

# Vom Ultraleichtmobil zur Elektronischen Fahrrad-Transmission

Dr. Andreas Fuchs

Hochschule für Technik und Architektur Bern,  
HTA Bern, Schweiz

Sommer 2001

## Arbeit

Konzeption bis Industrialisierung des ersten Elektrofahrradantriebs mit rein elektrischer Uebertragung der Muskelkraft.

## Personen

Hochschule für Technik und Architektur, mit



*Jürg Blatter*

Technische Leitung

Berufslehre als FEAM, Berufserfahrung mit Leistungselektronik und Echtzeit-Mikrokontrollersystemen. Studium El.Ing. HTL mit Vertiefung in Computermesstechnik und Hochfrequenztechnik. Heutiger Schwerpunkt: Automatisierungs- und Antriebstechnik. Dozent für Elektrotechnik und Leitungstheorie an der Telematikschule TSBE und der Fernmeldetechnischenschule FTS der Swisscom AG. Bezug zum Radfahren: Radrennen im extremen Ausdauerbereich.

und



*Andreas Fuchs*

Projektleitung

Diplom und Promotion in Klimaphysik. Teilnahme an Kernbohrungen im Eis von Grönland. Fahrradforschung als Hobby, insbesondere im Gebiet wettergeschützter Liegeräder. Mitorganisation von internationalen Seminaren zum Thema. Einstieg in die Ultraleichtmobil-Entwicklung an der ISBE / HTA Bern. Lehrauftrag HTA Bern: Ergonomics and Human Factors. Initiator der Gründung von autork ltd.

## *Team Blatter / Fuchs*



**Blatter und Fuchs mit dem ersten Funktionsmodell der Transmission (1997)**

Machbarkeitsstudie, Konzeption sowie Entwicklung der weltweit ersten, fahrbaren, elektronischen Elektrofahrrad-Transmission (ohne mechanische Bauteile zur Drehmomentübertragung) an der HTA Bern. Finanzierung der initialen Arbeiten: Bundesamt für Energie.

In der Periode 2000 bis mindestens Ende 2001 läuft die Industrialisierung an der HTA Bern im Auftrag der Neugründung autork ltd. Jürg Blatter leitet ein Team von internen und externen Entwicklern.

## Ausgangslage und Problemlösung

An der damaligen Ingenieurschule Bern, ISBE, ist in der Periode 1994-96 im Auftrag eines Vereins von namhaften Firmen der Berner Wirtschaft ein wettergeschütztes, dreirädriges Elektrofahrrad, genannt „Ultraleichtmobil“, entwickelt worden.

Ziel war es von Beginn weg, ein **industrialisierbares** Vehikel auf die Räder zu stellen. Deshalb wurde mit dem Ziel konstruiert, schwierig zu verarbeitende und daher teure Materialien wie beispielsweise Faserverbundwerkstoffe zu vermeiden.



Ultraleicht-  
mobil  
Design



Es stellte sich heraus, dass die Vereinfachung bis zur Tauglichkeit zur Industrialisierung mit den ursprünglich vorhandenen Mitteln nicht zu erreichen war. Der Bau einer leichten Karosserie erwies sich als schwieriger als zuerst angenommen; im Antrieb kamen traditionelle Fahrradkomponenten in Kombination mit einem elektrischen Antrieb zur Anwendung. Es resultierten nicht tragbare Herstellungskosten und ein zu hoher Wartungsaufwand wegen der Komplexität des elektromechanischen Hybrid-Antriebs (Hybrid-Antrieb: Ein Antrieb, bestehend aus gekoppelten Antrieben verschiedener Art).

#### *Fahrzeug: Ultraleichtmobil*

Die Entwicklung einer Leichtbaukarosserie wurde 1997 von Andreas Fuchs in Zusammenarbeit mit Jakob Gilgen (ehemals Kaba Gilgen AG, heute: Gilgen Fördersysteme AG) nochmals von Grund auf begonnen. Im Laufe der Arbeiten mutierte das Fahrzeug vom Drei- zum Vierrad.

Die Mittel zur Realisierung von Chassis und Karosserie kamen von Jakob Gilgen, während das Wasser- und Energiewirtschaftsamt sowie die KTI (Kommission für Technologie und Innovation) die Konzeption bzw. das Design der Karosserie unterstützten.

