

# Neuentwicklungen der Ingenieurschule Biel

Autor(en): **Jeanneret, René**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **78 (1987)**

Heft 16

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-903902>

## **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.

# Neuentwicklungen der Ingenieurschule Biel

R. Jeanneret

**Die Ingenieurschule Biel befasst sich bereits seit etwa 15 Jahren mit Antrieben für elektrische Strassenfahrzeuge und hat sich dabei insbesondere auf die Transistortechnik spezialisiert. Das im Rahmen der Aktion COST 302 einmal mit einem Gleichstrom- und einmal mit einem Wechselstromantrieb ausgerüstete Versuchsfahrzeug erlaubt einen direkten Vergleich dieser beiden Antriebsvarianten.**

**Voici près de 15 ans déjà que l'Ecole d'ingénieurs de Bienne s'occupe des entraînements de véhicules électriques routiers, en se spécialisant plus particulièrement dans la technique des transistors. Le véhicule d'essai Cost 302, a été équipé d'un entraînement à courant continu puis d'un entraînement à courant alternatif, permet de faire directement la comparaison de ces deux variantes.**

Referat, gehalten anlässlich des ASVER/ACS-Symposiums «Elektromobile im Aufschwung» am 15. Juni in Interlaken.

## Adresse des Autors

Professor René Jeanneret, Ingenieurschule Biel, Rue de la Source 21, 2500 Biel

## 1. Einleitung

Die Ingenieurschule Biel befasst sich seit etwa 15 Jahren mit dem Antrieb elektrischer Strassenfahrzeuge. Im Rahmen dieser Tätigkeit wurde die Antriebselektronik mit Rekuperation für verschiedene Gleichstrommotoren realisiert und in verschiedenen Fahrzeugen getestet, und zwar mit Serienmotor, Compound-Motor und fremdregem Motor.

Es zeigte sich im Laufe dieser Zeit, dass es möglich ist, dank der bedeutenden Entwicklung auf dem Sektor der Leistungshalbleiter, im speziellen in der Bipolartransistortechnik, schnelle Leistungsschalter zu günstigen Kosten zu bauen. Aus diesem Grund wird heute schon eine Lösung mit dem Asynchronmotor und dem Wechselrichter als Antriebseinheit wirtschaftlich. Die Ingenieurschule Biel erhielt von der COST 302 (Europäische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der wissenschaftlichen und technischen Forschung) den Auftrag, einen Wechselrichter für einen PTT-Fourgon (Chassis und Karosserie Mercedes 310) und einen solchen für das Kleinelektrofahrzeug Mobilec zu realisieren. Nachfolgend wird auf diese Entwicklungen näher eingegangen.

## 2. Experimentelles Nutzfahrzeug «Fourgon PTT»

Die PTT benützt für die Paketverteilung unter anderem einen Fourgon des Typs Mercedes 310. Solche Fahrzeuge

sind im Rahmen eines deutschen Forschungsauftrages auch schon mit Elektroantrieb versehen worden. Die von der Deutschen Bundespost gestellten Bedingungen waren so streng, dass der vernünftige Einsatz eines solchen Fahrzeuges praktisch verunmöglicht wurde. Die Bedingungen, die die PTT an das für sie konzipierte Fahrzeug stellte, sind weniger streng; dennoch können ungefähr 90% der für die Paketzustellung bedingten Strecken bewältigt werden.

Die Arbeitsgruppe COST 302 hat beschlossen, nachdem sie sich über die in deutschen Fahrzeugen verwendete Antriebstechnik ins Bild gesetzt hatte, zwei mit der neuesten Technik ausgerüstete Antriebsketten bauen zu lassen, um damit ein Versuchsfahrzeug auszurüsten.

Die von der PTT geforderte Nutzlast von 1000 kg konnte beim gebauten Fahrzeug eingehalten werden, nicht aber das maximale Gewicht von 3500 kg, eine Bedingung, die durch den Führerausweis der Kategorie B gegeben ist. In Tabelle I sind die genauen Daten des Fahrzeuges aufgeführt.

