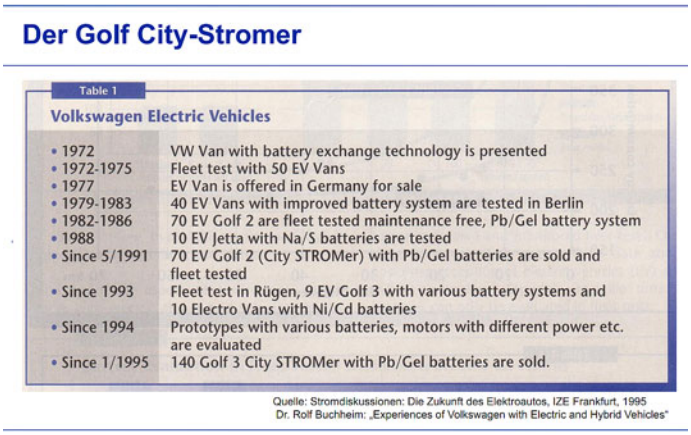
Ein Rückblick in Bildern auf 25 Jahre Elektromobilität

von Roland Reichel

Dieser Beitrag basiert auf einen entsprechenden Vortrag, gehalten auf der „drive-e-akademie“ am 15.2.2011 in Berlin.



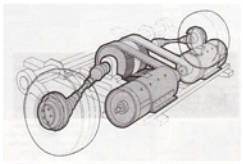
Es gab verschiedene Grossversuche und Erprobungsprogramme mit Elektrofahrzeugen. Bekannt geworden sind vor allem der „Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio in der Schweiz“, in dem viele französische Elektroautos zum Einsatz kamen, die an anderer Stelle noch immer in Betrieb sind.

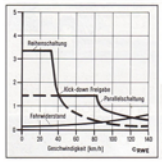
In den 90er Jahren gab es in Deutschland das Erprobungsprogramm auf der Insel Rügen. Dort wurden rund 100 Millionen DM investiert, ca. ¼ davon aus öffentlichen Geldern. Eigens für das Rügen-Programm wurde die DAUG gegründet, eine Tochter von VW und Daimler. Die DAUG hatte in Zusammenarbeit mit Hoppecke eine sehr stabile NiCd Batterie auf Glasfastertechnik und Edelstahlgehäuse herausgebracht, die aber nur bei wenigen Fahrzeugen zum Einsatz kam. VW und andere, u.a. Neoplan, experimentierten mit der „heissen“ Natrium-Schwefel Batterie, die damals von BBC erforscht und gebaut wurde.

Es waren laut Schlussbericht 1996 die folgenden Firmen in Rügen beteiligt: BMW, Opel, Neoplan, Mercedes-Benz und Volkswagen sowie als Batterie- und Komponentenlieferanten AEG mit der Anglo Batterie (besser bekannt als Zebra-Batterie), Daug-Hoppecke mit der NiCd Faser Batterie sowie BBC mit der Natrium-Schwefel Batterie. Die VARTA lieferte Blei Gel Akkus. Außerdem gab es weitere Partner für die wissenschaftliche Begleitung sowie für die Stromtankstellen und die Solaranlagen.

Auf Rügen kamen damals 6 Stromtankstellen für Normalladung und 3 Stromtankstellen für Schnelladung zum Einsatz. Es wurden 60 Fahrzeuge erprobt. Außerdem kam eine 21,5 kW Solaranlage mit Netzanbindung als Solarstromtankstelle zum Einsatz.