#### *Antrieb*

Das Bundesamt für Energie bezahlte ein von Andreas Fuchs eingegebenes Projekt zur Vereinfachung des Ultraleichtmobil-Antriebes. Eigentlich war die Optimierung des elektromechanischen Antriebs geplant; diese wurde jedoch zugunsten der Neukonzeption einer Transmission ohne mechanische Übertragung aufgegeben. Jürg Blatter realisierte dann **die erste fahrbare Muskelkraft-Transmission** der Welt, gesteuert mittels eines zentralen Rechners.

## PROBLEMLÖSUNG



### Die elektronische Transmission im Vergleich zum herkömmlichen Elektrofahrrad-Antrieb

Die marktgängigen Elektrofahrräder entstanden alle durch Hinzufügen eines Elektroantriebes zu einem Fahrrad mit traditionellem, mechanischem Tretantrieb. Es sind **Parallel-Hybride**, denn Muskel- und Elektrokraft tragen je einzeln oder gemeinsam zum Antrieb bei.

Die elektronische Transmission von Blatter/Fuchs hingegen ist ein **Serie-Hybrid**, die einfachste denkbare Struktur eines E-Bike-Antriebs: Die Muskelkraft wird über einen Generator in Elektrizität umgewandelt und in den im Elektrofahrrad sowieso vorhandenen Elektromotor gespiesen. Mensch und Motor sind elektrisch/elektronisch verbunden, müssen deshalb nicht so perfekt wie beim Parallel-Hybriden mit seiner mechanischen Kopplung aufeinander abgestimmt sein.



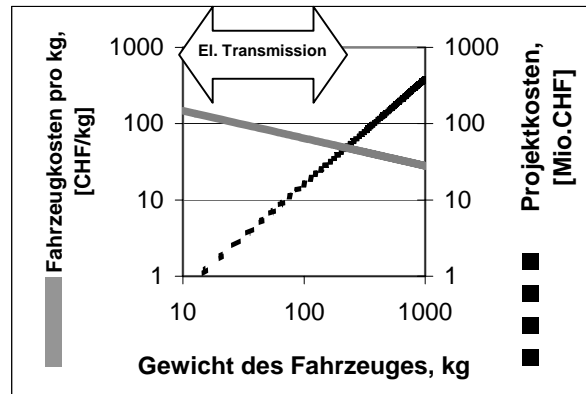
#### Geleistete Arbeiten

An der HTA Bern wurden mit Mitteln der öffentlichen Hand, mit internen Mitteln oder mit solchen von Projektpartnern geleistet:

- ◆ Konzeption der elektronischen Transmission (Fuchs und Blatter) sowie Bau des ersten fahrbaren Funktionsmodell durch Blatter (Finanziert durch das Bundesamt für Energie)
- ◆ Spezifizierung (und Suche) eines geeigneten Generators durch Fuchs (Finanziert durch die Oetliker-Stiftung und SwisLEM AG). Zusammenarbeit mit Markus Lindegger, heute Circle Motor AG.
- ◆ Industrialisierung einer auf CAN-Bus basierenden Hybrid-Fahrzeug-Steuerung, entwickelt durch Jürg Blatter und Team an der HTA Bern (Finanziert durch ein Spin-off der HTA Bern, autork ltd. Siehe unten.)

Privat geleistet:

- ◆ Bau von Prototypen von Generatoren (Markus Lindegger und Jakob Gilgen, heute Circle Motor AG)
- ◆ Konzeption von Zweirädern mit elektronischer Transmission mit ergonomischem Antritt sowie Ausarbeitung und Einreichung einer internationalen Patentanmeldung (Andreas Fuchs mit Patentanwalt Willi Lanker und Swissmove AG)
- ◆ Marktstudie, Businessplan, Geldsuche, sowie weitere Arbeiten im Umfang von geschätzt 2000 Stunden (Andreas Fuchs)



### Transfurmöglichkeiten

Die Entwicklung von kleinen, leichten und energieeffizienten Fahrzeugen bzw. von Komponenten dafür macht im Espace Mittelland / dem Kanton Bern dann Sinn, wenn neuartige Hightech-Fahrzeuge entstehen: Neuartig zur Vermeidung unnötiger Konkurrenz in den Ländern der ersten Welt, und Hightech wegen Vermeidung von Konkurrenz in Schwellenländern beispielsweise in Asien.

