Die Mobilität von morgen

Autor(en): **Hofer, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **102 (2011)**

Heft 2

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856778

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Mobilität von morgen

Überblick über das Potenzial von Antriebssystemen

Individuelle Mobilität ist ein wesentliches Element moderner Gesellschaften. Sie erweitert unseren Lebensraum und eröffnet neue Möglichkeiten, unser Leben zu gestalten. Sie benötigt aber auch einiges an Ressourcen und hat negative Auswirkungen auf Umwelt und Klima. Es lohnt sich deshalb, einen Blick auf die treibenden Kräfte zu werfen, die unsere Mobilität von morgen gestalten werden.

Peter Hofer

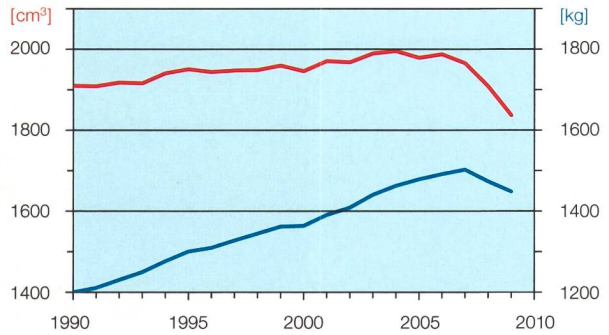
Die treibenden Kräfte, die unsere Mobilität prägen, sind gegeben durch unsere Wünsche und Bedürfnisse, aber auch durch Einschränkungen infolge abnehmender billiger Energie- und Materialressourcen sowie zunehmender Umweltbelastungen. Betrachten wir zunächst die Wünsche und Bedürfnisse.

Der Wunsch nach Mobilität ist in den meisten Gesellschaften sehr tief verankert. So ist der Bestand an Personenwagen eines Landes abhängig von dessen Bruttosozialprodukt. Dabei gilt aber nicht die Formel «Je mehr Wohlstand, desto mehr Fahrzeuge», sondern es zeichnet sich eine Sättigung bei ca. 600 Personenwagen pro 1000 Einwohner ab. Bei weltweit 7 Milliarden Einwohnern bedeutet dies die Aussicht auf einen globalen Fahrzeugbestand von bis zu 4 Milliarden Fahrzeugen, d.h. eine Vervierfachung des heutigen Bestands von knapp 1 Milliarde.

Diese Vision ist nicht abwegig, wenn wir berücksichtigen, dass in China und Indien, welche knapp 40% der Weltbevölkerung ausmachen, heute lediglich 50 und weniger Fahrzeuge auf 1000 Einwohner anfallen. Dass der Bau und Betrieb einer solchen Fahrzeugflotte einen massiven Material- und Energieverbrauch und eine ebenso grosse Umweltbelastung darstellt, liegt auf der Hand. Die globale Zunahme der individuellen Mobilität ist ein starker Treiber für die Ressourcenverknappung.

Der Wunsch nach sicherer Mobilität

Dank der Turboaufladung kommen heute wieder Motoren mit kleineren Hubräumen zum Einsatz. Das mittlere Fahrzeuggewicht hat sich in den letzten zwei Jahren ebenfalls verkleinert, ist aber immer noch auf hohem Niveau **(Bild 1)**. Dies ist ein Tribut an das Konzept der passiven Sicherheit, mit dem heute die Folgen von Unfällen reduziert werden. Hier kann die Informations- und Kommunikationstechnologie einen wichtigen Beitrag leisten. Sie ermöglicht ein Konzept der aktiven Sicherheit, welches die Verhinderung von Unfällen anstrebt. Es basiert darauf, dass heute ein Fahrzeug wesentlich mehr Informationen hat und diese sehr schnell auswerten kann. Ein GPS liefert die Information über Standort, Strassenklasse und Kurvenradius, Temperatur- und Feuchtsensoren lassen Rückschlüsse auf die Strassenverhältnisse zu, eine lokale Ad-hoc-Vernetzung der Fahrzeuge zeigt an, ob und wie andere Verkehrsteilnehmer unterwegs sind, und aktive Verkehrssignale teilen dem Fahrzeug mit, mit welchen Geschwindigkeiten unter welchen Randbedingungen (Überholverbot etc.) gefahren werden darf. Ähnlich wie das bei Flugzeugen schon seit Langem der Fall ist, fährt der Fahrer via Computer (drive by wire). So wie beim Flugzeug eine instabile Fluglage verunmöglicht wird, werden auch beim Motorfahrzeug kritische Situationen verhindert. Dies bedeutet zwar einen teilweisen Verlust der «Freiheit der Strasse», ermöglicht aber eine massive Reduktion des Fahrzeuggewichts und damit des Treibstoffverbrauchs. Leichtbau aber ist eine Voraussetzung für eine nachhaltige individuelle Mobilität.