Das Pölmann EL (entwickelt für die RWE)





Pölmann EL mit Kunststoff Karosserie
2 Gleichstrom-Reihenschlussmotoren
umschaltbar Reihen-/Parallelschaltung

Quelle: AUTO, Gestern-Heute-Morgen, 1 /1989, Norka Fachverlag Wien, Seite 42

Rennen und Wettbewerbe

Rennfahrzeug alpha-real
Von Daimler-Benz,1985 Tour de Sol
Permanenterregter Gleichstrommotor
mit Bürsten, ca. 2 bis 3 kW
Geschwindigkeit max. ca. 75 - 80 km/h

Nuon-Rennsolarmobil
World Solar Challenge Australien
Permanenterregter Radnabenmotor bürstenlos
von CSIRO, bis 97 % Wirkungsgrad, ca. 1,8 kW
Nennleistung

erste Drehstromfahrzeuge 1987

Erlanger Solarmobil, 1986-1987
Erstes strassenzugelassenes deutsches
Solarmobil, Juni 1986, anfang mit 2 DC-Motoren
Ab 1997 Siemens Drehstromantrieb mit 1 FT5
permanenterregter Synchronmaschine und 6SC
Pulweitensteller, Serientechnik für
Werkzeugmaschinen
Antrieb über Zweigang-Doppelkupplungsgetriebe
von Wittenstein / Alpha Getriebe

Rennsolarmobil von Brusa 1987
Permanenterregter Synchronmotor
Siemens 1FT5
Eigene BRUSA Elektronik
Brusa (Schweiz) baut heute hochwertige
Elektroantriebe und Elektronikkomponenten
für Elektrofahrzeuge

1987 setzen „Amateure“ erstmalig die Drehstromsynchronmotoren mit Permanentmagneten und Pulswechselrichtern in Fahrzeugen ein. Von da an war Energierückgewinnung beim Bremsen allgemeiner Standard. Brusa gründete kurz danach seine Firma darauf.

Elektroleichtfahrzeuge

City-El, Dänemark ab ca. 1987
Deutschland ab 1995 Einsitzer
1. Version: permanenterregter Gleichstrommotor mit Bürsten, ca. 1 kW, 36 Volt
2. Version: Gleichstrom-Compoundmotor, ca. 3 kW, 36 oder 48 V
3. Version: PERM permanenterregter Gleichstrommotor mit Bürsten, ca. 5 kW, 48 Volt

Ca. 6000 Stück gebaut

TWIKE, ab ca. 1992 in der Schweiz,
ab 2002 Herstellung in Deutschland
Antrieb: Drehstrom Asynchronmaschine, ca. 5 kW mit Rekuperation, Batterie ca. 332 Volt, früher NiCd, jetzt Lithium-Mangan
Die Elektronik dient beim Fahren als Motorelektronik und im Stand als Ladeelektronik mit Einbeziehung der Motorinduktivitäten.
Ca. 1000 Stück gebaut, als TWIKE activ mit Hybridantrieb (Elektrisch und mit Muskelkraft über Pedale)

erste Kleinserien ab Anfang der 90er Jahre

Hotzenblitz
2-Sitzer, 25 kW Asynchronantrieb
gebaut bis 1997, ca. 120 Stück,
noch viele im Einsatz

ATW Ligier,
seit Anfang der 90er Jahre ca. 150
gebaut, 25 kW Asynchronantrieb,
Batterien: Blei-Vlies oder Ni-Cd (Daug)

Asynchronmotor von Thien / Österreich, ca. 25 kW, ca. 30 kg schwer, bis 10.000 rpm
Mit Pulsweitensteuerungen von Brusa oder Genlab (Schweiz), Motorelektronik ca. 10 kg

Der Hotzenblitz und der ATW Ligier setzten eine Drehstrom Asynchronmaschine von Thien in Österreich ein mit ca. 25 kW Leistung und Drehzahlen bis 10.000 rpm. Die Wagen hatten kein Schaltgetriebe. Die Motorsteuerungen kamen aus der Schweiz von Genlab oder von Brusa.