Für die Realisierung des Fahrzeuges, welches den Anforderungen der PTT-Betriebe entspricht, wurde ein Chassis des Mercedes 310 gewählt, wobei verschiedene Anpassungen auf die PTT-Norm vorgenommen werden mussten. Alle für ein Elektrofahrzeug notwendigen elektronischen Wandler und Antriebsaggregate sowie die mechanischen Elemente, wie Batterie-

Gesamtgewicht (technisch möglich)	4000 kg
Zulässiges Gesamtgewicht	3500 kg
Nutzlast (technisch möglich)	(1100 kg) 600 kg
Leergewicht mit Batterie	2900 kg
Dimensionen (Breite × Länge × Höhe)	(1975 × 4755 × 2495) mm
Spitzenleistung	30 kW
Batteriegewicht	880 kg
Energie der Batterie bei 5stündiger Entladung	28,8 kWh
Aktionsstrecke bei 50 km/Std.	etwa 60 km
Maximal-Geschwindigkeit	80 km/h
5-Gang-Synchrongetriebe	

Tabelle I Technische Daten des Mercedes-Benz Fourgon 310

Projektleiter  
 Einbau und mechanische Anpassung sämtlicher  
 mechanischen und elektrischen Teile  
 Kastenwagen  
 PTT-konforme Lade- und Kabinenanpassung  
 Gleichstrommotor  
 Asynchronmotor  
 Antriebselektronik für die Gleichstrom-  
 und die Asynchronmotorvariante  
 Batterie für Laborversuche der Antriebe  
 DC/DC Wandler (Ersatz des Dynamo)  
 Batterie  
 Batterie-Ladegerät  
 Versuchstest im normalen PTT-Betrieb

Prof. R. Jeanneret  
 Nencki AG Langenthal  
 Mercedes-Benz  
 Hess AG Bellach  
 Gehrig + Co. AG Ballwil  
 EPF-Lausanne Prof. M. Jufer  
 Ecole d'ingénieurs Bienne  
 Prof. R. Jeanneret  
 Accu-Oerlikon Zürich  
 E. Schüpp Bern/Zürich  
 Leclanché SA Yverdon  
 Vessa SA Clarens  
 PTT Bern, U. Bretscher

daher kein Unterhalt und keine Kommutierungsprobleme bei hohen Drehzahlen) aus preislichen Gründen nicht verwendet. Dank dem grossen Fortschritt in der Technologie der Darlingtont-Leistungstransistoren ist es heute möglich, auch kostengünstige dreiphasige Wechselrichter zu bauen. Wegen der Verwendung der gleichen elektronischen Leistungsschalter in beiden Antrieben wurde ein Preisvergleich der getroffenen Lösungen erleichtert. Die Antriebskette mit dem Asynchronmotor ist 6% billiger als die gleichwer-

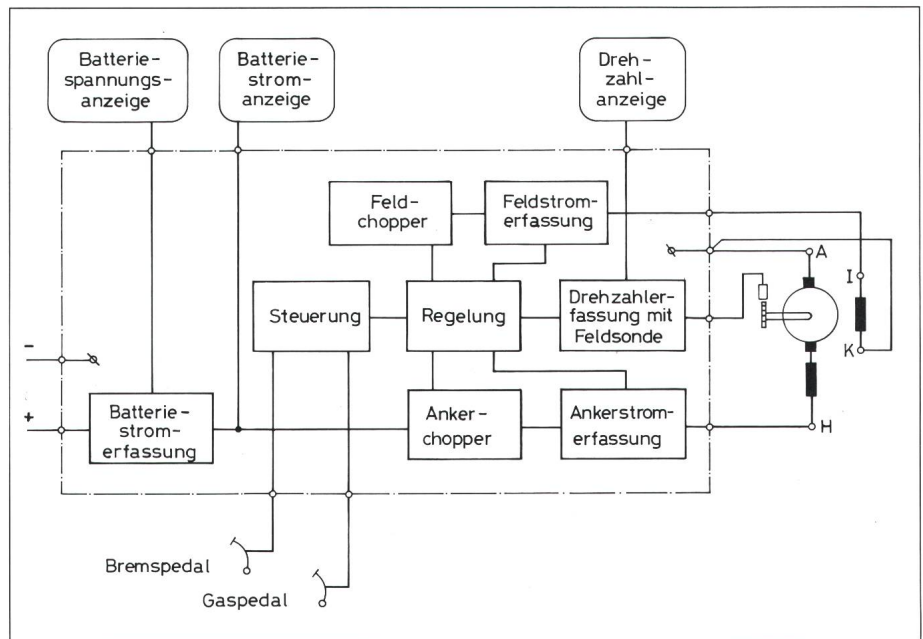
trog, mussten neu entwickelt und konstruiert werden. An diesen Arbeiten haben sich folgende Partner beteiligt:  
 Unter den neuesten Antriebsketten sind der Gleichstrom-Nebenschlussmotor mit Transistor-Chopper und der Asynchronmotor mit transistorisiertem Wechselrichter zu verstehen. Diese beiden Antriebsketten werden wie folgt beschrieben:

