

Sieben Jahre Tour de Ruhr: Erfahrungsbericht

Wolfgang Köhler , Dipl.-Phys. Dr.-Ing. Klaus Brinkmann



FernUniversität
Gesamthochschule in Hagen

Prof. Dr.-Ing. D. Hackstein

Lehrgebiet Elektrische Energietechnik

Feithstraße 140, Philipp-Reis-Gebäude, D-58084 Hagen, fax: +49/2331/987 357,

e-mail: wolfgang.koehler@fernuni-hagen.de

Einleitung:

Die Tour de Ruhr ist eine Rallye für E-Solarmobile, die durch das Ruhrgebiet führt und von der Initiative Solarmobile Ruhr e.V. organisiert und durchgeführt wird. Dieser Verein wurde 1990 in Dortmund gegründet und hat mittlerweile mehr als 50 Mitglieder.

Ziel der Initiative ist die Verbreitung und Förderung des Einsatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen, deren Batterien mit Hilfe von Sonnenlicht über Solarzellen oder anderer regenerativer Energiequellen wie Wind- und Wasserkraft aufgeladen werden.

Der regenerative Weg der Stromerzeugung entläßt zum einen kein klimaschädliches Kohlendioxid (CO₂) und ist zum anderen aufgrund der Sonnenkapazität für menschliche Maßstäbe nahezu unbegrenzt verfügbar.

Der CO₂ - Emissionsanteil für den Verkehr beträgt weltweit zur Zeit ca. 14%

Quelle: Enquete-Kommission, Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre

Kohlendioxid: Klimafaktor Nummer eins

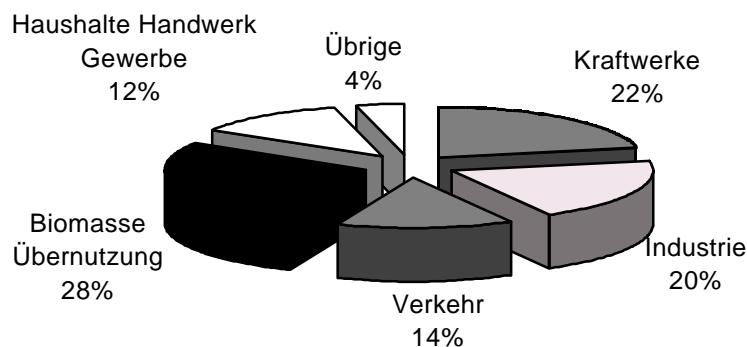


Abb. 1: Aufteilung der Kohlendioxid-Emissionen auf die Hauptverursacher-Segmente

Analysen von Luftblasen im Gletschereis, sowie direkte Messungen über die letzten Jahrzehnte ergeben, daß die atmosphärische CO₂-Konzentration seit Beginn der Industrialisierung von 280 auf 358 ppmv, d.h. um 25% angestiegen ist. (Quelle: IZE).

Die Prognosen für die weltweite CO₂-Emissionssteigerung des Verkehrs bis zum Jahre 2030 liegen bei 60%.

Steigerung des Kohlendioxidgehaltes in der Luft seit dem Jahre 1750

Quelle: Enquete-Kommission, Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre

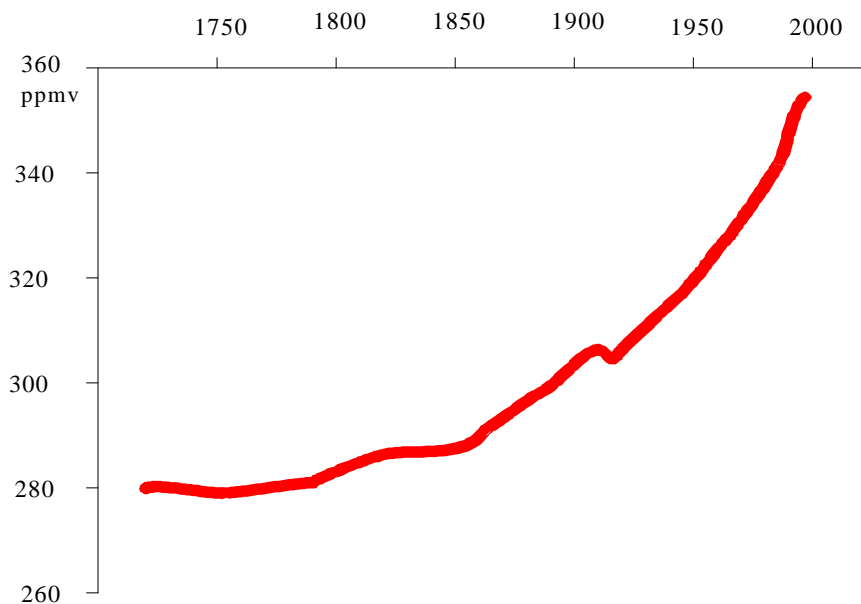


Abb. 2: Entwicklung der CO₂-Konzentration in der Luft

Im Gegensatz zu den "unerschöpflichen" regenerativen Energien, stehen die fossilen Energieträger wie Erdgas, Erdöl und Kohle der Menschheit nur noch begrenzte Zeit zur Verfügung. Derzeit werden ca. 60% aller Ölprodukte durch den Autoverkehr verbraucht.

Die Tour de Ruhr:

Die Tour de Ruhr findet seit 1992 jährlich zu Beginn der Sommerferien in Nordrhein-Westfalen statt. Wünschenswert dabei ist es, wenn die teilnehmenden Elektromobilbesitzer über eine netzgekoppelte Photovoltaikanlage verfügen, um ihr Fahrzeug umweltschonend zu betreiben.

Auf einer Gesamtstrecke von ca. 250 km werden über drei Tage die Alltagstauglichkeit und vor allem der elektrische Energieverbrauch der unterschiedlichen Elektromobile getestet und bewertet. An der Veranstaltung nehmen jedes Jahr in etwa 50 bis 60 Elektrofahrzeuge teil.

Die unterschiedlichen Kategorien:

Die Fahrzeuge werden nach den Bestimmungen des Bundesverbandes Solarmobile (BSM) durch den Veranstalter in unterschiedliche Kategorien eingeteilt.

- a) Autarke Solarmobile
- b) **Prototypen B1 (Purpose design)**
- c) **Prototypen B2 (Conversion design)**
- d) **Serienfahrzeuge**
- e) **Nutzfahrzeuge**
- f) Solarleichtmofas

Wir untersuchten hierbei in einer Studie die interessantesten Fahrzeuge, die für ein Stadtteilauto in Frage kommen, auf ihre Energieeffizienz und Alltagstauglichkeit. Ebenso konnten wir Erfahrungen mit eigenen Fahrzeugen in der Klasse **Prototypen B2** sammeln. Rennsolarmobile und zweirädrige Fahrzeuge wurden dabei nicht berücksichtigt.

Alle vier untersuchten Kategorien beinhalten den Transport von Personen mit Gepäck, also Personenwagen im Citybereich. Die Fahrzeuge sind 3- bis 4-rädrig und können zum Teil zur Energieeinsparung alternativ auch über Pedale angetrieben werden.

Die Alltagstauglichkeit der Elektromobile:

Bevor die Fahrzeuge auf der Tour de Ruhr starten, werden die Fahrzeuge vom zuständigen technischen Überwachungsverein oder der DEKRA sicherheitstechnisch überprüft. Außerdem werden sowohl das teilnehmende Fahrzeug, als auch die Personen und das mitgeführte Gepäck gewogen. Dies ist notwendig, um die unterschiedlichen Mobile nach der Veranstaltung, insbesondere in der Bewertung des elektrischen Energieverbrauchs gerecht beurteilen zu können.

