

# Konstruktion, Berechnung und Bau eines Leichtbaufahrzeuges mit Hilfe computergestützter Methoden (CAD, FEM, MKS)

## Projektleiter

Prof. Dr.-Ing.  
Wilfried Fischer

## Zeitraum

2003–2005

## Mitarbeiter

stud. Hilfskräfte,  
Dipl.-Ing. (FH) M. Macha,  
Dipl.-Ing. (FH) J. Prieß,  
Dipl.-Ing. (FH) S. Barthold,  
Dipl.-Ing. (FH) A. Rohaut,  
Dipl.-Ing. (FH) A. Gollnick

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing.  
Wilfried Fischer,  
Fachbereich  
Maschinenbau,  
Fachhochschule  
Dortmund,  
Sonnenstr. 96,  
44139 Dortmund,  
Telefon:  
(0231) 9112-157,  
Fax: (0231) 9112-334,  
E-Mail:  
wilfried.fischer@  
fh-dortmund.de  
Homepage: serv01.  
maschinenbau.  
fh-dortmund.de/  
~fischer/Fischer.htm

## Abstract

Ziel dieses Projektes ist es, das im „Leichtbau-Technologie-Center LTC“ der FH Dortmund entwickelte dreirädrige Leichtbaufahrzeug „eLTec MP“ so weiter zu entwickeln, dass es schließlich serienreif wird. Durch den Einsatz computergestützter Konstruktions-, Simulations- und Optimierungsverfahren soll es dabei besonders leicht, schnell und sicher werden. Hierbei findet neben den kommerziellen Softwaresystemen „Pro/Engineer“ (CAD), „Nastran“ (FEM) und „Adams“ (MKS) das ebenfalls im „Leichtbau-Technologie-Center LTC“ der FH Dortmund entwickelte Optimierungssystem „OPIUM“ Anwendung. Der erste Prototyp des Leichtbaufahrzeuges ist bereits im Rahmen von zwei Diplomarbeiten entwickelt worden. Durch zahlreiche Detailverbesserungen an diesem Fahrzeug, die in erster Linie der Gewichtsreduzierung, der Konstruktionsoptimierung und der Komfortsteigerung dienen, wird der nächste Schritt vom ersten Prototypen zum Serienfahrzeug vollzogen. Durch aktuelle Entwicklungen wird dieses Ziel weiter verfolgt. So werden zur Zeit z.B. die vorderen Achsschenkel aus Aluminium und Magnesium und der bisherige Hinterradbau vollständig aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) neu konstruiert. Dies führt zu weiteren drastischen Gewichtsreduzierungen. Eine andere entscheidende Weiterentwicklung an „eLTec MP“ ist die Integration eines Elektromotorantriebes. Hierdurch stellt „eLTec MP“ ein ideales Cityfahrzeug dar, mit dem bei reinem Elektroantrieb mit einer Akkuladung Entfernungen bis zu ca. 50 km bei einer Höchstgeschwindigkeit von ca. 40 km/h zurückgelegt werden können. An der Entwicklung des 2. Prototypen „eLTec OV“, der eine völlig neuentwickelte Rahmengometrie erhält und vollständig aus Aluminium gefertigt wird, wird zur Zeit intensiv gearbeitet. Ziel hierbei ist, das Gewicht des bisherigen Fahrzeuges „eLTec MP“ um ca. 20% zu senken.

## Forschungsgegenstand

Die erste Aufgabe dieses Forschungsprojektes ist, die Leistungsfähigkeit, die Einsatzfähigkeit und die Alltagstauglichkeit des ersten Prototypen „eLTec MP“ (Bild 1) zu überprüfen. Da hierzu kaum Literatur erhältlich ist, müssen zunächst zahlreiche Testfahrten und Messungen zeigen, welche Verbesserungspotentiale vorhanden sind. Dies muss quantitativ mit Hilfe von Dehnmessstreifen im Fahrbetrieb erfolgen. Anschließend müssen die Messergebnisse ausgewertet werden, um daraus notwendige Konstruktions- und Berechnungsänderungen ableiten zu können.



Bild 1: Erster Prototyp des Leichtbaufahrzeuges „eLTec MP“

Aufgrund der durchgeführten Messungen soll anschließend zunächst der Rahmen des Leichtbaufahrzeuges verbessert werden. Durch Parameteroptimierungen sollen die Wandstärken der Stahlprofile optimiert werden. Mit Hilfe einer Topologieoptimierung kann die äußere Form der Rahmenprofile optimal an die Beanspruchungen angepasst werden. Weiterhin soll untersucht werden, inwiefern alternativ ein Rahmen aus Aluminium einsetzbar ist. Weitere Entwicklungsmöglichkeiten, die es zu untersuchen gibt, liegen in der Verwendung von Magnesium oder CFK als typische Leichtbauwerkstoffe.

