

## Ist ein Elektrofahrrad ein Fahrrad?

Das unmotorisierte Fahrrad wird als Fahrrad bezeichnet. Die Betrachtungen beziehen sich mehr auf das Alltagsfahrrad als auf das Sportgerät. Mit »Elektrofahrrad« ist das Pedelec mit 25 km/h Höchstgeschwindigkeit gemeint.

### Konstruktionsprinzipien des Fahrrades

Die meisten Fahrradfahrer, die ihr Fahrrad als Verkehrsmittel und nicht als Sportgerät nutzen, leisten ca. 100 bis 150 Watt. Beim Elektrofahrrad dürfte die durchschnittliche Fahrerleistung niedriger liegen, geschätzt zwischen 80 und 100 Watt. Diese geringe und nicht zu steigernde Antriebsleistung des Fahrrades hat weitreichende Auswirkungen auf die Konstruktionsprinzipien und somit auf die technischen Lösungen am Fahrrad. Deshalb unterscheidet sich der Fahrradbau in vielen Punkten vom klassischen Maschinenbau und vom (Kraft-)Fahrzeugbau moderner Prägung. Auch setzen die Preise von Alltagsfahrrädern, die die meisten Fahrradfahrer auszugeben bereit sind, enge Grenzen.

An folgenden Beispielen werden diese speziellen Konstruktionsprinzipien des unmotorisierten, klassischen Fahrrades verdeutlicht.

### Leichtbau

Fahrzeuge, ob Autos, Motorräder oder Fahrräder, werden immer auch nach Leichtbaukriterien beurteilt. Man kann dabei folgende drei Leichtbaumaßnahmen unterscheiden, von denen die ersten beiden, der Form- und der Stoff-Leichtbau, den meisten Lesern vertraut und bewusst sein werden, der dritte aber, der sog. Bedingungsleichtbau, ein Schattendasein führt, obwohl er gerade im Fahrradbau eine große Bedeutung hat (vgl. Bernd Klein: Leichtbau-Konstruktion – Berechnungsgrundlagen und Gestaltung. 3. Auflage. Braunschweig/Wiesbaden 1997, S. 3ff. ISBN 3-528-24115-2).

1. Der Form-Leichtbau: Durch geschickte Wahl der Form oder des Profils von Bauteilen werden geringe Gewichte bei hoher Steifigkeit und Festigkeit erzielt. Beispiele am Fahrrad: »Oversize“-Profile bei Rahmenrohren, Lenkern, Sattelstützen usw.
2. Der Stoff-Leichtbau: Es werden Werkstoffe gewählt, die gute mechanische Eigenschaften bezüglich des spezifischen Gewichts >



Bild 1: Pedelec mit Scheibenbremse: real 32 kg



Bild 2: Leicht-Trekkingrad: real 10,5 kg

haben: Beispiele am Fahrrad: hochfeste Titanschrauben, Rahmenrohre aus hochfesten Aluminiumlegierungen usw.

3. Der Bedingungs-Leichtbau: Durch Schaffung günstigerer Bedingungen für die Konstruktion kann diese leicht gehalten werden; im Fahrradbau werden diese günstigen Bedingungen häufig durch geschickte Krafteinleitung erzielt, wie folgendes Beispiel verdeutlicht:

Scheibenbremsen versus Felgenbremsen: Seit Jahren gibt es bei hochwertigen Fahrrädern den Trend, die 'primitiven' und althergebrachten Felgenbremsen durch moderne Hightech-Scheibenbremsen, die ja auch automobiler Standard sind, zu ersetzen. Das moderne MTB wird fast ausschließlich mit Scheibenbremsen bestückt und es scheint nur noch eine Frage der Zeit zu sein, bis auch die meisten Alltags- und Rennräder nachziehen. Aber hier lohnt es sich, genauer hinzusehen und folgende Verhältnismäßigkeiten im Blick zu behalten, statt einfach automobiler Maßstäbe aufs Fahrrad zu übertragen. Die Scheibenbremse ist eine Höchstleistungsbremse, die gegenüber der Felgenbremse eine höhere Bremsleistung in Extremsituationen besitzt: bei Nässe, bei hoher Wärmeentwicklung und bei hohen Fahrzeuggewichten. Auf der anderen Seite ist die Krafteinleitung der Bremskräfte in Rahmen und Gabel bei einer Scheibenbremse viel ungünstiger als bei einer Felgenbremse: Die Kräfte werden in nur ein Gabelbein eingeleitet und der Kraftangriffspunkt liegt näher an der Achse, sodass die entstehenden Biegemomente so hoch sind, dass die Bauteile viel stärker, und das heißt schwerer dimensioniert werden müssen. Die Felgenbremse ist praktizierter Bedingungsleichtbau: Kräfte werden so günstig eingeleitet, dass schlanke, leichte Fahrradgabeln den auftretenden Kräften gewachsen sind. Dadurch ist ein Fahrrad mit Felgenbremsen deutlich leichter als eines mit Scheibenbremsen, nicht nur wegen der leichteren Bremsen, sondern auch wegen der leichteren Gabel- oder Rahmenkonstruktion. Für Fahrräder und Fahrradfahrer ist die Felgenbremse immer dann die bessere Wahl, wenn ihre Bremsleistung ausreichend ist – und das trifft häufig zu. Die Scheibenbremse als die aufwendigere und schwerere Bremse wird dann sinnvoll eingesetzt, wenn ihre Leistungsvorteile auch zum Tragen kommen. Es gibt viele weitere Beispiele von Fahrradkonstruktionen, bei denen Bedingungs-Leichtbau die Leichtbaumaßnahme der Wahl ist: Gewichtsoptimierung ohne aufwendige Formen (Form-Leichtbau) und teure Werkstoffe (Stoff-Leichtbau).