Auto-Schweiz (2010)

Bild 1 Entwicklung von Gewicht und Hubraum der Personenwagen in der Schweiz.

Der Wunsch nach sauberer Luft und Ruhe

Die Schadstoffemissionen der Motorfahrzeuge konnten dank modernen Motorensteuerungen und Abgasreinigungssystemen massiv gesenkt werden. So können die Stickoxidkonzentrationen (Summe von NO und NO_2) im Abgas eines warmgelaufenen Erdgas- oder Benzinfahrzeugs tiefer sein als die Konzentration in der Aussenluft einer typischen vorstädtischen Situation in der Schweiz. Daraus zu schliessen, dass ein fahrendes Auto die Luft verbessern kann, wäre natürlich völlig falsch. Dafür gibt es noch zu viele ungelöste Probleme wie etwa die Kaltstartemissionen, die NO_x-Emissionen kleiner Dieselfahrzeuge oder die Emission flüchtiger Kohlenwasserstoffe aufgrund von Verdampfungsverlusten, um nur einige zu nennen.

In der Schweiz leiden 1,2 Millionen Personen, d.h. knapp 20% der Bevölkerung, massiv unter Verkehrslärm. In Ballungszentren treten diese Belastungen massiert auf. Dabei ist es wichtig zu wissen, dass bei tiefen Geschwindigkeiten, d.h. bei Lastwagen unter ca. 55 km und bei Personenwagen unter 40 km, der

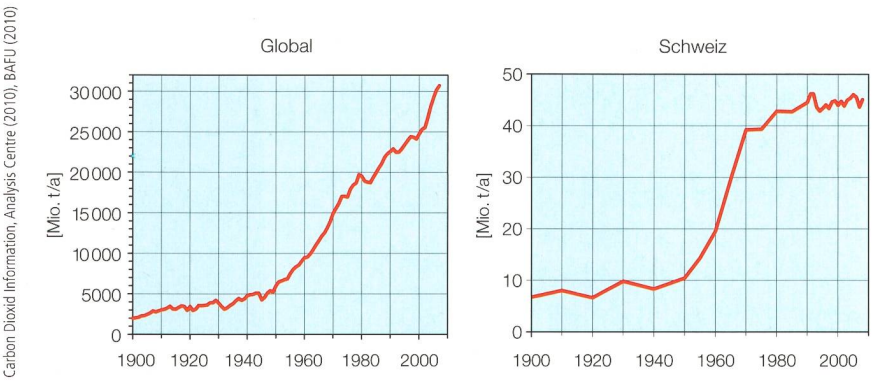


Bild 2 CO_2-Emissionen.

Lärm der Verbrennungsmotoren zur dominierenden Lärmquelle wird. Oberhalb dieser Fahrgeschwindigkeiten dominiert das Rollgeräusch. Daraus kann die Empfehlung abgeleitet werden: Mobilität und Transport in Innenstädten sollten auf Elektroantrieben basieren, d.h. auf Elektrofahrzeugen und Plug-in-Vollhybriden mit einer Reichweite von 20 km.

Neben diesen Wünschen, die unsere künftige Mobilität gestalten, gibt es äussere Grenzen und Knappheiten, die ebenfalls einen wichtigen Einfluss haben.

Begrenzung der CO_2-Emissionen

CO_2 ist das wichtigste der klimawirksamen Gase. Seine Konzentration in der Aussenluft steigt ungebrochen an. Der Grund für diesen Anstieg ist ein ebenso ungebrochener Anstieg der globalen CO_2-Emissionen **(Bild 2)**.

