Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 13

Artikel: Automobile mit Hybridantrieb

Autor: Jeanneret, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904636

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Automobile mit Hybridantrieb

R. Jeanneret

In Europa und Amerika sind in den vergangenen Jahren viele Projekte von Hybridfahrzeugen realisiert worden. Bei diesen Projekten ging es um das Sparen von Brennstoff und das Vermindern von Lärm und Abgasen, besonders für den städtischen Verkehr. Die Wahl der Leistungsaufteilung zwischen Ottomotor und Elektromotor kann nach verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen, je nachdem ob die Batterie vom Elektrogenerator oder vom Netz geladen wird. Nach einigen grundsätzlichen Überlegungen beschreibt der Aufsatz zwei ausländische Projekte sowie insbesondere das in Zusammenarbeit VW-ENSA-Ingenieurschule Biel entstandene Fahrzeug.

Ces dernières années, de nombreux projets de véhicules hybrides ont été réalisés en Europe et en Amérique, dans le but d'économiser du carburant et de réduire le bruit et les gaz d'échappement, surtout en ville. Le choix de la répartition de puissance entre moteur à essence et moteur électrique peut se faire selon différents critères, suivant que la batterie est chargée par une dynamo ou depuis le réseau. Après quelques considérations fondamentales, deux projets de l'étranger sont mentionnés. L'auteur décrit ensuite le véhicule réalisé en collaboration par VW, ENSA et l'Ecole d'ingénieurs de Bienne.

Vortrag anlässlich der SEV-Informationstagung «Elektrische Strassenfahrzeuge: heute und morgen» am 20. November 1984 in Bern.

Adresse des Autors

R. Jeanneret, Ing. HTL, Dozent an der Ingenieurschule Biel (HTL), 21, rue de la source, 2502 Biel.

1. Einleitung

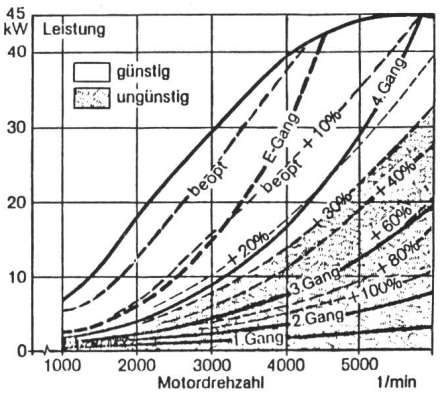
Wegen der heutigen Umweltsituation muss die Automobilindustrie ihre Fahrzeuge zukünftig mit folgenden Auflagen bauen:

- sparsamer im Energieverbrauch
- wesentlich verminderter Schadstoffausstoss
- geräuscharmer, vor allem in den Ballungsgebieten.

Dabei dürfen Fahr- und Transportleistungen nicht beeinträchtigt werden. Eine Möglichkeit, diesen Anforderungen gerecht zu werden, bieten Hybridantriebe. Am naheliegendsten ist die Kombination Benzinmotor (Ottomotor) - Elektroantrieb. Im folgenden wird über einige derartige Projekte berichtet.

2. Arbeitsbereiche

Beim Hybridantrieb spielt die optimale Ausnützung der Eigenschaften des Ottomotors einerseits und des elektrischen Antriebes anderseits eine wesentliche Rolle. In Figur 1 ist das Leistungskennlinienfeld eines 1,3-l-Motors dargestellt. Es geht daraus hervor, dass der Brennstoffverbrauch in kleinen Gängen hoch ist. Wirtschaftlich vertretbar ist etwa der Bereich, wo *be* den optimalen Wert nicht mehr als 30% übersteigt. Demzufolge wird der elektrische Antrieb vor allem für Geschwindigkeiten bis zu etwa 50 km/h gebraucht, der Ottomotor für höhere Geschwindigkeiten, speziell im Überlandverkehr.