### 3. Gleichstrom-Nebenschlussmotor mit Antriebselektronik

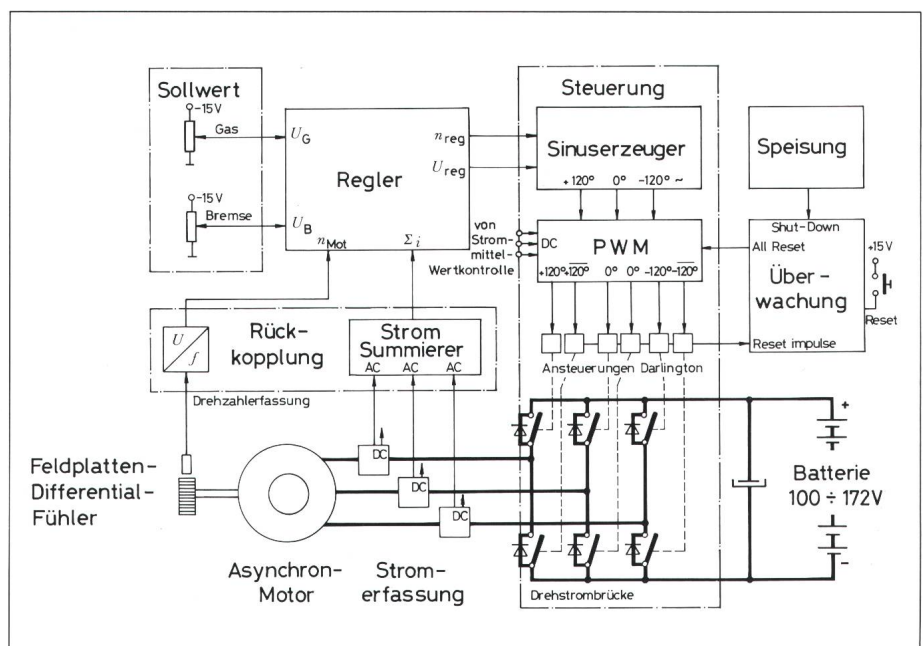
Ein möglichst kleines Gewicht der gesamten Antriebskette war das bei der Realisierung angestrebte Ziel. Dies bedingte eine gute Ausnutzung des verfügbaren Batterievolumens, einen möglichst hochtourigen Antriebsmotor, damit er leichter wird, und einen mit hoher Frequenz (20 kHz) arbeitenden Anker-Chopper zur Vermeidung einer teuren und schweren Glättungsdrossel. Der grösste Fortschritt konnte bei der Antriebselektronik dank dem Einsatz von modernen Darlingtont-Leistungstransistoren erzielt werden. Das Gewicht der deutschen Antriebselektronik beträgt inklusive Drossel 87 kg, während die schweizerische Antriebselektronik nur 15 kg wiegt. Die Drossel entfällt, weil die Eigeninduktivität des Motors bei der gewählten Arbeitsfrequenz des Choppers genügt (Fig. 1).

### 4. Asynchronmotor mit Antriebselektronik

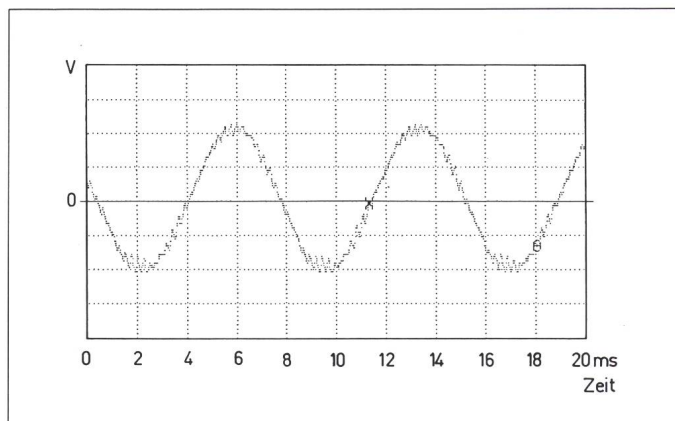
Die Antriebskette mit dem Asynchronmotor (Fig. 2) wurde bis heute trotz bedeutender Vorteile gegenüber der Antriebskette mit Gleichstrommotor (kein Kollektor und keine Bürsten,