Weitere Kleinserien

Colenta Minicab Bus und Pritsche
seit Anfang der 90er Jahre
Karosserie aus Taiwan
Gleichstrom-Reihenschluss Motor, 11 / 27 kW
Batterie Blei Gel 90 V 160 Ah
Damals bei der RWE und der VEW im Einsatz

TH!NK City aus Norwegen
Erstmals vorgestellt Ende der 90er Jahre,
damals mit SAFT NiCd Akkus
Jetzt 2- oder 4-sitzig erhältlich
Drehstrom-Asynchronmotor 34 kW
MES-DEA ZEBRA Akku 24 kWh oder
EnerDel Lithium Ionen Akku 23 kWh

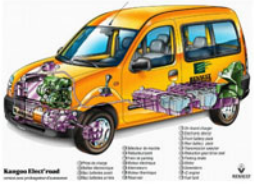
Konzepte aus Dänemark und Norwegen

KEWET – Dänemark (ab 1991)
3-Sitzer, Kewet ElJet 1 bis 3
Gleichstromantrieb 6 – 12 kW
ElJet 1und 2 mit Viergang Schaltgetriebe
ElJet 3 mit Compoundmotor ohne Schaltgetriebe
Blei Akkus, Blei Säure oder Blei-Gel, 48 V

Buddy aus Norwegen (seit 1999)
seit Oktober 2010 auch in Deutschland erhältlich
Fremderregter Gleichstromantrieb 13 kW
Neu: jetzt mit NiMH Akkus und 10 Jahre
Akkugarantie

Die „Franzosen“ in den 90er Jahren

Citroen AX electrique (1995)
4-Sitzer, 15/20 kW fremderregte
Gleichstrommaschine mit Bürsten,
mit Rekuperation,
Kraftübertragung links direkt,
rechts durch Hohlwelle
SAFT NiCd Akkus 120V 100Ah
Schnellladung in 1 Stunde möglich
Viele noch heute im Einsatz

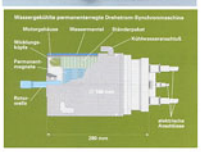


Renault Kangoo RE
basierend auf dem Renault Kangoo electric, ähnliche
Fahrzeuge: Citroen Berlingo electrique, Peugeot
Partner electrique, 168V 100Ah SAFT NiCd Akkus
Hier zusätzlich mit einem kleinen Verbrennungsmotor
der über einen Generator die Akkus aufladen kann.
Elektroantrieb zwischen den Vorderrädern, darüber
Verbrennungsmotor und Generator. Hinten die SAFT
NiCd Akkus

In Frankreich wurden von Anfang der 90er Jahre bis etwa 2003 von Renault, Peugoet und Citroen rund 10.000 Elektroautos gebaut, viele davon im Lohnauftrag beim Zulieferer Huliez. Die Firma SAFT hatte für diese Fahrzeuge einen speziellen Akkublock aus 5 NiCd Zellen entwickelt, der mit 100 Ah und 140 Ah gebaut wurde. Es gab Akkutypen mit Doppelmantelgehäuse, so dass die Akkus mit Wasserkühlung betrieben wurden. Viele dieser Fahrzeuge sind noch im Einsatz, hauptsächlich in Frankreich, Deutschland und Norwegen.

Der vorstehend abgebildete grüne Citroen AX wird vom Verfasser seit rund 8 Jahren täglich gefahren und hat mit seinen 16 Jahre alten NiCd Akkus noch fast volle Reicheweite bis zu 100 km pro Ladung. Renault hat den Kangoo auch zusätzlich mit einem Benzinmotor plus Generator als RE (Range Extender) gebaut und verkauft, allerdings nur in kleinen Stückzahlen. Der Antrieb war weiterhin ausschließlich elektrisch.

Elektrofahrzeuge – Hybridkonzept Mitte der 90er



Audi Duo
Oben an der Solarstromtankstelle des Solarmobil Vereins Erlangen

Elektroantrieb: wassergekühlte Drehstrom-Synchronmaschine mit 20 kW Nennleistung und 40 kW Spitzenleistung, Gewicht 20 kg. Hohe Wirkungsgrade über 90 %. Blei-Gel Akkus ca. 50 Ah

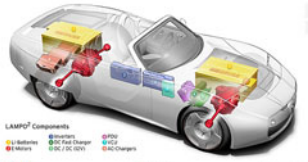
Es wurden nur etwa 50 Stück gebaut. Flottenversuch mit 8 Fahrzeugen in Erlangen. Leasingrate damals ca. 600 DM pro Monat, was als zu teuer empfunden wurde.