## Wirkungsgradoptimierung

Genau wie beim Leichtbau gibt es bei den Wirkungsgraden eines Fahrrades verschärfte Bedingungen aufgrund der geringen Antriebsleistung. Ein »100-Watt-Fahrzeug« kann es sich nicht leisten, mechanische Leistung in Wärmeströmen zu verschwenden:

# Fahrradzukunft

---

- Der Kettenantrieb ist nach wie vor der Standardantrieb eines Fahrrades trotz seiner Nachteile bei Wartung und Verschleiß. Kettenantriebe haben die höchsten Wirkungsgrade.
- In allen Nabenschaltungen werden aufwendige Planetengetriebe verwendet. Planetengetriebe sind als sog. Umlaufrädergetriebe die Wirkungsgrad-Weltmeister. Würde man bei einem Fahrrad mit Rohloff-Nabenschaltung, bei dem bis zu vier Getriebe hintereinander geschaltet sind, einfachere Zahnrad-Standgetriebe in der Nabe verbauen, würden statt 4 bis 5 Watt 10 bis 15 Watt Verlustleistung entstehen und die Nabe würde sich voraussichtlich nicht verkaufen lassen.

Noch deutlicher wird die Wirkungsgradoptimierung am Beispiel der Entwicklung der Fahrradbeleuchtung in den letzten ca. 20 Jahre zu sprechen kommen, denn da gab und gibt es Entwicklungen, die im Automobilbau nahezu undenkbar sind:

- Der Gesetzgeber schreibt für Fahrradlichtanlagen seit den 60er Jahren eine Nennleistung von 3 Watt vor. Dies tat er damals aus gutem Grund. Bei den Wirkungsgraden der einfachen, alten Seitendynamos von ca. 20 % wurden dem Fahrer schon grenzwertige 15 Watt seiner Antriebsleistung, also ca. 15 %, abgeknöpft. Eine höhere elektrische Nennleistung des Dynamos hätte dazu geführt, dass die meisten Fahrer das Licht nur in Ausnahmefällen eingeschaltet hätten.
- Moderne Nabendynamos haben deutlich bessere Wirkungsgrade von ca. 50 %.
- Noch deutlicher ist die Verbesserung der Wirkungsgrade von Fahrrad-Scheinwerfern. Eine Glühlampe, wie sie noch vor wenigen Jahren üblich war, setzt 1 Watt elektrische Leistung in 10 Lumen Lichtstrom um, eine Hochleistungs-LED in 100 Lumen!
- Wenn wir die Leistungspfade von alten Lichtanlagen mit denen von neuen vergleichen, haben wir eine dramatische Verbesserung: Eine alte Lichtanlage braucht 15 Watt Antriebsleistung für den Dynamo und liefert ca. 30 Lumen Lichtstrom. Eine moderne Lichtanlage braucht 6 Watt Antriebsleistung für den Dynamo und liefert ca. 300 Lumen Lichtstrom. Eine Verbesserung in wenigen Jahren um den Faktor 25!
- Das Besondere kommt aber erst noch. Nicht nur, dass Fahrradkonstrukteure Dynamos mit deutlich besseren Wirkungsgraden erfunden haben und dass die neuesten Errungenschaften der Lichttechnik in Fahrradscheinwerfern zu finden waren, als Autoscheinwerfer noch mit Halogenbirnen ausgestattet waren (und sind): Es gibt inzwischen aufgrund der Wirkungsgradverbesserungen Fahrrad-Lichtanlagen mit 1,5 Watt – Leistungsreduktion als technischer Fortschritt!



Diese Beispiele ließen sich beliebig fortführen. Fahrräder werden also anders optimiert als Kraftfahrzeuge. Die geringe Antriebsleistung führt zu Lösungen, bei denen Leichtbau und Wirkungsgradoptimierung an erster Stelle stehen.

## Veränderungen durch das Elektrofahrrad

Beim Elektrofahrrad herrschen grundsätzlich andere Ausgangsbedingungen als beim Fahrrad: Leistung ist im Überfluss vorhanden!