Figur 1 Prinzipschema der Antriebselektronik für die Variante Gleichstrommotor



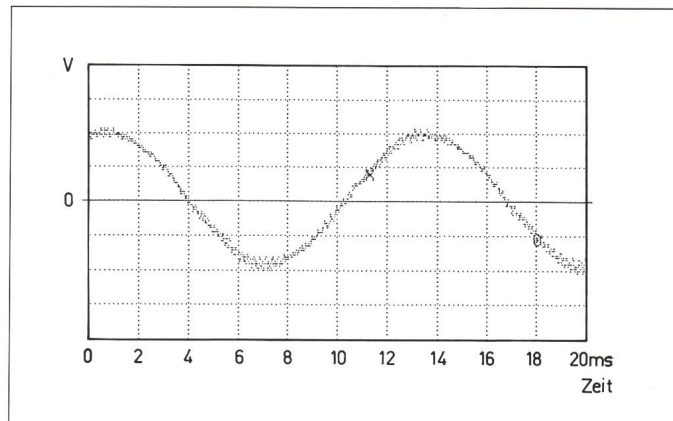
Figur 2 Prinzipschema der Antriebselektronik für die Variante Wechselstromantrieb



Figur 3 Spannungsverlauf der elektronischen Steuerung bei Vollast

$$U_B = 123 \text{ V} \quad I_{ph} = 293 \text{ A} \quad M_d = 10,5 \text{ kpm} \quad n = 2641 \text{ U/min}$$

$$I_B = 306 \text{ A} \quad P_{ab} = 28,5 \text{ kW} \quad \eta = 0,76$$



Figur 4 Spannungsverlauf der elektronischen Steuerung bei Teillast

$$K_B = 138 \text{ V} \quad I_{ph} = 168 \text{ A} \quad M_d = 10,5 \text{ kpm} \quad n = 1478 \text{ U/min}$$

$$I_B = 168 \text{ A} \quad P_{ab} = 15,94 \text{ kW} \quad \eta = 0,68$$

tige Antriebskette mit dem Gleichstrommotor.

Der Asynchronmotor hat keinen Kollektor und ist demzufolge viel einfacher herzustellen, weshalb er 3,7mal billiger als der Gleichstrommotor ist, wogegen die Antriebselektronik des Asynchronmotors wegen des größeren Aufwandes etwa 75% teurer ist als die der Gleichstromvarianten. Zukünftige Transistorleistungsschalter werden immer mehr zu Einheiten integriert werden, wodurch die Kosten des Wechselrichters sinken, während die Kosten der Herstellung der Motoren unverändert bleiben.

Der Asynchronantrieb ist heute schon wirtschaftlicher als der Gleichstromantrieb, und er wird es in Zukunft noch in vermehrtem Masse werden. Da beim Elektrofahrzeug der Wirkungsgrad eine entscheidende Rolle spielt, wurde darauf geachtet, dass der Wechselrichter möglichst wenig Verluste hat und trotzdem einen sinusförmigen Strom abgeben kann, so dass praktisch keine zusätzlichen Eisenverluste im Motor entstehen können (Fig. 3 und 4). Der im Labor gemessene Wirkungsgrad ab Batterie bis zur Ausgangswelle des Motors beträgt bei Nennlast etwa 80%.

## 5. Preisvergleich für Gleichstrom- und Wechselstromantrieb

Im Rahmen der COST 302 wurde für drei verschiedene Fahrzeugtypen ein Preisvergleich für einen Antrieb mit Gleich- und mit Wechselstrommotor berechnet. Bei der ersten Variante (Berline) handelt es sich um einen Per-

sonenwagen, bei der zweiten (Fourgonnette) um den PTT-Transporter (Fig. 5), und die dritte Version (Camionnette) wäre ein Lastwagen. Die wichtigsten Rahmendaten dieser drei Fahr-

zeugtypen sind in Tabelle II zusammengestellt.

