

Das Fahrzeug der Zukunft: **Vorausschauend, mitdenkend und verständnisvoll**

Am Institute for Advanced Study (IAS) der Technischen Universität München erforschen Prof. Gernot Spiegelberg und sein Team innovative Technologien für die Elektromobilität. Ihr wissenschaftliches Spielzeug ist der Innotruck

Links
www.tum-ias.de/institute-for-advanced-study.html www.innotruck.de

Wie werden wir uns künftig fortbewegen? Was müssen Elektrofahrzeuge leisten? Antworten darauf gibt der Innotruck





Futuristisches Design für die Mobilität der Zukunft: Mit dem Innotruck erforschen Wissenschaftler der Technischen Universität München neue Technologien für die Elektromobilität

Foto: Mercedes/TUM

Beindruckende 25 Meter ist es lang – das Testfahrzeug, das Spiegelberg und seine Mitarbeiter entwickelt haben. Mit seiner spitz zulaufenden Nase ist der Innotruck aerodynamisch optimiert, sein futuristisches Design stammt von dem weltweit erfolgreichen Designer Luigi Colani. Das Hybridfahrzeug wird durch einen Elektromotor angetrieben, die Energie dafür entnimmt es einer Batterie. Mit einer einzigen Batterieladung kann der Innotruck bis zu 100 Kilometer rein elektrisch fahren. Damit er weitere Strecken bewältigen kann, haben ihm die Forscher zusätzlich einen Biodieselmotor eingebaut. Der Hybridantrieb ist seriell angeordnet. Das bedeutet, dass der Verbrennungsmotor keine mechanische Verbindung zur Antriebsachse hat, sondern lediglich einen elektrischen Generator antreibt, der die Elektromaschinen mit Strom versorgt oder die Trakti-

onsakkus lädt. Zum Vergleich: Beim parallelen Hybridantrieb dagegen wirkt der Verbrennungsmotor gemeinsam mit dem Elektromotor auf die Antriebsachse.

Dank des seriellen Hybridantriebs hängt die Drehzahl des Verbrennungsmotors nicht von der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit ab, sondern lässt sich frei wählen und somit optimal für den Verbrauch einstellen. Energie, die dabei nicht direkt für den Antrieb benötigt wird, lässt sich in den Akkus zur späteren Verwendung speichern.

All das aber ist gar nicht die Innovation an dem Riesenzug. Die liegt vielmehr darin, dass die IAS-Ingenieure anhand des Innotrucks die komplexen Interaktionen zwischen Fahrzeug, Infrastruktur und dem Verhalten der Nutzer erforschen. „Der Innotruck dient uns sozusagen als wissenschaftliches Spielzeug, mit dem wir ganzheitliche



Lösungen finden, wie die Systeme im Fahrzeug besser miteinander kommunizieren – und die wir im Truck selbst live präsentieren können“, erklärt Gernot Spiegelberg. Bei der zentralen Siemens-Forschung ist der Ingenieur für die Konzeptentwicklung im Bereich Elektromobilität zuständig, seit 2011 ist er zudem am IAS tätig. Im Rahmen der Rudolf Diesel Senior Fellowship hat er hier die Möglichkeit, neuartige Mobilitätskonzepte zu erforschen. Die Vorteile: Der Spitzenforscher aus der Industrie kennt die Bedürfnisse der Wirtschaft und die daraus resultierenden Anforderungen an die Wissenschaft; gleichzeitig kann er neue Ideen mit Blick auf eine potenzielle Anwendung prüfen. Ausgewählte Doktoranden von der International Graduate School of Science and Engineering (IGSSE) der TU München unterstützen ihn bei drei interdisziplinären Forschungsthemen.