Zu den 80 bis 100 Watt Antriebsleistung des Fahrradfahrers (s.o.) kommen ca. 250 Watt Leistung des Elektromotors. Diese Vervielfachung der Leistung wird weniger in höhere Fahrgeschwindigkeiten umgesetzt als vielmehr in eine ständige Leistungsbereitstellung – in einen Leistungsüberfluss, wie ihn auch die meisten Kraftfahrzeuge bieten. Dadurch verschieben sich die konstruktiven Zwänge deutlich. Es gibt keine äußeren Notwendigkeiten mehr, besonders leichte Fahrzeuge mit hohen Wirkungsgraden zu bauen. Aus Sicht des Fahrradfahrers ist das hohe Gewicht allenfalls beim Tragen des Elektrofahrrades lästig, aber nicht beim Fahren. Es gibt kaum eine Rückmeldung über schlechte Wirkungsgrade und Schwergängigkeiten – die Motorleistung überspielt sie.

Auch verliert das Thema »Ergonomie« an Bedeutung. Eine gute Sitzposition ist umso wichtiger, je mehr ein Fahrradfahrer leistet, da insbesondere die Gelenke stark belastet werden. Häufig sieht man Fahrer von Elektrofahrrädern, die zu niedrig sitzen, ohne dass dadurch die Fahrleistungen sinken.

Andere Aspekte treten in den Vordergrund: Wie viel Hightech ist verbaut? Wie viele Wattstunden hat der Akku? Wie groß ist die Reichweite bei größter Motorunterstützung? Wie groß ist das Display und was kann es alles anzeigen?

Diese Verschiebung der Bewertungskriterien ist eine Verschiebung vom Einfachen zum Komplizierten, vom Leichten zum Schweren, vom Reduktiven zum Expansiven, von Fahrrad-Maßstäben zu automobilen Maßstäben.

Die Entwicklung und Bewertung der Energieinhalte von Akkus zeigt dies deutlich. Kleine Akkus mit ca. 200 Wh gibt es nicht mehr, Akkus mit 400 Wh sind nicht mehr Stand der Technik, 500 Wh sind Standard und 700 Wh-Akkus gehören an alle besseren Elektrofahrräder. Akkus mit hohen Energieinhalten sind schwere und teure Akkus. Das wird häufig dadurch verdrängt, dass Energiedichten und Preise der kommenden Akkugenerationen versprochen werden, die völlig unrealistisch sind. Die Energiedichten heutiger Fahrradakkus sind nahe am theoretischen Maximum!

Genau wie bei den Leistungsangaben von Automotoren werden Elektrofahrräder mit Eigenschaften beworben, die gar nicht mehr in Beziehung zum Nutzen für den Fahrer stehen müssen: 200 kW,

# Fahrradzukunft

---

300 Nm, 700 Wh sind Zahlen, die mehr über das Prestige des Fahrzeugs aussagen als über die Qualität.

## Fazit

Wir befinden uns durch das starke Aufkommen des Elektrofahrrades in einer Umbruchsituation in der Fahrradbranche. Aus meiner Sicht mangelt es häufig an der Qualität der Auseinandersetzung um das bessere Elektrofahrrad, einer Auseinandersetzung, die wir Fahrradleute beim unmotorisierten Fahrrad immer sehr intensiv und sehr selbstbewusst geführt haben. Das Elektrofahrrad ist 'über uns' gekommen. Fahrradfremde Branchen geben die Standards vor. Elektrofahrräder, die 25 bis 30 kg wiegen und den Fahrer als Antreiber des Fahrzeugs mit hohen Motorleistungen mehr ablösen als unterstützen, tragen kaum noch die Handschrift der Fahrradbranche. Einfache, reduktive Fahrradtechnik wird mehr und mehr ersetzt durch komplizierte und schwere »Komforttechnik«

Im Bezug auf die Überschrift dieses Artikels: Ist das Elektrofahrrad ein Fahrrad? Das Elektrofahrrad befindet sich im Spannungsfeld zwischen Fahrrad und Kraftfahrzeug. Rechtlich ist es ein Fahrrad, aufgrund der heute üblichen Auslegung eher ein Kraftfahrzeug:

- Die Motorleistung ist deutlich höher als die Fahrerleistung.
- Konstruktionsprinzipien des Fahrradbaus verlieren an Bedeutung.
- Automobile Maßstäbe setzen sich durch, nicht nur in der Technik, sondern auch in Verkaufsstrategien und in der Werbung.

Es gibt inzwischen einige, noch kleine Hersteller, die mit elektrischen Minimalantrieben das Elektrofahrrad wieder mit Konstruktionsprinzipien des Fahrrades zum Fahrrad zurückführen wollen, mit geringer Motorleistung, kleinen Akkus, niedrigen Fahrzeuggewichten und wenigen Assistenzsystemen. Wir sollten ihnen mehr Beachtung schenken. ◀

## Über den Autor

*Dietmar Hertel, geboren 1960.*



*Seit 1990 selbstständig als Fahrradrahmenbauer, seit 1998 Dozent an der Bundesfachschule für Fahrradtechnik in Frankfurt am Main*