Neben der Rahmenoptimierung soll das Fahrverhalten optimiert werden. Hierzu sollen Fahrsimulationen mit „ADAMS/Car“ als MKS-System durchgeführt werden. Ziel hierbei ist es, die Fahrstabilität zu verbessern, um dadurch die Fahrersicherheit zu erhöhen. Ansatzpunkte ergeben sich einerseits durch eine neue Vorderachsgeometrie, um das Lenkverhalten zu optimieren und eine Neigung des Fahrzeuges in Kurven zu realisieren. Andererseits soll der Hinterbau aufgrund der

neuen Messdaten neu ausgelegt und besonders verkürzt werden, um Gewicht zu sparen und das Traktionsverhalten zu verbessern.

Letzter Punkt des Forschungsprojektes ist, eine Antriebsunterstützung durch einen Elektromotor zu realisieren. Zunächst müssen die gesetzlichen Vorschriften und Zulassungsbedingungen geklärt werden. Anschließend ist ein entsprechender Motor und eine sinnvolle Energiequelle auszuwählen und eine konstruktive Lösung zu erarbeiten. Gleichzeitig muss die notwendige Regelungstechnik entwickelt werden, um automatisch zwischen Muskelkraftantrieb und Elektromotorantrieb umzuschalten.

#### **Aktueller Stand der wissenschaftlichen Diskussion**

Der Bau kompletter Fahrzeuge ist ein sehr interessantes aber leider auch sehr komplexes Gebiet. Um einen Einstieg in den Fahrzeugbau zu bekommen, ist es daher sinnvoll, sich zunächst auf wesentliche Gesichtspunkte zu beschränken. Betrachtet man zusätzlich den zeitlichen und finanziellen Rahmen, so wird relativ schnell klar, dass diese Beschränkungen auch aus diesen Gründen zwingend erforderlich sind. Legt man als Schwerpunkt der Fahrzeugentwicklung den Leichtbau zu Grunde, der eine äußerst wichtige Rolle in der Fahrzeugindustrie spielt, ergibt sich daraus, dass die Entwicklung eines durch Muskelkraft angetriebenen Leichtbaufahrzeuges, welches wesentliche Bestandteile eines jeden Fahrzeuges enthält, wirtschaftlich sinnvoll, wissenschaftlich interessant und ökologisch überzeugend ist. Der Aspekt des Leichtbaus ist hierbei besonders wichtig, da als Antriebsquelle nur die stark eingeschränkte Muskelkraft zur Verfügung steht. Somit sollten alle Leichtbaupotentiale bekannt und ausgeschöpft werden, wozu auch die Anwendung von CAD-, FEM- und MKS-Systemen gehört, wie sie im "Leichtbau-Technologie-Center LTC" der FH Dortmund eingesetzt werden. Die Optimierung jeder einzelnen Komponente mit Hilfe computergestützter Methoden erfordert ein hohes Maß an theoretischem Wissen, welches in den entsprechenden Studienfächern vermittelt wird. Dabei ist gerade eine dreirädrige Konstellation, bei der mit den beiden Vorderrädern gelenkt wird, eine zusätzliche wissenschaftliche Herausforderung, da die Lenkgeometrie ausgelegt werden muss, um ein sicheres Fahrverhalten zu gewährleisten. Zusätzlich erwähnt werden sollten natürlich auch die Fertigungstechnologien wie Schweißverfahren, Oberflächenbehandlungen, usw., mit denen man sich ebenfalls wissenschaftlich fundiert beschäftigen muss.

Somit ergeben sich zahlreiche wissenschaftliche Problemstellungen, die im Rahmen der Entwicklung des Leichtbaufahrzeuges gelöst werden müssen. Teilaspekte wurden auf der „Virtual Product Development Conference“ vom 24. bis 26. Juni 2003 in Bad Neuenahr in einem Vortrag präsentiert.

Auf dem Gebiet der durch Muskelkraft angetriebenen Fahrzeuge muss zwischen den 2- und den 3-rädrigen Fahrzeugen unterschieden werden. 3-rädrige Fahrzeuge bieten u. a. den Vorteil, dass man problemlos anhalten kann, dass das Fahren wesentlich einfacher ist und dass man eine komfortablere Sitz- bzw. Liegeposition hat. Dies führt zu einem wesentlich entspannteren und damit sichereren Fahren. Hinzu kommt bei Liegedreirädern die bessere Aerodynamik durch die geringere Anströmfläche, so dass weniger Energie als Antrieb notwendig ist als bei 2-rädrigen Fahrzeugen in aufrechter Sitzposition. Bei den bisher verfügbaren 3-rädrigen Fahrzeugen wurde beim Bau meist experimentell vorgegangen. Dadurch wurden Leichtbaupotentiale, die gerade bei diesen Fahrzeugen sehr wichtig sind, nicht ausgeschöpft. Auch Fahrverhalten und Lenkgeometrie wurden durch zahlreiche Versuche bestimmt und nicht berechnet, was zu Fahrinstabilitäten oder ungünstigem Lenkverhalten führt. Eine wissenschaftliche fundierte Vorgehensweise wurde bisher kaum durchgeführt.