Forschungsthema 1: Vorausschauendes Energiemanagement

Wie sich die Wandlung und Verteilung der Energie innerhalb des Innotrucks steuern lässt – damit beschäftigt sich Dipl.-Ing. Claudia Buitkamp. Eine Besonderheit von Elektro- sowie Plug-in-Hybridfahrzeugen wie eben dem Innotruck ist schließlich, dass sie sich in sogenannte Smart Grids – also intelligente Stromnetze – einbinden lassen. Sie speichern nicht nur Energie für den Eigenverbrauch, sondern nehmen bei Leistungsspitzen im Netz Energie auf und geben sie später bei Bedarf wieder ab. Elektrofahrzeuge sind also sowohl Verbraucher wie auch Stromspeicher. Damit lassen sich regenerative Energiequellen überhaupt erst optimal nutzen, denn Sonne und Wind liefern nur selten genau die zum Verbrauchszeitpunkt benötigte Menge ▶

- 1 Batterien
- 2 Fahrerarbeitsplatz
- 3 VIP-Lounge (mit Küchenzeile)
- 4 Nasszelle
- 5 Ladestation
- 6 Wasser- und Abwassertanks sowie Batterien
- 7 Präsentationsbereich
- 8 Ladestation
- 9 Werkstatt

Der Innotruck ist als „Miniatur-Smart-Grid“ ausgelegt. Damit untersuchen die Forscher das Zusammenspiel zwischen einem intelligenten Stromnetz und den Elektroautos



Strom. Um also das komplexe Zusammenspiel zwischen Energieversorgungsnetz und Elektrofahrzeugen zu steuern, haben die TUM Forscher den Innotruck als sogenanntes Minigrad ausgelegt. Das bedeutet, dass sich, wenn das Fahrzeug stillsteht, mehrere Energielieferanten und -konsumenten gegenüberstehen. Konkret sieht das so aus, dass sich bis zu acht Elektroautos an den Truck anschließen lassen, der sie einerseits auflädt, andererseits aber auch Energie über sie beziehen kann. Zusätzlich kann der Truck an eine externe Stromversorgung angeschlossen und aufgeladen werden beziehungsweise elektrische Energie in das Stromnetz zurückspeisen. In Zukunft sollen zudem Solarzellen und eine ausklappbare Windanlage auf dem Dach des Fahrzeugs Energie bereitstellen, die im Gesamtsystem verteilt wird. „Unser Ziel ist es, zentral die Energieflüsse zu

steuern und eine kostenoptimale Betriebsstrategie zu entwickeln“, so Claudia Buitkamp. Um das zu erreichen, kann der Innotruck zukünftige Fahrsituationen vorhersehen und darauf reagieren. Deswegen arbeiten die Elektronik und ein Navigationssystem Hand in Hand. Steht zum Beispiel ein langgezogenes Gefälle an, sorgt die Elektronik dafür, dass der Innotruck direkt davor möglichst viel elektrisch fährt, damit der Akku fast leer ist. Das Bremsen auf dem Gefälle gewinnt elektrische Energie zurück und lädt den Akku wieder auf. Die Elektronik „achtet“ auch darauf, dass der Akku in einer Stadt voll genug ist, um den Innotruck rein elektrisch fahren zu lassen und die Luft nicht zusätzlich durch Abgase zu belasten. Die Prognose des zukünftigen Leistungsbedarfs macht so ein vorausschauendes, umfassendes Energiemanagement möglich.



Bild: Kiefermedia

Forschungsthema 2: Elektronisch denkendes Zentralnervensystem

Eine zentralisierte Systemarchitektur zu schaffen, die die Informationsflüsse optimiert und damit sowohl die Sicherheit als auch den Komfort erhöht, ist das Ziel der Forschungen von Dipl.-Ing. Hauke Stähle. „Immer neue Steuergeräte machen das Informationsmanagement innerhalb eines Fahrzeugs äußerst komplex. Statt viele einzelne Geräte zu vernetzen, wollen wir mit einer ganz neuen Architektur einen Zentralrechner im Auto etablieren – quasi das Gehirn eines intelligenten Fahrzeugs“, so der Doktorand. Durch die damit einhergehende Komplexitätsreduktion lassen sich einzelne Funktionen wie die Einparkautomatisierung oder Fahrspurassistenten auch nachträglich einfach in ein Fahrzeug integrieren, da sich das System als Ganzes dar-

auf einstellen kann. „Vergleichen lässt sich das mit einem Personalcomputer: Drucker, Maus, Bildschirm, Kamera etc. lassen sich problemlos anschließen. Eventuell muss noch ein Stück Software installiert werden, um auf den vollen Funktionsumfang zugreifen zu können. Ähnliches wollen wir mit dem Zentralrechner erreichen, an den – je nach Kundenwunsch und Geldbeutel – verschiedene Geräte angeschlossen und somit Funktionen angeboten werden können“, so Hauke Stähle. Ein weiteres Beispiel ist Drive-by-Wire – also die Steuerung komplett ohne mechanische Verbindung zwischen Fahrer und Rädern. Statt über eine Lenksäule, die die Drehbewegungen vom Lenkrad auf die Achse überträgt, werden diese Daten zukünftig über einen Sensor elektronisch übermittelt und durch Stellmotoren an den Rädern ausgeführt. Der Vorteil liegt insbesondere ▶

