg 16
7900 Ulm-Böfingen, Telefon: 0731-26 66 06

Der Verfasser lehrt Elektrotechnik an der
Fachhochschule Ulm, P.-F. 3860, 7900 Ulm

Messung von Rollwiderstand und Luftwiderstand bei Fahrrädern

Mit einer von Herrn Prof. Dr. G. Fieblinger an anderer Stelle vorgestellten Methode wurden der Rollwiderstand und der Luftwiderstand folgender Fahrräder gemessen:

- Heidemann Fürstenkrone Leichtlauf,
Damenrahmen mit Continental Nylon S, 37-622 Reifen
- Alex Moulton AM 7
mit Wolber 32-369 Reifen
- Randonneur
mit Vredestein Vederlicht S 28-622 Reifen
- Koga Miyata Fullpro
mit Wolber Competition Schlauchreifen

Alle Räder, außer dem Rennrad, waren mit Schutzblechen und Beleuchtung versehen.

Ich werde die einzelnen Meßwerte nicht anführen, sondern die Mittelwerte aus mindestens 32 Meßfahrten. Es zeigte sich, daß die ermittelten Werte für C_R und $C_{W.A}$ sehr gut reproduzierbar sind, die Meßfehler liegen unter 5 %. Allerdings sind die von mir ermittelten Werte nicht mit denen anderer Messungen mit derselben Methode zu vergleichen. Der Bodenbelag (Kunststoff) beeinflußt die C_R -Werte, die Haltung auf dem Rad und die Kleidung den $C_{W.A}$ -Wert, damit sind die Werte für jede Meßstrecke und jeden Fahrer verschieden.

Dies ist bei den mitgeteilten Meßwerten zu beachten.

Meßergebnisse:

Fürstenkrone:	Reifendruck 3,5 bar, Gesamtmasse 89 kg, Haltung: aufrecht
$C_R=0,00423$	$C_{W.A}=0,622$
Alex Moulton AM 7:	Reifendruck 5 bar, Gesamtmasse 84 kg, Haltung: Hände auf den Bremsgriffen des Rennlenkers
$C_R=0,00365$	$C_{W.A}=0,549$
Alex Moulton AM 7:	Reifendruck 6 bar, Gesamtmasse 84 kg, Haltung: dto
$C_R=0,00342$	$C_{W.A}=0,549$
Randonneur:	Reifendruck 5,5 bar, Gesamtmasse 85 kg, Haltung: dto
$C_R=0,00289$	$C_{W.A}=0,560$
Koga Miyata-Fullpro:	Reifendruck 7 bar, Gesamtmasse 81 kg, Haltung: dto
$C_R=0,00308$	$C_{W.A}=0,510$

Leistungsbedarf:

Der Leistungsbedarf eines Radfahrers auf ebener Strecke, ohne Gegenwind und bei gleichbleibender Geschwindigkeit ist gegeben durch:

$$W \text{ (Watt)} = K_1 \cdot v \text{ (m/sec)} + K_2 \cdot v^3 \quad (\text{Whitt F.R. und D.G. Wilson, Bicycling Science, Cambridge, 1982, S.157})$$

Dabei ist

$$K_1 = \text{Gesamtmasse} \times \text{mechanischer Wirkungsgrad} \times \text{Erdbeschleunigung} \times \text{Rollwiderstand} \\ = m \cdot g \cdot C_R \cdot 1/\eta$$

$$K_2 = 0,5 \times \text{mechanischer Wirkungsgrad} \times \text{Luftmasse} \times \text{Luftwiderstand} \\ = 0,5 \cdot \rho \cdot C_W \cdot A \cdot 1/\eta$$

$$\eta = 0,95, \quad g = 9,81 \text{ m/sec}^2, \quad \rho = 1,20 \text{ kg/m}^3.$$

Bei 3 m/sec = 10,8 km/h ergibt sich damit folgender Leistungsbedarf:

Fürstenkrone	$3,885 \cdot 3 + 0,393 \cdot 27 = 11,7 + 10,6 = 22,3$	136 %
AM 7 5 bar	$3,164 \cdot 3 + 0,347 \cdot 27 = 9,5 + 9,4 = 18,9$	115 %
AM 7 6 bar	$2,965 \cdot 3 + 0,347 \cdot 27 = 8,9 + 9,4 = 18,3$	112 %
Randonneur	$2,535 \cdot 3 + 0,354 \cdot 27 = 7,6 + 9,6 = 17,2$	105 %
Koga Miyata	$2,575 \cdot 3 + 0,322 \cdot 27 = 7,7 + 8,7 = 16,4$	100 %

und bei 7 m/sec = 25,2 km/h:

Fürstenkrone	$3,885 \cdot 7 + 0,393 \cdot 343 = 27,2 + 134,8 = 162,0$	126 %
AM 7 5 bar	$3,164 \cdot 7 + 0,347 \cdot 343 = 22,1 + 117,3 = 139,4$	109 %
AM 7 6 bar	$2,965 \cdot 7 + 0,347 \cdot 343 = 20,8 + 117,3 = 138,1$	108 %
Randonneur	$2,535 \cdot 7 + 0,354 \cdot 343 = 17,7 + 121,4 = 139,1$	108 %
Koga Miyata	$2,575 \cdot 7 + 0,322 \cdot 343 = 18,0 + 110,4 = 128,4$	100 %

Diskussion:

Während bei niedrigem Tempo der Rollwiderstand der Reifen etwa dem Luftwiderstand gleich ist, ist bei höherem Tempo der Luftwiderstand überwiegend für den Leistungsbedarf.

25 km/h ist ein Tempo, das auf ebener Strecke, bei Windstille relativ leicht zu erreichen ist. Es ergibt sich, daß der Fahrer dafür mindestens ca. 140 Watt aufwenden muß, dabei ist die Sitzhaltung entscheidend. Wird der Rennlenker unten gefaßt, verringert sich der Luftwiderstand um ca. 10 - 15 %.

Der Schlauchreifen auf dem Rennrad hat nicht den geringsten Rollwiderstand, die geringere Leistung, die mit dem Rennrad erbracht werden muß, beruht auf dem geringeren Luftwiderstand, dieses Rad war ohne Beleuchtung und Schutzbleche. Für die kleine Radgröße ist der Rollwiderstand des Alex Moulton sehr niedrig, es erscheint subjektiv besonders leichtgängig, die kleineren Räder mit ihrer geringeren Masse lassen sich leichter beschleunigen und auch die Federung macht sich besonders auf schlechteren Wegstrecken positiv bemerkbar.

Da die Messungen im Auslaufen durchgeführt wurden, gehen weder Verluste im Antrieb noch durch Rahmenverwindungen ein. Der Leistungsbedarf ist daher als unterer Wert der beim Fahren erbrachten Leistung zu betrachten.

Prof. Dr. Helmut Gebelein, Universität Giessen

DER WIRKUNGSGRAD IM FAHRRADANTRIEB

Beim Fahrrad errechnet sich die Fahrleistung wie bei den Kraftfahrzeugen aus dem Fahrwiderstand und der Geschwindigkeit $P_F = W \times v$ (Nm/s = Watt). Die Antriebsleistung für den Fahrer beträgt dann $P_A = P_F \times \frac{1}{\eta}$ (W).

Welche enormen Mittel beim Kraftfahrzeug aufgewendet werden, den Leistungsbedarf zu senken, ist bekannt. Den Begriff "Energiesparen" lesen oder hören wir täglich. Warum soll also nicht auch beim Radfahren Energie gespart werden? Durch einen geringeren Leistungsbedarf können Einsatzvielfalt und Nutzungsgrenzen beträchtlich erweitert werden.

Die Antriebsleistung kann in erster Linie dadurch gesenkt werden, daß die Fahrleistung, d.h., der Fahrwiderstand verkleinert wird. Der Fahrwiderstand ist die Summe von Rollwiderstand, Luftwiderstand und Steigungswiderstand. Am Steigungswiderstand läßt sich nichts ändern. Der Luftwiderstand wurde durch stromlinienförmige Rohr- und Teilequerschnitte sowie durch windschlüpfige Kleidung zu verkleinern versucht. Spürbar konnte der Rollwiderstand durch verbesserte Bereifung verringert werden. Übrig bleibt der Wirkungsgrad im Antriebsmechanismus, über den in diesem Artikel berichtet werden soll.

Zuverlässige Aussagen über den Wirkungsgrad können aber nur gemacht werden, wenn Meßwerte vorliegen. Die erste Aufgabe war deshalb der Bau einer geeigneten Meßeinrichtung.

Aufbau der Meßeinrichtung

Hierzu war zunächst die Abgrenzung des zu ermittelnden Wirkungsgrades notwendig. Er sollte die $\eta = \eta_K \times \eta_N$ -Verluste in "Antrieb", d.h. in der Kette und in der Nabe, $\eta = \eta_K \times \eta_N$ enthalten. Diese Kombination wurde gewählt, weil Nabe und Kette über den Nabenzahnkranz eine Einheit bilden und eine getrennte Messung deshalb für nicht sinnvoll gehalten wird. Ein Vergleich zwischen Naben- und Kettenschaltung wäre zum Beispiel bei getrennter Darstellung sehr kompliziert.

Den Aufbau des Meßstandes zeigt die Schemaskizze Bild 1.

Der Antrieb erfolgt mittels eines regelbaren Gleichstrommotors über die Antriebswelle direkt auf das auswechselbare Kettenblatt. Mit einer Drehmomentmeßnabe auf der Antriebswelle und einem angeschlossenen Drehzahlmesser wird das Antriebsmoment M_A (Nm) und die Antriebsdrehzahl n_A (min^{-1}) direkt gemessen.

Der Fahrwiderstand am Hinterrad wird durch den Rollwiderstand zwischen Bereifung und Laufrollen und eine Art Felgenbremse erzeugt. Da das Hinterrad in einer separat gelagerten Schwinge aufgenommen wird und die Laufrollen und Bremsvorrichtung auf einem fast reibungsfrei gelagerten Pendel sitzen, kann der Fahrwiderstand W_F am Pendel durch eine Meßdose gemessen werden. Der vertikal verschiebbare Laufrollensitz und die horizontal verschiebbare Hinterradschwinge werden dabei so eingestellt, daß die Nabenachse genau mit der Lagerung der Schwinge fluchtet. Das Fahrwiderstandsmoment ergibt sich dann zu $M_F = W_F \times a$ (Nm), wobei a der senkrechte Abstand zwischen Pendellagerung und Meßdose ist.

Die Achslast kann durch eine entsprechende Einrichtung zwischen Wippe und Meßständer aufgebracht und variiert werden.

Der Fahrwiderstand W_F (N), das Antriebsmoment M_A (Nm) und die Antriebsdrehzahl n_A (min^{-1}) werden gemessen; a (m), die Übersetzung i_K Kette und i_N Nabe sind Meßstand- bzw. Meßobjekt Daten.

Der Wirkungsgrad errechnet sich mit diesen Werten zu :

$$\eta = \frac{M_F}{M_A \times i_K \times i_N} = \frac{W_F \times a}{M_A \times i_K \times i_N}$$

und die dazugehörige Antriebsleistung zu :

$$P_A = M_A \times n_A \times \frac{\pi}{30} \text{ (W)}$$

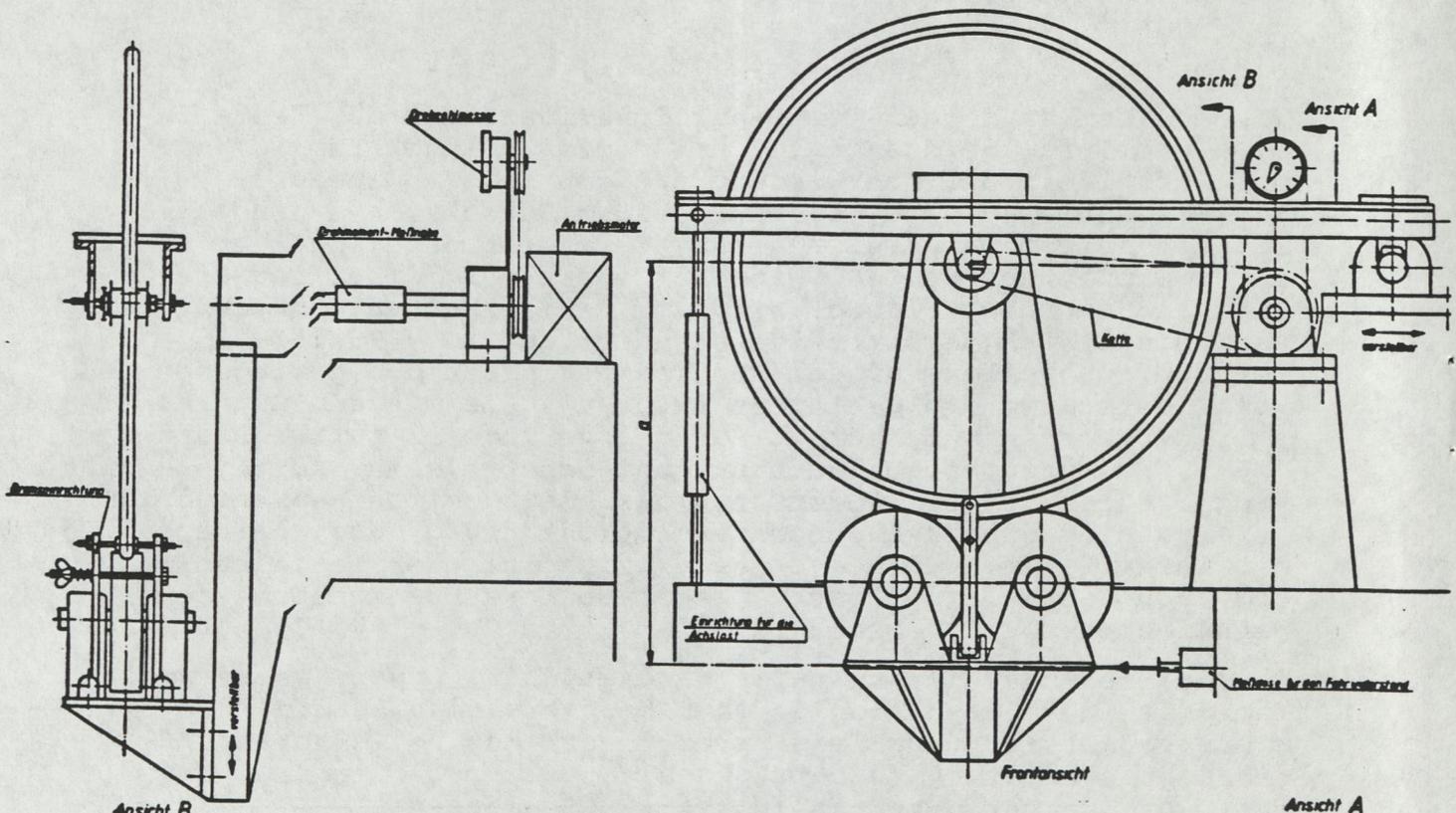


Bild 1 Meßstand. Dargestellt: Gesamtansicht, Antriebs teil (Ansicht A), Belastungsteil (Ansicht B)

Wie erwähnt, soll der ermittelte Wirkungsgrad die Reibungsverluste des Antriebs in der Kette und in der Nabe umfassen. Wie die Schemaskizze zeigt, erfolgt die Messung des Antriebsmomentes jedoch vor den Lager zwischen Meßnabe und Kettenblatt. Das heißt, die Lagerreibung ist in den ermittelten Wirkungsgrad mit enthalten und entspricht eigentlich einer Art Tretlagerverlust. Das groß dimensionierte Präzisionslager der Antriebswelle hat jedoch nur eine sehr geringe Reibung und kann deshalb nicht ein belastetes Tretlager darstellen. Der dadurch konstant vorhandene Meßfehler ist aber so gering, daß er den Gebrauchswert der Messungen nicht mindert. Zur Ermittlung der Tretlagerverluste müßten separate Messungen durchgeführt werden.

Meßprogramm

Folgende Naben/Ketten-Kombinationen wurden gemessen:

1. Freilaufnaben mit Rücktrittbremse, kombiniert mit 1/2 x 1/8"-Kette

Antriebsdrehzahl $n_A = 50 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ und Achslast $Q = 600 \text{ (N)}$ konstant.

1.1 Eingangsnaben

- Typ A
- Typ B

1.2 Dreigangsnaben

- Typ C
im Normal-, Berg- und Schnellgang
- Typ D
im Normal-, Berg- und Schnellgang

2. Freilaufnaben mit 6-fach-Zahnkranz, kombiniert mit Ketten-schaltung SACHS-Commander und Kette 1/2 x 3/32"

$n_A = 50 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ und $Q = 600 \text{ (N)}$ konstant.

2.1 Eingangsnabe
- SACHS Galaxie, Typ T 6300

2.2 Zweigangsnabe
- SACHS Orbit, Typ H 12100
im Normal- und Berggang

Die Messung erfolgte auf den mittleren beiden Zahnkränzen 17 und 19, sowie auf den äußeren Zahnkränzen 13 und 24, um auch den Einfluß der schräg nach außen und innen verlaufenden Kette flucht erkennen zu können.

3. Vergleich von Kette- und Kardan-Antrieb, kombiniert mit der Dreigangsnabe Typ C

$n_A = 50 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ und $Q = 600 \text{ (N)}$ konstant.

4. Einfluß der Größe der Kettenumlenkung bei Kettenschaltungen

$n_A = 50 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ und $Q = 600 \text{ (N)}$ konstant.

- SACHS-Orbit im Normalgang mit SACHS-Commander und 1/2 x 3/32"-Kette bei normaler (108 Glieder), langer (112 Glieder) und kurzer (104 Glieder) Kettenlänge.

5. Einfluß der Pedaldrehzahl bzw. Fahrgeschwindigkeit Antriebsleistung $P_A = 200 \text{ (W)}$ und Achslast $Q = 600 \text{ (N)}$ konstant.

- Sachs-Orbit im Normalgang mit SACHS-Commander und 1/2 x 3/32"-Kette.

6. Einfluß der Achslast

$P_A = 200 \text{ (W)}$ und $n_A = 50 \text{ (min}^{-1}\text{)}$ konstant.

- Kombination wie 5.