#### **Forschungsergebnisse**

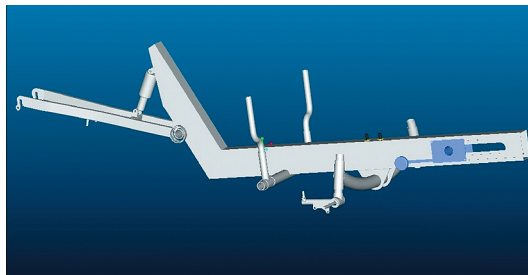
Ziel dieses Vorhabens ist es, das in Bild 1 abgebildete dreirädrige Leichtbaufahrzeug so weiter zu entwickeln, dass es als Serienfahrzeug eine alternative Fortbewegungsmöglichkeit zu bisherigen Fahrzeugen darstellt. Durch den Einsatz computergestützter Konstruktions-, Simulations- und Optimierungsverfahren soll es besonders leicht, schnell und sicher werden. So steht für die Konstruktion das CAD-System Pro/Engineer, für die Berechnung und Optimierung die FEM-Systeme Nastran, HyperWorks und OPIUM und zur Fahrodynamikanalyse das MKS-System ADAMS zur Verfügung. Das Fahrzeug hat zwei gelenkte Vorderräder und ein angetriebenes Hinterrad. Als Getriebe ist eine 14-Gang-Schaltung implementiert, die auch im Stand schaltbar ist. Als Bremsen werden vorn zwei hydraulische Scheibenbremsen und hinten eine Felgenbremse eingesetzt. Der erste Prototyp des Leichtbaufahrzeuges „eLTec MP“ wurde im Rahmen von zwei Diplomarbeiten entwickelt und steht fahrbereit für Testfahrten zur Verfügung. Er wurde bereits auf der „CeBIT“ in Hannover (Bild 1) und auf der „SPEZI“ in Germersheim präsentiert.

Erste Fahrtests haben ergeben, dass "eLTec MP" alle erforderlichen Funktionen erfüllt und hervorragende Fahreigenschaften hat. Geradeauslauf, Kurvenfahrt, Lenk- und Bremsverhalten, Fahrkomfort und Fahrstabilität sind aufgrund der vorangegangenen virtuellen Produktentwicklung auf Anhieb sehr gut gelungen, so dass keine prinzipiellen Konstruktionsänderungen notwendig sind. Dadurch ergibt sich, dass sich als erste Aufgabe eine Gewichtsoptimierung des Rahmens anbietet, da das Gewicht des Rahmens, Bild 2a, etwa ein Drittel des Gesamtgewichts beträgt.

schon unter Fertigungsgesichtspunkten leicht variiert worden sind.

Die Herstellung dieses Spezialrahmens, der eine von den Beanspruchungszonen abhängige Wandstärke haben müsste, wäre aber sehr aufwendig, so dass die Fertigung eines solchen Rahmens im Hinblick auf ein Serienfahrzeug nicht in Frage kommt.

a)



b)

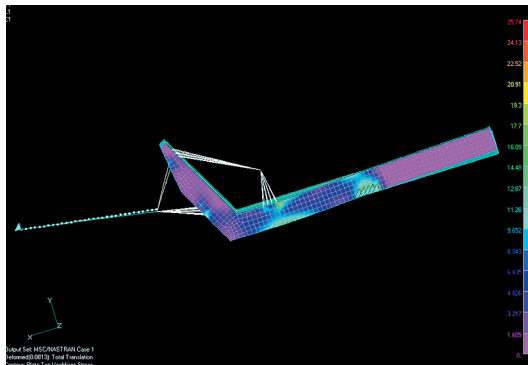
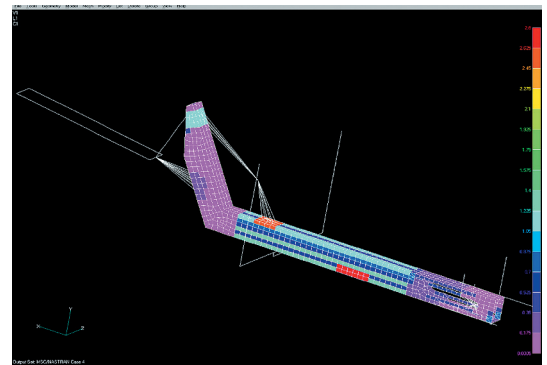