Während der Veranstaltung finden die verschiedenen Alltagstauglichkeitsprüfungen durch den Veranstalter statt. Stellvertretend hierfür seien einige Beispiele genannt: Einparken in eine Parknische, Abfahren eines Slalom-Parcours vorwärts und rückwärts, Zuladen von Paketen und Koffern und Regenwassertauglichkeit. Diese Alltagstauglichkeitsprüfungen werden in der Endbewertung berücksichtigt.

Die Batterie und das Ladegerät:

Die Reichweite der Elektromobile beträgt ca. 40 bis 80 km, danach müssen die Fahrzeuge wieder "aufgetankt" werden. An jedem Tag wird eine Strecke von etwa 100 km gefahren. Die Pausen zur Batterieaufladung betragen ca. 3,5 Stunden. Einige Batterien in den einzelnen Fahrzeugen können in dieser kurzen Ladephase nur eine Teilladung aufnehmen.

Ladekennlinien einer Blei – Gel - Batterie

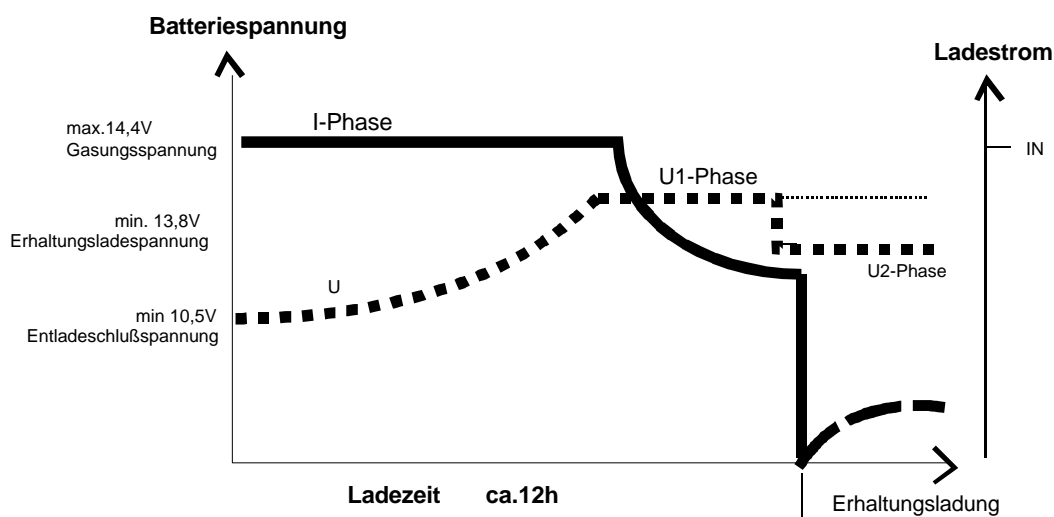


Abb. 3: Batterie-Ladekennlinien

Dies liegt am begrenzten Ladestrom und den unterschiedlichen Ladeverfahren der einzelnen Ladegeräte. Ziel der Entwicklung für die Zukunft ist es, die Batterien möglichst schnell aber auch schonend zu laden. Da der Ladevorgang der Batterie von der Kapazität und Art der Batterien abhängt, werden in der Kürze der Ladezeit die Batterien der unterschiedlichen Fahrzeuge auch unterschiedlich aufgeladen.

Auf den einzelnen Veranstaltungen der Tour de Ruhr wurden folgende Batterietypen eingesetzt:

- 1) Blei / Säure Batterien
- 2) Blei / Gel Batterien
- 3) Blei / Vlies Batterien
- 4) Ni / Cd Batterien

Eine sehr häufig eingesetzte Batterie ist die Blei / Gel Batterie. Bei der Energiebewertung auf der Tour de Ruhr wird die Kapazität der jeweiligen Batterie mit C5 berechnet. Wir gehen also von einer 5-stündigen Entladung der Batterie aus.

Der elektrische Antrieb:

Ähnlich wie bei den Batterien werden in den Elektrofahrzeugen auch die verschiedensten Antriebsvarianten eingesetzt.