Nationaler Entwicklungsplan zur Elektromobilität der Bundesregierung Deutschland

2020 sollen eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen fahren – das ist das Ziel der Bundesregierung. Nach den Zahlen des Kraftfahrt-Bundesamts waren in Deutschland 2011 gerade mal 40.000 Elektroautos und Hybridautos unterwegs – 25 Mal so viele sollen es also in weniger als einer Dekade sein.

Um das zu erreichen, hat das Bundeskabinett im August 2009 einen Entwicklungsplan zur Elektromobilität verabschiedet. Er sieht vor, die Forschung und Entwicklung, die Marktvorbereitung und -einführung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen in Deutschland voranzubringen sowie die globale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie zu behaupten und zu stärken. Eine Vielzahl an politischen, regulatorischen, technischen und infrastrukturellen Voraussetzungen muss dafür geschaffen werden. Die Bundesregierung stellt für das Vorhaben 500 Millionen Euro zur Verfügung.

Die Technologien für elektrische Antriebe, Energiespeicher und Netzinfrastruktur sind in ihren Grundlagen entwickelt, aber an zahlreichen Stellen besteht Forschungs-, Optimierungs- und Vernetzungsbedarf. Vor allem in der Schlüsseltechnologie der Batteriespeicher, aber auch in den Bereichen Fahrzeugtechnik, System- und Netzintegration sowie Rohstoffverfügbarkeit muss Entwicklungsarbeit geleistet werden. Für eine breite Markteinführung gilt es insbesondere, die Kostenstrukturen sowie die Alltagstauglichkeit der Fahrzeuge zu verbessern.

Der Entwicklungsplan sieht diverse Maßnahmen vor, die die Akteure aus Politik, Forschung, Industrie und Gesellschaft vernetzen. Unter anderem wurden acht Modellregionen gebildet, in denen – mit jeweils unterschiedlichen Schwerpunkten – Hersteller, Nutzer, Dienstleister und Infrastrukturbetreiber Mobilitätskonzepte gemeinsam entwickeln und integrieren. So untersuchen sie das Mobilitätsverhalten der Menschen unter Alltagsbedingungen, weisen die technische Alltagstauglichkeit von elektrischen Autos, Nutzfahrzeugen, öffentlichen Fahrzeugen und Zweirädern nach und positionieren die unterschiedlichen Verkehrsträger in einem gemeinsamen intelligenten Konzept. In der Modellregion München beispielsweise erforschten die Projektpartner Audi, E.ON, Stadtwerke München (SWM) und Technische Universität München (TUM) die Nutzerpräferenzen von Privatpersonen und Flottenbetreibern und erprobten eine Ladeinfrastruktur von öffentlichen und privaten Ladesäulen, betrieben mit Strom aus regenerativen Quellen. Zudem beschäftigen sie sich mit der Datenübertragung zwischen Fahrer, Auto und Stromtankstelle bis hin zum Stromnetz. Sie testen dabei den Einsatz von Smartphones als zentrale Schnittstelle für den Fahrer.

Die Maßnahmen gliedern sich in drei Phasen: Die erste Phase der Marktvorbereitung war 2011 abgeschlossen, bis 2016 soll der Entwicklungsplan nun den Markthochlauf und ab 2017 den Volumenmarkt fördern. Dann soll Deutschland der Leitmarkt für Elektromobilität sein.

darin, dass sich so die Fahrzeugbewegungen durch Elektronik relativ einfach manipulieren lassen. Weil außerdem Elektroautos in Zukunft auch ihren Weg selbstständig erkennen sollen, werden sie mit der Technik automatisch Hindernissen ausweichen können. Kurz: Das Fahrzeug wird immer intelligenter und der Fahrer immer stärker entlastet. Die Drive-by-Wire-Technologie gehört in der Luft- und Schifffahrtindustrie bereits zum Alltag, in der Fahrzeugindustrie ist sie bislang allerdings noch Zukunftsmusik. Denn aktuell sieht der Gesetzgeber in Deutschland und auf EU-Ebene solche Systeme auf den Straßen nicht vor. Deshalb besteht im Auto nach wie vor eine mechanische Verbindung für sicherheitskritische Bereiche wie Lenken oder Bremsen. Darüber hinaus beschäftigt sich Hauke Stähle mit der digitalen Datenverarbeitung. „Wir sehen für den Innotruck eine