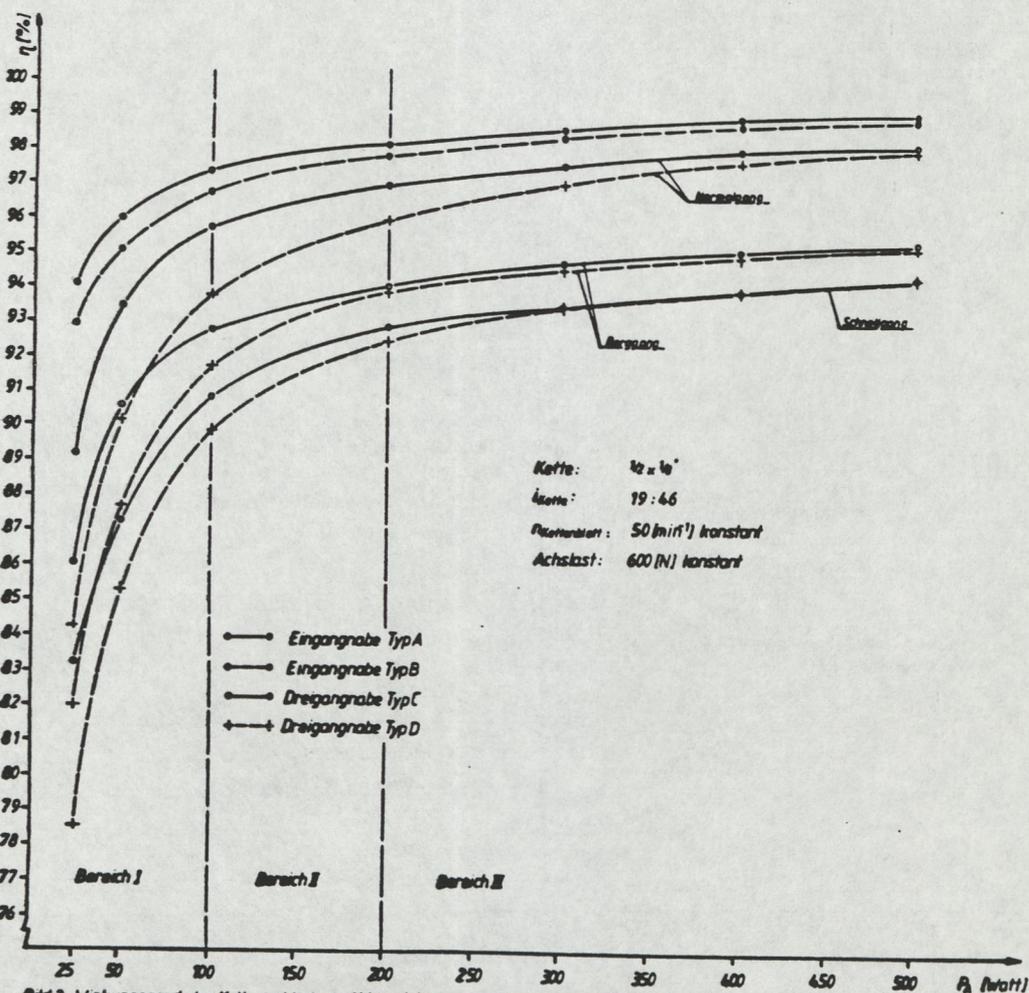
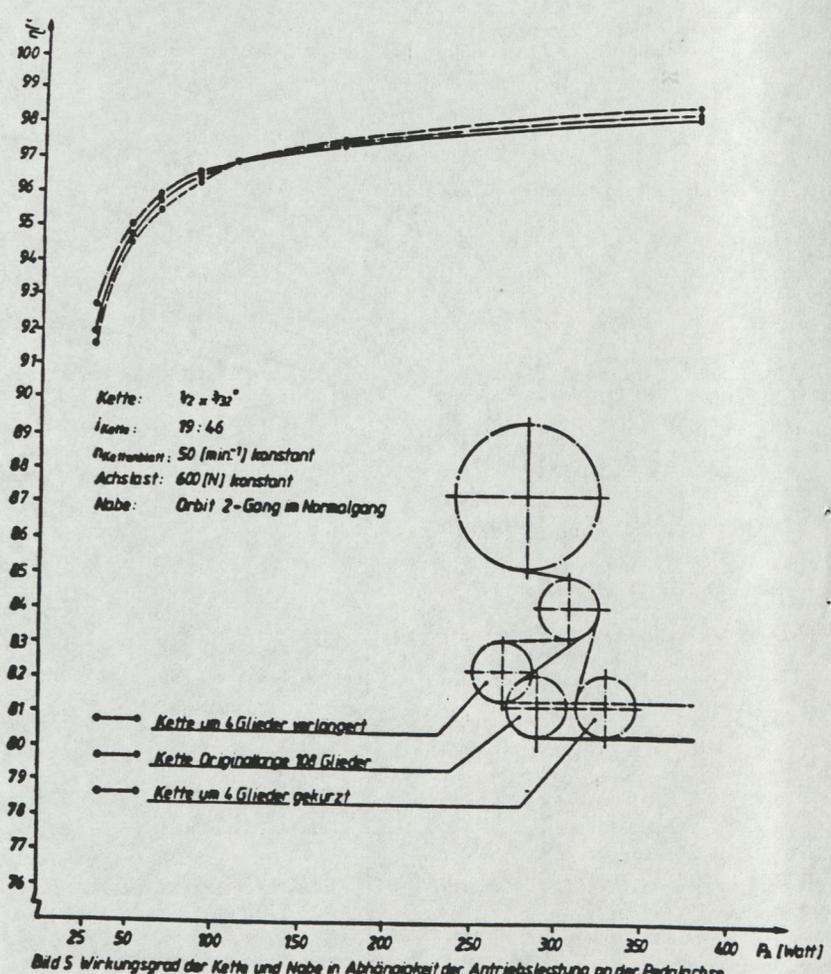
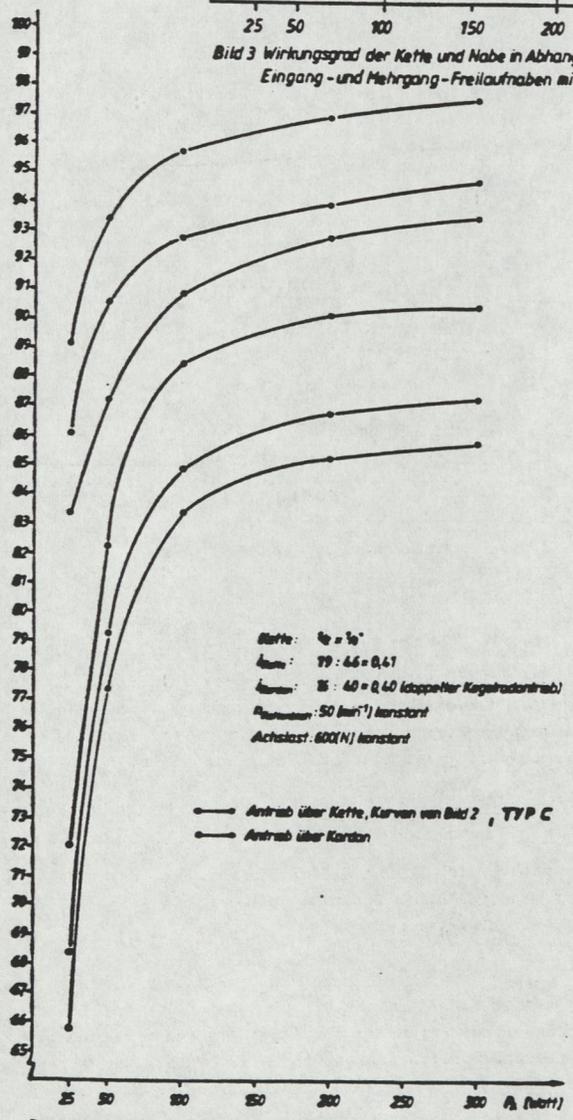
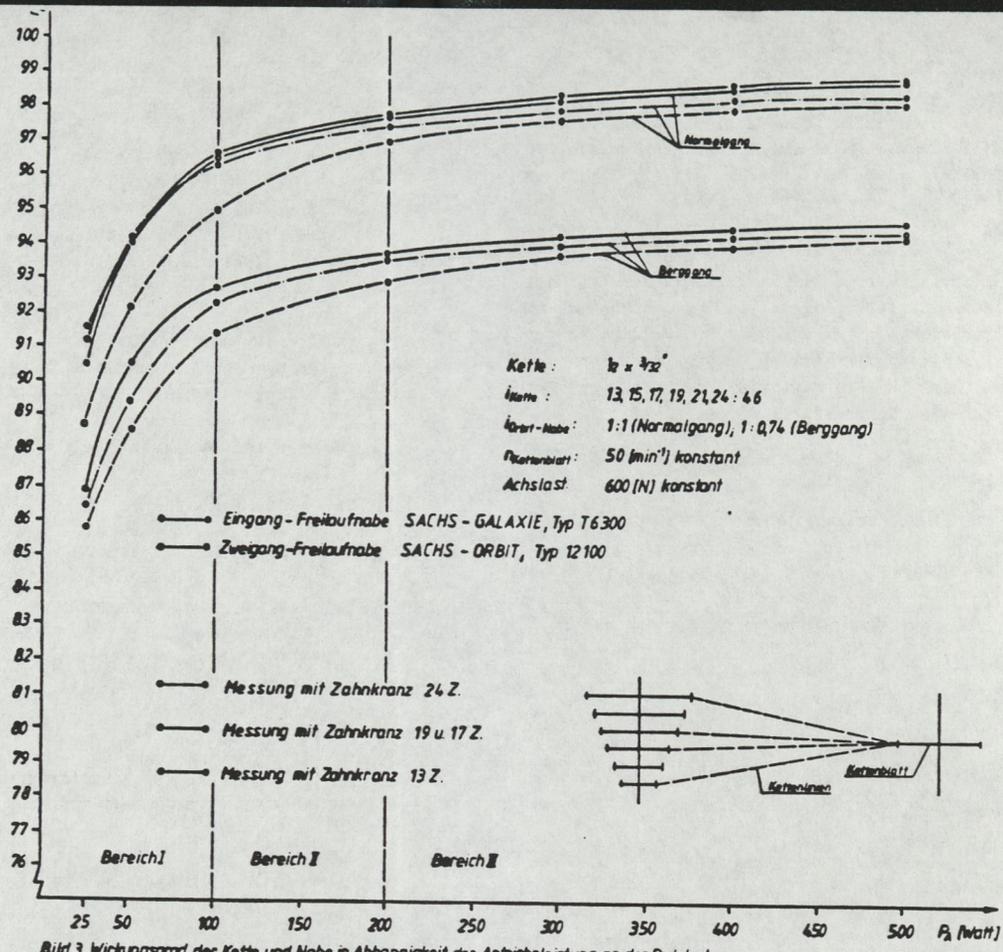


Bild 2 Wirkungsgrad der Kette und Nabe in Abhängigkeit der Antriebsleistung an der Pedalachse Eingang- und Mehrgang-Freilaufnaben mit Rücktrittbremse



Meßergebnisse

Als Diagramme sind in Bild 2 bis 7 die ermittelten Wirkungsgrade in Abhängigkeit der jeweiligen Variablen (Antriebsleistung P_A , Antriebsdrehzahl n_A und Achslast Q) dargestellt.

Zur Betrachtung und Auswertung der Diagramme ist es jedoch wichtig, eine Vorstellung über den Leistungsbereich des Radfahrers zu haben. Nach den Angaben und dem Leistungsschaubild von Prof. Dr.-Ing. P. Schöndorf aus "Radmarkt" Nr. 9/82 fahren über 90 % der Radfahrer mit einer Geschwindigkeit zwischen 9 bis 27 km/h in einem Leistungsbereich von ca. 25 bis 200 Watt. Dies ist auch die Leistung, mit der noch eine Steigung von 5 % mit ca. 13 km/h gefahren werden kann. Nach diesen Angaben erscheint es zweckmäßig, die Radfahrer auf drei Leistungsbereiche aufzuteilen (Bild 8):

Bereich I 25 - 100 Watt entspricht bei 95 kg Fahrergewicht einer Geschwindigkeit bis zu ca. 20 km/h auf der Ebene und ca. 6,5 km/h bei 5 % Steigung

Bereich II 100 - 200 Watt entspricht einer Geschwindigkeit bis ca. 27 km/h auf der Ebene und ca. 13 km/h bei 5 % Steigung

Bereich III über 200 Watt für sportliche und gut trainierte Fahrer.

Aus den Diagrammen lassen sich einige interessante Erkenntnisse ableiten:

- Bei RÜCKTRITTBREMSNABEN ergab sich ein sehr guter Wirkungsgrad (Typ A und B, Bild 2), d.h., daß die Friktionsreibung der Rücktrittbrensnaben vernachlässigbar bzw. unwesentlich ist.
- Bei DREIGANGNABEN zeigten sich deutliche Wirkungsgradunterschiede bei zwei verschiedenen Markenfabrikaten. Bei dem Typ D werden in allen drei Gängen im Leistungsbereich I ca. 5 bis 1 Prozentpunkte und im Leistungsbereich II ca. 2 bis 0,5 Prozentpunkte weniger ermittelt (Bild 2).
- Bei FREILAUFNABEN bzw. FREE WHEEL zeigte sich (Bild 3), daß die schräg nach außen und innen verlaufende Kettenflucht den Wirkungsgrad besonders im unteren Leistungsbereich negativ beeinflussen kann. Dabei hat der kleinere Zahnkranzdurchmesser eine stärkere Auswirkung als der größere.
- Bei FREILAUF-GETRIEBNABEN ergab sich zwischen Normal- und Berggang ein Unterschied von etwa 4 Prozentpunkten (Bild 3).
- Bei KARDAN-ANTRIEBEN zeigte sich gegenüber Kettenantrieben eine deutliche Wirkungsgradverschlechterung (Bild 4). (Die Messungen wurden in Kombination mit der Dreigangnabe Typ C durchgeführt.)
- Bei KETTENSCHALTUNGEN wurde festgestellt,
 - daß eine größere Umlenkung der Kette an der Führungs- und Spannrolle praktisch keinen Einfluß auf den Wirkungsgrad hat (Bild 5) und
 - daß eine Änderung der Kettengeschwindigkeit und der Achslast den Wirkungsgrad nur geringfügig beeinflusst (Bild 6 und 7).
- DREIGANGNABEN und KETTENSCHALTUNG unterscheiden sich im Leistungsbereich II entsprechend der Kurven Bild 2 und 3 (vergleichbar sind Dreigangnabe Typ C zur Freilaufnabe Orbit im Normalgang mit 6-Gang-Kettenschaltung) im kleinsten Gang um ca. 3,5, im mittleren weniger als 1 und im schnellsten Gang um ca. 4 Prozentpunkte. D.h., daß die Auslenkung der Kette nach innen zum größten Zahnkranz (kleinster Gang) und nach außen zum kleinsten Zahnkranz (größter Gang) den Wirkungsgrad nicht so sehr vermindert, wie die Getriebeübersetzungen der Dreigangnabe.

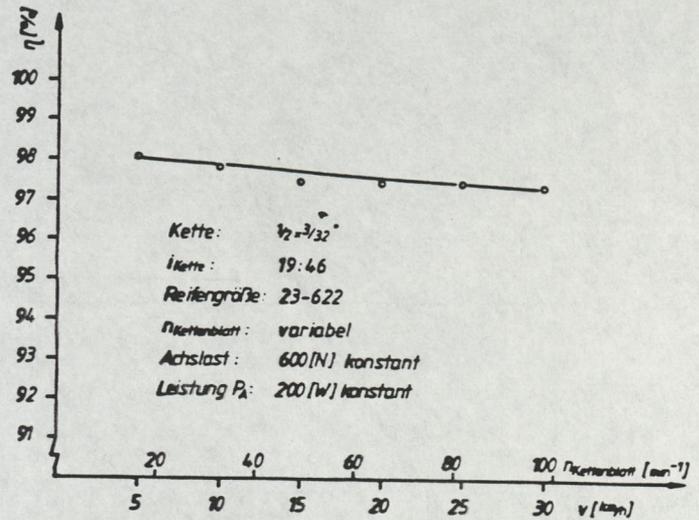


Bild 6 Wirkungsgrad der Kette und der Nabe in Abhängigkeit der Pedaldrehzahl bzw. der Fahrgeschwindigkeit mit der Orbit-Zweigangnabe im Normalgang

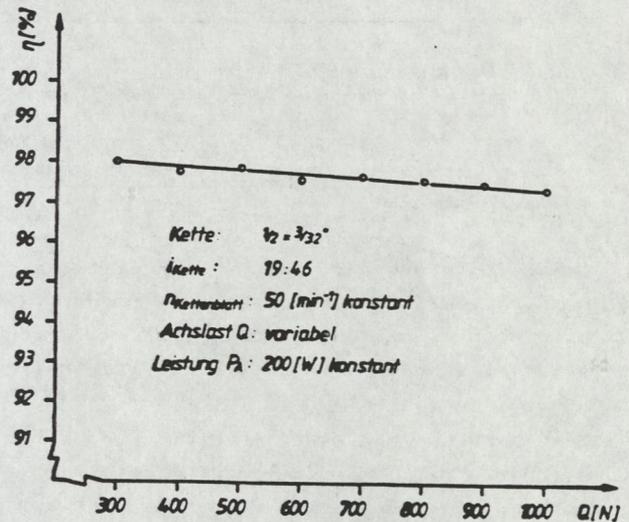
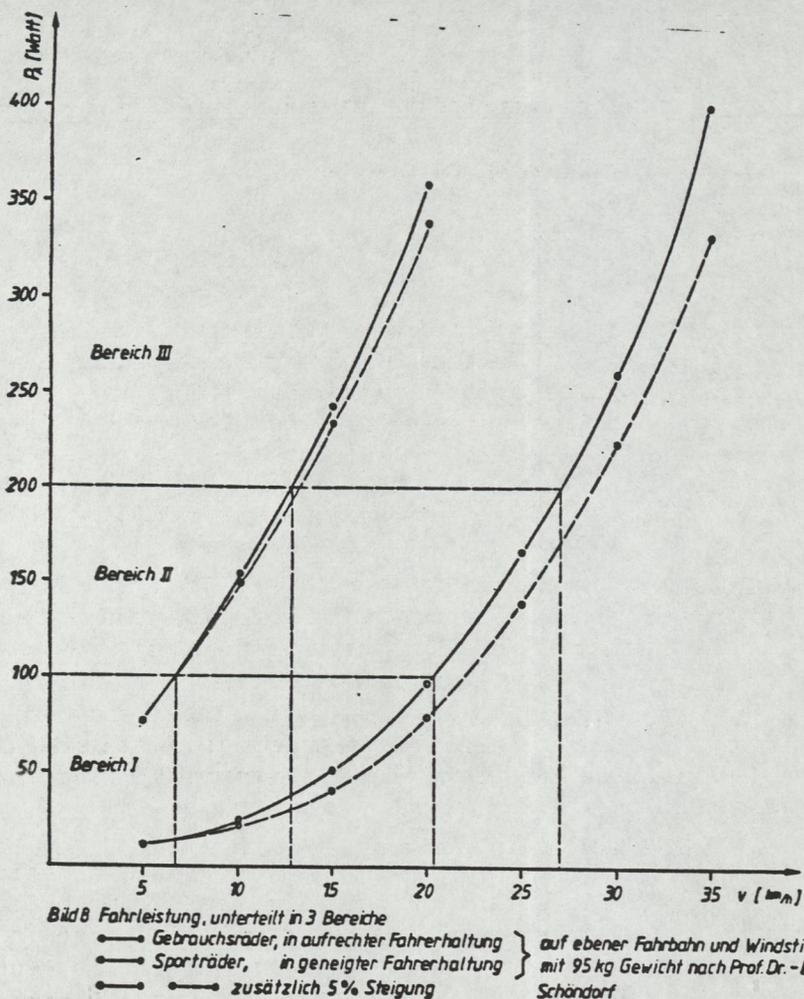


Bild 7 Wirkungsgrad der Kette und der Nabe in Abhängigkeit der Achslast mit der Orbit-Zweigangnabe im Normalgang

Die Behauptung, daß die Nabenschaltung mit der Kettenschaltung wegen eines zu schlechten Wirkungsgrades nicht konkurrieren könne, ist diesen Meßergebnissen zufolge nicht mehr haltbar. Der relativ kleine Vorteil im Wirkungsgrad kann die bekannten Vorteile der Getriebeablenkung kaum abschwächen! Z.B. ist die Übersetzungseinrichtung gegen jeden Witterungseinfluß geschützt, wodurch die Funktionstüchtigkeit und damit auch der Wirkungsgrad auf lange Zeit nicht gemindert wird.