1 Leistungskennlinienfeld eines Ottomotors mit Bereichen günstigen und ungünstigen Wirkungsgrades

VW-Motor 1,3 l

be_{opt} Kennlinie des optimalen Benzinverbrauches

Allerdings kann der Ottomotor auch in kleinen Gängen, bei kleiner mechanisch abgegebener Leistung an die Räder durch das Laden der Batterie mit dem als Generator arbeitenden Elektromotor zusätzlich belastet werden. Damit arbeitet er im günstigen Bereich seines Leistungskennlinienfeldes. Dabei wird ein Teil der vom Ottomotor erzeugten Energie der Batterie zugeführt und für einen späteren Gebrauch gespeichert.

Je nach Festlegung der Schwerpunkte führt dies zu verschiedenen Antriebslösungen. Drei dieser Lösungen werden nachfolgend vorgestellt.

3. Der Einwellenantrieb

In Figur 2 sind drei Varianten des Einwellenantriebes schematisch dargestellt. Die VW-Werke realisierten vorerst einen Antrieb nach Variante b, bestehend aus einem 1,6-Liter-4-Zylinder-Benzinmotor von etwa 55 kW Leistung und einer Gleichstrommaschine mit Fremderregung und einer Spitzenleistung von etwa 34...40 kW.

Diese Antriebseinheit wurde auf dem Prüfstand getestet, um die Algorithmen für das optimale Zusammenarbeiten bzw. für die günstigste Lastenverteilung zwischen Ottomotor und Elektromotor zu bestimmen. Bei dieser Lösung war keine Rekuperation der kinetischen und der potentiellen Energie vorgesehen. Die Lastenverteilung wurde mittels eines Mikroprozessors gesteuert und geregelt.

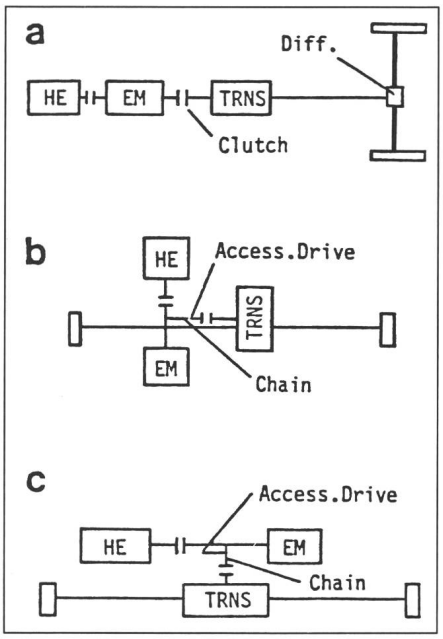


Fig. 2 Schematische Darstellung von drei Varianten des Einwellenantriebes

a Hinterradantrieb
b Vorderradantrieb und längsgestellte Motoren
c Vorderradantrieb und quergestellte Motoren

EM	Elektromotor
HE	Ottomotor
TRNS	Getriebe
Clutch	Kupplung
Access. Drive	Hilfsantrieb
Chain	Kette

Dieser Antrieb wurde in einer zweiten Phase im Chassis eines Audi 100 Avant eingebaut. Das Fahrzeug wurde auch in Amerika getestet, im Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, Kalifornien. Die Testresultate überzeugten, konnte doch im städtischen Verkehr eine Benzinersparnis zwischen 30% und 100% erzielt werden. Dank des zusätzlich eingebauten Katalysators konnten die schädlichen Abgase sehr niedrig gehalten werden, weil auch der Hybridantrieb eine beträchtliche Reduktion mit sich bringt [1].

4. Der Zweiwellenantrieb

Bei dieser Struktur kann der Einsatz der Motoren unabhängig voneinander erfolgen. Die Flexibilität des Hybridantriebes wird dadurch erheblich erhöht. Es gibt bei dieser Lösung viele Varianten, die sich durch die Leistung des Ottomotors, des Elektromotors (Generator) und der Batterie unterscheiden. Zwei solcher Hybridfahrzeuge, wo die Motoren und Batteriedaten unter verschiedenen Gesichtspunkten ausgewählt wurden, werden nachfolgend aufgeführt und deren Verhalten kurz erläutert.