Interessant ist nun die Frage nach den Quellen dieses CO_2-Ausstosses. Auf globaler Ebene ist dies mit einem Anteil von über 50% die Produktion von Elektrizität und Wärme. Transport und Mobilität liefern lediglich einen Beitrag von rund 20% zu den globalen CO_2-Emissionen. Anders ist die Situation in der Schweiz. Zwar konnte der extrem starke Anstieg der CO_2-Emissionen der 1960er-Jahre gebrochen werden und verläuft seit ca. 1980 deutlich flacher. Die Zielvorgabe des Kyoto-Protokolls, die CO_2-Emissionen bis 2012 gegenüber dem Jahr 1990 um 8% zu vermindern, wird aber nicht erreicht werden. Der Grund dafür liegt primär in der starken Zunahme des Treibstoffverbrauchs. Der Strassenverkehr ist in der Schweiz denn auch mit knapp 40% die grösste Quellgruppe für die CO_2-Emissionen. Eine massive Reduktion dieser Emissionen ist nur möglich, wenn der Strassenverkehr einen markanten Beitrag dazu liefert.

Die Begrenzung der energetischen Ressourcen

Die individuelle Mobilität basiert in der Schweiz praktisch ausschliesslich auf Benzin und Diesel, d.h. auf Erdöl, und dieses wird allmählich knapp. Mit sog. nicht konventionellem Erdöl (Ölsand und Ölschiefer) stehen zwar noch weitere fossile Reserven zur Verfügung, ihre Förderung ist aber teurer und mit grösseren Umweltbelastungen verbunden. Eine weitere Möglichkeit stellt Erdgas dar, von dem noch grössere Reserven vermutet werden. Sowohl beim Erdgas wie bei Benzin und Diesel besteht die Möglichkeit, Biotreibstoffe zuzumischen. Dabei ist entscheidend, wie und wo diese Biotreibstoffe produziert werden. Im ungünstigen Fall werden mehr Treibhausgase emittiert als eingespart. Zudem ist zu prüfen, ob keine Konkurrenz zur Nahrungskette besteht. In der Schweiz wird aus Bioabfällen, Jauche und künftig auch aus Abfallholz Biogas (Methan) erzeugt, das z.B. dem Erdgas zudosiert werden kann. Mittelfristig könnten so bis zu 15% der individuellen Mobilität abgedeckt werden [1].

Die in Form von Benzin benötigte Energiemenge für Personenwagen beträgt ca. 140000 TJ. Aufgrund der CO_2-Problematik kommt vermehrt die Forderung, Personenwagen mit Elektroantrieben zu betreiben. Solche Antriebe (Batterie/Elektromotor) sind effizienter in der Energiewandlung als Benzinmotoren, und die benötigte Energiemenge würde lediglich die Hälfte betragen, d.h. ca. 70000 TJ.

Bezüglich der CO_2-Emissionen ist entscheidend, wie die Elektrizität produziert wird. In der Schweiz haben wir zwar saubere Wasserkraft und bauen sie sogar moderat aus. Dies reicht aber bei Weitem nicht, um den steigenden Endverbrauch an Elektrizität der letzten Jahre zu decken, geschweige denn, um eine neue Verbrauchergruppe in grossem Stil mit sauberer Elektrizität zu versorgen. Die Menge an elektrischer Energie, die für ein vollständiges Umsteigen auf Elektromobilität im Individualverkehr benötigt würde, entspricht in etwa der Hälfte der in der Schweiz mit Wasserkraft erzeugten Elektrizität **(Bild 3)**. Die starke Zunahme von elektrisch betriebenen Wärmepumpen zur Erzeugung von Heizwärme sowie die Einführung der kontrollierten Lüftung im Wohnbereich verschärft die Situation auf dem Markt für elektrische Energie zusätzlich.

Falls die Elektromobilität in grösserem Stil realisiert wird, sind wir somit auf Stromimporte angewiesen. Die europäische Elektrizitätsproduktion basiert zu über 50% auf fossilen Energieträgern, davon 30% Kohle. Die CO_2-Belastung ist mit 530 g/kWh auch entsprechend hoch; im Vergleich dazu beträgt die CO_2-Belastung der Schweizer Elektrizität lediglich 130 g/kWh. Weltweit ist der Kohleanteil bei der elektrischen Energie bei rund 40%, Tendenz steigend. Sowohl in der Schweiz als auch im Ausland ist somit kurzfristig keine zusätzliche saubere Elektrizität in grösseren Mengen verfügbar.