Bild 2: Rahmen und primäre Anbauteile:

a) Konstruktion, b) FEM-Analyse

a)



b)

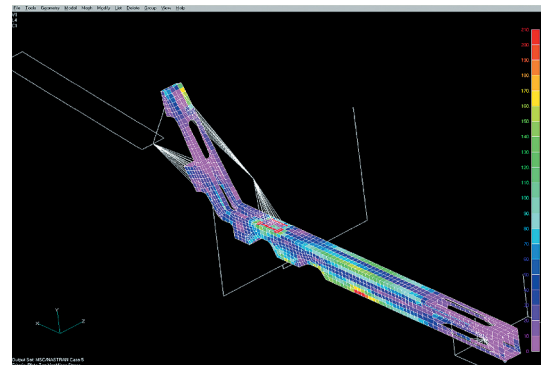


Bild 3: Gewichtsreduzierung des Rahmens:

a) Parameteroptimierung der Wandstärke, b) Topologieoptimierung

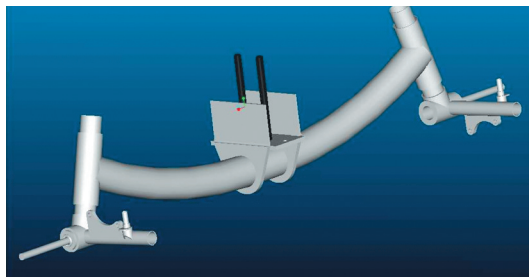
Die Ergebnisse einer FEM-Analyse sind in Bild 2b dargestellt. Die Hauptbeanspruchungen liegen im Bereich des Sitzes und der Vorderachse, so dass sich hierdurch zeigt, dass im vorderen und hinteren Bereich Material gespart werden kann.

Führt man hieran eine Parameteroptimierung durch, so erhält man als Ergebnis die jeweils erforderliche Wandstärke des verwendeten Kastenprofils. Theoretisch ist hierdurch eine Gewichtsreduzierung von 57% möglich. Bild 3a zeigt farblich markiert die notwendigen Wandstärken, die hier

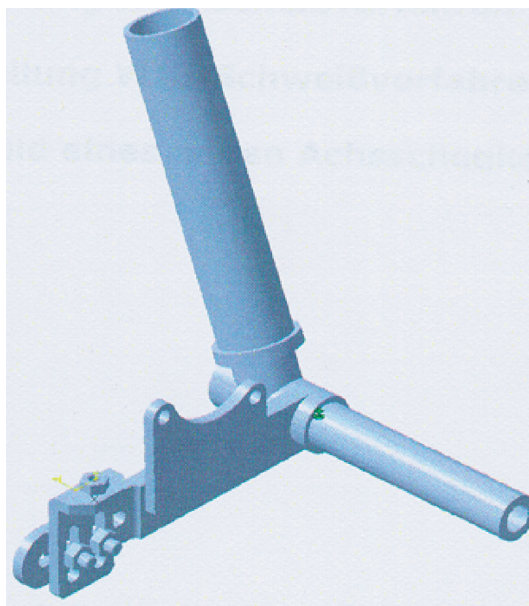
Das Ergebnis einer Topologieoptimierung des Rahmens zeigt Bild 3b. Als Bauraum wird das Kastenprofil des Rahmens zugrunde gelegt. Mit Hilfe der Topologieoptimierung erhält man somit einen Vorschlag, an welchen Stellen Ausschnitte im Rahmen vorgesehen werden müssen, um bei vorgeschriebener Reststeifigkeit und -festigkeit eine Gewichtsreduzierung zu erreichen. Da bei dieser Vorgehensweise ganz entscheidend ist, welche Lastannahmen getroffen werden, müssen zur Umsetzung dieses konstruktiven Vorschlages zunächst weitere Testfahrten mit Belastungsme-

sungen durchgeführt werden, um sichere Aussagen treffen zu können.

a)



b)



c)

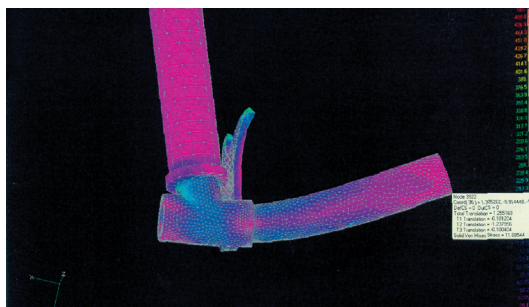


Bild 4: a) Vorderachse mit alten Achsschenkeln aus Stahl b) neuer Achsschenkel aus Aluminium mit Verstellmechanismus und als Hohlwellen ausgeführten Achsen, c) FEM-Analyse

Als dritte Variante einer Gewichtsreduzierung des Rahmens bietet sich ein Materialwechsel an. Der bisherige Rahmen besteht aus Edelstahl, da hier keine Liefer-, Fertigungs- und Korrosionsprobleme zu erwarten sind und außerdem eine preiswerte Lösung realisierbar ist. Der gerade in der Entwicklung befindliche zweite Prototyp "eLTec OV" erhält einen Aluminiumrahmen. Voraussichtlich wird hierdurch das Gesamtgewicht des Fahrzeuges etwa um 20 % niedriger liegen.