4.1 Das HTV-Projekt von General Electric

Im Rahmen eines Forschungsprogrammes erhielt General Electric vom US Department of Energy den Auftrag, ein Hybrid Test Vehicle (HTV) zu entwickeln. Bei diesem Modell handelt es sich um ein Fahrzeug, das in amerikanisch-deutsch-italienischer Zusammenarbeit gebaut wurde [2]. Das Prinzipschema des Antriebes ist in Figur 3 dargestellt. Beim Ottomotor wie auch beim Elektromotor handelt es sich um die gleichen Leistungsgrössen wie beim ersten vorgestellten Fahrzeug. Der Hauptunterschied besteht darin, dass der 1,6-l-Benzinmotor mit 55 kW Leistung vor den 34-kW-Elektromotor montiert ist. Für die Batterien von 12,5 kWh Energie bei C/3 ist unter der Motorhaube noch genügend Platz, da es sich beim Chassis und der Carrosserie um einen Buick Century 1980 handelt.

Die Leistungs- und die Regelelektronik wurden nach den Kriterien einer Seriefabrikation erstellt, was zu speziell für diesen Anwendungszweck gebauten, integrierten Leistungselementen führte. Die projektierten Kosten waren dementsprechend hoch, es handelte sich um etwa 8 Mio $. Einige Daten:

5plätzige, komfortable Limousine,
minimale Reisegeschwindigkeit 90 km/h,
Beschleunigung etwa 14 s bis auf 100 km/h,
Steigfähigkeit: 3% bei 90 km/h,
Wagenmasse: 1860 kg
Vorgesehener Verkaufspreis: 10 000 $,
Brennstoffersparnis gegenüber gleich grossen amerikanischen Wagen zwischen 60% und 40% für städtischen Betrieb [1].

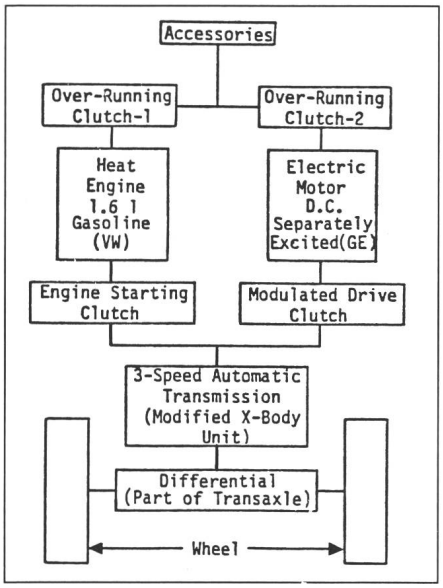


Fig. 3 Schema des HTV-Antriebes

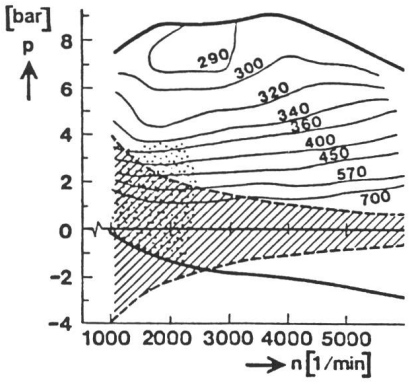


Fig. 4 Arbeitsbereich des 5-kW-Elektromotors im Motorkennfeld

Arbeitsdruck *p* als Funktion der Motordrehzahl *n*
Parameter: Benzinverbrauch (g/kWh)
Schraffiert: Arbeitsbereich des Elektromotors
Punktiert: Bereich des Europa-Zyklus für den Ottomotor allein

4.2 Das VW/ENSA-Fahrzeug

Electricité Neuchâteloise S.A. (ENSA) entwickelte und baute in Zusammenarbeit mit VW ein Fahrzeug mit dem Ziel, einen Mittelklassewagen praktisch ohne nennenswerte Änderungen auf Hybridantrieb umzurüsten. Die Gesamtkosten, inklusive Batterie, sollten bei einer späteren Serieherstellung nicht grösser als beim Turbo-Diesel-Golf sein.