Den Ergebnissen nach können, allgemein gesehen, die Wirkungsgrade der heutigen Fahrradantriebe als gut bis sehr gut bezeichnet werden.

Bei der Betrachtung der Wirkungsgradkurven (z.B. Bild 2) sollte man sich nämlich nicht täuschen lassen, wenn sich im Leistungsbereich I teilweise ein etwas höherer prozentualer Verlust ergibt. Nicht beachtet wird oft, daß z.B. im Wirkungsgrad von 84 % bei einer Antriebsleistung von 25 Watt und ein Wirkungsgrad von 98 % bei 200 Watt Antrieb den gleichen effektiven Verlust von 4 Watt bedeutet.



Zusammenfassung

Beschrieben wurde der Aufbau einer Meßeinrichtung zur Ermittlung des Wirkungsgrads der Naben/Ketten-Kombination bzw. adäquater Antriebe im Fahrrad. Die Meßergebnisse wurden in Diagrammen dargestellt und die daraus gezogenen Erkenntnisse erörtert, wobei dem Verfasser bewußt ist, daß die bis jetzt vorliegenden Messungen erste Ergebnisse darstellen. Eine Erweiterung des Meßprogramms auf breiterer Basis ist geplant, um vor allem durch gezielte Messungen Wege erkennen zu können, wie z.B. der Wirkungsgrad bei Getriebenaben, Kardanantrieb usw. verbessert, oder auch eine zu große Wirkungsgradstreuung bei Serienprodukten vermieden bzw. beseitigt werden können.

Die vorliegenden Ergebnisse tragen aber zweifelsohne dazu bei, daß u.a. eine Reihe von strittigen Fragen schon jetzt mit mehr Sicherheit beantwortet werden können.

Josef Keller, Dipl. Ing. (FH)

NACHBEMERKUNGEN:

Diese Untersuchung, die in der Zeitschrift Radaarkt 12/1983 veröffentlicht wurde, ist hier noch einmal abgedruckt, weil die Ergebnisse einer breiteren Leserschaft zugänglich gemacht werden sollen.

Der Wirkungsgrad eines Antriebs beschreibt, welcher Teil der aufgewendeten Leistung am Ausgang des Getriebes noch zur Verfügung steht. Wenn hier zum Beispiel bei höheren Leistungen Wirkungsgrade von 0,99 erreicht werden, bedeutet das, daß lediglich 1 % der Eingangsleistung innerhalb des Getriebes in Wärme umgewandelt wurde.

Einige Dinge sollten aber bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden:

- In Unterschied zu Parametern wie z.B. Luftwiderstandsbeiwert, Rollwiderstandsbeiwert oder Masse, die die geschwindigkeitsabhängigen Fahrleistungen beeinflussen, und die je nach Fahrtgeschwindigkeit unterschiedliches Gewicht haben, wirken die mechanischen Verluste immer - sofern der Fahrer in die Pedale tritt. Sie sind nicht von der Fahrtgeschwindigkeit, sondern von der Größe der Antriebsleistung abhängig.

Dies erhöht im Prinzip die Bedeutung des mechanischen Wirkungsgrads gegenüber den anderen Einflußgrößen.

- Dadurch, daß in der Praxis schwellende Drehmomente am Tretlager aufgebracht werden, ist der Wirkungsgrad vor allem bei kleinen Leistungen prinzipiell größer als unter Versuchsbedingungen mit konstantem (durchschnittlichem) Drehmoment. Dies liegt daran, daß der Wirkungsgrad bei kleinen Leistungen stark abfällt - größere Teile der gesamten Leistung werden dann zur Überwindung der Lagerreibung benötigt. Insofern ist der Aussagewert der Meßergebnisse nur relativ.

- Falls der Kettentrieb nicht durch einen geschlossenen Kettenkasten geschützt ist, können die mechanischen Verluste in der Fahrpraxis um ein Vielfaches höher sein als unter Laborbedingungen. Hier haben die Betriebsbedingungen (Salz, Staub) und die Wartung der Kette einen hervorragenden Einfluß.

Einen möglichen Einwand gegen die Meßergebnisse sei noch vorgebracht:

Tatsächlich wurde nicht der gesamte Antriebsstrang des Fahrrades gemessen. Die Verluste in Pedal- und Tretlagern sind aber um eine ganze Größenordnung kleiner als jene im Kettentrieb bzw. in der Schaltungsnabe und können daher zurecht vernachlässigt werden.

Messung von Fahrwiderständen beim Fahrrad

Eine Literaturübersicht

Von Rainer Pivitt

Abstract - Historische und aktuelle Untersuchungen zu den Fahrwiderständen des Fahrrads werden vorgestellt. Die verschiedenen Meßverfahren werden skizziert und teilweise mit Meßergebnissen erläutert. Betrachtet wird die Messung unter Idealbedingungen in Form von separater Bestimmung von Antriebsverlust, Roll- oder Luftwiderstand oder der gemeinsamen Messung der Fahrwiderstände sowie die Abhängigkeit des Rollwiderstandes von der Oberfläche und des Luftwiderstands von der Anströmrichtung.

Die hier wiedergebene Literaturübersicht entstand im Rahmen meiner Diplomarbeit "Die Fahrwiderstände am Fahrrad. Ihre physikalische Bedeutung, Messung und Interpretation" im Fachbereich Physik an der Universität Oldenburg. In dieser Arbeit wurde ein neues, realitätsnäheres, aber sehr aufwendiges Meßverfahren entwickelt. Die Literaturübersicht zeigt die vielen verschiedenen Methoden und auch die Streuung der Meßwerte für ähnliche Fahrräder, aber verschiedene Meßverfahren und Begleitumständen.

Die physikalische Beschreibung und die mathematische Modellierung der Fahrwiderstände sowie ihre Bedeutung in physikalischer Sichtweise ist schon ausreichend in anderen Veröffentlichungen dargestellt worden (siehe Literaturliste Nr. 31, 8, 22 und 34). Somit möchte ich hier nicht weiter darauf eingehen.

1. Fahrwiderstandsmessung an Fahrrädern unter Idealbedingungen

1.1. Historische Untersuchungen (bis 1904)

Die Betrachtung der Fahrwiderstände beim Fahrrad ist fast so alt wie das Fahrrad als Massenprodukt. Die älteste uns bekannte Veröffentlichung, die sich aus physikalischer Sicht mit den Fahrwiderständen von Fahrrädern beschäftigt, stammt auch gleich von dem 'prominentesten' Autor aus der Liste der Wissenschaftler, die sich mit diesem Thema befaßt haben. 1869 veröffentlichte der 49-jährige William John Macquorn Rankine von der Glasgow University den Aufsatz "On the Dynamical Principles of the Motion of Velocipedes" (23). Damals wurden seit 3 Jahren Michaulinen (auch "Boneshaker" genannt) in Serie gefertigt. Dies waren quasi Laufräder wie die von Drais, aber mit Pedalen am gelenkten Vorderrad. Das Hochrad entstand erst etwa 1872. Die Michaulinen konnten sich damals nur die reine Oberschicht leisten. Neben 'Balancing' und

'Steering' behandelt Rankine in seinem Aufsatz 'Propulsion' die Fahrwiderstände. Ihm waren damals Experimente zu diesem Thema nicht bekannt. Die funktionalen Zusammenhänge, wie v^2 -proportionaler Luftwiderstand, lastabhängiger Rollwiderstand, Rollwiderstand proportional dem Kehrwert des Durchmessers der Räder waren schon bekannt. Es gab aber keine Messungen der Fahrwiderstände, nur Schätzungen basierend auf leichten Kutschen. Rankine schlug daher Messungen der Fahrwiderstände vor, und zwar beschreibt er dafür die Ausrollmethode. Der Fahrradfahrer läßt sein Fahrzeug ausrollen und in gleichen zeitlichen Abständen z.B. kleine Holzstücke fallen. Aus den Abständen der Holzstücke wird dann die Verzögerung berechnet.

1894, mittlerweile waren auch die heutigen Niederräder auf dem Markt, veröffentlichte Franz Ritter von Rziha experimentelle Ergebnisse über die Fahrwiderstände am Fahrrad (25). Die Fahrwiderstandskraft wurde durch Ausrollen bis zum Stillstand gemessen. Es wurde erst eine Strecke von 500 m mit gleichmäßigem Tempo durchfahren, wobei die Zeit zur Bestimmung der Geschwindigkeit genommen wurde, und danach das Fahrrad ohne Antrieb bis zum Stillstand ausgerollt. Die Verzögerungskraft wurde so bei verschiedenen Geschwindigkeiten gemessen. Mit der Methode der kleinsten Quadrate wurden dann Roll- und Luft-

widerstand nach $F = A + B v^2$ durch Kurvenanpassung getrennt bestimmt. Rziha vergleicht auch den Rollwiderstand bei trockener und nasser Straße (1,3-mal schlechter) und betrachtet Zusammenhänge zwischen den Reifenabmessungen und dem Rollwiderstand.

Ravenshaw berichtet 1896 über seine Messungen der Fahrwiderstände von Fahrrädern (24). Er zog die Fahrzeuge über verschiedene Oberflächen und las die Zugkraft an einer Federwaage ab. Zur Verminderung von Fehlern durch Wind oder Steigung führte er die Messungen in beiden Richtungen durch. Einen Anstieg der Zugkraft konnte er erst bei mehr als 5,3 m/s (19 km/h) feststellen. Die Ungenauigkeit seiner Messungen schätzte er auf 10%.

Etwa zur gleichen Zeit erschien auch die erste Auflage der "Nouveau Traité des Bicycles et Bicyclettes" von C. Bourlet (3). Der ganze zweite Teil "Le Travail" seines umfangreichen Werkes widmet sich den Fahrwiderständen. Im Kapitel 2 (S. 55-122) befaßt er sich mit der experimentellen Bestimmung der Fahrwiderstände. Diese beschreibt er mit der Formel $F = A + B v + C v^2$, wobei B erhöhte Rollreibung wegen Vibrationen durch die sehr harten, nicht mit Luft gefüllten Reifen beschreiben soll. Für Luftreifen ist B bei Bourlet 0. Die Koeffizienten werden mit der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Zur Messung der Verzögerungskraft stellt Bourlet zwei Methoden vor: Bergabrollen und Ausrollen.

Beim Bergabrollen braucht man Hügel und Berge mit verschiedenem Gefälle, die möglichst gleichen Oberflächenbelag haben. Das Gefälle muß über eine längere Strecke gleichmäßig sein. Beim Abwärtsrollen mit dem Fahrrad ohne Antrieb stellt sich nach gewisser Zeit eine konstante Geschwindigkeit ein. Aus deren Messung wird bei bekanntem Gefälle der Fahrwiderstand errechnet. Die Geschwindigkeit wurde nach Bourlet bei den Messungen von Guye so gemessen: Der Fahrer beobachtet bei auf die Stützrasten gesetzten Füßen die Umdrehungen der Kurbeln (damals gab es noch keinen Freilauf), während neben ihm ein zweiter Fahrradfahrer mit einer Uhr fährt und ihm in gleichmäßigen Zeitabständen ein Signal zuruft. Die Anzahl der Umdrehungen einschließlich ihrer Bruchteile werden vermutlich 'online' im 'Real-

Time-Verfahren' bei erreichter konstanter Geschwindigkeit zu einem Mittelwert zusammengefaßt und abgespeichert - im Gehirn des Fahrers. Die Ermittlung der Steigung wurde anhand von topografischen Karten durchgeführt. Andere ausprobierte Methoden (Setzlatte, Pendel im Fahrradrahmen für Messungen im Stand) waren insgesamt zu ungenau, da nur das mittlere Gefälle interessierte, oder aber zu aufwendig (wie optische Geräte).

Für die Ausrollmethode benutzte Bourlet eine große Halle. Auf dem Boden wurden Schläuche mit Flüssigkeit im Abstand von exakt der doppelten Radstandlänge des benutzten Fahrrads ausgelegt. Die Schläuche waren miteinander und mit einem Schreiber verbunden, der zur Zeitmessung die 60 Hz Schwingungen eines Oszillators aufzeichnete. Somit erhielt er jeweils nach Durchfahren der Strecke des Radstandes einen Zacken auf dem Papier. Bei 5 Schläuchen gab es 10 Pulse. Aus der Zeit zwischen den Zacken und dem Radstand erhält man leicht den Fahrwiderstand. Bei Bourlet ist die Messung durch Bergabrollen genauer als die Ausrollversuche, was unter anderem an der zu geringen Frequenz des Oszillators auf dem Schreiber lag. Zur Verbesserung seiner Ausrollmessungen schlägt Bourlet statt der Schläuche elektrische Kontakte vor. Dieses wurde dann später, etwa ab 1973, von Kyle (14 und 15) so (abgesehen von dem Trick mit der doppelten Radstandlänge als Detektorenabstand) realisiert. Ob Kyle Bourlets Arbeit bekannt war, wissen wir leider nicht, sie wird von ihm nie zitiert.

Bourlet stellt in seinem Werk noch das "Pédal dynamométrique" vor. Dies ist ein Kraftmeßpedal. Die Fahrwiderstände lassen sich damit wegen zu großer Ungenauigkeit nicht messen. Sie geben aber den Physiologen und Ergonomen ein wichtiges Hilfsmittel, um zu sehen, wie der Mensch welche Muskeln wann einsetzt. Das erste Meßpedal stammt von Scott und wurde bereits 1889 veröffentlicht (26). Scotts Pedal maß nur die Kräfte des Fußes nach unten auf das Pedal. Bouny (2) entwickelte diese Idee weiter und erfaßte mit seinem Pedal auch Kräfte nach vorne und Winkelstellungen.

1899 veröffentlichte Leo Zuntz seine Versuche zur Bestimmung der Fahrwiderstände von der physiologischen Seite her (35). Er bestimmte mittels Gasmesser und Probenentnahme den Sauerstoffumsatz, während er selbst mit dem Gasmesser auf

den Lenker seine Runden auf einer asphaltierten "Lehrbahn" drehte.

Wie sich später im Vergleich zeigte, gab es große Differenzen in der zum Fahrradfahren bei bestimmter Geschwindigkeit notwendigen Arbeitsleistung zwischen Bourlet, Bouny und Zuntz. Darum machte Zuntz zusammen mit Berg und du Bois-Reymond 1904 neue Messungen (1). Dabei benutzten sie - wie sie meinten erstmalig - die Abschleppmethode. Sie zogen mit einem Motordreirad das Fahrrad und zeichneten die Zugkraft mit einem Uhrwerkschreiber auf gerußten Papier auf. Die Länge des Verbindungsseils wurde mit einem Anemometer so bestimmt, daß der Windschatten des Dreirads nicht mehr feststellbar war. In das Zugseil wurde ein 1 bis 2 m langer Gummischlauch eingefügt, um Ungleichmäßigkeiten der Zugkraft auszugleichen. Dennoch: "Thatsächlich erhielten wir, wenn wir von einem Motor-Dreirad aus das Versuchsrad schleppten, stets Curven, die beträchtliche Wellen und außerdem durch die Erschütterung des Apparates zahllose kleine Zacken aufwiesen." (1, S. 32). Diese Wellen und Zacken wurden gemittelt. Die Meßwerte bestätigten Bourlets Messungen. Bounys Messung der Pedalkräfte waren zu ungenau zur Bestimmung der Fahrwiderstände - eventuell befand sich die Feder in den Meßpedalen am Anschlag. Zuntz' Messungen von 1899 waren richtig, aber seine Abschätzung des physiologischen Wirkungsgrads eines Fahrradfahrers war viel zu hoch.

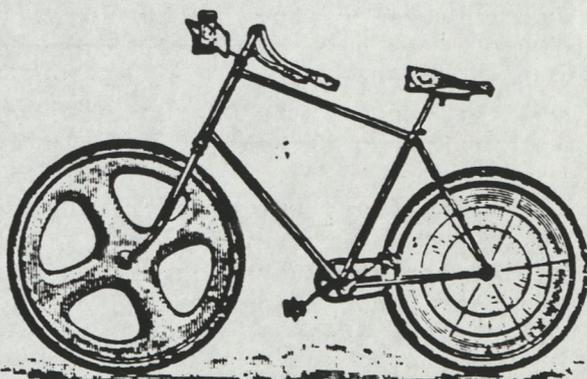
Zusammenfassen kann man/frau, daß die Erforschung der Fahrwiderstände, vielleicht abgesehen von den Franzosen, hauptsächlich zur Ermittlung der maximal zumutbaren Belastung (Geschwindigkeit) und Reisestrecke pro Tag betrieben wurde. Diese Motivation ist zwar bei Zuntz als Arzt offensichtlich, für die Motivation der anderen Forscher in diese Richtung konnte ich aber bisher keine plausible Erklärung finden.

Ansonsten sieht man/frau, daß die Beschreibung der Fahrwiderstände und ihre experimentelle Bestimmung unter Idealbedingungen (kein Wind, gute und einheitliche Fahrhahnoberfläche) bereits kurz nach Jahrhundertbeginn als weitgehend abgeschlossen betrachtet werden kann. Erst ab den 60er Jahren unseres Jahrhunderts wird mit neuer Motivation wieder über die Fahrwiderstände von

Fahrrädern experimentiert. In der Zwischenzeit gibt es keine Veröffentlichungen zu diesem Thema; diese Zwischenzeit war aber Hochkonjunktur bei den Physiologen und Ergonomen, die sich intensiv mit dem Fahrrad- oder besser Ergometerantrieb - zwischen diesen beiden sollte man/frau wohl strenger unterscheiden - befaßten.

Faszinierend an den damaligen Publikationen ist vor allem die Ausführlichkeit in der Darstellung und das persönliche Engagement der Autoren. Der Informationsfluß untereinander durch die Veröffentlichungen war relativ zu heute auf diesem Gebiet, auch ohne EDV-Informationsbanken, sehr gut. Auch ist die Darstellung viel geschlossener und nicht so zergliedert/zerpflückt wie heute üblich und wie es auch teilweise bei diesem Aufsatz leider wegen Fehlens der dafür notwendigen Ruhe und Zeit der Fall ist. Ist die (Natur-)wissenschaft zu einer 'paper'-produzierenden Industrie geworden?

