

Das Automobil : liegt die Zukunft in der Vergangenheit, oder ist's Vergangenheit?

Autor(en): **Eberle, Meinrad K.**

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): **80 (1989)**

Heft 23

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-903742>

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.

Das Automobil – liegt die Zukunft in der Vergangenheit, oder ist's Vergangenheit?

Meinrad K. Eberle

Zur Minderung innerstädtischer Luftqualitäts- und Lärmprobleme kann beim Individualverkehr mittelfristig ein Hybridantriebssystem mit Verbrennungs- und Elektromotor zu vergleichsweise tragbaren Kosten einen Beitrag leisten. Langfristig ist das reine Elektromobil eine denkbare Alternative.

En vue de réduire à l'intérieur des villes les problèmes de la qualité d'air et du bruit, un système d'entraînement hybride (moteur électrique et moteur à combustion) peut apporter une contribution comparativement efficace et supportable en coût. A long terme, la voiture purement électrique semble être une alternative pensable.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. Meinrad K. Eberle,
Institut für Energietechnik,
Laboratorium für Verbrennungsmotoren,
ETH-Zentrum, 8092 Zürich

Individuelle Mobilität war schon immer des Menschen Traum und ist heute in zunehmendem Mass eine Notwendigkeit. Sowohl der Personals als auch der Warentransport sind nicht mehr aus unserem Leben wegzudenken; beide sind ein integraler und notwendiger Bestandteil unserer Zivilisation. Unser allgemeiner Wohlstand, das Ergebnis der Technik und deren relativer Verbilligung (gemessen am Einkommen) sowie die grossen Menschenzahlen führen zu einem Übermass an Transportleistung mit den sattsam bekannten negativen Auswirkungen.

Im folgenden soll im besonderen der Automobilverkehr näher betrachtet werden. Es geht nicht darum, seine grossen Vorteile besonders hervorzuheben, sondern der Frage nachzugehen, wie dessen Nachteile durch technische Massnahmen gemindert werden können. Der Stellenwert des Individualverkehrsmittels Auto kommt eindrücklich zum Ausdruck, wenn wir bedenken, wieviel Geld (relativ zum Einkommen) und welche Wartezeit (bis zur Ablieferung) für ein Auto in Osteuropa aufgewendet werden. Oder: Der Benzinpreis müsste bei uns um ganzzahlige Vielfache erhöht werden, um das öffentliche Verkehrsmittel für die tägliche Fahrt zwischen Wohn- und Arbeitsort wesentlich attraktiver erscheinen zu lassen; dies selbst dann, wenn mit letzterem *weniger* Zeit als mit dem PW (meist nicht der Fall) für den Arbeitsweg aufgewendet werden müsste. Heutige Siedlungsformen – mit der örtlichen Trennung von Wohn- und Arbeitsort – lassen nur einen sehr beschränkten Spielraum bezüglich «Autoabbau». Diese Aussage heisst aber nicht, dass die Auto-Pendlerströme in und aus der Stadt überhaupt nicht reduziert werden könnten.

Also: Das Auto wird es auch in Zukunft geben; es ist keinesfalls Vergangenheit. Die Frage muss lauten: Wie könnte das Auto der Zukunft aussehen? Um es vorwegzunehmen: Das Auto wird nur sehr bedingt die Fortschreibung der heutigen Trends sein, welche mit der Basisaufgabe, nämlich Transport, je länger, desto weniger Gemeinsames haben. Diese Aussage soll durch die Tabelle I untermauert werden. Sie zeigt in eindrücklicher Weise, wie schlecht der heutige PW bezüglich Energieverbrauch und Abgasemissionen im Vergleich zum Lastwagen (bezogen auf die Transportleistung) dasteht. Einer der wesentlichen Gründe liegt darin, dass bei der Auslegung eines Autos eben nicht dessen Wirtschaftlichkeit und primäre Aufgabe des Transports im Vordergrund steht, sondern in zunehmendem Mass psychologische Bedürfnisse befriedigt werden. Verschiedene technische Entwicklungen der Gegenwart würden unter dem Diktat eines günstigen Kosten/Nutzen-Verhältnisses aus technischer Sicht nicht realisiert – das Maximum des realen Nutzens ist schon längst erreicht. Ebenfalls in Tabelle I ist ein Ökomobil aufgeführt. Es ist dies ein Hybridfahrzeug mit getaktetem (Benzin-)Ottomotor, einem Schwungrad und einem besonderen stufenlosen Getriebe (CVT). Davon soll unter anderem in diesem Artikel die Rede sein.