Die Verknappung von Metallen

Bei gewissen Metallen wie Indium oder Neodym wird eine Verknappung

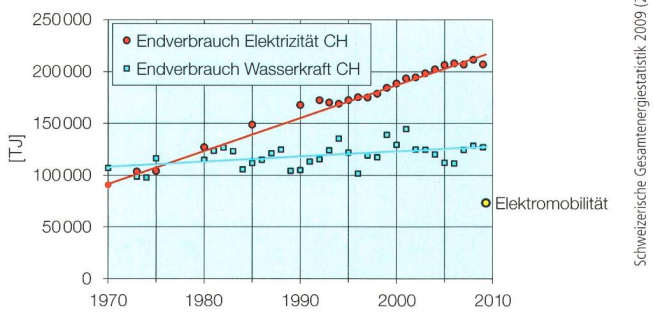


Bild 3 Schweizer Elektrizitätsverbrauch und Wasserkraft.

prognostiziert. Verschiedene Faktoren können zu einer solchen Verknappung führen: geologische (Menge und Qualität der Lagerstätten), politisch-wirtschaftliche (Exportbegrenzung durch die Förderländer), technologische (erhöhte Nachfrage als Folge neuer Technologien), um nur einige zu nennen. Diese Verknappung kann einzelne Technologien verteuern und so die Ausgestaltung unserer Mobilität zumindest vorübergehend beeinflussen. Ein wichtiges Ziel der Materialforschung besteht darin, neue Produkte zu entwickeln, welche nicht auf knappen Ressourcen basieren.

Welchem Antriebssystem gehört die Zukunft?

Fahrzeuge können mit verschiedenen Antriebssystemen ausgerüstet sein und die Antriebe mit verschiedenen Energiequellen betrieben werden. Im Folgenden vergleichen wir die CO_2-Belastung und die Energieeffizienz verschiedener Kombinationen von Antrieben und Energiequellen. Die untersuchten Systeme sind in **Bild 4** zusammengestellt.

Als Referenzfahrzeug dient der mit Benzin betriebene Golf VI 1.2 TSI, welcher pro Kilometer gefahrene Strecke 0,385 MJ mechanische Energie auf der Antriebsachse benötigt. Es wird nun berechnet, wie viel Primärenergie – im Besonderen fossile Energie – die unterschiedlichen Antriebsstränge pro Kilometer benötigen, um die gleiche Transportleistung zu erbringen und wie viel CO_2 dabei jeweils pro Kilometer freigesetzt wird. Dabei wird berücksichtigt, dass dem Erdgas 10 % Biogas zudosiert werden kann. Im Übrigen wird mit den Wirkungsgraden und Verlustfaktoren heutiger Technologien gerechnet. Bei der elektrischen Energie wird mit einem EU-Mix gerechnet, bei dem 530 g CO_2 pro kWh Endenergie freigesetzt wird. Die Ergebnisse sind in **Bild 5** dargestellt.

Empa

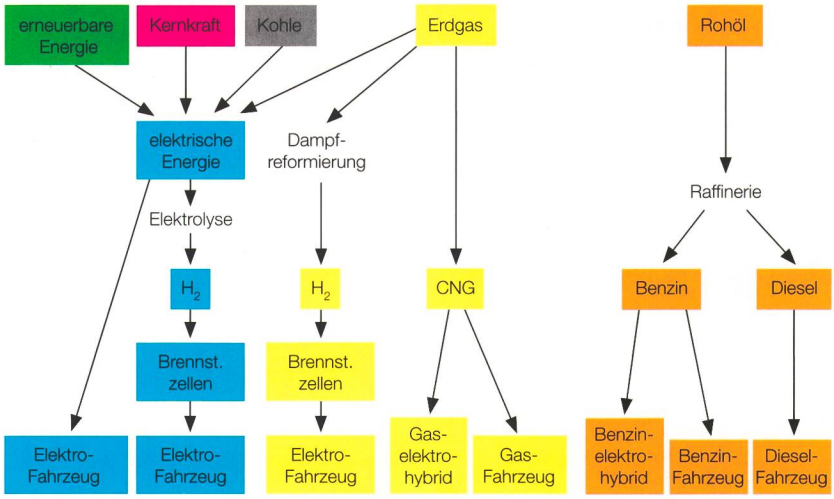


Bild 4 Untersuchte Kombinationen von Primärenergie und Antrieb.