Im Übrigen sieht man/frau hier mal wieder, daß fast alles schon mal dagewesen ist. Die experimentellen Methoden haben sich trotz teurer Meßgeräte und Computer nicht grundlegend verändert. Die Auswertalgorithmen sind meist auch noch unverändert, nur wurde früher die Zeit zum Ausrechnen benötigt, heute braucht man/frau(?) sie, um die Computerprogramme zu erstellen und zum Laufen zu bringen. Dies soll nicht heißen, daß heute nur noch alte Hüte wieder aufgewärmt werden. Die historischen Arbeiten können einem aber neue, alte Ideen liefern. Zum Beispiel findet man/frau bei Sharp (27, S. 352) bereits vielleicht den Vorläufer für die Vorderräder der Rennräder für die nächste Olympiade.



aus Sharp (27, S. 352)

1984 wurde nicht mit Scheiben-Vorder-
rädern gestartet, da diese die Wind-
empfindlichkeit gefährlich erhöhen. Die
Lösung bei Sharp erscheint mir sinn-
voller, als die Verwendung "konventio-
neller", elliptischer Speichen.

1.2. Aktuelle Untersuchungen (ab 1956)

Nach einer Pause von einem halben
Jahrhundert gab es nun allmählich zu-
nehmend neue Publikationen zu den Fahr-
widerständen am Fahrrad. Die Motiva-
tionen waren nun vielfältiger: Anwendung
des (Ingenieur-)Standardwissens auf das
Fahrrad zu Ausbildungszwecken, Bestim-
mung der Leistungsfähigkeit von Spitzen-
sportlern durch Kenntnis der Fahrwider-
stände, Optimierung des Rennradsystems,
Entwicklung von 'Human-Powered Vehicles'
und durch Personalunion von Fahrrad-
fahrer und Forscher Beurteilung von
(Zusatz-)Komponenten zwecks Leistungs-
einsparung/Geschwindigkeitserhöhung.
Wirtschaftliche bzw. Industrieinteressen
spielten bisher als Motivation für
Untersuchungen zu den Fahrwiderständen
an Fahrrädern eine sehr geringe Rolle.

1.2.1. Rollwiderstand separat gemessen

Den Rollwiderstand allein zu messen,
ist relativ einfach, aber wird für Fahr-
radreifen nur selten gemacht. Vielleicht
messen die Reifenhersteller den Roll-
widerstand, aber von diesen wird über-
haupt nichts veröffentlicht.

Frank R. Whitt (32) machte 1967 ähn-
liche Messungen wie bereits 1896
Ravenshaw. Er zog Fahrradreifen (vermut-
lich auf einem Dreirad) bei 0,9 m/s
(3,2 km/h) und maß die notwendige Zug-
kraft. Er erhielt dabei:

$$\mu = 0,005 + 0,15 / \text{Luftdruck in PSI}$$

(1 PSI (lbf/in²) = 6,895 kPa)

Das ergäbe für einen Hochdruckreifen bei
700 kPa (7 bar, 100 PSI) ein μ von
0,0065. Dieser Wert ist für heute
übliche Reifen zu hoch. Üblich für
solche Reifen ist eher 0,003 bis 0,005.

Das Prüfinstitut der Stiftung Waren-
test zum Reifentest (28) bestimmte den
Rollwiderstand durch Zugmessung an einem
zweirädrigen Anhängerwagen auf einer
(Stahl-?)Laufrolle.

Chester R. Kyle benutzte für die Mes-
sungen zum US-Olympia-Fahrradprojekt
1984 (12) zusätzlich zu seinen normalen

Ausrollmessungen ein Dreirad speziell
zur Bestimmung des Rollwiderstands.
Dieses wurde mit beladenem Vorderrad auf
etwa 0,4 bis 0,9 m/s angeschubst und
konnte dann ausrollen, wobei die Ver-
zögerung mit einem Taschencomputer
erfaßt wurde. (Die Grundidee für diese
taschencomputergestützten Messungen
dürfte Kyle wohl von Fieblingers Vortrag
auf der Konferenz "Aerodynamik des Fahr-
rads" an der FH Köln im September 1982
mitgenommen haben.) Die Messungen wurden
in beiden Richtungen durchgeführt. Bei
diesen Messungen fiel besonders die
Abhängigkeit des Rollwiderstands von der
Montage bei Schlauchreifen auf. Unzu-
reichende Montage erhöhte den Rollwider-
stand um 60% (nur eine Messung). Bei
kleinen Laufrädern brachte das Abra-
sieren des Profils vom Reifen 20% weni-
ger Rollwiderstand (nur 2 Messungen).
(Basierend auf diesem Ergebnis werden
jetzt profillose Hochdruckdrahtreifen
angeboten.)

1.2.2. Luftwiderstand separat gemessen

Die Messung des Luftwiderstands
separat ist für Fahrräder mit Fahrer,
wenn die Werte realistisch sein sollen,
sehr aufwendig. In der Regel sind die
Werte nicht auf die Straße übertragbar.

Nonweiler hängte 1956 ein Rennrad mit
verschiedenen Fahrern in einen Windkanal
(21). Die Rotation der Laufräder wurde
nicht simuliert. Bei Handposition oben
am Lenker waren die Luftwiderstands-
flächen für alle 3 Probanden etwa gleich
groß, 0,37 m² mit Rennbekleidung. Even-
tuell gab es bei diesen Messungen Fehler
durch das Dach der geschlossenen Meß-
strecke. In der unteren Lenkergriff-
position lagen die Werte zwischen 0,29
und 0,33 m². Straßenbekleidung gab bei
gleicher Lenkerposition einen um 30%
höheren Luftwiderstand von 0,38 m². Die
Ungenauigkeit der Meßwaage betrug
weniger als 0,003 m²; die Werte ließen
sich auf 3% genau reproduzieren. Schräg-
anströmung war wegen des dafür zu klei-
nen Querschnitt der Meßstrecke nicht
möglich.

Milliken und Milliken testeten ver-
schiedene selbstgebastelte Teilverklei-
dungen für Alex Moulton Ltd. im Wind-
kanal (18). Für das normale Rennrad ohne
Verkleidung ergab sich bei Lenkergriff-
position unten 0,43 m² (diese Werte sind
eventuell nur relativ untereinander

korrekt, da Milliken nur die Kräfte angibt und ich die Luftdichte für eine Umrechnung in die Luftwiderstandsfläche schätzen mußte) und extrem zusammengedauert (für Bergabfahrten) $0,35 \text{ m}^2$; alles in Rennbekleidung. Beim Moulton-Fahrrad waren diese Werte etwa 5% geringer (vielleicht eine etwas andere Sitz- und Lenkerposition). Für das Moulton-Fahrrad mit Fahrer in Straßenbekleidung und oberer Griffposition wurde $0,59 \text{ m}^2$ gemessen. Alle ausprobierten Verkleidungen gaben bei Anströmung von vorne keine Reduktion des Luftwiderstandes gegenüber dem unverkleideten Fahrrad mit Fahrer. Es wurde aber auch bei seitlicher Anströmung gemessen und hier brachten manche Verkleidungen eine drastische Senkung des Luftwiderstands. Es wurden keinerlei Angaben zum Windkanal selbst, eventuellen Korrekturen und Meßgenauigkeiten gemacht.

Kyle hatte für das US-Olympia-Fahrradprojekt die Möglichkeit, in einem großen Windkanal ein Bahnrad mit Fahrer zu messen (12). Die Messung ergab für die untere Griffposition bei nahezu gestreckten Armen etwa $0,31 \text{ m}^2$ (auch Kyle gibt nur Kräfte an, so daß ich auch hier die Luftdichte schätzen mußte; die Werte sind aber untereinander wohl vergleichbar, da Kyle sie sonst nicht in eine gemeinsame Graphik gesteckt hätte). Die Laufräder drehten sich dabei nicht. Durch Ausrollmessungen erhielt Kyle bei gleichem Fahrrad, Fahrer, Kleidung und Position etwa $0,37 \text{ m}^2$. Der einzige

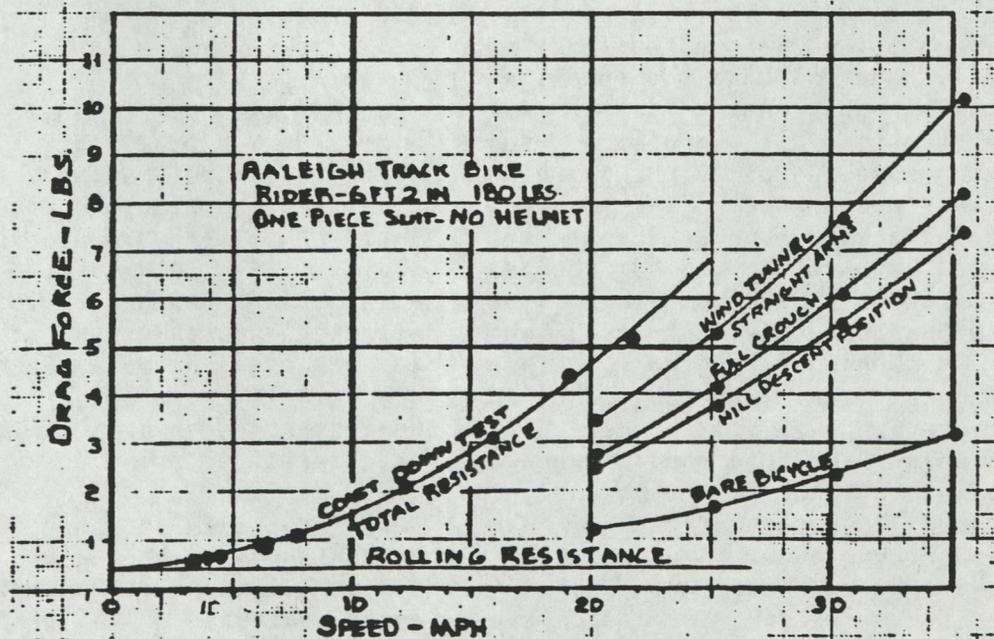
Unterschied waren die rotierenden Räder und eine eventuell minimal, unbewußt geänderte Haltung auf dem Fahrrad. Aber ich denke nicht, daß dies schon die Differenz von 20% allein erklären kann. Ich vermute, daß alle Windkanalergebnisse aus noch nicht geklärten Gründen erheblich geringer sind als auf der Straße oder bei Ausrollversuchen in einer Halle. Die Differenz ist bei Kyle fast so groß wie der Luftwiderstand des Fahrrads allein.

Für Human-Powered Vehicles läßt sich bei einer aerodynamisch guten Karosserie der Luftwiderstand auch schon recht gut theoretisch ohne Experimente berechnen, wie Fernandes für den Vector gezeigt hat (6). Rechnerisch erhält er einen c_w -Wert von $0,154$, gemessen wurde $0,14 \pm 0,01$.

1.2.3. Wirkungsgrad des Antriebs

Die Messung des Wirkungsgrades des Antriebs beim Fahrrad erfordert einen relativ hohen mechanischen und meßtechnischen Aufwand. Daher gibt es hier nur wenige Untersuchungen, zumal der Einfluß des Wirkungsgrades auf den für das Fahrradfahren notwendigen Kraftaufwand sehr gering ist.

Thom, Lund und Todd untersuchten den Wirkungsgrad einer Schaltungsnahe mit Planetengetriebe (29). Der Wirkungsgrad ist erst ab einer Mindestbelastung annähernd konstant. Der Direktgang erreicht etwa 97%, die übersetzten Gänge lagen bei 93 bis 95%.



aus Kyle (12, S. 37)

Nach Whitt und Wilson (31, S. 277-300) ist der Wirkungsgrad einer Fahrradkette im besten Fall 98,5%. Über den Wirkungsgrad im ausgelutschten, ungepflegten Zustand gibt es keine Daten.

Recht ausführlich hat Keller (9) den Wirkungsgrad bei verschiedenen Naben und Ketten(-schaltungen) untersucht. Auch Kardan- und Kettenantrieb wurden verglichen, wobei sich für den Kardan zwischen 7 und 17% schlechtere Werte ergaben. Für Kettenschaltungen (ohne Planetengetriebe) liegt man/frau mit einer Annahme von 95% Wirkungsgrad auf der sicheren Seite, zumindest so lange die Kette noch gut und gepflegt ist.

Bei allen bisherigen Meßaufbauten zur Messung des Wirkungsgrad wurde ein gleichmäßiges Drehmoment am Tretlager aufgebracht. Ein neuer an der Universität Hamburg von Cordsen (4) und Kniephof (10) entwickelter Prüfstand simuliert erstmalig das nicht konstante Drehmoment des Fahrradfahrers. Konkrete Ergebnisse sind mir zur Zeit noch nicht bekannt.

1.2.4. Gemeinsame Messung der Fahrwiderstände

Für realitätsnahe Messung der Fahrwiderstände ist eine gemeinsame Messung unumgänglich, da, wie ich bereits erwähnt habe, Windkanalmessungen für Fahrräder u.a. wegen der meist im Windkanal nicht rotierenden Laufräder mit Vorsicht zu verwenden sind.

Alex Moulton (19) wollte 1973 wissen, nachdem er seine Fahrradkonstruktion einschließlich der Patente und sonstigen Rechte an Raleigh verkauft hatte, wie seine Konstruktion im Vergleich zum normalen Fahrrad aus der Sicht des Wissenschaftlers abschneidet. Zur Messung der Fahrwiderstände ging er soweit wie meßtechnisch möglich an die Wurzeln des Antriebs zurück: Er maß das Drehmoment mit DMS (Dehnungsmeßstreifen) am Kettenrad. Die Messungen erfolgten in einem Flugzeughangar. Das Fahrrad fuhr im Kreis um ein Gerüst, bei dem die Meßgeräte standen. Fahrrad und Meßgeräte waren durch ein langes Kabel verbunden, das von dem 'fisherman' oben auf dem Gerüst geführt und gehalten wurde. Wegen des langen Kabels konnte auf Schleifringe verzichtet werden, wenn nach ein paar Runden auf dem Fahrrad rückwärts getreten wurde. Moulton hat als einziger

in dieser Rubrik vorgestellter Forscher in seinen Meßergebnissen den Wirkungsgrad enthalten. Dieser dürfte aber trotz verschiedener Ritzel am Hinterrad der beiden Vergleichsfahrräder nahezu gleich sein. Die Auswertung von 250 Messungen ergab, daß das Moulton-Fahrrad signifikant 6% leichter zu fahren war. Weitere Untersuchungen zeigten, daß der Unterschied an den Reifen lag. Die kleinen 17 Zoll Drahtreifen liefen bei 500 kPa (5 bar) sogar 3,5% leichter als 27 Zoll Schlauchreifen bei 700 kPa (7 bar). Diese Werte erscheinen angesichts der Messungen von Kyle (s.o.) durchaus möglich, zumindest wenn die Schlauchreifen schlecht montiert waren. Konkrete, allgemein vergleichbare Zahlenwerte lassen sich leider aus Moultons Veröffentlichung nicht entnehmen.

Di Prampero et al. (5) wollten 1979 die Fahrwiderstände beim Radfahren bestimmen, um Voraussagen über die Geschwindigkeit des Radrennfahrers bei bekannten physiologischen Daten machen zu können. Auf der Monza Rennstrecke wurde mit einem Auto über ein 25 m langes Nylonseil mit 3 mm Durchmesser ein Rennrad mit Fahrer gezogen. Die Messung der Zugkraft erfolgte per Federwaage. Messungen wurden bei verschiedenen Geschwindigkeiten und in beiden Richtungen (um die Steigung auszumitteln) durchgeführt. Schwankungen der Zugkraft, wie bei Berg, Zuntz und du Bois-Reymond, wurden nicht erwähnt. Als Ergebnis erhielten sie ein μ von 0,0052 bei 600 bis 800 kPa (6 bis 8 bar) und ein c_{wA} von 0,404 m² in tiefer Griffposition.

Ebenfalls per Zugseil arbeitete Wijewardene (33) in Sri Lanka. Um die Fahrwiderstände seiner selbstgebauten Liegeräder zu messen, zog er diese mit einem Auto über die Startbahn des Flugplatzes. Das 60 m Verbindungsseil zieht an einem DMS-Meßwertaufnehmer. Um Störungen durch Gegen- oder Rückenwind zu vermeiden, wurde am Fahrrad ein Windgeschwindigkeitsanzeiger angebracht. Meßergebnisse wurden allerdings nicht mitgeteilt.

Miller (17) berichte 1982 über das Meßverfahren, das Glen Brown, der Erfinder der Zipper-Teilverkleidung und der aerodynamischen Tailwind-Packtaschen, benutzte, um den Effekt seiner aerodynamischen Hilfsmittel abschätzen zu kön-

nen. Brown benutzte eine verbesserte Version des Bergabrollens. Dazu brauchte er drei Geräte: Einem Digitaltachometer auf 0,05 m/s (0,1 mph) genau, ein Diktiergerät als Meßwertspeicher und einen Beschleunigungs- bzw. Neigungsmesser (Inklinometer). Dieser Beschleunigungsmesser besteht aus einem ölgedämpften Pendel mit elektrischer Übertragung zu einer Anzeigeeinheit. Das von ihm benutzte Gerät mißt auf 0,1° genau, das ist eine Steigung von 0,17% bzw. eine Beschleunigung von 0,017 ms⁻². Zuerst machte Brown bei langsamen Tempo einen Ausrollversuch mit diesen Geräten, um den Rollwiderstand abzuschätzen. Dann rollte er einen Berg herunter, wobei er durch eigenen Antrieb versuchte, der stationären Bergabrollgeschwindigkeit möglichst nahe zu kommen. In dem Bereich gleichbleibender Geschwindigkeit und Gefälle las er fortlaufend die Geschwindigkeit und die Anzeige des Neigungsmessers ab und sprach sie auf das Band des Diktiergeräts. Nur die zu hohe Trägheit des Neigungsmessers erforderte noch das Erreichen der konstanten Geschwindigkeit. Problematisch war der Wind. Sobald der Wind stärker als 0,5% der Meßgeschwindigkeit wehte, bekam Brown einen zusätzlichen Meßfehler. Er suchte noch nach einem passenden, präzisen Sensor für die Windgeschwindigkeit. Für das normale Fahrrad, allerdings mit unbekannter Kleidung, Ausstattung, Position und Maßen des Fahrers, gibt Brown nach Miller eine Luftwiderstandsfläche von 0,39 m² an.