Wir unterscheiden hierbei:

- a) Gleichstrommotor permanent erregt mit einfacher Ansteuerung
- b) Scheibenläufermotor mit Pulssteuerung
- c) Asynchronmotor mit 3-phasiger Wechselrichtertechnik im 4-Quadrantenbetrieb
- d) Synchronmotor mit Leistungsansteuerung
- e) Synchron - Radnaben - Antriebe

Entscheidend für die Auswahl des Antriebs mit Steuerung sollte sowohl der hohe Wirkungsgrad für das Gesamtsystems, als auch die Möglichkeit zur Rekuperation sein. Somit besteht die Möglichkeit, beim Bremsen und bei Talfahrten überschüssige Energie in die Batterie einzuspeisen.

Dadurch kann der Energieverbrauch ökologisch sinnvoll für das Fahrzeug gesenkt werden und die Energiebilanz verbessert sich deutlich.

Die Energieeffizienzberechnung:

Bei unserer Analyse sind die Art des Ladereglers und die Beschaffenheit des Batteriespeichers, sowie der elektrische Antrieb zunächst außer Acht gelassen worden. Berücksichtigt wurde das

Gewicht des Fahrzeugs mit den Batterien, die maximale Zuladung mit Fahrer und Beifahrer, das mitgeführte Gepäck und das zulässige Gesamtgewicht des Fahrzeuges.

Außerdem startet jedes Fahrzeug am Tage X mit einem vollen Batteriespeicher. Die Leistung der vollen Batterie geht mit in die Energieberechnung für die gesamte Fahrstrecke ein. Der zusätzliche elektrische Energiebedarf der Fahrzeuge auf der Strecke wird ab Steckdose über einen Wechselstromzähler gemessen. Die Fahrzeuge werden auf der Tour de Ruhr von einer mobilen Tankstelle begleitet. Die notwendigen Zählereinrichtungen sind in der Tankstelle installiert. Wichtig ist, daß die Fahrer das vorgesehene Zeitfenster, welches für alle Teilnehmer gleich ist, einhalten.

Um die unterschiedlichen Fahrzeuge einer Kategorie in ihrer Energiebilanz gerecht zu bewerten, ist es notwendig einen **Bewertungsfaktor** für das Fahrzeug zu berechnen.

Der **Bewertungsfaktor nach BSM** wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$\boxed{\text{Wertungsfaktor} = 0,8 + 0,2 \cdot \left(\frac{\text{Zuladung}}{75} \right) + 0,2 \cdot \left(\frac{\text{nichtgenutzte Nutzlast}}{150} \right)} \quad (1)$$

Erklärung:

Zuladung [kg] = Startgewicht [kg] minus Leergewicht [kg]

nichtgenutzte Nutzlast [kg] = zulässiges Gesamtgewicht [kg] minus Startgewicht [kg]

Beispiel:

Fahrer: 85 kg, Leergewicht: 280 kg, Gesamtgewicht: 400 kg \Rightarrow

Wertungsfaktor = $0,8 + 0,2 \cdot (85 / 75) + 0,2 \cdot (35 / 150) \Rightarrow$

Wertungsfaktor = 1,072

Mit Hilfe dieses Wertungsfaktors können dann unterschiedliche Fahrzeuge hinsichtlich ihres Energieverbrauchs miteinander verglichen werden. Sei der Wertungsfaktor für ein anderes Fahrzeug zum Beispiel 1,480, so sähe ein Vergleich wie folgt aus:

Fahrzeug A: 5.700 Wh auf 100 km $\Rightarrow 5.700 / 1,072 = 5317$ Wertpunkte

Fahrzeug B: 8.720 Wh auf 100 km $\Rightarrow 8.720 / 1,480 = 5892$ Wertpunkte

Das Fahrzeug mit den niedrigsten Wertpunkten liegt in der Energiebilanzbewertung dann am günstigsten. Die folgende Abbildung zeigt einige Ergebnisse. Berücksichtigt wurden Fahrzeuge, die mindestens 3 mal an der Tour de Ruhr teilgenommen haben.