Sowohl beim Gleichstrom- (DC-) Antrieb wie auch beim Wechselstrom- (AC-)Antrieb wird von einer Rekupe-

Figur 5 Das COST-302-Versuchsfahrzeug im Einsatz bei den PTT



	Berline	Fourgonnette	Camionnette
Leergewicht (ohne Batterie) (kg)	800-900	> 1000	> 1500
Gespeicherte Energie in der Batterie (kWh)	> 10	> 15	> 30
Ladegewicht oder Ladevolumen (kg)	350	400-500	> 1000
	4 Plätze	2 Plätze	3 Plätze
	> 200 Liter	> 2m <sup>3</sup>	> 7m <sup>3</sup>
Verbrauch DC 80+80*P (Wh/km)	< 190	< 210	< 400
AC 150+100*P (Wh/km)	< 300	< 350	< 600
max. Geschwindigkeit (km/h)	10-90	10-90	60-80
Beschleunigung von 0 bis 50 km/h (sec)	< 12	< 15	< 18
Antriebsleistung			
Nennleistung (kW)	> 10	> 15	> 40
Dauerleistung (kW)	20-25	> 30	> 60
Ladegerät (kW)	2-3	3-4	5-6
Wahrscheinliche Batterienennspannung (V)	96	96-144	144-216

Tabelle II Technische Fahrzeugdaten, die dem Preisvergleich zugrunde gelegt wurden.

ration bis zum Stillstand ausgegangen. Die Preise der Elektronik stammen von der Firma Gehrig in Ballwil. Diese Firma hat im Bau solcher Elektrofahrzeugmotoren grosse Erfahrung, hat sie doch auch den Motor für den PTT-Fourgon der Aktion COST 302 gebaut.

Die Berechnung der Kosten der Elektronik basiert auf folgendem Berechnungsschema für die Preiskalkulation einer Firma, welche Transistor- und Thyristorantriebe herstellt:

Materialkosten	57%
Lohnkosten	33%
Bestellungskosten, Wareneingangskontrolle, Lagerkosten	10%
Herstellungskosten	<u>100%</u>

Diese Herstellungskosten werden noch durch den OEM-Faktor erhöht, der für Serien von 100 Stück etwa 1,44 beträgt und auch die Entwicklungskosten und den geringen Gewinn enthält. Die Warenumsatzsteuer wird in der Preiskalkulation nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse des Kostenvergleichs auf dieser Basis sind in den Tabellen IIIa bis IIIc zusammengestellt.

	DC	AC
<b>Motor:</b> Gleichstrommotor mit Fremderregung und Feldschwächung von 1/2,5 Asynchronmotor mit spez. Rotor und aussengekühltem Normgehäuse	<b>Fr. 5 350.-</b>	<b>Fr. 1 000.-</b>
<b>Elektronik:</b> <i>Materialkosten</i> Leistungsteil: - Leistungstransistoren, Kühlkörper, Ventilatoren - Basisansteuerungen - Hilfsspeisungen	Fr. 719.- Fr. 105.- Fr. 61.-	Fr. 1415.- Fr. 460.- Fr. 133.-
Steuerung und Regelung: - Stromsonden und Strommessvorrichtung Steuerlogik, Regler, Schutzvorrichtungen	Fr. 383.-	Fr. 380.-
Verschiedenes: - Elektronikgehäuse, Stecker und Anschlüsse, Gas- und Bremspotentiometer	Fr. 532.-	Fr. 552.-
totale Materialkosten:	Fr. 1 800.-	Fr. 2 940.-
<i>Herstellungskosten</i> (Materialkosten/ 0,57)	Fr. 3 158.-	Fr. 5 158.-
<b>Preis der Elektronik:</b> (Herstellungskosten × 1,44)	<b>Fr. 4 547.-</b>	<b>Fr. 7 427.-</b>
<i>Kosten für Motor und Elektronik:</i>	Fr. 9 897.-	Fr. 8 427.-
Gewicht der Elektronik	13 kg	22 kg
Wirkungsgrad der Elektronik	0,98	0,96

Tabelle IIIa Kostenvergleich DC- und AC-Antriebssystem für Berline (für 100 Stück)

## 6. Versuchsergebnisse bei der PTT

Als Versuchsstrecke hat die PTT eine der anspruchsvollsten Paketzustellstrecken in Bern gewählt, mit Steigungen bis 14% und Gefälle bis 16%. Die Ergebnisse der beiden Varianten lassen sich wie folgt charakterisieren.