Charakterisierung des Strassenverkehrs mit Verbrennungsmotor

Emissionen und Immissionen

Die Figur 1 zeigt die (nach offiziellen Angaben) jährlichen Stickoxid(NO_x)- und Kohlenwasser-

		LW	PW	OM
Basisdaten				
Leermasse	[kg]	12 000	1 000	545
Nutzlast	[kg]	10 000	150	150
Brennstoffverbrauch	[l/100 km]	28	8	2,5
Energieverbrauch pro t	[kWh/100 km]	27,8	460	140
Emissionen, absolut				
NO _x	[g/km]	8,0	0,35	0,10
HC	[g/km]	1,0	0,10	0,03
CO	[g/km]	1,4	0,70	0,20
SO ₂	[g/km]	0,34	≈ 0	≈ 0
Emissionen pro t Nutzlast				
NO _x	[g/km]	0,80	2,33	0,67
HC	[g/km]	0,10	0,67	0,20
CO	[g/km]	0,14	4,67	1,33
SO ₂	[g/km]	0,04	≈ 0	≈ 0

Tabelle I Umweltbelastung durch Strassenverkehr

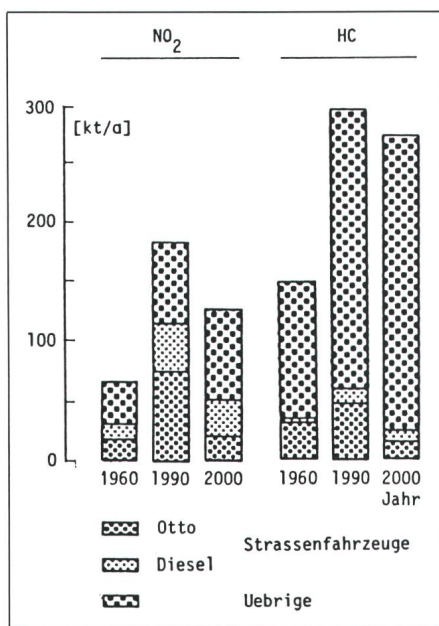
LW Lastwagen, ~ 1990, Diesel, 16 Ganggetriebe
 PW Personenwagen, 1988, Otto, 5 Ganggetriebe, 3-Weg-Katalysator
 OM Oekomobil, 1995?, Otto, kontinuierlich variable Transmission, 3-Weg-Katalysator, Ein-/Ausschaltbetrieb mit Schwungrad

stoff(HC)-Emissionen in der Schweiz. Als Folge der in der Schweiz erlassenen Gesetze (vergleichbar mit jenen der USA) ist das NO_x-Maximum bereits überschritten. Im Jahre 1990 werden die PWs (98% Ottomotoren) rund 41% zur totalen NO_x-Fracht beitragen, die LKWs und Busse in etwa 21%. Für das Jahr 2000 lauten die entsprechenden prognostizierten Zahlen 17 und 24%. Die Gesamtfracht würde damit

1990 die Vorgabe des Schweizerischen Bundesrats (Emissionen wie 1960) um rund 86% überschreiten. Es wird stillschweigend davon ausgegangen, dass die Kategorie «Verkehr» für sich das Ziel 1960 erreichen soll. Während die NO_x-Emissionen von Industrie, Gewerbe und Haushalt vergleichsweise einfach absenkbar sind, dürfte es mehr Mühe bereiten, jene des übrigen Verkehrs – eben z.B. schwerer Nutzfahrzeuge – zu reduzieren.