Horlacher – Konzeptfahrzeuge - 90er Jahre

Horlacher - Schweiz

Horlacher hat viele Prototypen gebaut, sowohl für den Einsatz als auch für Chrashtests in Zusammenarbeit mit der Winterthur Versicherung (Schweiz). Die unten gezeigten Fahrzeuge sind noch immer im Einsatz. **Der Wagen links unten hat bereits in den 90er Jahren einen Reichweitenrekord mit 547 km gefahren.** Die Wagen habe alle BRUSA Drehstromantriebe.

Prototypen und Komponenten aus der Schweiz



BRUSA Spyder
2-Sitzer, 2 Antriebe je 100 kW für jedes Hinterrad
Drehstrom Synchronmotoren
Antriebe unabhängig geregelt für Antrieb und Bremsen mit hoher Regelgenauigkeit
Systemspannung 400 V
Batteriekapazität 16 kWh

Protoscar Lampo²
Zwei Elektroantriebe je 150 kW für vorne und hinten für einen Vierradantrieb mit variablem Drehmoment vorne und hinten.
Drehstromantriebe von BRUSA
Batteriekapaziät 30 kWh

Elektrofahrzeugkonzepte von Daimler-Benz

Die A Klasse elektrisch
Drehstromantrieb 70 kW, 290 Nm
Li-Akkus
Reichweite bis 200 km
Fertigung in Rastatt gestartet

Der SMART electric drive
einige 100 Stück seit ca. 2002 im Test in England mit Zebra Batterien und Zytek Drehstromantrieb.
"Neue" Daimler Modelle mit neuem Antrieb und Li-Akkus seit 2009 in der Erprobung, noch nicht allgemein erhältlich.

Prototypen von BMW

Der E1 kam zu früh (1991)
2+2 Sitzer, 32 kW Drehstromantrieb
900 kg Leergewicht
Natrium-Schwefel Batterie 19 kWh
Wegen eines Brandes des einzigen Exemplares wurde der E1 nicht weitergebaut

Der MINI-E im Test
seit 2009 in England gebaut für "Feldtests" – nur per Lease erhältlich
Elektroantrieb von acpropulsion (USA)
150 kW, 220 Nm
Li-Akku 34 kWh (nutzbar 28 kWh)
max. 152 km/h, Reichweite bis 200 km

GM und acpropulsion in den USA

EV1 von General Motors
1117 Stück produziert von 1996 bis 1999
kein Verkauf, nur verleast
2-türig, 2 Sitze
3 Phasen-Drehstrommotor 102 kW
max. 129 km/h, Reichweite bei 100 km/h ca. 140 km
Akkus von Panasonic, erst Blei-Gel Akkus, später NiMh
Gewicht: 1350 kg, davon sind 533 kg Batteriegewicht

T-Zero von acpropulsion USA
Von Alan Cocconi, dem "Ur-Vater" der Antriebstechnologie im EV1, TESLA, BMW Mini
1. Prototyp 1997 mit Blei-Vlies Akkus
2. Prototyp 2003 mit 6800 Li-Zellen 18650
AC-150 Drehstrom-Asynchronantrieb
Langstreckenrekord 2003 über 500 km mit einer Batterieladung
siehe www.acpropulsion.com

Alan Cocconi, wohl der massgebende Entwickler bei GM der EV1 Antriebstechnik, machte sich später mit seiner Firma „acpropulsion" selbstständig und entwickelte u.a. seinen Zero Sportwagen. Er setzte eine relativ grosse Asynchronmaschine ein mit etwa 150 kW. Weil er passende Lithiumakkus nicht bekam, konfigurierte er über 6000 kleine 18650er Zellen aus der Laptop Massenfertigung zu einem Batteriesatz für seinen Zero.

Dieses Antriebssystem inklusiver der Akkus bildete die Grundlage für viele weitere Projekte und Fahrzeuge, u.a. den TESLA und den BMW Mini. Auch Daimler übernahm, freilich durch eine Zusammenarbeit mit TESLA, das Batteriekonzept der vielen kleinen 18650er Zellen für die ersten Elektro-SMART.