### ● Gleichstrommotor-Variante

Das Fahrzeug war während 46% der möglichen Betriebstage einsatzbereit. Da es sich hier um ein Versuchsfahrzeug handelt und aus zeitlichen Gründen vor dem Einsatz bei der PTT keine Versuche gemacht werden konnten, sind Pannen während der Versuchsphase aufgetreten. Diese teilten sich wie folgt auf:

- falsche Bedienung des Ladegleichrichters
- Pannen am Ladegleichrichter
- mechanische Panne beim Gaspedal
- Kabelbruch bei der Drehzahlmessung des Motors
- ein integrierter Kreis der Antriebselektronik defekt
- defekter Schutz des Hydraulikmotors
- defekter Hydraulikmotor

	DC	AC
<b>Motor:</b> Gleichstrommotor mit Fremderregung und Feldschwächung von 1/2,5 Asynchronmotor mit spez. Rotor und aussengekühltem Normgehäuse	<b>Fr. 5 840.-</b>	<b>Fr. 1 600.-</b>
<b>Elektronik:</b> <i>Materialkosten</i> Leistungsteil: - Leistungstransistoren, Kühlkörper, Ventilatoren - Basisansteuerungen - Hilfsspeisungen	Fr. 883.- Fr. 105.- Fr. 61.-	Fr. 1 930.- Fr. 395.- Fr. 147.-
Steuerung und Regelung: - Stromsonden und Strommessvorrichtung Steuerlogik, Regler, Schutzvorrichtungen	Fr. 383.-	Fr. 378.-
Verschiedenes: - Elektronikgehäuse, Stecker und Anschlüsse, Gas- und Bremspotentiometer	Fr. 552.-	Fr. 570.-
totale Materialkosten:	Fr. 1 984.-	Fr. 3 420.-
<i>Herstellungskosten</i> (Materialkosten/ 0,57)	Fr. 3 480.-	Fr. 6 000.-
<b>Preis der Elektronik:</b> (Herstellungskosten × 1,44)	<b>Fr. 5 012.-</b>	<b>Fr. 8 640.-</b>
<i>Kosten für Motor und Elektronik:</i>	Fr. 10 852.-	Fr. 10 240.-
Gewicht der Elektronik	15 kg	25 kg
Wirkungsgrad der Elektronik	0,98	0,96

Tabelle IIIb Kostenvergleich DC- und AC-Antriebssystem für Fourgonnette (für 100 Stück)

Bei der neu entwickelten Antriebs-elektronik ist eine einzige Panne aufgetreten. Die anderen Pannen entstanden infolge fehlender Erfahrung. Die Auslegung des Fahrzeuges war in Ordnung und hat die betrieblichen Erwartungen voll erfüllt. Wirtschaftliche Aspekte wurden in dieser Versuchsphase nicht angestellt.

● *Asynchronmotorvariante*

Diese Ergebnisse liegen noch nicht vor. Der Motor und die Antriebselektronik sind in das Fahrzeug eingebaut und werden demnächst den Versuchsbetrieb aufnehmen. Durch die Verbesserung der Schwachstellen der Gleichstromvariante und die Verwendung eines neuen Ladegleichrichters dürfte der grösste Teil möglicher Pannen behoben sein. Bedienungsfehler können infolge Änderungen in der Verdrahtung des Ladesystems ausgeschlossen werden.

	DC	AC
<b>Motor:</b> Gleichstrommotor mit Fremderregung und Feldschwächung von 1/2,5 Asynchronmotor mit spez. Rotor und aussengekühltem Normgehäuse	Fr. 8 220.-	Fr. 2 220.-
<b>Elektronik:</b> <i>Materialkosten</i> Leistungsteil: - Leistungstransistoren, Kühlkörper, Ventilatoren - Basisansteuerungen - Hilfsspeisungen Steuerung und Regelung: - Stromsonden und Strommessvorrichtung Steuerlogik, Regler, Schutzvorrichtungen Verschiedenes: - Elektronikgehäuse, Stecker und Anschlüsse, Gas- und Bremspotentiometer totale Materialkosten: <i>Herstellungskosten</i> (Materialkosten/ 0,57) <b>Preis der Elektronik:</b> (Herstellungskosten × 1,44)	Fr. 1 075.- Fr. 120.- Fr. 85.-  Fr. 383.-  Fr. 670.- Fr. 2 333.-  Fr. 4 093.- <b>Fr. 5 894.-</b>	Fr. 2 482.- Fr. 474.- Fr. 161.-  Fr. 378.-  Fr. 620.- Fr. 4 115.-  Fr. 7 219.- <b>Fr. 10 395.-</b>
<i>Kosten für Motor und Elektronik:</i>	Fr. 14 114.-	Fr. 12 615.-
Gewicht der Elektronik	20 kg	33 kg
Wirkungsgrad der Elektronik	0,98	0,96

Tabelle IIIc Kostenvergleich DC- und AC-Antriebssystem für Camionnette (für 100 Stück)