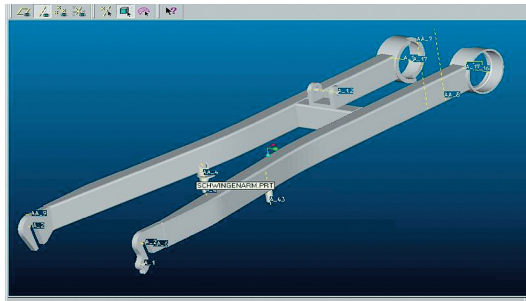
Ebenfalls in der aktuellen Entwicklung sind Achsschenkel aus Magnesium und ein Hinterradbau aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK). Die bisherige Vorderachse mit den Achsschenkeln aus Edelstahl ist in Bild 4a abgebildet.

Als Werkstoff für neue Achsschenkel wird zunächst Aluminium gewählt, zukünftig ist eine Variante in Magnesium geplant. Um die notwendige Steifigkeitserhöhung realisieren zu können, wird der Achsendurchmesser an den Achsschenkeln entsprechend vergrößert. Da dies allerdings zu einer Gewichtserhöhung führen würde, wird die neue Achse als Hohlachse ausgelegt, so dass bei gleicher Steifigkeit das Gewicht reduziert werden kann. Bild 4b zeigt die Konstruktion, Bild 4c die FEM-Analyse des neuen Achsschenkels.

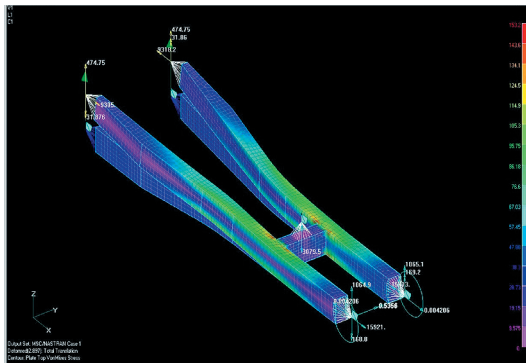
Darüber hinaus haben die neuen Achsschenkel Verstellmöglichkeiten für die Lenkung, so dass zusätzlich durch Testfahrten der Einfluss der Lenkgeometrie auf das Fahrverhalten des Leichtbaufahrzeuges untersucht werden kann. Zusätzlich zur Gewichtsreduzierung erhalten die neuen Achsschenkel neue Bremsen, die symmetrisch angeordnet sind, um bei Vollbremsungen ein Ausbrechen des Fahrzeuges zu verhindern.

Eine weitere zu optimierende Baugruppe ist der Hinterradbau. Umfangreiche Fahrversuche haben auch hier gezeigt, dass sich die bisherige Hinterradschwinge aus Edelstahl im Fahrbetrieb bewährt. Bild 5a zeigt die mit Pro/Engineer durchgeführte Konstruktion.

a)



b)



c)



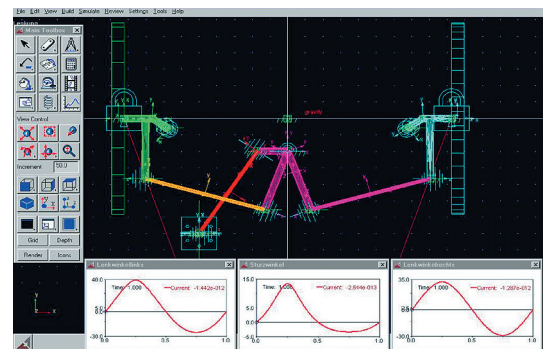
Bild 5: Hinterradschwinge aus Edelstahl:  
a) Konstruktion, b) FEM-Analyse, c) Fertigung

In Bild 5b sind die Vergleichsspannungen und Verformungen der Hinterradschwinge, die hier mit dem FEM-System Nastran berechnet wurden, zu erkennen. Die am höchstens beanspruchte Stelle ist der Anschluss des Feder-Dämpfer-Elementes, da aber die Spannungen hier im zulässigen Bereich liegen, ist eine Umkonstruktion nicht erforderlich. Die realisierte Hinterradschwinge des "eLTec MP" ist in Bild 5c zu sehen. Zur Zeit wird an der Entwicklung eines neuen Hinterradbaus

gearbeitet, der aus Gewichtsgründen vollständig aus CFK gefertigt werden soll. Dieser wird dann die bisherige Stahlkonstruktion des "eLTec MP" ersetzen.