Die Grafik oben zeigt, dass das Verhältnis von Wertschöpfung zu Investitionen für kleine Fahrzeuge, z.B. E-Fahrräder, optimal ist. Entwicklung von Technologien oder Komponenten ist noch interessanter als Entwicklung von gesamten Fahrzeugen, weil sich auch Anwendungsfelder ausserhalb des Fahrzeugbereichs öffnen können. Beispielsweise dienen die im Rahmen dieses Projektes als Generator identifizierten elektrischen Maschinen potentiell in einer Vielzahl von Anwendungen als Motoren! Während – wie die Geschichte des Smart zeigt – für die Realisation von Automobilen grosse Partner notwendig sind, können im Espace Mittelland KMU's Weltspitzenleistungen vollbringen und Hightech-Fahrzeuge und -Komponenten selber oder im Rahmen von Netzwerken realisieren.



Elektrische Maschine von Circle Motor AG



CAN-Controller Module von autork ltd./HTA Bern

Zwei Firmen sind initiiert und gegründet worden:

1. **Circle Motor AG**, Bruggliweg, Gümligen. [www.circlemotor.com](http://www.circlemotor.com).  
Gegründet von Markus Lindegger und Jakob Gilgen zwecks **Entwicklung und Herstellung von scheibenförmigen E-Motoren**, welche hohe Drehmomente erzeugen, langsam laufen, und deshalb weniger Getriebestufen erfordern.
2. **Autork ltd.**, c/o Naegeli & Streichenberg Rechtsanwälte, Schwanengasse, Bern. Spin-off der HTA Bern. Gegründet von Andreas Fuchs, Jakob Gilgen, Hans Oetliker (für Oetliker Stiftung und SwissLEM AG) und Peter Schmid (für Swissmove AG). Zweck: **Entwicklung, und Vermarktung einer auf CAN-Bus basierenden Hybridfahrzeug-Steuerung**. Autork wird keine Fahrzeuge herstellen, nur Komponenten.

Die Chance für eine weitere Gründung ist gegeben: Noch ist nicht abschliessend definiert, wie das Vierrad-Ultraleichtmobil industrialisiert

wird. Bis zum vorzeigbaren, fahrbaren Prototypen soll es mindestens weiterentwickelt werden. Geplant ist, dass vor Ende 2001 die Hybridfahrzeug-Steuerung von autork ltd./HTA Bern im Ultraleichtmobil-Vierrad läuft.

### Wirtschaftlichkeit der Idee

Seit den ersten Arbeiten am Ultraleichtmobil war die Industrialisierbarkeit zu zahlbaren Preisen das Hauptkriterium. Es ist immer darauf verzichtet worden, zu teure oder knapp zahlbare Entwicklungs-Zwischenstufen zu kommerzialisieren. So wurde die elektronische Transmission, der „kettenlose Elektrofahrrad-Automatik-Antrieb“, der in dieser Arbeit im Zentrum steht, zwecks Vereinfachung und letztlich Verbilligung des elektromechanischen Antriebes des ursprünglichen Ultraleichtmobil entwickelt.

### Kundensicht des Fahrzeugherstellers und Fahrzeugbenutzers auf den vollelektronischen Antrieb



**Ultraleichtmobil-Prototyp: Erste Applikation der elektronischen Transmission**

Autork ltd. wird Fahrzeughersteller mit elektronischen Transmissionen beliefern. Die Transmission besteht aus mit elektrischen Kabeln verbundenen Modulen.

Dies bedeutet für den Fahrzeughersteller:

- ◆ Einfachere Rahmenformen und Federungen, da keine Kette: Schönere Design und minimierte Time to Market
- ◆ Neue Formen von Muskelkraftfahrzeugen sind denkbar
- ◆ Vereinfachter Einkauf und rationellere Montage, da die Fahrradmechanik (aus dem 19 Jhdt. stammend) wegfällt

Bedeutung für den Endverbraucher:

- ◆ Einfachere Bedienung (Automat) und Wartung (keine Kette)
- ◆ Sauber und leise dank fehlender Kette: Keine zerrissenen Hosenbeine!
- ◆ Feedback über die persönliche Fitness dank Messung der Tretleistung

In naher Zukunft realisierbar:

- ◆ Elektrisches Bremsen/Wiederbeschleunigen dank Rekuperation der Bewegungsenergie und Zwischenspeicherung in Super-Kondensatoren (zusammen mit Montena Components, [www.montena.com](http://www.montena.com), und HTA Luzern, [www.supercapacitor.org](http://www.supercapacitor.org))
- ◆ Ankoppelung irgendwelcher Energiequellen, z.B. Verbrennungsmotor, oder Brennstoffzelle (z.B. [www.powerpac.ethz.ch](http://www.powerpac.ethz.ch))



**Beispiel eines modernen Elektrofahrrad: New Flyer**

### Kunden, in Sichtweite:

- Erste Applikation: Ultraleichtmobil-Vierrad (J. Gilgen & HTA Bern)
- Grundsätzlich ist jedes Elektrofahrrad mit dem Automatik-Getriebe ausrüstbar (Bei gewissen Modellen ist der Umbau aus geometrischen Gründen einfacher als bei anderen).
- Kunden von Harald Kutzke, Ecomotion ([www.ecomotion.com](http://www.ecomotion.com)). Harald Kutzke ist Designer des Mercedes Benz Hybrid-Fahrrades und Erfinder des Active Bike, wofür die elektronische Transmission von autork ltd. zentral ist. Zusammen mit Kutzke werden Kunden aus der Autoindustrie angesprochen.



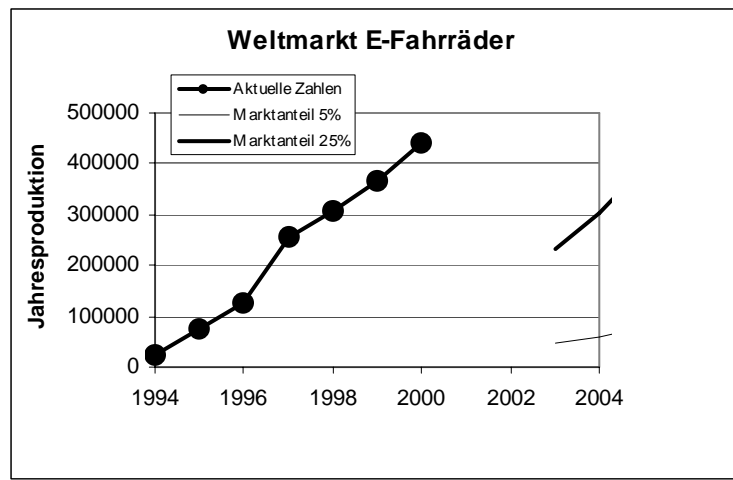
**Active Bike von Harald Kutzke**

### *Blick auf den Weltmarkt der energieeffizienten Fahrzeuge*

Elektrofahrräder sind der weltweit grösste Markt von energieeffizienten Fahrzeugen mit E-Antrieb: Inklusive China werden momentan pro Jahr, weltweit, rund 1/2 Mio. Stück Elektrofahrräder abgesetzt.

Als Folge des Ultraleichtmobilprojektes ist mit der Hybridfahrzeug-Steuerung eine Technologieplattform entstanden, von welcher Hannes Neupert, Autor des Fachbuches „Powerbike“, Sekretär von Extra Energy [www.extraenergy.org](http://www.extraenergy.org), (frei zitiert) sagt:

**„Die elektronische Transmission ist für das Elektrofahrrad von derselben Bedeutung wie in der Bürowelt der Ersatz der mechanischen Schreibmaschine durch den PC!“**



### Referenzen

<http://www.hta-be.bfh.ch> → Elektroabteilung oder Projekte: KIK, Kompetenzzentrum für Industrielle Kommunikation, Mobilität/Fahrzeuge

Literaturliste/Downloads auf obenerwähnter Homepage

Digitale Bilder und Videosequenzen auf obenerwähnter Homepage

### Kontakt

Jürg Blatter und Andreas Fuchs  
Hochschule für Technik und Architektur Bern, HTA Bern  
Morgartenstrasse 2c, 3014 Bern

Jürg Blatter (Leitung Technik), Tel 031-33 55 234, Fax 031-333 06 25

Andreas Fuchs (Gesamtprojektleitung, Kommunikation, etc.)  
Tel 031-33 55 431, Fax 031-333 20 03