Verbrauch kWh / 100km

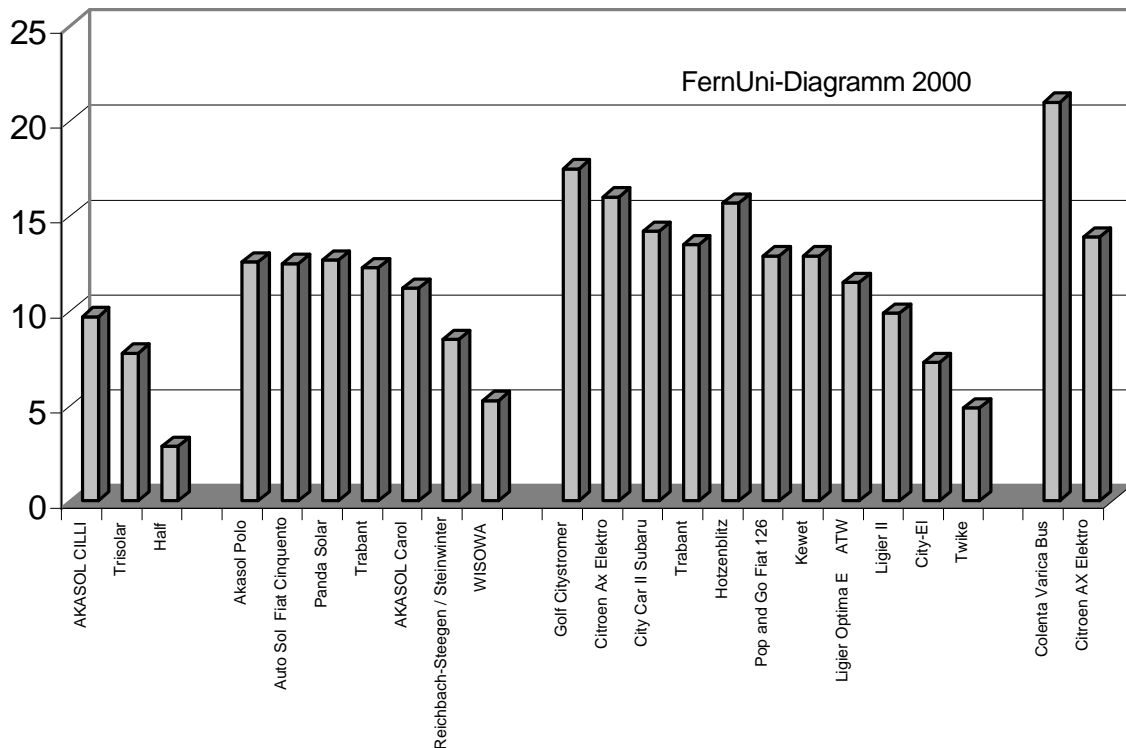


Abb. 4: Durchschnittliche Energieeffizienz einiger Elektromobile auf 100km

Sehr deutlich ist zu erkennen, daß der Energieverbrauch mit dem Leergewicht des Fahrzeuges stetig steigt. Bei den Leichtfahrzeugen "Half" und "Twike" können die Fahrer durch Pedalunterstützung den geringen Energieverbrauch zusätzlich mit beeinflussen.

Entwicklungsarbeiten:

Experimentalfahrzeug: Sunrunner als City Car:

An der FernUniversität in Hagen wurde in Zusammenarbeit mit der Firma WISOWA Hagen ein Fahrzeug, genannt "Sunrunner", entwickelt, welches an mehreren Veranstaltungen (u.a. Hanse Solar, EVA, Tour de Ruhr) in Deutschland teilgenommen hat.