Beim Betrachten des Arbeitsbereiches des Ottomotors (Fig. 4) stellt man fest, dass der Brennstoffkonsum bei kleinem Arbeitsdruck bzw. kleiner Leistung im ganzen Drehzahlbereich sehr gross ist. Will man das Auto mit 50 km/h in der Ebene fortbewegen, so benötigt man eine Antriebsleistung von etwa 5 kW. Trägt man diese Leistung in den Arbeitsbereich ein, so ist ersichtlich, dass durch einen 5-kW-Elektromotor ein Gebiet abgedeckt werden kann, wo der Ottomotor unwirtschaftlich arbeitet.

Ein Nachladen der Batterie durch den Ottomotor ist in dieser Konstellation aus wirtschaftlichen Gründen nicht zweckmässig. Hingegen kann die kinetische und potentielle Energie rekuperiert werden. Damit die Rekuperation keine zusätzlichen Kosten in der Leistungselektronik (Zweiquadrantantrieb) verursacht, wird nur mit der Felderregung gearbeitet. Dabei kann nicht bis auf null rekuperiert werden, sondern nur im Feldregelbereich, das heisst zwischen 2000 U/min und 6000 U/min des Elektromotors. Wegen der verhältnismässig kleinen Leistung des Elektromotors ist es nicht sinnvoll, diesen für die Beschleuni-

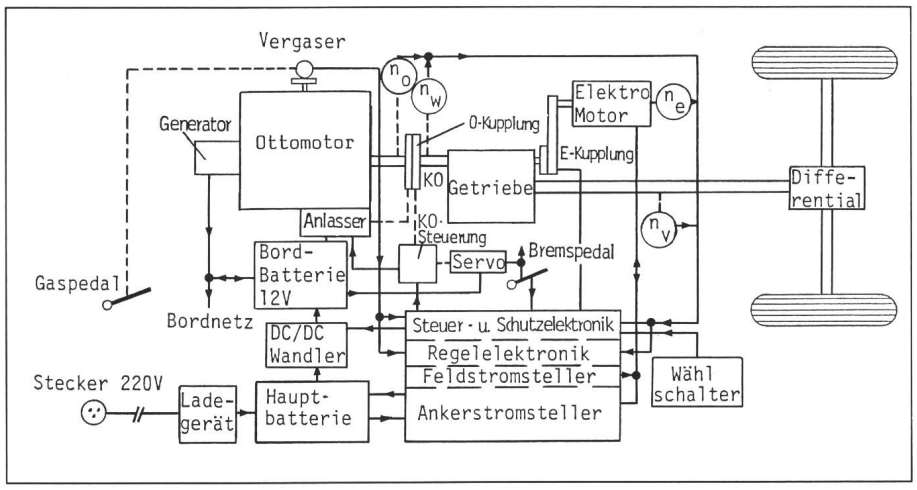


Fig. 5 Prinzipschema des VW-ENSA-Antriebes

Messresultate am VW-Golf mit Hybrid-Antrieb (5-kW-Elektromotor + 51-kW-Ottomotor) Tabelle I

Europa-Stadtzyklus		Golf Serie 82 51-kW-Ottomotor M4	E-Hybrid[1]) M4
Kraftstoffverbrauch Benzin Elektrische Energie		10,1 l/100 km	3,3 l/100 km 16,5 kWh/100 km
Schadstoff-emission (%)	CO	100	24
	HC	100	48
	NO_x	100	89

[1]) Höheres Gewicht ergibt kleinere Fahrleistungen bei Beschleunigung

gung des Fahrzeuges miteinzubeziehen.

Das Prinzipschema des Antriebes ist in Figur 5 dargestellt. Figur 6 zeigt die Anordnung im Motorraum. Der Wagen hat ein normales Schaltgetriebe, aber kein Kupplungspedal. Ein Mikroprozessor, der alle wichtigen Parameter berücksichtigt, steuert die Servokupplung des Ottomotors. Der Elektromotor ist mit einer elektromagnetischen Kupplung versehen, bei welcher die Schliessgeschwindigkeit in Funktion der Drehzahldifferenz zwischen Motor und Getriebewelle arbeitet. Damit werden bei beiden Kupplungen allfällige Stösse vermieden. Das Zusammenspiel der beiden Antriebe erfolgt automatisch, kann aber mit der Gaspedalstellung beeinflusst werden. Da zeitweise beide Motoren ausgeschaltet sind, muss der Servodruck durch einen mit Elektromotor versehenen Lader gewährleistet werden.