Die Figur 1 zeigt auch eindrücklich die Wirksamkeit der Katalysatortechnik beim Benzinmotor; diese ist beim Diesel, welcher immer mit Luftüberschuss betrieben werden muss, für die Reduktion der Stickoxide nicht anwendbar. Weiter ist ersichtlich, dass der Verkehr eine wichtige Rolle beim Stickoxid spielt, jedoch in bedeutend geringerem Mass bei den Kohlenwasserstoffen.

Emissionen führen über den Weg der Transmission und Sekundärreaktionen zu Immissionen. Die Figur 2 zeigt Immissionswerte in der Schweiz, verglichen mit jenen der USA. Ozon (O₃) ist die wesentlichste Smog-Komponente und wird mit den Stoffen Stickoxid und Kohlenwasserstoffe unter der Einwirkung von Sonnenlicht gebildet. Bezüglich Schädigung von Flora und temporärer negativer Auswirkungen auf den Menschen dürfte das Ozon die wichtigste der drei genannten Komponenten (O₃, NO_x und HC) sein.

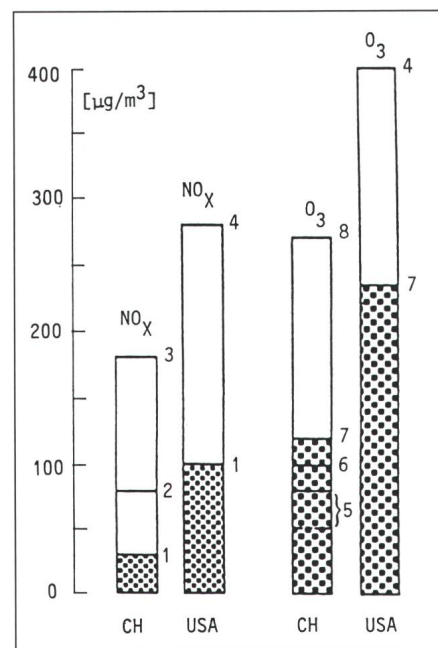


Figur 1 Emissionssituation Schweiz

Otto: Individualverkehr
 Diesel: Transporte
 Übrige: Industrie, Heizungen usw.

Treibhauseffekt

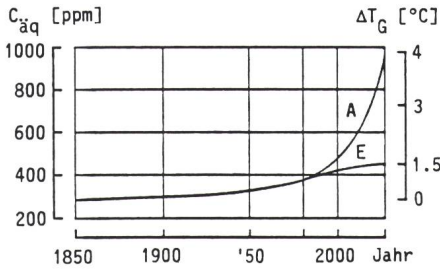
Neuerdings wird in der Öffentlichkeit auch der sogenannte Treibhauseffekt diskutiert. Die Wissenschaft geht davon aus, dass sich das Klima durch unser Tun (anthropogen) mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit langfristig irreversibel ändern wird, sofern nicht drastisch Gegensteuer gegeben wird. Der Treibhauseffekt wird durch die sogenannten Treibhausgase bewirkt, von denen die wichtigsten das Kohlendioxid (CO₂), das Methan (CH₄) und die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) sind. Die Treibhausgase haben alle die Eigenschaft, dass sie das kurzwellige Sonnenlicht ungehindert passieren lassen, währenddem die von der Erdoberfläche abgestrahlte Strahlung – nun langwellig – durch die genannten Gase z.T. absorbiert wird. Mit steigenden Konzentrationen der genannten Stoffe ist demzufolge mit einer Änderung der Temperaturverteilung auf der Erde zu rechnen.