Neben den Gewichtsoptimierungen soll auch das Fahrverhalten des "eLTec MP" optimiert werden. Da es sich hierbei schwerpunktmäßig um fahrdynamische Aspekte handelt, werden die erforderlichen Berechnungen mit dem Mehrkörpersimulationsverfahren durchgeführt. In der Fahrzeugtechnik hat sich dabei "ADAMS" als Software bewährt, so dass dieses System auch hier eingesetzt wird. Mit "ADAMS/View" wird dazu die Lenkung des "eLTec MP" modelliert und analysiert, Bild 6a.

a)



b)

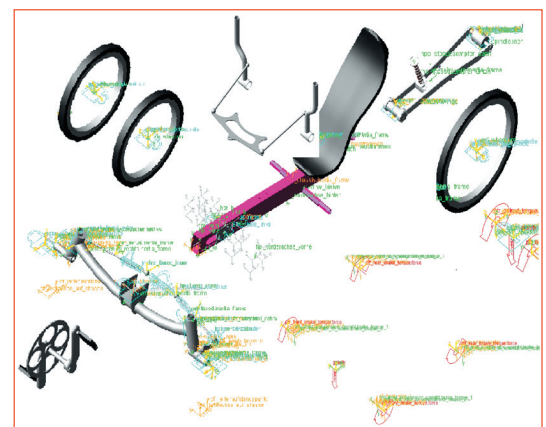


Bild 6: a) Modellierung der Lenkung mit ADAMS/View, b) Modellierung des Gesamtfahrzeuges mit ADAMS/Car

Die als Achsschenkellenkung konstruierte Lenkung kann somit den erforderlichen Abmessungen

zunächst virtuell angepasst werden, um anschließend sofort die ideale Konstellation in die Realität umsetzen zu können.

So erfüllt die Lenkung des "eLTec MP" über weite Lenkbereiche die sog. Ackermannbedingung, der Wendekreis liegt bei ca. 6 m, der Nachlaufwinkel beträgt  $10.7^\circ$  und die Spreizung  $18^\circ$ .

Wesentlich anspruchsvoller als die Auslegung der Lenkung mit ADAMS ist die Simulation des Fahrverhaltens mit "ADAMS/Car". Bild 6b zeigt die hierzu notwendige Modellierung des Gesamtfahrzeuges. Bild 7a zeigt das reale Fahrzeug, Bild 7b das virtuelle Fahrzeug.

a)



b)

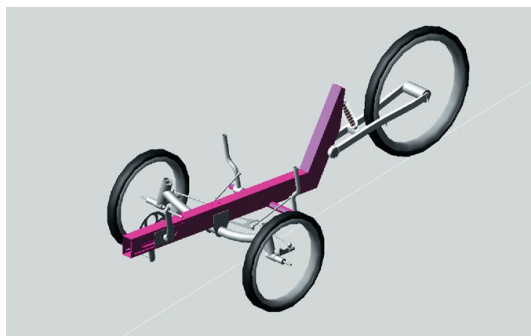


Bild 7: a) reales Fahrzeug, b) virtuelles Fahrzeug

Mit Hilfe des virtuellen Fahrzeuges können Fahrversuche wie z. B. Spurwechsel, Kreisfahrt, Spiralfahrt usw. durchgeführt werden, um Rückschlüsse auf die Fahrstabilität in Grenzbereichen zu überprüfen.

Bild 8 zeigt z. B. das Ergebnis eines Bremstests.

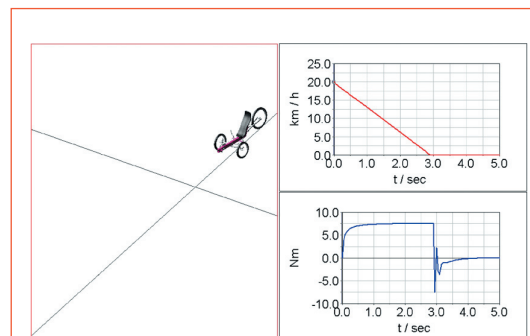


Bild 8: Bremstest des virtuellen Fahrzeuges

Der letzte Punkt des hier beschriebenen Forschungsprojektes ist, eine Antriebsunterstützung durch einen Elektromotor zu realisieren. Gerade bei Fahrzeugen, die nur durch Muskelkraft angetrieben werden, zeigt sich häufig, dass sie nicht als echte alternative Fortbewegungsmöglichkeit angesehen werden. Dies ändert sich durch einen elektrischen Zusatzantrieb. Weitere Gründe für die Aufnahme dieses Teilprojektes sind, dass einerseits im Rahmen des Fahrzeugtechnikstudiums der FH Dortmund sowohl der Fahrzeugbau als auch die Fahrzeugelektronik gelehrt wird und somit alle Studierende der Fahrzeugtechnik in dieses Forschungsprojekt integriert werden können. Wichtig ist, dass bei der Entwicklung des Hilfskraftantriebes die gesetzlichen Bestimmungen für Fahrzeuge solcher Art beachtet werden.