Vielzahl neuer Fahrerassistenz- und Komfortsysteme vor und evaluieren sie. Die Systeme greifen gebündelt auf Sensorinformationen zu und fusionieren diese Daten. Damit wollen wir erreichen, dass das Auto sein komplettes Umfeld ‚einschätzen‘ und darauf reagieren kann. Durch die neuartige Architektur wird letztendlich der Weg für unfallvermeidendes und sogar autonomes Fahren geebnet“, so Hauke Stähle.

Forschungsthema 3:

Das Auto als optimaler Mobilitätspartner

Futuristisch wird es im Forschungsfeld von Ljubo Mercep M. Sc. Die Idee: Der Fahrer soll das Auto nicht über Schalter steuern, sondern das Auto kann sich an den Fahrer anpassen. Der Fahrer bedient also nicht mehr einzelne



Prof. Gernot Spiegelberg sieht besonders bei Zweitautos ein hohes Potenzial für Elektromobilität. Von den etwa 13 Millionen Zweitautos in Deutschland fahren 80 Prozent nur auf Kurzstrecken und eignen sich deshalb gut für Elektroantriebe

Komponenten wie Gas, Bremse und Lenkrad. Stattdessen stellt sich das Auto als Gesamtsystem auf seine Wünsche ein. „Was muss das Auto wissen beziehungsweise können, damit es versteht, was ich von ihm will, ohne dass ich mich dafür explizit anstrengen muss?“ So beschreibt Ljubo Mercep die Frage, die im Mittelpunkt seines Forschungsinteresses steht.

Bereits realisiert ist, dass sich der Innotruck wie ein Flugzeug mit Sidesticks statt mit einem Lenkrad steuern lässt. Sidesticks sind joystick-ähnliche Steuerknüppel, die die Bewegungen des Fahrers in digitale Signale umwandeln und so das Fahrzeug lenken. Die Sidesticks sind in den Fahrersitz integriert, sodass die Arme sich immer in einer natürlichen Position befinden, die für den Fahrer auch auf langen Strecken angenehm ist. Zudem ist das Anzeigesystem auf

die Bedürfnisse des Fahrers zugeschnitten. So gibt es statt diverser Leuchtanzeigen einen zentralen Touchscreen, der dem Fahrer jeweils nur die Informationen anzeigt, die er gerade braucht. Der Vorteil liegt darin, dass der Fahrer nicht durch einen Überfluss an Daten abgelenkt wird. Anstelle eines Rückspiegels zeigen zwei kleine Bildschirme in dem zentralen Steuerelement zudem die Bilder von Außenkameras an, sodass der Fahrer stets einen guten Überblick über die unmittelbare Umgebung des Trucks besitzt. „Unser Ziel ist es, dass das Fahrzeug den Fahrer versteht und damit als optimaler Mobilitätspartner agiert“, erklärt Ljubo Mercep. Um das zu untersuchen, arbeitet er auch an der sogenannten Gehirn-Computer-Schnittstelle. Sie ermöglicht eine Verbindung zwischen dem Gehirn und einem Computer, und zwar ohne dass das periphere Nervensystem aktiviert ▶

Neues Mobilitätszeitalter

Auf der Berliner Gewerbeausstellung 1879 gab es eine große Attraktion: eine elektrisch angetriebene Lokomotive (Bild unten links), die drei Wagen hinter sich herzog, auf denen jeweils sechs Personen Platz hatten. So beladen konnte der kleine Zug zwar lediglich im Schrittempo fahren, sorgte aber dennoch für großes Aufsehen, da hier erstmals ein elektrisch angetriebener Motor zum Einsatz kam. Entwickelt hatte ihn Werner von Siemens, nachdem er 1866 das dynamoelektrische Prinzip entdeckt hatte. Es besagt, dass der Elektromagnet im Generator sich seinen Strom selbst erzeugen kann. Werner von Siemens entwickelte nicht nur die erste elektrische Eisenbahn, sondern auch eine Straßenbahn und einen Kutschenwagen mit Oberleitung. 1905 rollten dann die ersten Elektroautos auf Berlins Straßen – unter ihnen die von Siemens gebaute „Elektrische Viktoria“, die bis zu 30 km/h schnell fuhr (Bild unten rechts).