Kyle (12 - 15) benutzte für seine Messungen die Ausrollmethode, wie sie schon Rankine vorschlug und Bourlet zuerst angewendet hat. Er benutzte 6 elektrische Kontakte im Abstand von 6 m. Die Pulse wurden auf 1 ms genau gemessen. Aus den 5 Intervallen wurde ein mittlerer Wert errechnet. Etwa 10 Meßfahrten wurden bei verschiedenen Geschwindigkeiten gemacht. An diese Werte fittete Kyle eine Parabelfunktion $F = A + B v + C v^2$ an. Weswegen er B nicht wegläßt, da es bei den meisten Messungen sehr klein ist (10⁻⁵ und kleiner), ist nicht verständlich, zumal ich vermute, daß der Standardfehler von B größer als 100% ist. Die Steigung korrigiert er, da ihm anscheinend die Steigung seiner Meßstrecke bekannt war. Die Genauigkeit bei Rollwiderstandsmessungen bezifferte er in (12) mit 0,2 N. 1973 gab er für einen Fahrradfahrer auf

dem Rennrad mit Rennbekleidung eine Luftwiderstandsfläche von 0,32 m² an, ähnlich wie Nonweiler bei einem etwa gleich großen und schweren Fahrer mit 0,33 m² und Kyle bei seiner späteren Windkanalmessung. 1984 hat bei Kyle der Luftwiderstand eines Bahnrennfahrers bei Ausrollmessungen den Wert von etwa 0,37 m² (s. Graphik bei Windkanalmessungen) für ein aerodynamisch vermutlich besseres Fahrrad. Kleidung und Position sind nahezu gleich. Früher stimmten Windkanal- und Ausrollmessungen von Kyle bzw. Nonweiler überein. Heute gibt es eine Differenz von 20% zwischen beiden Methoden. Ich halte die heutigen Ausrollwerte für realistischer, aber was zu der Änderung der Luftwiderstandswerte bei Kyle führte, weiß ich nicht.

Kukuk benutzte in seiner Arbeit (11) ebenfalls die Ausrollmethode. Er arbeitete mit 5 Lichtschranken im Abstand von 5 m. Über die Genauigkeit der Messungen macht er keine Aussage. Auch zu eventuellen Steigungen der Meßstrecke gibt es keinen Kommentar. Da ihm offensichtlich die mathematischen Möglichkeiten der Kurvenanpassung durch die Methode der kleinsten Quadrate oder lineare Regression (Spezialfall der Methode der kleinsten Quadrate) nicht bekannt waren, arbeitete er mit einem selbstgestrickten Optimierungsverfahren. Im Rahmen meiner Diplomarbeit wertete ich exemplarisch zwei Meßreihen von Kukuk nach der Methode der kleinsten Quadrate aus. Die Werte für die Luftwiderstandsfläche haben einen statistischen Fehler von etwa 5%, die des Rollwiderstands einen von etwa 20%. Aussagen über die Größe von systematischen Fehlern sind mir natürlich nicht möglich. Es kann gut sein, daß die Messungen von Kyle genauso fehlerbehaftet sind. Kyle macht nur Aussagen über die Genauigkeit seiner Meßgeräte, aber keine über die statistische Streuung seiner einzelnen Meßwerte.

Fieblinger (7) ermittelt seine Meßwerte ebenfalls per Ausrollmethode. Sein Meßsystem besteht aus einem Taschencomputer Sharp PC-1500, der mittels Maschinencodeprogramm als speichernder Zähler auf dem Fahrrad arbeitet. Ein Impulsgeber (Hallsonde und Magnet im Laufrad) liefert pro Radumdrehung einen Puls. Der zeitliche Abstand der Pulse wird vom Computer gemessen und gespeichert. Fieblinger mißt in beiden

Fahrtrichtungen, wobei die einzelnen Meßintervalle (eine Radumdrehung) genau an der gleichen Position des Schwerpunktes des Fahrrads ihren Anfangs- bzw. Endpunkt haben müssen. Auf diese Weise wird nicht nur die Steigung herausgemittelt, sie läßt sich auf diese Weise sogar genau angeben. Da das Auswertprogramm aus statistischer Sicht nicht optimal und die Fehlerangabe für die

Meßwerte nicht korrekt ist, wurde die Auswertung von Nolte (20) überarbeitet. Leider wurden dabei neue, andere Fehler gemacht, so daß zwar mit Fieblingers Methode ein einfaches Verfahren in Hardware vorhanden ist, die Software, das Auswertprogramm, aber nicht optimal ist und daher zumindest die Fieblingerschen Fehlerangaben mit Vorsicht zu benutzen sind.

Übersicht zu Meßwerten für Roll- und Luftwiderstand verschiedener Autoren und Meßverfahren

Rollwiderstandsmeßwerte

Größe	Bezeichnung	Druck [bar]	μ	Fehler	Autor/Methode
27"	Clement Criterium Seta Extra	7,2	0,0019	k.A.	Kyle (15) 1974 k.A.
27"	Vittoria Imperforable Seta	7,2	0,0029	k.A.	Kyle (15) 1974 k.A.
28-630	Touring	6,5	0,0031	8% bzw. k.A.	Kyle (12) 1984 Ausroll Fahrrad bzw. Dreirad
27"	Cotton Road 220 g	6,9	0,0032	8% bzw. k.A.	Kyle (12) 1984 Ausroll Fahrrad bzw. Dreirad
k.A.	k.A.	k.A.	0,0032	1% ???	Fieblinger (7) 1984 Ausrollen
27"	Hutchinson Super Corsa 230 g	9,0	0,0038	k.A. (ca.20%)	Kukuk (11) 1982 Ausrollen
37-622	Schwalbe	3,5	0,0044 0,0045	k.A. 21%	Kukuk (11) 1982 Ausrollen Kukuk/Pivot Neue Auswertung
27"	leichter Schlauchreifen	6 - 8	0,0047	k.A.	di Prampero et al. (5) 1979 Ziehen
28-630	Hutchinson	4,1	0,0047	k.A.	Kyle (15) 1974 k.A.
32-630	Metzler	6,0	0,0050	k.A. (ca.20%)	Kukuk (11) 1982 Ausrollen
32-622	k.A.	5,4	0,0051	8% ???	Nolte (20) 1985 Ausrollen

???: Fehlerangabe nicht sehr aussagekräftig, da Auswertalgorithmus nicht optimal

Luftwiderstandsmeßwerte

Fahrrad	Kleid.	Person [m]	Person [kg]	Position	c_{wA} [m ²]	Fehler	Autor/Methode
Renn	Renn	1,71	65	RLU	0,293	3%	Nonweiler (21)
Renn	Renn	1,79	68	RLU	0,311	3%	1956 Windkanal
Renn	Renn	1,84	81	RLU	0,325	3%	"
Bahn	1-teil	1,88	81	RLU	0,31°	k.A.	Kyle (12) 1984 Windkanal
					0,37°	k.A.	Ausrollen
Renn	Renn	k.A.	78	RLU	0,34	k.A. (ca.5%)	Kukuk (11) 1982 Ausrollen
Renn	Renn	k.A.	k.A.	RLUU	0,35°	k.A.	Milliken (18)
Renn	Renn	k.A.	k.A.	RLU	0,43°	k.A.	1984 Windkanal
Renn	Renn	1,72	60	RLU	0,404	k.A.	Prampero et al.
Renn	Renn	1,79	66	RLU	0,404	k.A.	(5) 1979 Ziehen
Renn	k.A.	k.A.	k.A.	RLU	0,394	1% ???	Miller (17) 1982 Bergabrollen
Renn	k.A.	1,78	72	RLU	0,32	k.A.	Kyle (15) 1974
Renn	k.A.	1,78	72	RLO	0,36	k.A.	Ausrollen
Renn	Renn	1,71	65	RLO	0,373	3%	Nonweiler (21)
Renn	Renn	1,79	68	RLO	0,368	3%	1956 Windkanal
Renn	Renn	1,84	81	RLO	0,365	3%	"
Renn	Renn	k.A.	k.A.	RLO	0,49°	k.A.	Milliken (18)
Moult.	Renn	k.A.	k.A.	RLO	0,48°	k.A.	1984 Windkanal
Moult.	Straße	k.A.	k.A.	RLO	0,59°	k.A.	"
Renn	Straße	1,71	65	RLU	0,380	3%	Nonweiler (21) 1956 Windkanal
R.Sp.	Straße	k.A.	k.A.	RLU	0,52	2% ???	Nolte (20) 1985
R.Sp.	Straße	k.A.	k.A.	RLO	0,59	3% ???	Ausrollen
R.Sp.	Straße	k.A.	k.A.	RLUU	0,42	k.A. (ca.6%)	Kukuk (11) 1982 Ausrollen
Holl.	Straße	k.A.	k.A.	auf.	0,59	k.A.	"
					0,63	6%	Kukuk/Pivit Neue Auswertung
Reise	Straße	k.A.	k.A.	RLO	0,65	<1% ???	Fieblinger (7) 1984 Ausrollen

RLO: Rennlenker oben angefaßt
 RLU: Rennlenker unten angefaßt
 RLUU: zusätzlich stark gebeugt

* mit Schätzwert für Luftdichte ($\rho = 1,21 \text{ kg/m}^3$) berechnet, dadurch systematischer Fehler möglich

???: zweifelhafte Angaben bzw. Auswertalgorithmus

Allen in diesem Abschnitt genannten Methoden ist gemeinsam, daß sie sehr störepfindlich auf Umweltbedingungen reagieren. Ausrollmessungen herkömmlicher Art sind bei Wind nicht möglich. Sie werden darum ausschließlich auf Fluren und in Hallen gemacht. Ob zum Beispiel die Wände von Fluren, oder gar Türnischen die Messung des Luftwiderstandes beeinflussen, kann zur Zeit noch nicht beurteilt werden. Abschätzungen aus der Windkanaltechnik im Automobilbereich schließen dieses aus, aber das Fahrrad ist nun mal nicht so ein kompakter Klob als ein Auto. Vergleichsmessungen zwischen drinnen und draußen sind sehr wünschenswert. Auch der Fußbodenbelag einschließlich Unterbau in Fluren entspricht nicht dem der Straße oder des Radwegs.

2. Rollwiderstand auf verschiedenen Oberflächen

Rollwiderstände werden meist als Teil der Gesamtwiderstände gemessen und nur über den funktionalen Zusammenhang durch Anfitzen einer Kurve bestimmt. Da aber die Messung des Gesamtwiderstandes wie z.B. durch Ausrollen meist nicht auf normalem Straßenbelag gemacht werden, sind die so gefundenen Werte nicht unbedingt auf den normalen Alltagsradler übertragbar. Auch die Abhängigkeit des Rollwiderstandes von der Oberfläche ist für Fahrradreifen noch nicht ausreichend geklärt. Es gibt hier nur Werte für Autoreifen; ob eine Umrechnung auf Fahrradreifen zulässig ist, ist sehr fraglich. Es sollten hier auch unbedingt experimentell Werte ermittelt werden. Speziell der Effekt von Federungen auf den Rollwiderstand ist ein weißer Fleck in der Forschung. Kyle und Van Valkenburgh haben zwar in (16) den Rollwiderstand auf verschiedenen Oberflächen mit ihrem Ausrolldreirad gemessen und seine Messungen mögen für den Bau von Radrennbahnen für neue Rekorde sehr gut sein, über den Einfluß üblicher mieser, deutscher Radwegequalität auf den Rollwiderstand fehlen aber weiterhin Untersuchungen.

3. Luftwiderstand bei seitlicher Anströmung

In der Regel wird der Luftwiderstand nur unter Idealbedingungen, also bei Windstille, gemessen. Da aber draußen auf der Straße keineswegs oft Windstille herrscht, sondern der relative (zum Fahrradfahrer) Wind meist mehr oder

weniger von der Seite weht, sollte darauf auch bei der Beschreibung der Fahrwiderstände von Fahrrädern Rücksicht genommen werden.

Im Fahrradbereich gibt es Messungen von Kyle und Milliken/Milliken. Beide arbeiteten dabei im Windkanal. Kyle (12, S. 39) zeigt, daß aerodynamische Rahmenrohre bei leicht schräger Anströmung Vorteile bieten:

Luftwiderstandskomponente in Fahrtrichtung

Anströmwinkel	Normalrad m. Fahrer	Aero Bike m. Fahrer
0°	0,33 m ²	0,32 m ²
10°	0,35 m ²	0,31 m ²
20°	0,38 m ²	0,34 m ²

Milliken und Milliken (18) haben auch über einen weiteren Bereich gemessen. Ihre Messungen dienten hauptsächlich der Entwicklung von Verkleidungen für konventionelle Fahrräder. Darum wurden auch die Querkräfte gemessen. Vor allem die Verkleidung Nr. 3 B am Moulton-Fahrrad reduzierte bei etwa 25° den Luftwiderstand in Fahrtrichtung schon auf die Hälfte, während er beim unverkleideten Fahrrad bei diesem Winkel genauso hoch war wie bei Anströmung von vorne:

Luftwiderstandskomponente in Fahrtrichtung

Anströmwinkel	Normal- Moulton	Moulton m. 3 B Verkl.
0°	0,40 m ²	0,40 m ²
10°	0,42 m ²	0,36 m ²
20°	0,42 m ²	0,26 m ²
30°	0,39 m ²	0,18 m ²
40°	0,37 m ²	0,07 m ²
50°	0,34 m ²	0,12 m ²
60°	0,25 m ²	0,14 m ²
90°	0,04 m ²	-0,09 m ²

Schließlich bleibt noch über meine eigene Arbeit (22) kurz zu berichten. Das in der Arbeit vorgestellte Meßsystem erlaubte es zum ersten Mal, auch bei natürlichem Wind draußen auf der Straße den Luftwiderstand zu bestimmen. Das Fahrrad wurde mit einem Auto über eine abgesperrte Strecke mit einer 5 m langen Stange geschoben, in die eine Kraftmeßvorrichtung eingebaut war. Beim Schieben stört das Auto die Aerodynamik des Fahrrads nicht. Dabei wurden alle relevanten Größen einschließlich der Windgeschwin-

digkeit und -richtung in der direkten Nähe des Fahrradfahrers - ohne ihn zu beeinflussen - auf Band aufgezeichnet. Das Meßverfahren ist in jeder Hinsicht sehr aufwendig, sowohl von den benötigten Geräten her, als auch vom Personal- und Zeitaufwand. Das Problem der Kraftmessung in der Schubstange konnte nur unbefriedigend gelöst werden. Die Schubkraft schwankt ganz extrem, auch bei guter Fahrbahnoberfläche um ca. 100%, bedingt durch kleine kaum sichtbare Höhendifferenzen der Straße. Die Schubkraft müßte für bessere Messungen mechanisch über einen Stoßdämpfer gemittelt werden. Die Meßergebnisse wurden an Modelle für den Fahrwiderstand, die Seitenwind berücksichtigten, angefittet. Es wurden nur zwei konventionelle Fahrräder gemessen. Als brauchbarstes Modell für die Luftwiderstandskomponente in Fahrtrichtung ergab sich:

$$F_{\text{Luft}} = (9/2) v^2 \cos \theta_r (A + B \sin \theta_r)$$

(Index r bedeutet relativ zum Fahrrad, θ ist die Windrichtung, 0° entspricht von vorne.)

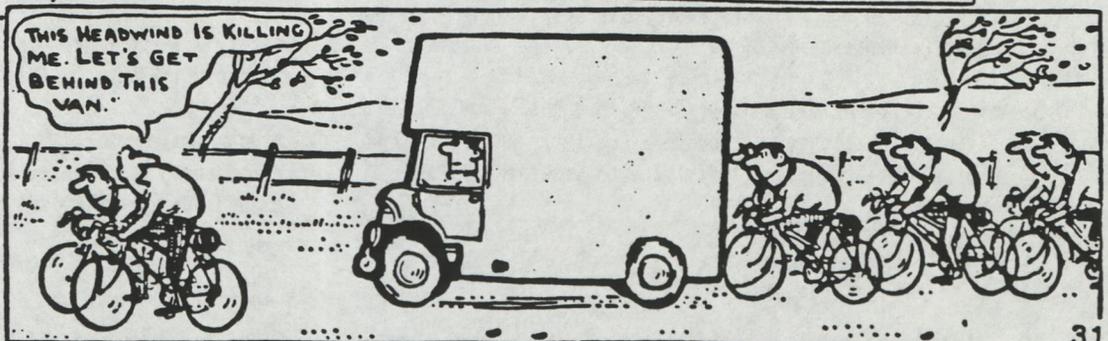
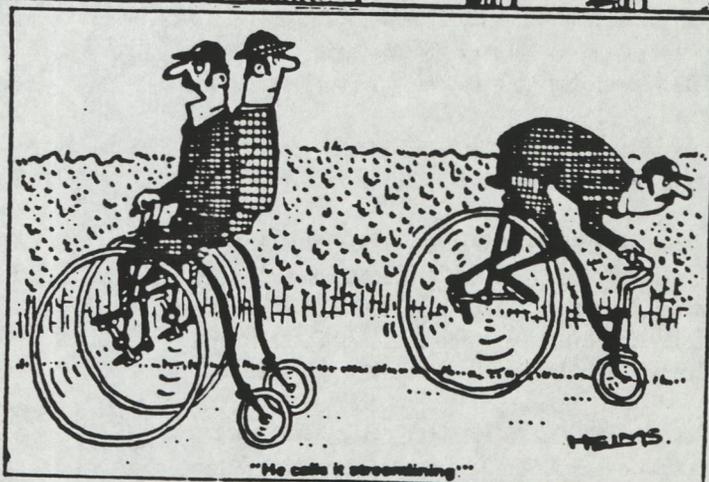
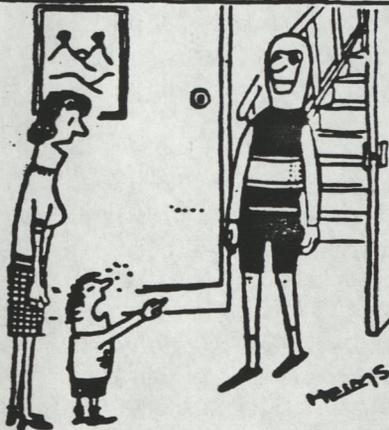
Da getrennte Messungen für den Rollwiderstand nicht möglich waren, wurde dieser gleichzeitig miterrechnet. Zur Bestimmung der Koeffizienten wurde die Methode der kleinsten Quadrate benutzt. Die Fehler der Koeffizienten erhält man dann aus der inversen Matrix. Für ein hollandradähnliches Fahrrad (Peugeot Velo Ville) mit einer etwa 30° Rücken- neigung zur Vertikalen erhielt ich bei Seitenwind zwischen 25° und 51° :

μ : 0,00695 \pm 0,00064 (9%)
 A [m^2]: 0,648 \pm 0,018 (3%)
 B [m^2]: 0,110 \pm 0,050 (45%)

Für ein Rennrad mit etwa 60° Rücken- neigung erhielt ich bei Seitenwind zwischen 17° und 32° :

μ : 0,00474 \pm 0,00091 (19%)
 A [m^2]: 0,529 \pm 0,013 (3%)
 B [m^2]: 0,027 \pm 0,040 (148%)

Es zeigt sich also, daß B in der Praxis zumindest innerhalb des gemessenen Wind- richtungsbereichs vernachlässigt werden kann.



Zum Schluß möchte ich noch einmal zusammenfassen, wo weiße Flecken in der Forschung zu den Fahrwiderständen an Fahrrädern sind. Es gibt offensichtlich noch große Probleme bei der Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf die Straße. Dies wird schon deutlich bei den Differenzen zwischen Windkanal- und Ausrollmessungen. Dringend notwendig wäre ein direkter Vergleich von Ausrollmessungen in Fluren mit ebensolchen in Stunden absoluter Windstille auf der Straße. Unbekannt ist der Einfluß von schlechten Radwege- bzw. Fahrbahnoberflächen auf den Rollwiderstand. In diesem Zusammenhang müßte auch auf die Federungseigenschaften der Reifen und extra gefederten Laufrädern und ihrer Bedeutung für den Rollwiderstand (experimentell) eingegangen werden. Für die Messung des Luftwiderstands bei seitlicher Anströmung bzw. bei Wind auf der Straße gibt es noch kein leicht zu handhabendes Verfahren.