Mit dem Betriebsartenschalter kann eine der drei Antriebsarten gewählt werden: Hybrid, Ottomotor oder Elektromotor.

Einige Angaben über die Fahrweise, wie sie VW für den Hybridantrieb beschreibt: Hält man z.B. bei Rotlicht an einer Kreuzung, stehen beide Motoren still. Legt man nun den ersten Gang ein, wird der Ottomotor angelassen. Beim Gasgeben schliesst die Kupplung zwischen Ottomotor und Getriebe automatisch, man fährt an und beschleunigt. Der Gangwechsel in den zweiten Gang läuft ab wie bei einem Halbautomaten: Zurücknehmen des Fahrpedals bringt den Vergaser in die Leerlaufstellung, Berühren des Gangschalthebels öffnet die Kupplung KO; man kann schalten, beim Gasgeben schliesst sich die Kupplung wieder. So geht es weiter bis in den vierten Gang. Angenommen, man fährt mit dem Ottomotor, und die Verkehrssituation erfordert weniger Fahrleistung, so nimmt man das Fahrpedal zurück. Wird dabei ein bestimmter Wert länger als 0,5 s unterschritten, stoppt der Ottomotor, und der Elektromotor übernimmt den Antrieb. Will man wieder schneller fahren, so gibt man mehr «Gas». Das bedeutet hier: Der Elektromotor zieht mehr Strom, was aber nur bis zu dessen Leistungsgrenze von 5 kW geht. Ist diese erreicht, wird der Ottomotor automatisch gestartet und treibt das Fahrzeug an.

Der schweizerische Anteil bei dieser Realisierung bestand im Entwickeln und Bau des Elektromotors, der Leistungselektronik für Anker- und Feldspeisung, des DC/DC Wandlers für den Ersatz des Dynamos, des vollautomatischen, eingebauten Ladegleichrichters sowie der Steuer- und Regelelektronik, die das einwandfreie Zusammenspiel aller Elemente des Antriebes besorgt. Es ist speziell zu erwähnen, dass während der Fahrt jede der drei Betriebsarten problemlos gewählt werden kann. Die Elektronik ist nicht nach den Gesichtspunkten einer Grossserie gefertigt worden, weil es bei diesem Versuch vor allem um das Fahrverhalten und die entsprechenden Messresultate ging. Für die Projektierung und den Bau des Fahrzeuges standen 18 Monate zur Verfügung. Diese kurze Entwicklungszeit war nur durch intensive Kontakte zwischen dem Schweizer Partner und den VW-Werken möglich.

Tabelle I zeigt Messergebnisse mit dem Fahrzeug im Europa-Stadtzyklus. Danach beträgt der Energieverbrauch im Hybridbetrieb 3,3 l Benzin plus 16,5 kWh elektrische Energie pro 100 km, die aus dem Netz zum Wiederaufladen der Batterie zu entnehmen ist.