Figur 2 Immissions-(Grenz-)Werte

- 1 Jahresmittelwert
- 2 24-h-Mittelwert
- 3 höchster 24-h-Mittelwert 1987
- 4 Alarmwert USA
- 5 natürlicher O₃-Wert (Pelli)
- 6 98% der 1/2-h-Mittelwerte
- 7 1-h-Mittelwert
- 8 höchster 1-h-Mittelwert 1987

Mit Hilfe äusserst komplizierter Rechenverfahren wurde versucht, die Temperaturerhöhung in Bodennähe, hervorgerufen durch zunehmende Konzentrationen der Treibhausgase,



Figur 3 Änderung der Gleichgewichtstemperatur, ΔT_G , in Abhängigkeit von der Konzentration $C_{\text{äq}}$ der Treibhausgase [1]

- ΔT_G Änderung der Gleichgewichtstemperatur in Bodennähe
- $C_{\text{äq}}$ Äquivalente CO₂-Konzentration: bezüglich Wirksamkeit gebildete Summe der Konzentrationen der Treibhausgase
- A Szenario A: hoch
- E Szenario E: tief-Zielvorstellung

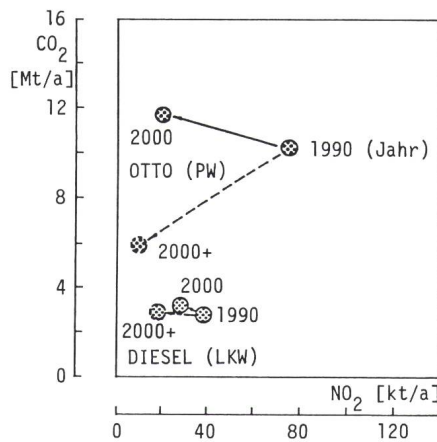
zu berechnen. Die Figur 3 zeigt die bisher ermittelte und zukünftig erwartete Änderung der Gleichgewichtstemperatur in Bodennähe. Szenario A (hoch) geht von einer Entwicklung aus, welche den Treibhauseffekt unbeachtet lässt («business as usual») und würde zu einer progressiven Temperaturzunahme von etwa 4 °C bis 2030 führen. Szenario E geht von niedrigeren Emissionswerten aus und würde für das Jahr 2100 eine Temperatursteigerung von 1...2 °C ergeben (durch anthropogene Emissionen).

Tendenzmässig ist davon auszugehen, dass man sich auf internationaler Ebene auf eine zulässige mittlere globale Erwärmung einigen wird (z.B. 1...2 °C) und dann in der Folge einen äquivalenten CO₂-Beitrag pro Staat festlegt. Wie dann innerhalb der Staaten die Reduktionsraten pro Spurengas festgelegt werden, ist im Ermessen der Staaten. Selbstverständlich geht es ohne internationale Kooperation nicht. So ist zum Beispiel denkbar, dass die Industriestaaten einen Beitrag zur Nichtabholzung der Tropenwälder werden leisten müssen (wegen der Abholzung ergibt sich eine grössere Zunahme der CO₂-Konzentration). Der Schritt vom Szenario A zum Szenario E ist drastisch und würde enorme Anstrengungen brauchen. Welches auch immer das gewählte Szenario sein wird: Die CO₂-Reduktion (Verminderung des Einsatzes fossiler Brennstoffe) wird für die Industrieländer einen hohen Stellenwert aufweisen. Das Kohlendioxid (anthropogen) leistet weltweit einen Beitrag von rund 50% zum Treibhauseffekt. In der Schweiz ergeben sich die Zahlen gemäss Tabelle II.

Übrigens: Auch die festgestellte Zunahme der Methankonzentration ist problematisch; die Ursachen für diese Zunahme sind die Zunahme des Reisanbaus, der Rinderhaltung und der Biomassenverbrennung (Brandrodung) in den Tropen, der Abbau von Stein- und Braunkohle, Emissionen aus Mülldeponien sowie Verluste bei der Erdgas- und Erdölgewinnung und Erdgasversorgung.

Situation und Verbesserungspotential beim Verkehr

Der Verkehr ist bezüglich Stickoxid- und CO₂-Emissionen nicht unschuldig, was zusammengefasst in Figur 4 dargestellt ist. Wir haben es dabei sowohl mit einem lokalen (NO_x, O₂) als auch einem globalen (CO₂) Problem zu tun.