Höhere Meßgenauigkeit als heute üblich

ist zumindest für unverkleidete Fahrräder meist nicht sinnvoll, da zum Beispiel andere Bekleidung größere Effekte liefert als aerodynamische Packtaschen oder gar aus aerodynamischen Gründen innenverlegte Schalt- und Bremszüge.

Wer jetzt neue Meßmethoden austüfteln will, den möchte ich noch auf einen Aufsatz von Van Valkenburgh über Meßtechnik für muskelgetriebene Fahrzeuge hinweisen (30). Er gibt eine gute Leitlinie, was machbar und praktikabel ist und was nicht.

So weit, so gut. Aber was habe ich eigentlich davon, wenn ich die Fahrwiderstände kenne? Geringere Fahrwiderstände machen weder die Menschheit, noch den einzelnen Menschen glücklicher. Es wäre mehr erreicht, wenn der Mensch wieder die Ruhe fände, um sich als Teil der umgebenden Natur - seiner Umwelt - wahrzunehmen - egal ob zu Fuß oder per Fahrrad.

"Nach innen kehr dein Aug' und du wirst finden
An tausend unerforschte Regionen;
Bereise sie und werde wohl bewandert
In deiner eignen Heimatweltenkunde."

(H.D.Thoreau: Walden)

Literaturverzeichnis

1. Berg, W.; R. du Bois-Reymond; L. Zuntz: Über die Arbeitsleistung beim Radfahren. D.O. (Berlin): 1904. Separat-Abzug aus Archiv für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abteilung. Supplement. 50 S.
2. Bouny, Elisée: Etude Expérimentale du Coup de Pédale. Paris: G. Steinheil 1899. 72 S.
3. Bourlet, C.: Nouveau Traité des Bicycles & Bicyclettes. I. Equilibre et Direction. II. Le Travail. Paris: Gauthier-Villars et Fils, Masson et Cie o. J. (1898). Deuxième Edition. Encyclopédie Scientifique des Aide-Mémoire. 177 + 184 S.
4. Cordsen, Johannes: Simulation des menschlichen Leistungsvermögen beim Fahrradfahren durch einen mechanischen Antrieb. Hamburg: Universität 1984. Staatsexamensarbeit. 96 S.
5. di Prampero, P. E.; G. Cortili; P. Mognoni; F. Saibene: Equation of Motion of a Cyclist. Journal of Applied Physiology, 47 (1979) July - Dezember, S.201-206
6. Fernandes, F. Dan: Aerodynamic Design of Human Powered Racing Vehicles. in: Abbott, Allan V. u. IHPVA (Hrsg.): Second International Human Powered Vehicle Scientific Symposium. Proceedings. O. O.: 1984. S.11-21
7. Fieblinger, Günter: Bestimmung von Rad- und Luftwiderstand (C_r und $C_w + A$) mit Ausrollversuchen. Kassel: Gesamthochschule, Fachbereich 2: Berufspädagogik / Polytechnik 1984. 31 S.
8. Fieblinger, Günter: Kennziffern zum realistischen Vergleich der Transportleistung von Fahrrädern. in: Aerodynamik des Fahrrads. Köln: Fachhochschule Köln 1983. Schriftenreihe zur Forschung und Entwicklung der Fachhochschule Köln, Heft 1. S.48-60
9. Keller, J.: Der Wirkungsgrad im Fahrradtrieb. Radaarkt, 1983 Nr.12, S.71-75
10. Kniephof, Jürgen: Entwurf eines Prüfstandes zur Untersuchung unterschiedlicher Fahrradtriebe. Hamburg: Universität 1984. Staatsexamensarbeit. 75 S.

11. Kukuk, Klaus: Fahrwiderstände des Fahrrades. Maßnahmen zur Berechnung und Verbesserung des Fahrwiderstandes verschiedener Fahrradkonstruktionen. Köln: Fachhochschule, Fachbereich Fahrzeugtechnik 1982. Diplomarbeit. 192 S.
12. Kyle, Chester R.: Improving the Racing Bicycle System. in: Abbott, Allan V. u. IHPVA (Hrsg.): Second International Human Powered Vehicle Scientific Symposium. Proceedings. D.O.: 1984. S.22-40
13. Kyle, Chester R.; Vincent J. Caizzo; Mario Palombo: Predicting Human Powered Vehicle Performance Using Ergometry and Aerodynamic Drag Measurements. D.O. (California): D.J. (1978). To be presented to a conference on Human Power for Health, Productivity, Recreation and Transportation at the Technical University of Cologne, Germany, September 25, 1978
14. Kyle, Chester R.; Claud Crawford; Dorrان Nadeau: Factors Affecting the Speed of a Bicycle. Long Beach, California State University, Department of Mechanical Engineering 1973. 16 S.
15. Kyle, Chester R.; Walter E. Edelman: Man Powered Vehicle Design Criteria. Long Beach: California State University o.J.. Presented at: Third International Conference on Vehicle System Dynamics, August 12-15, 1974, Blacksburg, Virginia. 16 S.
16. Kyle, Chester; Paul Van Valkenburgh: Rolling Resistance. A bicycle tyre test that reveals the big secret that manufacturers never discuss. Bicycle Magazine, July 1985, S.47-50
17. Miller, Crispin Mount: Testing for Aerodynamic Drag: A New Method. Bike Tech, 1 (1982) No.4, S.1-3
18. Milliken, D. L.; W. F. Milliken: Moulton Bicycle Aerodynamic Research Program. in: Abbott, Allan V. u. IHPVA (Hrsg.): Second International Human Powered Vehicle Scientific Symposium. Proceedings. D. O.: 1984. S.41-45
19. Moulton, Alex: The Moulton Bicycle. Proceedings of the Royal Institution of Great Britain, Friday-Evening Discourses, 23 February 1973. S.217-234
20. Nolte, Martin: Bestimmung der Rollreibungs- und Luftwiderstände von Fahrrädern. Messung und Auswertung von Ausrollversuchen mittels Taschencomputer. Oldenburg: Universität 1985. 36 S.
21. Nonweiler, T.: The Air Resistance of Racing Cyclists. Cranfield: The College of Aerodynamics 1956. Report No.106. 13 S.
22. Pivit, Rainer: Die Fahrwiderstände am Fahrrad. Ihre physikalische Bedeutung, Messung und Interpretation. Oldenburg: Universität 1985. Diplomarbeit. 175 S.
23. Rankine, W. J. Macquorn: On the Dynamical Principles of the Motion of Velocipedes. The Engineer, 28 (1869) August 6, S. 79, 129, 153 und 175
24. Ravenshaw, Henry W.: The Tractive Resistance of Bicycles, &c. Engineering (London), January 10, 1869, S.60
25. Rziha, Franz Ritter von: Versuche über die Arbeitsleistung beim Radfahren. Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines, 46 (1894) Nr.44, S.505-511 und 46 (1894) Nr.45, S.517-521
26. Scott, Robert P.: Cycling Art, Energy and Locomotion. A Series of Remarks on the Development of Bicycles, Tricycles, and Man-Motor Carriages. Philadelphia: Lippincott Company 1889. S.48-61
27. Sharp, Archibald: Bicycles and Tricycles. An Elementary Treatise on Their Design and Construction. Cambridge, Massachusetts: MIT Press 1979 (Reprint of the 1896 edition published by Longmans, Green, London, New York). 536 S. ISBN 0-262-69066-7
28. Stiftung Warentest (Hrsg.): Auch Radfahrer brauchen Profil. Test Fahrradreifen. Test Fahrradsonderheft 2/83. S.55-60
29. Thom, A.; P. G. Lund; J. D. Todd: Efficiency of Three-Speed Bicycle Gears. Engineering, 180 (1956) July 20, S.78-79
30. Van Valkenburgh, Paul: Human Power Research Methodology. in: Abbott, Allan (Hrsg.): The First Human Powered Vehicle Scientific Symposium. Proceedings. D. O.: 1982. S.95-111
31. Whitt, Frank Rowland; David Gordon Wilson: Bicycling Science. Cambridge, Mass.: MIT Press 1982. 2nd Ed. 364 S. ISBN 0-262-73060-X
32. Whitt, Frank R.: Power of Electric Cars. Engineering (London), 204 (1967) No.5296, 20 October, S.613
33. Wijewardene, Ray: Human Power: A Valuable Resource in the Developing Countries. Human Power, Spring 1985, S.18-20
34. Wobben, Dieter: Fahrwiderstände für einen Radfahrer. Pro Velo, 3 (1985), S. 17-22
35. Zuntz, Leo: Untersuchungen über den Gaswechsel und Energieumsatz des Radfahrers. Berlin: 1899. Inaugural-Dissertation, Medizinische Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg im Breisgau. 72 S.



Erfahrungen mit Fahrradbremsen in der Praxis

Dem Radler waere es am liebsten, wenn er garnicht bremsen muesste, denn Bremsen bedeutet immer, dass man auch wieder anfahren muss - aber leider sind die Umstaende nicht so.

Darum will ich ueber meine Erfahrungen mit Bremsen im Alltagsverkehr berichten.

Ich bin seit meinem zwoelften Lebensjahr fast jeden Tag, bei jedem Wetter groessere Strecken mit dem Rad gefahren. Als Schuelerin hatte ich ein billiges Kaufhausrad, inzwischen besitze ich ein qualitativ hochwertiges Velo.

Wirksamkeit der Bremsen

Die eindrucksvollste, mir in Erinnerung gebliebene Erfahrung mit Bremsen war ein Unfall: Ich fuhr auf dem Schulweg bei Regenwetter gegen ein mir die Vorfahrt nehmendes Auto. Meine Bremsen reagierten ueberhaupt nicht. Bei Trockenheit haette ich hoechstwahrscheinlich noch anhalten koennen. Da ich nicht sehr schnell gefahren war, ging die Sache fuer mich mit ein paar blauen Flecken ab. Ich haette aber doch lieber mit meinen Bremsen gebremst, als an dem Auto. Die besagten Bremsen bestanden aus der inzwischen allseits bekannten - aber immer noch sehr verbreiteten Selbstmordkombination: zwei Felgenbremsen mit Gummikloetzen (von Rainstop war damals noch nicht die Rede) auf verchromten geriffelten Felgen.

Mein naechstes Rad war demgegenueber fortschrittlich: Es hatte eine Gangschaltung mit Ruecktrittbremse. Die Vorderradbremse war aber wieder

Ich will - weil solche billigen Fahrraeder gerade von Schuelern wohl immer noch benutzt werden - auch aus dieser Zeit berichten. Dabei habe ich hauptsaechlich mit Felgen- und Ruecktrittbremsen Erfahrungen gesammelt.

Diese sind ja wohl auch die am staerksten verbreiteten Systeme.

Ich werde zuerst ueber die Wirksamkeit der Bremsen reden, dann ueber ihre Wartung und zuletzt noch ueber ihre Handhabung.

eine Felgenbremse der bekannten Kombination Gummi/Stahl, so dass ich bei Regen nur den Ruecktritt hatte. Zwar verzoeuert eine Hinterradbremse bekanntlich erheblich schwaecher, als eine Bremse, die auf das Vorderrad wirkt, aber diese Kombination funktionierte in einer Stadt ohne groessere Berge (Braunschweig) im taeglichen Betrieb, also auch bei Regen, zufriedenstellend. Auf einer Ferienfahrt (mit Zeltgepaeck durch England) wurde die gebremste Hinterradnabe allerdings sehr warm. Ich benutzte fuer alle folgenden Abfahrten dann nur noch die Vorderradbremse - und hoffte fuer den Rest der Tour auf schoenes Wetter.

Fuer das Naesseproblem bei meinen Vorderradbremsen erhielt ich dann auf der ADFC-Herbsttagung '81 einen Tip: Bremskloetze aus Chromleder - allerdings auch eine Warnung: Sie saugen sich mit Wasser voll und die Wirkung wird dann

wieder schlechter. Abhilfe sollte das Eintauchen in dickflüssiges Paraffin bringen. Das probierte ich auch brav aus. Allerdings war und blieb die Rucktrittbremse bei Regen die bessere. Auch ist fraglich, wie der so behandelte Bremsklotz auf Dauerbelastung reagiert - ich habe es lieber nicht ausprobiert.

Ausserdem hatte diese Vorderradbremse (Weinmann symetric) noch einen Nachteil: sie hatte sehr lange Zangen und reagierte entsprechend zögernd und labberig.

Die Bergfahrten auf den Ferientouren hatten den Wunsch nach einer Kettenschaltung geweckt und damit begann auch eine neue, bessere Bremsenära: Mein derzeitiges Rad hat wieder zwei Felgenbremsen (Shimano Tourney)- aber diesmal Aluminiumfelgen. Ausserdem zeichneten sich die Bremsen durch deutlich kürzere Zangen aus und damit durch eine direktere Reaktion.

Die Wirkung war - im Vergleich zu dem vorherigen Rad - phantastisch. Bei Regen liess die Bremswirkung zwar auch etwas nach, aber ich fühlte mich immer noch viel wohler als auf meinem alten Rad, dessen wichtige Vorderradbremse bei Regen ja so gut wie gar nicht funktioniert hatte.

Ich bin mit diesem Rad zweimal in den Bergen Suednorwegens gewesen und habe mein Rad auch auf Abfahrten mit 10% Gefaelle und fast 1000 m Hoehenunterschied bei Regen auf lehmigen, schmierigen Untergrund zum Stehen bringen koennen. Und

dies sogar, obwohl ich bei der ersten Tour noch ganz normale - also keine "Rain-Stop" - Bremskloetze benutzte. Als - bislang - letzte Errungenschaft habe ich die - recht teuren - Mathauser-Bremskloetze montiert. Die Verbesserung war zwar deutlich spuerbar, aber doch weniger gravierend als der Wechsel von Gummi/Stahl auf Gummi/Alu.

Die naechsten Bremsen-Erfahrungen machten wir, nachdem wir uns ein Tandem zugelegt hatten. Es hat je eine Crossbremse (Mafac) am Vorder- und Hinterrad und zusaetzlich eine Trommelbremse im Hinterrad (Maillard Vollbremsnabe). Die Trommelbremse hat bisher sehr zuverlaessig - auch allein und bei Regen - gearbeitet. Die Crossbremsen tun das gleiche - aber nur bei Trockenheit, da die Felgen - z.Z. noch - aus geriffeltem Stahl bestehen. Die "Super Stop"-Kloetze haben wir bislang sicherheitshalber noch nicht probiert, nachdem wir gewarnt wurden [J.Lowenstein: Bremsentest unterm Gartenschlauch; in 1.ADFC Tourenseminar in Guetersloh, Bielefeld 1985 / ders., in Radfahren 4/85, S.16], dass sie die Stahlfelgen abschmurgeln. Aehnliches soll [Arno Jost in Radfahren 6/83, S.44] auch fuer die "Super-Stop" fuer Alufelgen gelten, die wir gleich im Keller liegen liessen. Angeblich soll es inzwischen neue Versionen geben, die die Felgen nicht mehr demolieren - da sie sich aber auesserlich nicht von den alten unterscheiden, werden wir noch einige Zeit warten, bis wir einen Test wagen.

Wartung der Bremsen

Die Mathauser - Bremskloetze haben noch einen Vorteil: Ich benutze sie jetzt seit zwei Jahren tagtaeglich. Ausserdem mussten sie unsere zweite Norwegentour ueberstehen. Trotz-

dem ist erst ein Viertel des eigentlich recht duennen Klotzes abgenutzt. Damit waere ich beim naechsten Punkt: Wartung und Einstellung der Bremsen.

Ich habe als Schuelerin manchmal fluchend versucht, die sich staendig schief ziehenden Bremsen (Altenburger Brillant und Weinman 1020) wieder zu zentrieren. Der Austausch der Bremskloetze oder der Ersatz immer wieder abreissender Zuege und die dann wieder notwendige Justage der Bremsen waren schon groessere Aktionen. Der Austausch des billigen Blechbremshebels gegen einen besseren reduzierte dann wenigstens die Zahl der gerissenen Zuege deutlich. Die qualitativ besseren Mittelzugbremsen (Weinmann Vainqueur 900), die nach jahrelangen Justageversuchen die primitiven Seitenzugbremsen ersetzten, schafften dann endlich Erleichterung.

Meine Erfahrungen mit der Wartung der billigen Felgenbremsen meines Schuelerrades kann ich eigentlich so zusammenfassen: Sie sind etwas fuer Liebhaber: es gibt immer etwas nachzustellen und zu justieren. Dies gilt auch noch - allerdings in viel geringerem Masse - fuer mein jetziges Rad, obwohl ich wegen der Mathauser-Kloetze nur noch selten nachstellen muss. Die vordere Felgenbremse (Shimano Tourney) war nach dem letzten Winter mal wieder nicht mit-

tig. Das Zentrieren dieses Mittel/Seitenzugbremsenbastaards ist eine Friemelei! Mein Mann ist hier besser dran: er benutzt seit einem Jahr eine Weinmann 605. Das Zentrieren dieser Bremse bei der Erstmontage vor einem Jahr war voellig problemlos. Ob das Nachstellen genausogut geht, wissen wir noch nicht: bis jetzt war es nicht noetig.

Leider laesst sich diese Bremse an meinem Hinterrad (Englischer Rahmen) nicht vernuenftig montieren: es waeren zwei sehr enge Boegen im Bowdenzug notwendig. Die Montage der hinteren Felgenbremsen am Damenrad ist sowieso ein unloesbares Problem: entweder sind im Bowdenzug zwei enge Boegen, die einen grossen Teil der Handkraft vernichten, oder man muss einen "Rostbogen" in Kauf nehmen.

Die Justage der Crossbremsen unseres Tandems ist ebenfalls - insbesondere bei einem Wechsel der Bremskloetze - sehr schwierig. Dagegen ist die Wartung der Trommelbremse bisher unproblematisch.

Zur Ruecktrittbremse gibt es in diesem Kapitel nur gutes zu berichten, naemlich nichts.

Handhabung der Bremsen

So manche billige Bremse ist so labbrig und/oder schlecht einstellbar, dass die Bremshebel schon an den Griff anschlagen, bevor irgendeine Wirkung zu verspueren ist. Die Loesung dieses Problems sollte jedoch nicht ein extra nach aussen gebogener - und damit fuer Menschen mit kleineren Haenden nicht mehr zu greifender - Bremsgriff sein, sondern eine bessere, steifere, einfach zu justierende Bremse. Auch Frauen und Kinder muessen die Bremsgriffe gut erreichen koennen.

Es waere phantastisch, wenn man den Abrieb der Bremsbelaege am Griff nachstellen koennte - notfalls waehrend der Fahrt.