Bei acpropulsion wurden auch bereits seit über 10 Jahren die Systeme und Komponenten für die Netzanbindung von Elektrofahrzeugen für die Vehicle to Grid Systeme entwickelt.

Sportwagenkonzept: der TESLA aus den USA

TESLA roadster (USA)

- 2-sitziger offener Roadster, gebaut bei Lotus in England und Tesla Motors, USA
- Antriebseinheit ursprünglich basierend auf dem AC150 Antrieb von acpropulsion, mittlerweile eigenständige Entwicklung
- 4-polige Drehstrom-Asynchronmaschine 40 kW Nennleistung, bis 215 kW Maximalleistung
- Flüssigkeitsgekühlte Batterien 56 kWh aus 6831 Li-Zellen der Größe 18650
- max. Geschwindigkeit 201 km/h, Reichweite je nach Fahrweise 200 bis 500 km erreicht, 0-100 km/s in < 4 s

Chevrolet Volt – serieller Hybrid

- Chevrolet Volt – serieller Hybrid von GM, erste Auslieferungen in den USA Ende 2010
- Drehstrommotor mit 111 kW, Generator 55 kW, 4-Zylinder Benzinmotor 80 hp
- Li-Ionen Akkus mit 16 kWh, Reichweite rein elektrisch ca. 50 bis 80 km
- Länge x Breite x Höhe: 4,5m x 1,8m x 1,43m - Leergewicht 1720 kg, fünf Sitzplätze

In Deutschland wird der fast baugleiche Opel Ampera angeboten.

Elektroantriebe von german-e-cars

E-Antrieb von german-e-cars

Fahrzeuge: STROMOS PKW und Plantos LKW

German-E-Cars baut die selbst entwickelten Elektroantriebe in zugekaufte Basisfahrzeuge ein.

Die wassergekühlten Antriebe sind von 14/28 kW bis 34/68 kW erhältlich (Nenn-/Spitzenleistung).
Die Li-Akkusätze werden bei german-e-cars konfiguriert und zusammengebaut.

Kleines Stadtauto von Huliez

Zu Huliez:

Huliez ist eine französische Firma, die u.a. für die PSA Gruppe die Elektrofahrzeuge gebaut hat, z.B. den Citroen AX electrique und andere.

Die Elektroauto-Fertigung ist abgespalten und an deutsche Eigner verkauft. Sie fertigt seit 2010 den MIA in verschiedenen Ausführungen.

Huliez "MIA"

mia, mial-L und mia-Kastenwagen. 3 Sitze: Fahrersitz mittig, 2 Sitze dahinter
Antrieb: 10 kW Drehstrommotor, Batterien 6, 12 oder 18 kWh
Geschwindigkeit bsi 110 km/h, Reichweiten 60 bis 150 km, je nach Akku
Leergewicht 550 kg plus Akkus

Der mia ist 2,87 m lang, 1,64 m breit und 1,55 m hoch

Kompaktwagen Mitsubishi MiEV

Weitgehend baugleich:
Peugeot ION und Citroen C-Zero

Mitsubishi MiEV aus Japan

- Erstes in Großserie ausgeliefertes Fahrzeug
- Drehstrommotor mit 49 kW, Li-Ionen Akkus mit 16 kWh, Aufladen in 6 h, schnell in 30 Min.
- Max. Geschwindigkeit 130 km/h, Reichweite bis 150 km
- Länge x Breite x Höhe: 3,475m x 1,475m x 1,61m - Leergewicht 1110 kg, vier Sitzplätze

Mitsubishi kooperiert mit Peugeot und Citroen,d ie den Wagen fast baugleich in Europa anbieten.