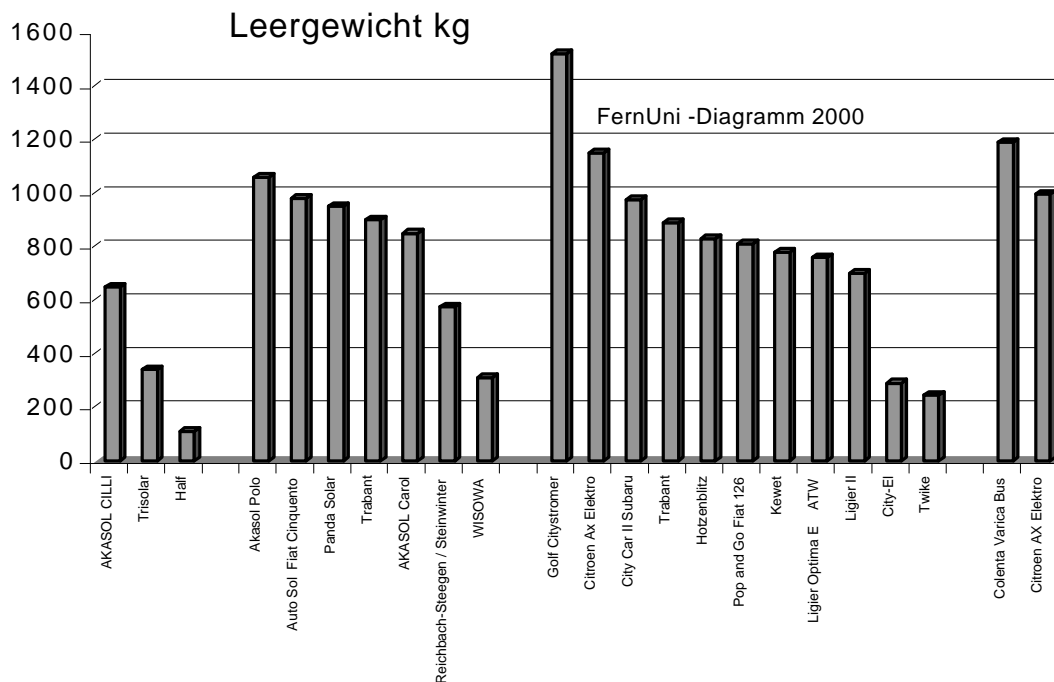


Abb. 5: Leergewicht einiger Fahrzeuge

Ziel war es hier, ein zweisitziges Versuchsfahrzeug aus einem dreirädrigen Fahrzeug der Leichtbau-Technik mit einem elektrischen Antrieb (zuvor Benzinmotor) auszustatten, welches einen sehr geringen Energieverbrauch haben sollte und auf Alltagstauglichkeit und Zuverlässigkeit zu testen. Als Antriebssystem ist ein Drehstrom-Asynchronmotor mit Wechselrichtertechnik ausgewählt worden. Das Antriebssystem nutzt auch die Möglichkeit der Rekuperation. Der Motor ist über einen Zahnriemen direkt mit dem Hinterrad verbunden. Als Batterien wurden sowohl Blei-Gel, als auch Blei-Säure eingesetzt.

Die Batterien werden über ein Kontrollsystem einzeln und komplett beim Laden, Entladen und während der Rekuperation überwacht. Das Elektromobil wird an Solartankstelle der FernUniversität in Hagen aufgeladen. Die Tankstelle ist mit einem Solargenerator mit einer Leistung von 6.000 Wp im Netzverbund gekoppelt. Der Fahrer kann dabei jederzeit über ein Display den Ladezustand seiner Batterie abfragen.

Außerdem wurde ein Softwareprogramm für den Fahrer entwickelt, wobei er über ein Notebook die wichtigsten Fahrdaten übermittelt bekommt. Damit kann er seine Fahrtechnik optimal den Erfordernissen anpassen.