Es hat wohl schon jeder, der sein Velo mit mehr als einer Aktentasche beladen hat, die Erfahrung gemacht, dass dann das Vorderrad irgendwann umschlaegt, seitlich wegrollt und dann das ganze Rad umkippt. Das Wegrollen und das Umkippen laesst sich verhindern, wenn man die Vorderradbremse feststellen kann. Bei

Autos ist dies serienmaessig, fuer's Velo kann man eine Behelfsvorrichtung fuer relativ viel Geld (US-Import: Blackburn Stop Block) kaufen und braucht dann immer noch zwei Haende. Trotzdem lohnt sich diese Hilfe: Auf unserer

letzten Norwegentour brauchten wir beim Beladen der Raeder nicht mehr den zweiten Mann zum Halten. Ich vermute, dass dieses Zubehoerteil auch sehr nuetzlich ist, wenn man Kinder in den Kindersitz setzen will.

Kriterien fuer Bremsen

Soweit meine ganz persoentlichen Erfahrungen mit Bremsen. Sie lassen sich in folgender

Anforderungsliste zusammenfassen:

- ```

*
* 1.
* Fahrradbremsen sollten "ausreichend" bremsen ! Dies
* gilt fuer jedes Wetter und auch fuer Dauerbelas-
* tung.
*
* 2.
* Sie sollten mit wenig Wartung auskommen. Sie soll-
* ten einfach zu warten und zu reparieren sein.
*
* 3.
* Auch Kinder und zierliche Frauen muessen die Bremsen
* sicher betaeligen koennen.
*

```

Diese Kriterien sollten fuer jede Bremse gelten - auch fuer die billigste.

Wenn man es recht bedenkt, ist es schlimm, daB ich diese

eigentlich selbstverstaendlichen Kriterien hier nennen muB.

Heike Hattendorf, ADFC

---

## Nachtrag zu "Messung von Fahrwiderstaenden beim Fahrrad"

Nachdem ich diesen Aufsatz im letzten Herbst zusammengestellt hatte, habe ich das Fieblingsche Ausrollverfahren mittels Taschencomputer noch einmal ueberarbeitet und ein neues Auswertprogramm angefangen, das eine statistisch zuverlaessige Fehlerangabe ermoeglicht. Hierbei zeigte sich, daB die Effekte der Waende und Tuernischen in den zu den Ausrollmessungen benutzten Fluren sehr deutlich sind. Vergleichsmessungen draussen sind geplant.

Die Messungen von Nolte ergeben mit der neuen Auswertung folgende Werte mit korrekten Fehlerangaben fuer sein Rennsportrad, Rennlenker unten angefaBt,

ziemlich abgefahrenen Michelin 32-622 Reifen Profil-Typ C.L. (Nolte hatte auerdem noch einen Rechenfehler im Programm): Rollwiderstand  $0,00297 \pm 4,8\%$  und Luftwiderstand  $0,522 \text{ m}^2 \pm 1,4\%$ .

Das ueberarbeitete Ausrollmaessverfahren mit dem neuen Programm wird in dem Tagungsband zum Symposium "Vom Fahrrad zum energiesparenden Leichtfahrzeug. Fahrradforschung in der Bundesrepublik Deutschland, Oldenburg im September 85" veroeffentlicht. Erscheinungstermin steht noch nicht fest - hoffentlich bald.

Rainer Pivitt, Universitaet Oldenburg, FB 8, Arbeitsgruppe Fahrradforschung

# LESERBRIEF

Betr.: Grundlagen der Funktion von Fahrradlichtmaschinen in ProVelo 4, S. 32 - 34.

Schon vor längerer Zeit habe ich mit großem Interesse Deinen Beitrag in PRO VELO 4 gelesen. Leider lassen es meine elektrotechnischen Kenntnisse nicht zu, zur Verbesserung der Leistungskennlinie des Dynamos die erforderlichen Bauteile zu dimensionieren.

Insofern wäre ich Dir sehr dankbar für entsprechende Daten, einmal zum Erreichen der Kurve 2 (im Hinblick auf eine von 2,4/0,6 Watt abweichende Lampenbestückung) und der Kurve 3.

Als Dynamo verwende ich den "Nordlicht", falls dynamospezifische Werte dabei zu berücksichtigen sind.

Ich vermute, daß die Angabe geeigneter Bauteile auch für einen größeren Leserkreis von Interesse ist.

Mit einem herzlichen Dank für Deine Mühe und vielen Grüßen

Frank Tewes

Am Adamshäuschen 7

5100 Aachen

Antwort des Autors:

Aufgrund meines Beitrages in PRO VELO 4 habe ich eine ganze Anzahl Anfragen erhalten, die sich auf die Bauteilebemessung bezogen.

Dazu ist zu sagen, daß bei einer Reihe von Dynamotypen der steile Anstieg der Kurven 2 und 3 erst bei etwas höheren Geschwindigkeiten einsetzt, womit dem Benutzer nicht geholfen wäre.

Für den Nordlicht-Dynamo habe ich noch keine entsprechenden Messungen durchgeführt. Der Hersteller hat zudem die Produktion dieses Dynamos eingestellt.

Ich selbst möchte auch keinen bestimmten Dynamotyp empfehlen.

Eine eventuelle Dimensionierung müßte also experimentell vorgenommen werden, da die Daten der Dynamos auch innerhalb desselben Typs schwanken. Meine in der Patentschrift P 33 45 210 angegebene Bemessungsformel für den Kondensator lautet

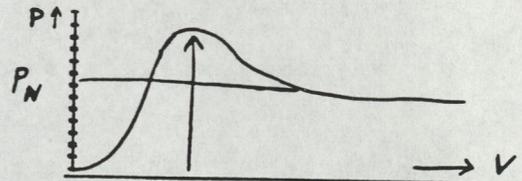
$$(1) \quad C = 1,73 \cdot \frac{L}{R^2},$$

wobei  $C$  = Kapazität des Kondensators,  
 $L$  = Induktivität der Ankerwicklung des Dynamos

und  $R$  = Nennwiderstand der Last plus Innenwiderstand des Dynamos (zusammen ca. 15 Ohm)

bedeuten.

Die optimale Kapazität muß auf ca. +/- 5 % genau eingehalten werden. Bei zu großer Kapazität geht Kurve 2 kontinuierlich in Kurve 1 über, bei zu kleiner Kapazität erhält Kurve 2 eine Spitze, die die Glühlampen gefährdet.



Man erhält - etwas unhandliche - Kapazitätswerte um ca 100 Mikro-Farad, wobei zu beachten ist, daß keine Elektrolyt-Kondensatoren verwendet werden sollten, weil diese zu wenig konstant sind, und daß bei einer bestimmten Geschwindigkeit an der Kapazität eine Resonanz-Spannungsspitze von ca. 70 - 80  $V_{SS}$  auftritt, für die diese ausreichend spannungsfest sein muß.

Da gepolte Kondensatoren nicht verwendbar sind, ist es unter Umständen empfehlenswert, durch eine Trafo-Schaltung einen kleinen, spannungsfesten Kunststoff-Folien-Kondensator auf den gewünschten Kapazitätswert heraufzutransformieren. Zur Dimensionierung der Zusatzinduktivität, die als erste vorgenommen werden muß, ist anzumerken, daß für die Berechnung der Stromstärke die gesamte im Kreis wirksame Induktivität  $L$  maßgeblich ist.

Sie berechnet sich zu

$$(2) \quad L = L_{\text{Dynamo}} + L_{\text{Zusatz}}$$

Die Stromstärke im Grenzfall hoher Geschwindigkeiten ist umgekehrt proportional zu  $L$ , daraus läßt sich leicht die notwendige Größe der Zusatzinduktivität abschätzen. Auch hier ist es nicht möglich, auf die experimentelle Dimensionierung zu verzichten, da der theoretische Kurvenverlauf durch Wirbelstromeffekte, die nebenbei bemerkt, einen Hauptteil der Verluste eines Dynamos hervorrufen, modifiziert wird.

Wenn eine Zusatzinduktivität verwendet wird, muß in Gleichung (1) für  $L$  der aus Gleichung (2) bestimmte Wert eingesetzt werden.

Meinen Aufsatz in PRO VELO 4 habe ich eigentlich als Beitrag zur wissenschaftlichen Diskussion aufgefasst, wodurch gezeigt werden sollte, wie durch eine neue Konstruktionsidee bessere Beleuch-

tungsanlagen entwickelt werden könnten. Der Vorteil bestünde insbesondere darin, daß an Lichtmaschinen, die eine konstante Leistung abgeben, Glühlampen mit einem höheren Wirkungsgrad verwendet werden könnten.

Zitat aus einer Mitteilung der Firma OSRAM:

"Sie haben das Problem angesprochen, daß die Fahrradscheinwerferlampe in einem weiten Spannungsbereich betrieben wird und dabei der Kreisprozeß (Anmerkung: gemeint ist der Halogen-Kreisprozeß, der bei Halogenlampen die Abtragung des Wendelmaterials verlangsamt und dadurch eine höhere Wendeltemperatur sowie eine vergrößerte Lebensdauer der Lampe ermöglicht. Der Autor) intakt bleiben soll. Die Lösung dieses Problems war natürlich nur durch einen Kompromiß in der Dosierung des Halogens möglich, der die von Nennspannung abweichenden Betriebszustände und die Forderung der Norm bei Nennspannungsbetrieb berücksichtigt (d. h. es wurde bezüglich des Betriebs an Nennspannung eine leichte Überdosierung gewählt). "

Dies bezieht sich auf die zur Zeit verwendeten handelsüblichen Halogenlampen, die den zur Zeit höchstmöglichen Wirkungsgrad für Fahrradbeleuchtungsanlagen aufweisen.

Eine kompromißlos auf höchste Wendeltemperatur gezüchtete Lampe, die in einem eng begrenzten Spannungsbereich betrieben wird, wie z. B. eine Halogen-Filmleuchte, könnte einen nach DIN bestimmten 40 % höheren Lichtstrom aufweisen (Wendeltemperatur von 3200 K auf 3400 K gesteigert). Der Nutzeffekt wäre aber noch höher, da die Lichtstrom-Messung nach DIN auf die durchschnittliche spektrale Empfindlichkeit des hell-adaptierten Auges bezogen wird.

Das bei Nacht dunkeladaptierte Auge hat aber für die kältere Lichtfarbe (höhere Farbtemperatur) des Lichtes einer heißeren Wendel physiologisch eine höhere Empfindlichkeit (Purkinje-Phänomen). Das Purkinje-Phänomen ist unter anderem der Grund, warum Halogen-Fahrradlampen gleicher Leistung so viel heller erscheinen als konventionelle Glühlampen, und zwar auf dem Land stärker als in der Stadt, weil dort bei Nacht eine höhere Allgemeinhelligkeit vorhanden ist.

Hier sind die Glühlampenhersteller gefordert, in Zusammenarbeit mit Beleuchtungsanlagenherstellern ein neues Sicherheitskonzept zu entwickeln.

Von dem Versuch, Beleuchtungsanlagen auf eigene Faust umzubauen, möchte ich abraten.

Erstens ist ohne amtlichen Segen jede bauliche Veränderung an Fahrradbeleuchtungsanlagen verbo-

ten und kann unangenehme straf- und zivilrechtliche Konsequenzen haben.

Zweitens führt der persönliche Sicherheits- und Komfortzuwachs auf subtile Weise zu einer Gefährdung der schlechter ausgerüsteten Radler, da diese dann leichter übersehen werden.

Eine Verbesserung der unerfreulichen Verkehrssicherheitssituation kann nach meiner Auffassung nur dadurch erreicht werden, daß durch Rechtsvorschrift einheitlich für alle bestimmte Qualitätsstandards geschaffen werden.

Dabei muß das Gesamtsystem "Verkehr" im Auge behalten werden. Die Sicherheit bei der Erkennung von Verkehrssituationen hängt nicht so sehr von der Helligkeit einzelner Beleuchtungsanlagen an sich ab, als vielmehr von den Kontrastverhältnissen im Sehfeld.

Daher hätte es etwa den gleichen Effekt, die Helligkeit der Kfz-Beleuchtung zu halbieren, anstatt die Helligkeit der Fahrradbeleuchtung zu verdoppeln.

Unfälle, die auf technisch begründete Fehlerkennung von Verkehrssituationen zurückzuführen sind, ließen sich vielfach durch gezielte, wahrnehmungspsychologisch fundierte Maßnahmen verhindern.

Dazu gehören Ausschaltung von Blendungsursachen und optischen Ablenkungen (Werbung !) sowie gezielte Führung der Aufmerksamkeit auf Gefahrenstellen und Anpassung des Geschwindigkeits-Verhaltens durch optische Hilfen, bekannt aus Verkehrsberuhigungsmaßnahmen.

Der Kraftfahrzeugführer, von dem letztlich die physische Gefährdung ausgeht, muß wieder lernen, aktiv suchend das Sehfeld zu erkunden, anstatt sich auf die magische Wirkung der Scheinwerfer zu verlassen.

Gerade Radler sollten stets sanfte gegen aggressive, überzüchtete Technik zu setzen versuchen. Dies ist auch ökologisch sinnvoll und zudem ein Gebot der Humanität, denn Tiere und Fußgänger haben in der Regel keine lichttechnischen Einrichtungen, die sie aus ihrer Umgebung herausheben, verfügen auch vielfach nicht über einen "autogerechten" Verhaltensapparat, der sie vor Verletzung und Tod rettet und werden daher vielfach zum Opfer im täglichen Bürgerkrieg des Wahnsinns, der allgemein Straßenverkehr genannt wird.

Ralf Kusmierz  
Siemensstr. 36  
4300 Essen 1

# Forschungsdienst Fahrrad



Der ADFC Bundesverband gibt die Reihe FORSCHUNGSDIENST FAHRRAD heraus. In dieser Reihe werden neuere Forschungsergebnisse zum Thema Radfahren (Schwerpunkt: Verkehrspolitik) zusammengefaßt und veröffentlicht. ProVelo dokumentiert die bisher erschienenen Ausgaben.

- NR. 1 Radwege im Winter nur räumen, nicht streuen!**  
Aus ökologischer Sicht ist es notwendig, Radwege im Winter zu räumen, ohne dafür Salz einzusetzen (salzfreier Winterdienst). Weder für den Verkehr noch juristisch ist dies mit Schwierigkeiten verbunden.  
Quelle: Bericht von Rainer Schneewolf, Institut für Stadtforschung und Strukturpolitik GmbH, Schöneberger Ufer 65, 1000 Berlin 30, im Auftrag des Umweltbundesamtes zum umweltfreundlichen Winterdienst (Versuche und Ergebnisse), veröffentlicht im Erich-Schmidt-Verlag, Berlin, Reihe Bericht 3/85.
- NR. 2 Radfahrer atmen weniger schmutzige Luft ein als Autofahrer!**  
Autofahrer atmen im Berufsverkehr in Städten mit Abstand die schlechteste Luft ein. Die Atemluft von Radlern und Benutzern öffentlicher Verkehrsmittel weist dagegen weniger Schadstoffe auf.  
Quelle: Bericht von Heide Wahrlich in der Zeitschrift Öko-Test (1. Jg., Heft 8/1985, S. 35 - 41). Öko-Test Verlag GmbH&Co KG, Schwanthalerstr. 59, 6000 Frankfurt 70
- NR. 3 50 % aller Pkw-Fahrten in der Stadt sind unnötig!**  
Einzelnen Städten und Gemeinden ist es durch aktive verkehrspolitische Maßnahmen bereits gelungen, mehr Unabhängigkeit vom privaten Pkw zu schaffen und Verkehrsanteile auf die öffentlichen Verkehrsmittel und den Fahrradverkehr zu verlagern.  
Quelle: Bericht von Dieter Apel in der Reihe Stadtverkehrsplanung Teil 3: Umverteilung des städtischen Personenverkehrs. Aus- und inländische Erfahrungen mit einer stadtverträglicheren Verkehrsplanung. Verlag und Vertrieb: Deutsches Institut für Urbanistik, Straße des 17. Juni 110, 1000 Berlin 12. Umfang: 366 Seiten. Zusammenfassung (9 Seiten) als Zeitschriftenaufsatz veröffentlicht: D. Apel, Es geht (und fährt) auch anders. In: Alternative Kommunalpolitik, Sonderheft 5, Bielefeld 1985.
- NR. 4 3. Kolloquium im Modellvorhaben "FLÄCHENHAFTE VERKEHRSBERUHINGUNG"**  
Erste Untersuchungen aus dem von der Bundesregierung geförderten Modellvorhaben "Flächenhafte Verkehrsberuhigung" zeigen, daß sich durch geringe Umbaumaßnahmen an Straßen und Einführung von "Tempo 30"-Gebieten und "Verkehrsberuhigten Bereichen" deutliche Verbesserungen erreichen lassen im Hinblick auf Verkehrssicherheit, Lärmbelastung und Aufenthaltsqualität von Straßen.  
Quelle: Tagungsband "3. Kolloquium Forschungsvorhaben 'Flächenhafte Verkehrsberuhigung' Erste Erfahrungen aus der Praxis" ist vom Umweltbundesamt veröffentlicht und gegen 5 DM zu beziehen (289 S.) Anschrift des Autors und des Umweltbundesamtes: R. Kürer, UBA, Bismarckplatz 1, 1000 Berlin 33
- NR. 5 Autofahrer reagieren bei Konflikten später als Radfahrer**  
Eine im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführte Untersuchung von Verkehrskonflikten hat ergeben, daß Radfahrer in verkehrsberuhigten Bereichen relativ sicher sind. Kommt es zwischen Radfahrern und Kraftfahrern dort zu Konflikten, so reagiert der Radfahrer zuerst und verhindert weitere Folgen. Dies gilt auch in den Fällen, in denen Autofahrer die Konflikte verursacht haben.  
Quelle: Bernd Adelt u.a.: Untersuchung im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch-Gladbach (Dezember 1984). Veröffentlicht in der Reihe Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung Nr. 98. Bundesanstalt für Straßenwesen, Brüderstr. 53, 5060 Bergisch-Gladbach 1 (Tel. 02204-430).
- NR. 6 Traditionelle Verkehrserziehung durch umfassende Umweltpädagogik ersetzen**  
Quelle: Volker Briese/Helmut Wittekind: Verkehr - Umwelt - Fahrrad. Grundlagen für eine Verkehrspädagogik als ökonomisch-politische Umwelterziehung. pad. Pädagogische Arbeitsstelle Dortmund 1985 (pad Postfach 120143, 4600 Dortmund, 283 Seiten, 24 DM, ISBN 3-88515-046-8)

**NR. 7 Das Fahrrad im Berufsverkehr ist in den Niederlanden am wichtigsten**

Die meisten Berufspendler in Europa fahren mit dem Auto zur Arbeit. Bei der Fahrradnutzung liegen die Niederlande und Dänemark vorn. In Holland fährt mehr als ein Drittel, in Dänemark mehr als ein Viertel aller Berufstätigen mit dem Fahrrad zum Arbeitsplatz.

Quelle: L. Pickup/S.W. Town: Commuting patterns in Europe: an overview of the literature. Ed. Transport and Research Laboratories, Crowthorne, GB 1983 (TRRL Supplementary Report 796, ISSN 0305-1315).