Figur 4 CO₂/NO₂-Produktion der schweizerischen Diesel- und Ottopopulation

- CO₂ Kohlendioxidausstoss
- NO₂ Stickoxidausstoss
- Prognose
- Techn. Potential bei gleicher Transportleistung

Basierend auf den Überlegungen, welche in der Tabelle I dargestellt sind und aufgrund einiger zusätzlicher Gedanken, sind in Figur 4 die technischen Potentiale zur Verbesserung der

Brennstoff	CO ₂ -Produktion [Mt/a]
Heizöle	20
Benzin	10,4
Diesel	2,9
Flugpetrol	3

Tabelle II Approximative CO₂-Produktion in der Schweiz 1987

Emissionswerte für das Jahr 2000 und später dargestellt, dies bei gleicher Transportleistung wie bei den prognostizierten Zahlen. Es ist natürlich eine offene Frage, ob diese Annahme (gleiche Transportleistung) zutreffen wird. Nicht unerwartet ist das Verbesserungspotential beim PW-Verkehr bedeutend grösser als beim Nutzfahrzeugverkehr. Fraglos – mindestens in der Schweiz – wird man den Brennstoffverbrauch des PW diskutieren (dies immer unter der Voraussetzung, dass man willens ist, die CO₂-Emission abzusenken). In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob ein Verbrauchsstandard definiert oder alternativ von einer sogenannten C-Steuer (Kohlenstoffsteuer) ausgegangen werden soll. Der Autor dieses Artikels geht von letzterer Variante aus.

Solange fossile Brennstoffe eingesetzt werden, ist die CO₂-Produktion in erster Näherung proportional zum Brennstoffumsatz (ganz anders wäre die Situation beim Einsatz von Wasserstoff, da keine CO₂-Emission). Zusätzlich ist es so, dass mit einer gegebenen Abgasemissionsminderungs-Technologie die heute reglementierten Emissionen in guter Näherung proportional zum Brennstoffumsatz sind. Aus diesen Äusserungen folgt, dass der Brennstoffverbrauch reduziert werden muss.

Die grosse Dieselmachine, wie sie für Schiffsantriebe und auch für die Erzeugung von elektrischem Strom eingesetzt wird, ist sowohl heute als auch für die absehbare Zukunft die thermische Maschine, welche mit einer vergleichsweise einfachen Prozessführung die höchsten effektiven thermischen Wirkungsgrade¹⁾ über 50% erreicht. Und diese Maschine ist keinesfalls am Ende ihrer Entwicklung angelangt.

Im Vergleich dazu beträgt der Wirkungsgrad eines Benzinmotors in einem Auto, welches nach dem FTP-75-Testzyklus²⁾ betrieben wird, nur rund 12% (Traktionsenergie an den Rädern, bezogen auf die Energie im Brennstoff). Dies erscheint als ein scheinbarer Widerspruch zur obigen Aussage. Dem ist nicht so, weil das Auto im Vergleich zum Schiff haupt-

¹⁾ effektiver thermischer Wirkungsgrad = abgegebene mechanische Arbeit, bezogen auf die zugeführte Energie im Brennstoff (unterer Heizwert).
²⁾ FTP 75: Federal Test Procedure 1975 (USA)

sächlich bei Teillast mit schlechtem Wirkungsgrad betrieben wird und, was sehr stark ins Gewicht fällt, weil die Bremsenergie nicht rekuperiert werden kann (die kinetische Energie des Fahrzeugs wird in den Bremsen in Reibungswärme umgesetzt).

Zudem ist noch der Wirkungsgrad des Getriebes und allfälliger Wandler zu berücksichtigen. Schliesslich ist zu beachten, dass der Ottomotor generell einen ungünstigeren Wirkungsgrad hat als der Dieselmotor.

Im folgenden sollen nun verschiedene Techniken, welche geeignet sind, sowohl Brennstoffverbrauch als auch Emissionen (inkl. Lärm) zu senken, kurz erläutert werden.