Bezüglich Energieeffizienz der gesamten Kette von der Bereitstellung der Energie bis zur Fahrleistung sind reine Elektrofahrzeuge, Erdgas- und Benzinhybride sowie Dieselfahrzeuge etwa gleichwertig. Betrachten wir aber den CO_2-Ausstoss, so belegen die Elektrofahrzeuge sowie Erdgashybride die Spitzenplätze mit den tiefsten Emissionen.

Beide Antriebe haben ihre Stärken und sollten entsprechend eingesetzt werden. Eine sinnvolle Aufgabenteilung sieht folgendermassen aus:

- Elektroantriebe für kleinere Personenfahrzeuge im Stadtbetrieb
- Erdgasvollhybride für grössere Personenwagen
- Dieselfahrzeuge für den Gütertransport (in Bereichen, wo die Bahn nicht sinnvoll ist)

Für die künftige Aufgabenteilung ist die technische Entwicklung der einzelnen Antriebe entscheidend.

Potenzial der Elektrofahrzeuge

Entscheidend für die Umweltbelastung ist die Stromproduktion. Die 30 % Kohlestrom im europäischen Mix verschlechtern die CO_2-Bilanz ganz wesentlich. Hier könnten moderne Erdgaskombikraftwerke bereits kurzfristig eine Verbesserung bringen. Langfristig sollte regenerativ erzeugte Elektrizität eingesetzt werden.

Das zweite Element mit Verbesserungsbedarf ist die Batterie. Die Schwachpunkte heutiger Batterien umfassen: Energiedichte, Alterung, Zyklusstabilität, Schnellladung bei tiefen Temperaturen sowie die Kosten. Zur Behebung dieser Defizite sind nicht nur Investitionen notwendig. In weit grösserem Mass muss hier noch grundlegende Forschungsarbeit geleistet werden.

Potenzial der Erdgashybride

Die Hybridisierung kann technisch noch verbessert werden, und zwar in dem Sinne, dass der Verbrennungsmotor mehrheitlich im optimalen Betriebsbereich läuft und ein Mehrbedarf an Leistung mit dem Elektromotor gedeckt wird, bei einem Minderbedarf an Leistung dagegen die Batterie aufgeladen wird. Dabei ist wesentlich, dass beide Motoren über das Getriebe direkt mit der Antriebsachse verbunden sind. Dies im Gegensatz zu den sog. «Range-Extendern», bei denen mit dem Verbrennungsmotor via Generator lediglich die Batterie geladen wird. Solche Umwandlungsketten

Empa

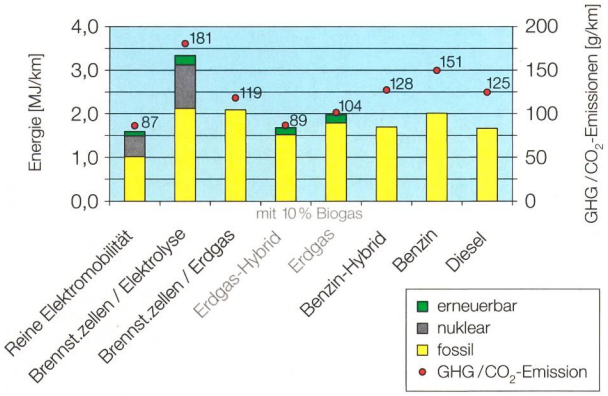


Bild 5 Spezifischer Energieverbrauch und Treibhausgasemission verschiedener Antriebe.

ohne mechanischen Kraftschluss sind mit Verlusten verbunden.

Eine weitere Herausforderung ist die Nutzung der Abwärme. Bei modernen Verbrennungsmotoren werden im realen Betrieb maximal 30% der Brennstoffenergie in Fahrleistung umgesetzt. Der Rest geht als Abwärme verloren. Mit sog. thermoelektrischen Konvertern kann diese Abwärme teilweise in elektrische Energie gewandelt und genutzt werden. Allerdings ist noch einiges an Forschungsarbeit notwendig, damit diese zusätzliche Energienutzung den Treibstoffverbrauch deutlich reduziert.