Als der mobile Mensch dann aber feststellte, dass sich Verbrennungsmotoren unterwegs einfach und günstig nachtanken lassen, geriet das Elektroauto fast in Vergessenheit. Heute erleben Elektrofahrzeuge ein Wiedererwachen. Die rasante Urbanisierung, die Ressourcenknappheit durch das Bevölkerungswachstum und der demografische Wandel zwingen uns, Mobilität neu zu erfinden.



Elektrofahrzeuge spielen dabei eine entscheidende Rolle. Schließlich verursachen sie keine schädlichen Treibhausgase, lassen sich mit Energie aus Wind und Sonne betreiben und machen den Menschen damit weitgehend unabhängig vom immer knapper werdenden Erdöl.

Laut einer Studie von 2010 erwartet die Investmentbank HSBC weltweit fast 18 Millionen Elektrofahrzeuge bis zum Jahr 2020 – aufgeteilt auf 8,7 Millionen reine Elektroautos und 9,2 Millionen sogenannte Plug-in-Hybride mit einer Kombination aus Elektro- und Verbrennungsmotor, die sich über eine Steckdose aufladen lassen. Nach den Plänen der deutschen Bundesregierung sollen bis zum Jahr 2020 eine Million Elektromobile auf deutschen Straßen fahren. Rein theoretisch könnten, so Prof. Gernot Spiegelberg, bis dahin sogar rund 4,5 Millionen Elektroautos unterwegs sein. Die Begründung: Von den 40 Millionen Fahrzeugen in Deutschland sind 30 Prozent Zweitfahrzeuge, von denen 80 Prozent lediglich für Kurzstrecken benutzt werden. Würde man die Hälfte dieser Fahrzeuge durch Elektroautos ersetzen, käme man auf mehr als 4,5 Millionen Stück. Wie hoch dieser Anteil in der Praxis ausfallen kann, hängt unter anderem von den erreichbaren Produktionshochläufen ab.



Fotos: Siemens AG

wird, also beispielsweise die Arme und Beine genutzt werden. Zur Erklärung: Gehirn-Computer-Schnittstellen basieren auf der Beobachtung, dass schon die Vorstellung eines Verhaltens messbare Veränderungen der elektrischen Hirnaktivität auslöst. Selbst wenn man nur daran denkt, eine Hand oder einen Fuß zu bewegen, wird der motorische Kortex aktiviert – also der Gehirnbereich, der für Bewegungen zuständig ist. Wird die elektrische Aktivität im Gehirn aufgezeichnet – beispielsweise mittels der Elektroenzephalografie (EEG) –, kann man gedanklich die Trajektorie des Fahrzeugs vorgeben. Ljubo Mercep arbeitet mit einem Datenhelm, über den per Funk Gehirnströme an den Computer geschickt und dort ausgewertet werden. „Wir stehen auf diesem Gebiet allerdings noch am Anfang und haben bis jetzt nur erste Schritte im Selbstversuch gemacht“, so

der Doktorand. Was hier in Fahrzeugen der Zukunft möglich sein wird, dafür soll seine Forschung einen ersten Ansatz aufzeigen.

Gernot Spiegelberg und sein Team wollen ihre wissenschaftliche Arbeit auch dann noch bekannt machen, wenn die Rudolf Diesel Senior Fellowship 2013 endet. Geplant ist, beim Zero Emissions Race dabei zu sein, den der Schweizer Louis Palmer, der 2008 als Erster in einem solarbetriebenen Auto die Erde umrundet hat, jedes Jahr organisiert. Frei nach Jules Verne geht es dabei in 80 Tagen um die Welt, und zwar ausschließlich mit Elektrofahrzeugen. Mit dem Innotruck werden Gernot Spiegelberg und sein Team dann eine 30.000 Kilometer lange Strecke durch 16 Länder und 150 Städte zurücklegen und ihre Forschungsergebnisse einem breiten Publikum präsentieren. *Gitta Rohling*