So ist beispielsweise zu garantieren, dass der Motor automatisch abgeschaltet wird, wenn eine Geschwindigkeit von 25 km/h überschritten wird oder wenn der Fahrer die Tretkurbeln nicht mehr betätigt. Beide Vorschriften werden bei der realisierten Umsetzung des Elektromotorantriebes berücksichtigt. Bild 9 zeigt die motorisierte Variante des "eLTec MP". Als Motor findet hierbei ein Scheibenläufermotor Verwendung, der sich durch eine sehr kompakte und leichte Ausführung auszeichnet. Als Energiequelle wird auf einen Metallhydridakku der Firma Saft-Batteries, Niederlande zurückgegriffen, die diesen einschließlich der Ladeelektronik der FH Dortmund sponsorte. Der Akku hat eine sehr hohe Leistungsdichte und ist für diesen Verwendungszweck bestens geeignet. Sowohl der Motor als auch der Akku sind unterhalb des Sitzes positioniert, um die Schwerpunkt-lage zu verbessern. Da der Akku relativ schwer ist, kann dieser über eine Schnellspannvorrichtung in kurzer Zeit demontiert werden, so dass bei einem Fahrbetrieb ohne Motorunterstützung das Gewicht des Fahrzeuges reduziert wird.



Bild 9: „eLTec MP“ mit Elektromotorantrieb

Der Akku befindet sich in einem Gehäuse aus GFK, welches im LTC konstruiert, berechnet und gefertigt wurde. Das Gehäuse enthält zusätzlich zum Akku die gesamte Überwachungselektronik. Rechnerisch ergibt sich bei der ausgeführten Kombination von Motor, Akku und Getriebe eine Reichweite von ca. 50 km bei einer Höchstgeschwindigkeit von ca. 40 km/h - damit ist das Leichtbaufahrzeug „eLTec MP“ bestens als Cityfahrzeug einsetzbar.

#### Zusammenfassung und Ausblick

Nachdem im Rahmen von zwei Diplomarbeiten der erste Prototyp des Leichtbaufahrzeuges „eLTec MP“ konstruiert, berechnet und gebaut wurde, konnte dieser in der Öffentlichkeit präsentiert werden. So wurde „eLTec MP“ u. a. auf der CeBIT als Anwendungsbeispiel für den Einsatz des FEM-Systems „OPIUM“ gezeigt. Anschließend wurde „eLTec MP“ auf der Spezialradmesse SPEZI in Gernersheim dem Fachpublikum präsentiert. Durch einen bei dieser Gelegenheit gehaltenen Vortrag über die Entwicklung dieses Leichtbaufahrzeuges an der FH Dortmund wurde sehr viel Aufmerksamkeit hervorgerufen. Zahlreiche Interessenten erkundigten sich nach einer Kaufmöglichkeit von „eLTec MP“, nach Sonderanfertigungen und nach behindertengerechten Spezialumbauten.

Dies zeigt, dass ein sehr starkes wirtschaftliches Interesse an einer Weiterentwicklung vorhanden ist. Überlegungen, ein Unternehmen zur Kommerzialisierung und Vermarktung des Fahrzeuges zu gründen, liegen daher sehr nahe. Allerdings müssen am jetzt vorhandenen Prototypen weitere Details verbessert werden, um daraus ein Serienfahrzeug zu entwickeln. So müssen u. a. weitere Fahrversuche zu präziseren Lastannahmen führen, Gewichtsreduzierungen durch computergestützte Optimierung und bzw. oder

Werkstoffaustausch erreicht werden und es muss an Komfortverbesserungen wie beispielsweise einer Karosserie gearbeitet werden.

#### Vorträge im Zusammenhang mit dem Projekt

- |   |   |
|---|---|
| Fischer, W.,<br>Macha, M.,<br>Prieß, J. | Entwicklung und Bau des durch Muskelkraft angetriebenen Leichtbaufahrzeuges eLTec MP unter Einsatz computergestützter Methoden, SPEZI 2003, Gernersheim, 26.04.2003   |
| Fischer, W.                             | Von der virtuellen Produktentwicklung zum realen Prototypen am Beispiel des Leichtbaufahrzeuges „eLTec MP“, Virtual Product Development Conference, Bad Neuenahr, 24.06.2003  |
| Fischer, W.                             | Von der virtuellen Produktentwicklung zum realen Prototypen am Beispiel des Leichtbaufahrzeuges „eLTec MP“, Euromold, Frankfurt, 04.12.2003   |
| Fischer, W.                             | Von den Anfängen der Finite-Elemente-Methode zur Virtuellen Produktentwicklung – ein Überblick über die historische Entwicklung von Berechnungs- und Simulationswerkzeugen, 2. CAE-Forum Brunch & Learn-Antriebsoptimierung mit Simulationswerkzeugen, Würzburg, 31.05.2005 |