**NR. 8 Radverkehrsflächen sorgfältiger planen**

Wenn Radverkehrsflächen ebenso wie die Straßen für den Kraftfahrzeugverkehr nach dem Fahrverhalten der Autofahrer und den technischen Anforderungen der Fahrzeuge beurteilt werden, verdienen die meisten vorhandenen Radverkehrsanlagen die Note "ungenügend".

Quelle: Vortrag von Oskar Balsiger auf dem Internationalen Planungsseminar "Perspektiven des Fahrradverkehrs", Schloß Luxemburg v. 30.5. - 1.6.1985, veröffentlicht im Tagungsbericht (Hg. Akademie für Umwelt und Energie, Luxemburg, Berichte und Dokumente, Heft 7, o.J. (1985)).

**NR. 9 Viele Steine auf dem Weg zur "Fahrradfreundlichen Stadt"**

In den Städten Rosenheim und Detmold, die im Rahmen des vom Umweltbundesamt unterstützten Modellvorhabens "Fahrradfreundliche Stadt" für die radlerfreundliche Entwicklung ihrer Städte eintreten wollten, gibt es erhebliche Schwierigkeiten bei der Umsetzung der geplanten fahrradfreundlichen Maßnahmen.

Quelle: "Modellvorhaben Fahrradfreundliche Stadt". Erste Projektphase 1981 - 1983, herausgegeben vom Umweltbundesamt, veröffentlicht in der Reihe UBA TEXTE 22/84 (Werkstattbericht Nr. 11 - 1984), erhältlich gegen 5 DM auf Postgiro 4327 65-104 Berlin von der Firma Werbung und Vertrieb, Berlin 41.

(wird in ProVelo 6 fortgesetzt)

## ERSTE TESTERGEBNISSE DER «LEITRA» PROTOTYPEN

von C. G. Rasmussen

In mehreren Artikeln in BikeTech (Februar 1983) und den HPV News (März 1984) berichtete ich über meine persönlichen Erfahrungen nach den ersten 50 000 km in einem vollverkleideten LEITRA-Dreirad. Der naheliegende nächste Schritt in der Produktentwicklung war die Organisation eines ausgedehnteren Testprogramms während des ganzen Jahres 1984. Es umfaßte heiße Sommertage, Regen, Schneestürme und Temperaturen bis hinunter zu -20 Grad Celsius.

Ausschließlich für dieses Testprogramm wurden zwölf Fahrzeuge in fünf verschiedenen Größen und Farben hergestellt; sie legten im Jahr 1984 zusammen 50 000 km zurück. Die Dreiräder wurden von 60 Personen für einen Zeitraum von je einem bis drei Monaten benutzt, und zwar für die Fahrt zum Arbeitsplatz, zum Einkaufen und für Touren. Der Testzeitraum wurde auf mindestens einen Monat festgelegt, denn man/frau braucht einige Wochen, um sich an die niedrige Sitzposition zu gewöhnen und die Muskeln entsprechend zu trainieren.

### Die Testmannschaft

Die Teilnehmer am Testprogramm waren zwischen 17 und 70 Jahren alt, Männer und Frauen aus vielen verschiedenen Berufen. Viele von ihnen hatten nie versucht, ein normales Rennrad zu fahren und waren nicht an die Bedienung einer Kettengangschaltung gewöhnt.

Sie unterschieden sich stark in Körpergröße und Gewicht (von 1,58 m bis 2,02 m und von 45 kg bis 90 kg), was uns sofort dazu zwang, eine Lösung für das Problem der Anpassung des Dreirads und der Verkleidung an den Fahrer zu finden. Die Bequemlichkeit der Fahrt hängt sehr stark von der genauen Größenanpassung ab. Hinsichtlich der Tretlagerposition wird von den Fahrern im allgemeinen lediglich eine Abweichung von +/- 1,5 cm toleriert.

Die Fahrer mußten für ihre Teilnahme am Testprogramm eine Miete zahlen. Die Hälfte verfaßte einen schriftlichen Bericht, während die anderen ihre Kommen-

tare und Vorschläge mündlich abgaben. Die gesamten Informationen wurden in die kontinuierliche Produktentwicklung und -verbesserung einbezogen.

### Einige Probleme und ihre Lösungen

Problem Nr. 1 waren Reifenpannen. Etwa dreißig Prozent der Fahrer hatten während des Testzeitraums einen oder mehrere Platten, vor allem im Winter und sogar mit neuen Reifen. Die Ursache war in den meisten Fällen scharfer Split, der im Winter - zum Nutzen der Autofahrer - mit Salz zusammen gestreut wird.

Das gesamte Konzept eines muskelgetriebenen Allwetter-Fahrzeugs fällt in sich zusammen, wenn man/frau im Regen oder Schnee aussteigen muß, um einen Reifen zu reparieren. Deswegen werden jetzt alle Räder mit doppelten Reifen oder mit einer Verstärkung zwischen Decke und Schlauch ausgestattet. Die Benutzung von Kevlar-verstärkten Reifen könnte eine gute Lösung sein, wenn es sie in der benötigten Größe von 20" gäbe. Außerdem mußten wir feststellen, daß die Qualität der Reifen sehr unterschiedlich ist. Der erste Typ, den wir benutzten, war der österreichische Semperit, was vermutlich die schlechtestmögliche Wahl war. Die Verwendung besserer Reifen und die Benutzung von Doppelreifen lösten das Problem.

Problem Nr. 2 war die Sicht durch die Windschutzscheibe bei Nacht. Wir fertigten sie aus Polykarbonat, das in vieler Hinsicht ein ausgezeichnetes Material ist, aber es hat einen entscheidenden Nachteil: Es ist zu weich. In sehr kurzer Zeit ist es voller feiner Kratzer. Dies stört die Sicht am Tage

### Leitra M 1: Technische Daten Vollverkleidetes Liege-Dreirad für Fahrten zur Arbeit und in der Freizeit

#### Abmessungen:

Länge: .....195 - 205 cm  
Breite: .....98 cm  
Spurweite: .....90 cm  
Höhe: .....125 - 135 cm  
Gewicht: ..13 kg (Dreirad allein)  
25 kg (mit Verkleidung)

Länge und Höhe sind auf die Größe des Fahrers einstellbar. Der Rahmen aus Stahlrohr und das Aluminiumgestell bilden einen Schutzkäfig um den Fahrer für höchste Be-

nicht sehr, aber wenn man/frau bei Nacht fährt, wird das Licht der entgegenkommenden Fahrzeuge und das der Verkehrsampeln so stark durch die Kratzer gestreut, daß man/frau kaum etwas sehen kann. Eine mögliche Lösung ist die Verwendung von Sicherheitsglas für das Vorderteil der Windschutzscheibe, wie es im Automobilbau verwendet wird.

Das dritte Problem war die unmittelbare Folge einer Forderung der Behörden. Nach den dänischen Verkehrsregeln ist die Benutzung von Blinkern zum Zeichengeben an Fahrrädern nicht gestattet. Deshalb mußten wir die Verkleidung so gestalten, daß Signale zum Anhalten und zur Richtungsänderung mit dem Arm gegeben werden können. Die Löcher in der Seite der Verkleidung sind bei schlechtem Wetter sehr unbequem, denn der Arm auf der dem Wind zugewandten Seite wird naß und bespritzt.

Die Testfahrer waren sehr zufrieden mit der Wirkung der Federung an den Vorderrädern, mit Sitz und Lenkung, der verstellbaren Lüftung und der Gepäckkapazität, letztlich mit allen den Merkmalen, die Ergonomie und praktischen Gebrauch betreffen.

Trotzdem waren einige junge Testteilnehmer ein wenig enttäuscht, weil sie die Autos nicht überholen konnten. Einige wurden von der Polizei auf Autobahnen erwischt, aber keiner von ihnen bekam ein Strafmandat wegen Überschreitung der 100 km/h-Geschwindigkeitsbegrenzung. Ich vermute, sie haben zuviel amerikanische Science Fiction-Romane gelesen.

quemlichkeit und Sicherheit.

Die Zeichnungen (letzte Umschlagseite) zeigen Einzelheiten der Konstruktion:

1. Verkleidung aus glasfiberverstärktem Epoxyharz
2. Frontscheibe aus Kunststoff-Verbundglas
3. Rückspiegel
4. Abdeckung aus kunststoffverstärktem Stoff
5. Korb
- 6./7. Gepäckraum rechts und links
8. Verstellbarer Lufteinlaß
9. Lufteinlaß für die Frontscheibe
10. Schutzgestell
11. Lenkung
12. Gangschaltung
13. 20"-Vorderräder, aufgehängt an Glasfiber-Elementen

## PRO VELO ... bisher

### **Heft 1: Erfahrungen mit Fahrrädern I**

Fahrberichte über Stadträder, Langstreckenräder, Tandems, Fahrradanhänger, Sättel. 1. Aufl. August 1984, 6., überarb. Aufl. 1987, 7. Aufl. 1989, 43 Seiten.

### **Heft 2: Fahrrad für Frauen (... und Männer)**

IFMA-Rundgang 1984: Das Fahrrad auf dem Weg zum Verkehrsmittel. Tips: Mit dem Fahrrad umgehen. Referate der ADFC-Fachtagung Stadtfahrrad«. Entwicklungslinien moderner Stadträder. Fahrttests. 1. Aufl. Dezember 1984, 5., überarb. Aufl. 1987, 6. Auflage 1989, 42 Seiten.

### **Heft 3: Theorie und Praxis rund ums Fahrrad.**

Fahrwiderstände für einen Radfahrer. Felgenbremse. Klassifikation Aerodynamik-Räder. Fahrberichte: Kardan-Antrieb, Liegeräder, Reiseräder, Ergorad. 1. Aufl. März 1985, 4., überarb. Aufl. 1987, 5. Aufl. 1989, 44 Seiten.

### **Heft 4: Erfahrungen mit Fahrrädern II**

Test: Reiseräder, Stadträder, Moulton, Kardan, Gepäcktaschen. Fahrradanhänger, Federung am Fahrrad. Fahrradbeleuchtung. Fahrradunfälle. 1. Aufl. September 1985, 2., überarb. Aufl. 1987, 3. Aufl. 1989, 44 Seiten.

### **Heft 5: Fahrradtechnik I**

Auslegung von Kettenschaltungen. Messung von Fahrwiderständen. Wirkungsgrad im Fahrradtrieb. Test: Leitra. 1. Aufl. März 1986, 2. überarb. Aufl. 1987, 3. Aufl. 1989, 44 Seiten.

### **Heft 6: Fahrradtechnik II**

Beleuchtung. Auslegung der Kettenschaltung. Wartung und Verlegung von Seilzügen. Test: Fahrrad-Rollstuhl, Veloschlösser. 1. Aufl. 1986, 46 Seiten.

### **Heft 7: Neue Fahrräder I**

IFMA-Bilanz 1986. Neue Fahrrad-Technik. Hydraulik-, Monolever-Bremsen. Test: Reiserad. Fahrwiderstände. Hybrid-Laufräder. 5-Gang-Nabenschaltung. 1. Aufl. 1986, 38 Seiten.

### **Heft 8: Neue Fahrräder II**

Marktübersicht '87. Fahrberichte/Tests. Fahrrad-Lichtmaschinen. 1. Aufl. 1987, 44 Seiten.

### **Heft 9: Fahrradsicherheit**

Haftung bei Unfällen. Bauformen Muskelfahrzeuge. Anpassung an den Menschen. Fahrradwegweisung. 1. Aufl. 1987, 40 Seiten.

### **Heft 10: Fahrradzukunft**

Fahrradkultur. Leichtfahrzeuge. Radwege. 1. Aufl. 1987, 48 Seiten.

### **Heft 11: Neue Fahrrad-Komponenten**

5-Gang-Bremsnabe. Neue Bremsen. Beleuchtung. Leichtlauf. Radwegebau. Fahrrad-Image '87. 1. Aufl. 1987, 40 Seiten.

### **Heft 12: Erfahrungen mit Fahrrädern III**

Mountain-Bikes: Reiserad, Stadtrad, Schaltung, Praxistest. 5-Gang-Nabe. Fahrradkauf. Reisetandem. Schwingungskomfort an Fahrrädern. 1. Aufl. 1988, 44 Seiten.

### **Heft 13: Fahrrad-Tests I**

Fahrttests. Sicherheitsmängel. Gefährliche Lenkerbügel. Radverkehrsplanung. 1. Aufl. 1988, 44 Seiten.

### **Heft 14: Fahrradtechnik III**

Bremsentest. Technik und Entwicklung der Kettenschaltung. Großstadtverkehr. Fahrrad-Anhänger. Hydraulik-Bremse. 1. Aufl. 1988, 40 Seiten.

### **Heft 15: Fahrradzukunft II**

IFMA-Rundgang 1988. Neue DIN-Sicherheitsvorschriften. Konstruktive Gestaltung von Liegerädern. 1. Aufl. 1988, 40 Seiten.

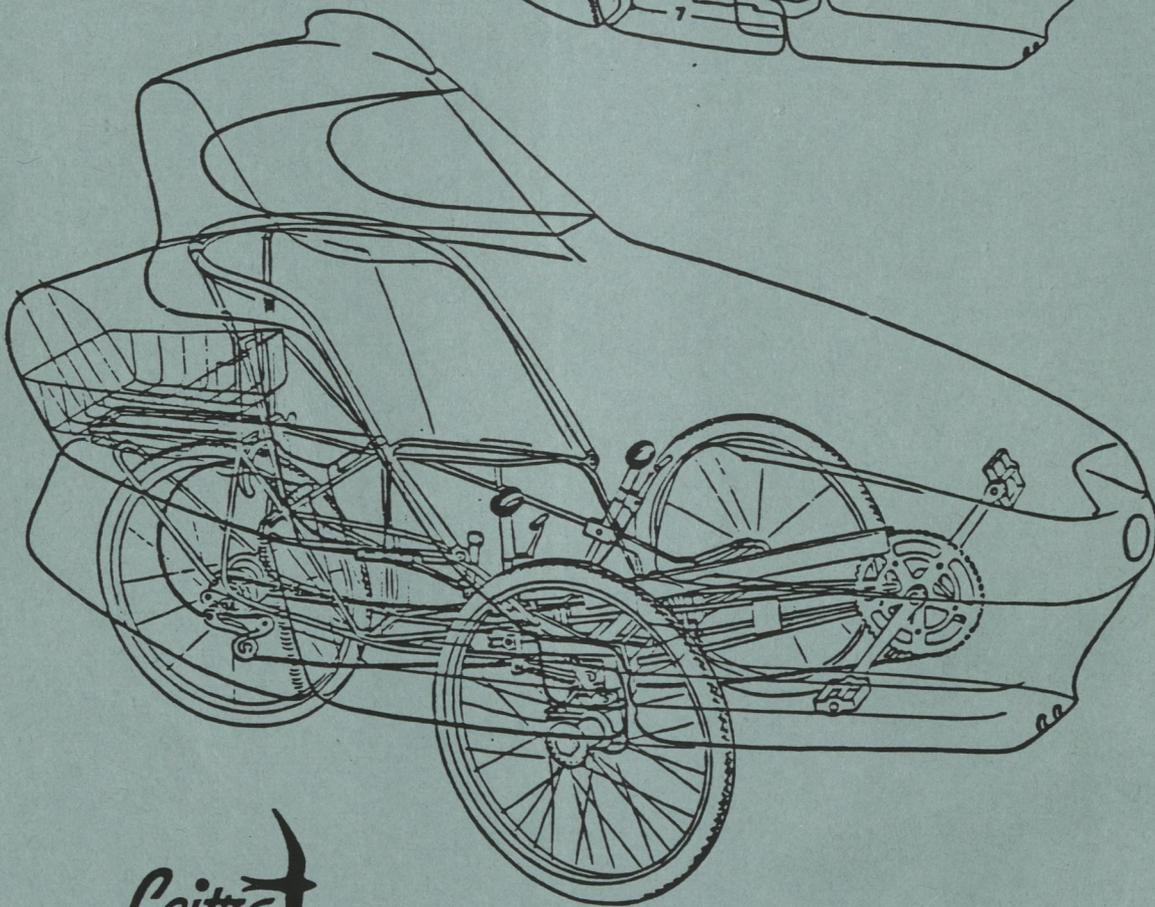
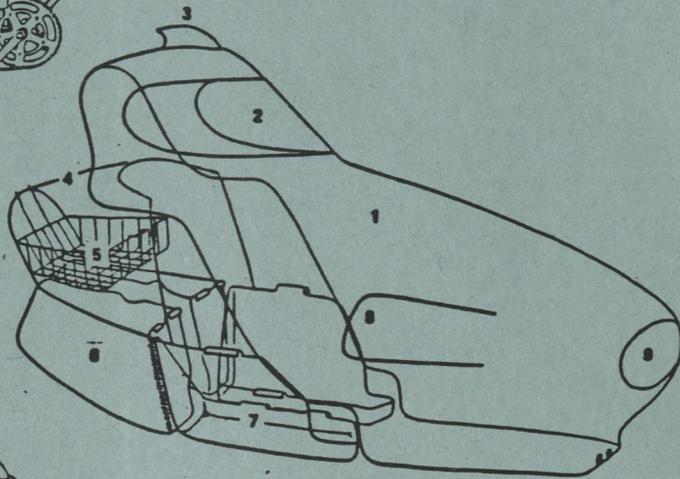
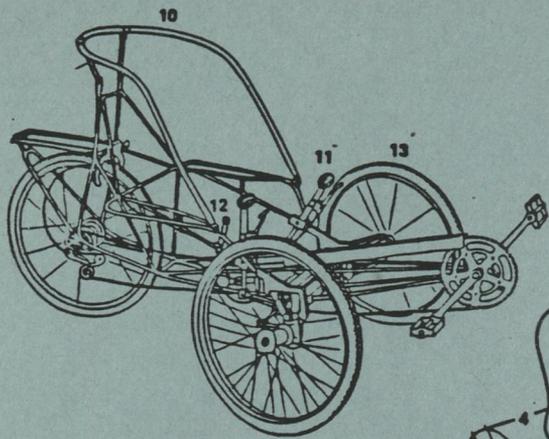
### **Heft 16: Fahrradtechnik IV**

Mountain-Bike-Test. STS-Power-Pedal. Liegeräder. Radiale Einspeichung. Praxistips. 1. Aufl. 1989, 40 Seiten.

### **Heft 17: Fahrradtechnik V**

Qualitäts- und Sicherheitsdefizite bei Alltagsfahrrädern. Tests: Bremer Stadt-ATB; Reisetandem Follis; Speichendynamo G-S 2000. Ergonomie bei Fahrradschaltungen. 1. Aufl. Juni 1989, 40 Seiten.

Einzelpreis 6 DM zuzüglich 1 DM Porto. Bei Vorauszahlung portofrei. Abo 20 DM für 4 Hefte. PRO VELO-Verlag, Am Broicher Weg 2, 4053 Jüchen. Postgiro Essen 16909-431 (BLZ 360 100 43) Stand: September 1989



*Leitra*