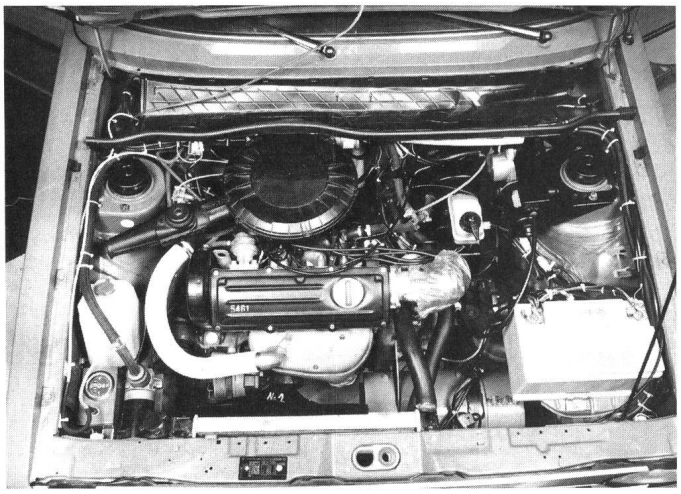


Fig. 6 Blick unter die Motorhaube des VW Golf Hybrid
Gesamtansicht des Motorraumes mit Ottomotor, Elektromotor (vorn rechts, neben der Batterie), automatischer Kupplung (hinten rechts) und elektrisch angetriebener Unterdruckpumpe für die Servobremsung (vorn links) während des Fahrens mit Elektroantrieb.

Wenn man die gegenwärtigen Nachttarifpreise, die etwa 10 Rp./kWh betragen, in Betracht zieht, sind die Stromkosten mit Fr. 1.65 sehr bescheiden. Gleichzeitig werden die Abgasemissionen erheblich herabgesetzt. Wenn dieses Fahrzeug zusätzlich mit einem Katalysator versehen wird, können die Emissionen noch weiter reduziert und auf einen sehr niedrigen Wert gebracht werden. Allerdings würden bei den intermittierenden Belastungen des Ottomotors beim Katalysator zusätzliche Temperaturprobleme auftreten. Das Fahrzeug hat nun über 10 000 km Testbetrieb hinter sich. Einzig die Batterien mussten ausgewechselt werden.

5. Schlusswort

Nachdem der Leser von den Hybridfahrzeugen nur Positives erfahren hat, muss er sich die Frage stellen, warum derartige Fahrzeuge nicht auf dem Markt erhältlich sind [3]. Solange keine andere als die heutige Bleibatterie zur Verfügung steht, hat weder das Elektroauto noch das Hydridfahrzeug eine Chance, Marktanteile zu gewinnen. Die Gründe hiefür sind einerseits die viel zu kleine Energiedichte und anderseits die zu geringe Lebensdauer der Bleibatterie. Wenn die Schwefel-Natrium-Batterie (von BBC entwikkelt) oder die Zink-Brom-Batterie (von Exxon entwickelt) die Energiedichte und die hohe Anzahl Ladezyklen, die die Konstrukteure von diesen Batterien erwarten, einhalten können, dies noch zu kostengünstigen Bedingungen, so wird das Elektroauto wie das Hybridfahrzeug rasche Verbreitung finden.

Was die Leistungselektronik anbetrifft, hat es im gegenwärtigen Zeitpunkt keinen Sinn, Entwicklungen für den Grossseriebau zu tätigen, denn der rasante Fortschritt im Bereich der Transistortechnik und der GTO-Technik der letzten Jahre erweitert die Einsatz- und Integrationsmöglichkeiten, womit eine heute entwickelte Elektronik morgen schon überholt wäre. Es sollten hingegen Studien im Bereich des Antriebes gemacht werden, wo anstelle des bis heute fast immer verwendeten Gleichstrommotors ein kollektorloser Motor eingesetzt werden sollte. Bei einem Asynchronmotor zum Beispiel könnte die Drehzahl auf 12 000 U/min erhöht werden, womit die Motormasse gegenüber einem konventionellen Motor etwa um das Zwei- bis Dreifache reduziert werden könnte. Es ist auch denkbar, auf das Differential zu verzichten und auf Einzelradantrieb überzugehen.

Literatur

[1] *A.F. Burke:* The hybrid test vehicle (HTV)—from concept through fabrication and marketing. Report No 82CR174. Schenectady/New York, Power Electronics Laboratory, 1982.

[2] Der zukünftige Personenwagen mit Hybridantrieb? Bull. SEV/VSE 72(1981)17, S. 983.

[3] *F. Casal:* Technische Voraussetzungen, Organisationsprobleme und energiewirtschaftliche Fragen im Zusammenhang mit der Entwicklung des Elektrofahrzeuges. Bull. SEV/VSE 73(1982)18, S. 971...973.