#### Veröffentlichungen

##### im Zusammenhang mit dem Projekt

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| Andrae, J.,<br>Reuber, E.-M. | „effet 2002“: Starker Auftritt, tolles Ambiente, fh-Press 4, 2002   |
| Andrae, J.,<br>Reuber, E.-M. | Im Liegen durch die Kurven fliegen – Leichtes Dreirad als Blickfang auf der CeBIT – OPIUM machte es möglich, fh-Press 2, 2003                   |
| Andrae, J.,<br>Reuber, E.-M. | Weniger Kilos – mehr Komfort – Dauerbrenner für Diplomarbeiten: Liegerad speckt ab, fh-Press 5, 2004  |
| Barthold, S.,<br>Fischer, W. | Entwicklung einer elektrischen Antriebsunterstützung für ein Leichtbaufahrzeug, FH Dortmund, 2003   |
| BU,<br>Rest, P.              | Ganz entspannt und zügig durch die City – Studenten steuern mit Leichtfahrzeug auf die Überholspur, Westfälische allgemeine Zeitung, 28.11.2002 |

Feldhaus, U., Fischer, W.	Wie kommt der Professor aufs Fahrrad? MSC alpha-Magazin, 12/04	NN	Dortmunder Firmen auf der CeBIT, Ruhrnachrichten, 14.03.2003
Fischer, W.	Untersuchung der praktischen Anwendbarkeit von Optimie- rungsverfahren auf Bauteile des Maschinenbaus und der Fahr- zeugtechnik, Forschungsbericht der FH Dortmund, 2002	Overkott, J.	Dreirad schafft Zabel-haftes Tempo, Westfälische Rundschau, 17.03.2003
Fischer, W.	Von der virtuellen Produktent- wicklung zum realen Prototypen am Beispiel des Leichtbau- fahrzeuges „eLTec MP“, Virtual Product Development Conference, 2003	Rohaut, A., Fischer, W.	Optimierung eines Leichtbaufahrzeuges unter Einsatz von CAE, FH Dortmund, 2003
Fischer, W.	Von der virtuellen Produktent- wicklung zum realen Prototypen am Beispiel des Leichtbaufahrzeuges „eLTec MP“, Euromold, 2003	Schubach, W., Fischer, W.	Untersuchung des Fahrverhaltens eines durch Muskelkraft angetriebenen Leichtbaufahr- zeugs mit ADAMS/Car, FH Dort- mund, 2003
Fischer, W.	Von der virtuellen Produktent- wicklung zum realen Prototypen am Beispiel des Leichtbaufahrzeuges „eLTec MP“, Fachhoch- schule, Westfälische Rundschau, 28.11.2002	<b>Messebeteiligungen im Zusammenhang mit dem Projekt</b>	
GN	Messekatalog SPEZI 2003, Germersheim, 2003	effét 2002	„eLTec MP“ - das schnelle Leicht- baufahrzeug, Forschungs- & Entwicklungstage an der FH Dort- mund, 27.11.2002
Haasies Radschlag Lode-Gerke, M.	Eine Tour ins Grüne mit dem Liege-Dreirad, Westfälische allgemeine Zeitung, 16.04.2003	CeBIT 2003	„eLTec MP“ - das schnelle Leicht- baufahrzeug, Hannover, 12.03.2003 - 19.03.2003
Lode-Gerke, M.	Neues aus der FH: Auf dem Weg zum Idealgewicht, RuhrWirtschaft, 11/04	SPEZI 2003	Leichtbaufahrzeug „eLTec MP“, Germersheim, 26.04.2003 - 27.04.2003
Macha, M., Kaufmann, A.	Marktrecherche von durch Muskelkraft angetriebenen Fahrzeugen, FH Dortmund, 2002	Einstieg Abi 2003	Das Leichtbaufahrzeug „eLTec MP“ – eine Entwicklung des Leichtbau-Technologie-Centers LTC der FH Dortmund, Berlin, 19.09.2003 - 20.09.2003
Macha, M., Prieß, J., Fischer, W.	Konstruktion und Bau eines durch Muskelkraft angetriebenen Leichtbaufahrzeuges (HPV) unter Einsatz von CAE, FH Dortmund, 2003	2004 – das Jahr der Technik	Forschung an der FH Dortmund: Das Cityfahrzeug „eLTec MP“, Bochum, 01.10.2004