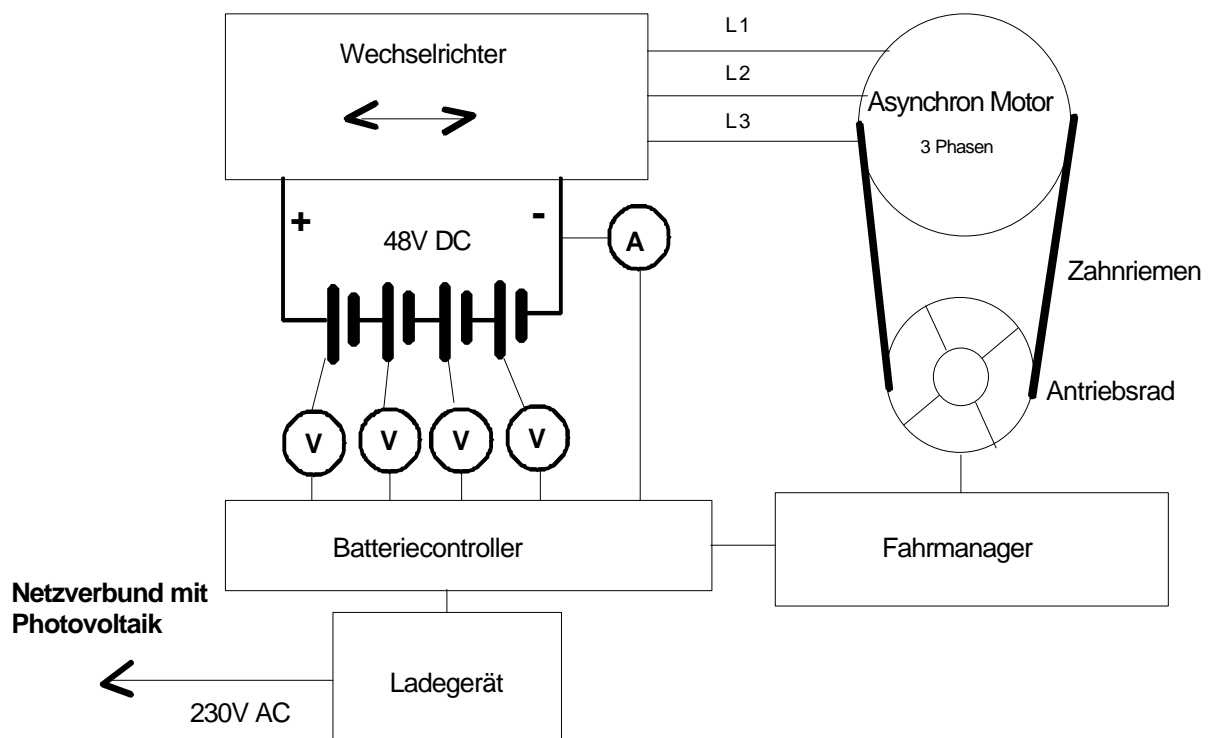
Das Antriebskonzept:

Abb. 6: Antriebskonzept

Fazit:

Elektromobile haben den Vorteil der Versorgungsmöglichkeit über regenerative Energiequellen. Sie fahren fast lautlos und abgasfrei, daher sind sie zur Zeit insbesondere für einen Einsatz im innerstädtischen Bereich geeignet. Durch die verstärkte Entwicklung von Elektromobilen könnten wertvolle endliche Ressourcen sinnvoller für die Zukunft erhalten bleiben. Daneben können alternative Antriebssysteme, dies dürfte unstrittig sein, zur CO₂-Minderung beitragen. Leider sind die Reichweiten von alternativen Antriebssystemen noch durch die Kapazität und den Platzbedarf, als auch durch als Gewicht des Batteriespeichers begrenzt. Allerdings kann, wie die Tour de Ruhr es zeigte, durch leichtgewichtige Fahrzeuge der Verbrauch um mehr als die Hälfte reduziert werden. Der große Durchbruch für die Elektromobile wird wohl erst mit der *solaren Wasserstofftechnik* in Verbindung mit der Brennstoffzelle zu erwarten sein. Hierzu müssen jedoch noch erhebliche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen sowohl in der Industrie als auch von Seiten der öffentlichen Hand unternommen werden, um die alternativen Antriebe für die Zukunft bereitzustellen.