Der Nissan Leaf

Nissan Leaf aus Japan

- Erste Auslieferungen in den USA und Europa
- Drehstrom-Asynchronmotor mit 80 kW, Li-Ionen Akkus mit 24 kWh
- Max. Geschwindigkeit 145 km/h, Reichweite bis 160 km
- Länge x Breite x Höhe: 4,445m x 1,77m x 1,55m - Leergewicht 1521 kg, fünf Sitzplätze

Nissan kooperiert mit Renault bei Bau von Elektroautos.

Elektro-Nutzfahrzeugkonzepte

Olympiabusse elektrisch, China 2008

EcoCarrier von EcoCraft, Blei-Gel Akkus

Daimler / DHL Hybrid-Test

Aixam MEGA Klein-LKW, mit Blei-Gel Akkus

Goupil – bewährtes Nutzfahrzeug

Daimler Hybrid Sprinter, (D) Testserie

Bei aller Euphorie um die Elektoautos wird teilweise die Entwicklung im Zweiradsektor übersehen. In China setzte man schon vor einiger Zeit auf elektrische angetriebene Zweiräder als Ersatz für die stinkenden Zweitakter, die teilweise einfach verboten wurden. Zweiräder sind für viele Chinesen noch erschwinglich brauchen viel weniger Verkehrsraum und Parkfläche. Wohl auch deshalb sind sie in China stark forciert worden, und es gilt, dass jedes Elektrofahrrad möglicherweise viele regelmäßige Autofahrten ersetzen kann.

In China sollen bereits über 100 Millionen Elektrozweiräder laufen, und das Angebot an preisgünstigen Pedelecs und Elektrorollern aus China ist auch in Deutschland erhältlich. Zweiräder eigenen sich gut für die Elektrifizierung, weil sie im allgemeinen auf Kurzstrecken eingesetzt werden.

Der Trend zu Elektro-Zweirädern und Pedelecs

- 22 Millionen Elektro-Zweiräder wurden in China 2010 gebaut, über 66 Millionen sollen im Einsatz sein (andere Veröffentlichungen nennen > 100 Millionen Pedelecs)
- Pedelecs (Fahrräder mit elektrischem Hilfsantrieb) werden auch in Europa immer beliebter, Bosch baut jetzt auch einen Mittelmotorantrieb für Pedelecs
- Pedelecs dürften nur 250 Watt Nenn-Antriebsleistung haben
- Das ideale Transportmittel für die Stadt und Ballungsräume – wenig Parkraum und oft schneller als ein Auto
- Erster deutscher Börsengang eine Pedelec Herstellers im Februar 2011

Flyer (CH), Qualitätsprodukt, Mittelmotor

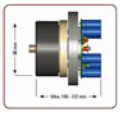
Swizzbee (CH) Antrieb hinten

Estelle mit Radnabenmotor vorne

Elektro - Roller

Chinesische Roller, alle mit Radnabenantrieben, links Innoscooter, mitte die ähnlichen Solar Scooter, rechts die EVT Scooter aus Taiwan

Govecs Roller mit CPM Motor

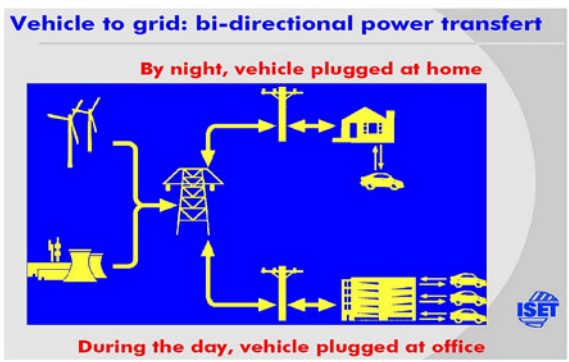

CPM Motoren, wie sie in Elektrorollern eingesetzt werden

Vectrix Elektroroller mit Motor hinten am Hinterrad

Stand der Technik heute

- Drehstromantriebe mit Pulsweitensteuerung und Rekuperation, Nennleistungen üblicherweise 40 bis 60 kW, Spitzenleistungen z.T. deutlich höher (> 200 kW)
- Lithium-Akkus, übliche Größen 10 bis 20 kWh, z.T. deutlich mehr (TESLA ca. 56 kWh)
- Reichweiten "normal" bis etwa 150 km, bis 300 km und mehr in Serienfahrzeugen erreicht (TESLA)
- Energieverbrauch ab Netz ca. 10 bis 20 kWh / 100 km
- Batteriezyklenzahl 500 bis 1000, zukünftig auch mehr
- Weltweite Programme für Forschung, Förderung und Markteinführung für Fahrzeuge und Systeme
- Weltweite Bemühungen um einheitliche Standards, insbesondere bei der Ladetechnik