Résumé **La mobilité de demain**

Aperçu du potentiel des systèmes de propulsion

La mobilité individuelle est un élément essentiel des sociétés modernes. Elle repousse les frontières de notre espace de vie et nous offre de nouvelles possibilités pour aménager notre existence. Elle a cependant aussi besoin d'une certaine quantité de ressources énergétiques et a un impact négatif sur l'environnement et le climat. Cet article présente les forces motrices qui assureront la mobilité de demain et évalue le potentiel de différents systèmes de propulsion. No

Fazit

Zurzeit kann der CO_2-Ausstoss der individuellen Mobilität mit zwei Fahrzeugantriebskonzepten deutlich gesenkt werden. Es sind dies Elektroantriebe für Kleinfahrzeuge und Erdgasvollhybride für grössere Fahrzeuge. Beide dieser Antriebe haben ein Entwicklungspotenzial, dessen Realisierung stark von externen Randbedingungen geprägt wird. Zu diesen Randbedingungen gehören die verfügbaren Energiereserven und damit deren Kosten sowie die technische Weiterentwicklung der Energiewandlung und der Antriebsaggregate. Bei beiden Konzepten ist zudem eine nachhaltige Mobilität nur dann realisierbar, wenn sich im Automobilbau der Leichtbau durchsetzt. Die Materialforschung kann hier noch wesentliche Beiträge liefern.

Literatur

- Auto-Schweiz: 14. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung über die Absenkung des spezifischen Treibstoff-Normverbrauchs von Personenwagen (2010).
- BAFU; Emissionen nach CO_2-Gesetz und Kyoto-Protokoll (2010).
- BfE; Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2009 (2010).
- Oak Ridge National Laboratory, Carbon Dioxid Information and Analysis Centre (2010).
- Sundström O., Guzzella L., Soltic P.; Torque-Assist Hybrid Electric Powertrain Sizing: From optimal Control towards a Sizing Law; IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 18, p. 837 (2010).

Referenzen

[1] Zah R., Binder C., Bringezu S.; Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels, VdF-Hochschulverlag ETH Zürich (2010).

Angaben zum Autor

Dr. **Peter Hofer** ist seit 2002 Leiter des Departements «Mobilität, Energie und Umwelt», Mitglied der Direktion der Empa und Leiter des Empa-Forschungsschwerpunkts «Natürliche Ressourcen und Schadstoffe». Seit 2006 ist er auch stellvertretender Direktor der Empa.
Empa, 8600 Dübendorf, peter.hofer@empa.ch

Anzeige

Hybrid- und Elektromobile: *Unsere Dienstleistungen im Überblick*

Mit der Hybridtechnik hat die «Hochvolt»-Elektrifizierung im Fahrzeugbau definitiv Einzug gehalten. Nicht nur bei Personenwagen, sondern auch bei Bussen und Baumaschinen mit entsprechend grossen Energien sowie Gleich- und Wechselspannungen von bis zu 700 V und Strömen von einigen 100 A.

Schulungen – denn neue Kompetenzen sind gefragt
Mit diesen neuen Technologien und deren potenziellen Gefahren sind Reparaturwerkstätten, Servicepersonal und Rettungskräfte – für viele Neuland – zunehmend konfrontiert. Electrosuisse bietet Schulungen an zum Thema «Elektro-Instruktion für Niederspannungseinrichtungen und Elektro- und Hybridfahrzeuge», bei denen die Qualifizierung für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen sowie das Basiswissen bezüglich der angrenzenden Installation behandelt werden.

Prüfungen – damit man auch sicher ans Ziel kommt
Electrosuisse prüft seit über 40 Jahren herkömmliche Elektrofahrzeuge, seit wenigen Jahren aber auch die neuen Technologien der Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Unsere Prüfungen profitieren von unserem breiten und langjährigen Know-how.

Normung – der Stecker soll ja überall passen
Bei der IEC und CENELEC sind Experten von Electrosuisse im Normenbereich aktiv: Zum Thema Speisung im TC 64 und TC 22, im Bereich Fahrzeuge im TC 69 und betreffend Stecksystemen im TC 23B. Zur Personenzertifizierung sind Abklärungen mit diversen Stellen – Suva, ASTRA, dem Verband AGVS und Bundesstellen – im Gange.

Für Anfragen: jost.keller@electrosuisse.ch

Electrosuisse
Luppmenstrasse 1
CH-8320 Fehraltorf

Tel. +41 44 956 11 11
Fax +41 44 956 11 22
info@electrosuisse.ch
www.electrosuisse.ch

electrosuisse