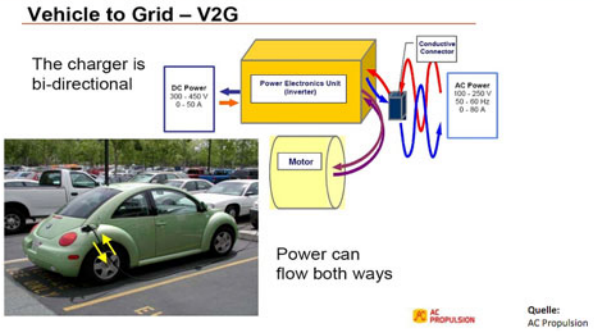
Die Zukunft: EVUs und Vehicle-to-grid



Ob und in welchem Masse sich Vehicle to Grid einführen lassen wird, ist noch sehr unklar. Voraussetzungen sind einerseits eine gewisse Reserve an Batteriekapazität in den Fahrzeugen und Batterietechnologien, die viele tausende Ladezyklen – oder zumindest Teilzyklen – schadlos mitmachen. Was im Labor und in Erprobungsprogrammen technisch funktioniert – auch jetzt schon – muss nicht zwangsläufig im Masseneinsatz gehen. Da kommt die wirtschaftliche Seite dazu, und es müssen neue Geschäftsmodelle entwickelt werden.

Man ist zwar sehr intensiv dran an diesen Entwicklungen, aber so etwas wie einen „Stand der Technik" und Standards gibt es hier noch viel weniger als bei der vergleichweise einfachen Aufgabe der Standardisierung von Lade-Stromtankstellen.

Elektroautos im Verteilungsnetz – Energie nehmen und geben



Im Rahmen dieses kurzen Beitrages konnte nur unvollständig gezeigt werden, was es alles in den letzten 25 Jahren im Bereich der Elektromobilität gegeben hat. In der Folge der Tour de Sol 1985 sind viele Fahrzeuge und Fahrzeugkonzepte entstanden, es hat wohl weit über 100 Solar- und Elektromobilralleys gegeben, z.T. über weite Strecken und durch mehrere Länder und auch in den Alpen (Schweiz, Österreich). Sogar eine Ralley Monte Carlo für Elektroautos gab es schon. In den Archiven des Autors schlummern die Berichte von ebenfalls weit über 100 Konferenzen, Seminaren und Fachausstellungen über Elektromobilität, und es hat bereits Anfang der 90er Jahre die ersten Welttouren mit einem Elektroautos gegeben (genauer mit einem Kewet). Solarflieger und Solarboote sind seit den 90er Jahren entwickelt und immer wieder gezeigt worden. Solarboote werden mittlerweile gewerblich gebaut und eingesetzt. Eine Weltumrundung mit einem Solarflieger ist angekündigt.

Es ist mehr in Bewegung – elektrisch versteht sich als gemeinhin bekannt ist. Mit ein Grund dafür ist die Verfügbarkeit von besseren Akkus als früher auf Lithium-Basis.

… die letzte Seite

Slaby-Behringer Elektroautorennen anno 1923

Isle of Man 2009, Motorrad mit Siemens Antrieb

Hannover Messe 2010, USA-Chopper mit Siemens Antrieb

Danke fürs Zuhören

Roland Reichel
bsm-Ehrenvorsitzender

Reifenberg 85- 91365 Weilersbach
09194 8985 - RR@solarmobil.net
Mobil: 0177 56 43 451