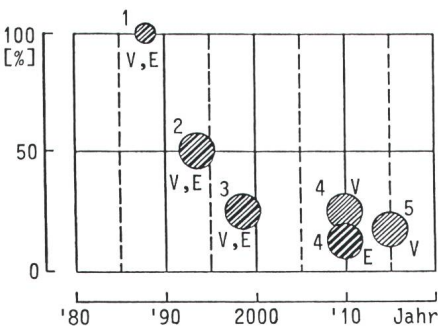
Denkbare zukünftige Entwicklungen

Im folgenden sollen nun schwerge- wichtig die im Zusammenhang des Be- triebs von mit Verbrennungsmotoren ausgerüsteten Autos, eingesetzt in städtischen Verhältnissen mit grosser Verkehrsdichte und häufigem Anhalten und Anfahren, auftretenden Probleme diskutiert werden. Die Folgen dieser genannten Betriebsweise sind:

- hoher Brennstoffverbrauch wegen tiefen Teillastbetriebs und Nichtre- kuperation der Bremsenergie
- Lärmbelastung durch Beschleunigung
- erhöhte Abgasemissionen

Lösungsansätze

Sowohl organisatorische als auch technische Lösungen sind denkbar und werden z.T. realisiert.



Figur 5 Denkable Antriebskonzepte für Automobile, Verbrauch und Emissionen

- V Brennstoffverbrauch [l/100 km]
- E Schadstoffemissionen [g/km]
- 1 Auto mit VM, heute
- 2 Auto mit VM und im Leichtbau
- 3 VM-Hybrid (Mech., EC) + Leichtbau
- 4 VM/H₂-Hybrid + Leichtbau
- 5 Brennstoffzellen-Hybrid + Leichtbau

	Emissionen	Verbrauch	Stadt-Emissionen	Reichweite	Kosten
heute (Ref.)	0	0	0	0	0
VM + Leichtbau	-	-	-	0	+
VM-Elektro-Hybrid + Leichtbau	-- 1)	-- 1)	--- 1)	0	++
VM-Mech. Hybrid + Leichtbau	--	--	--	0	++
Elektromobil + Leichtbau	--- 1)	-- 1)	--- 1)	--	++

Figur 6 Denkable Antriebskonzepte für Automobile und deren Bewertung

- VM Verbrennungsmotor
- 1) abhängig von der Art der Stromproduktion
- 0 Referenz - weniger
- + mehr -- viel weniger
- ++ viel mehr --- sehr viel weniger

- organisatorische Lösungsansätze
 - nur Individualverkehr, welcher in die Stadt hinein oder aus ihr hinaus will, ist in der Stadt erlaubt (kein Transit); Minderung des Anteils der Einzelfahrten
 - entweder flüssiges Fahren mit grüner Welle oder überhaupt kein Fahren (Verflüssigung des Verkehrs, «stop and go» vermeiden)
 - klare Trennung zwischen öffentlichem Verkehr/privatem Verkehr/Fussgängern; Nahtstellen sauber lösen
 - Verkehrsleitsysteme
 - usw.
- technische Lösungsansätze
 - Verbrennungsmotor in kleinem Leichtbaufahrzeug³⁾
 - Verbrennungsmotor-Elektro-Hybrid in kleinem Leichtbaufahrzeug
 - Verbrennungsmotor-Mechanik (Hydraulik)-Hybrid in kleinem Leichtbaufahrzeug
 - Elektroantrieb in kleinem Leichtbaufahrzeug
 - Langfristig sind Antriebe mit Wasserstoff und Brennstoffzellen denkbar

Die Figur 5 zeigt nun eine grobe Übersicht der erwähnten technischen Konzepte mit der Beurteilung ihres Brennstoffverbrauchs und ihrer Abgasemissionen. Über Motor- und Getriebeentwicklung soll im folgenden nicht

³⁾ diese Fahrzeuge müssen selbstverständlich die autoüblichen Sicherheitsstandards erfüllen

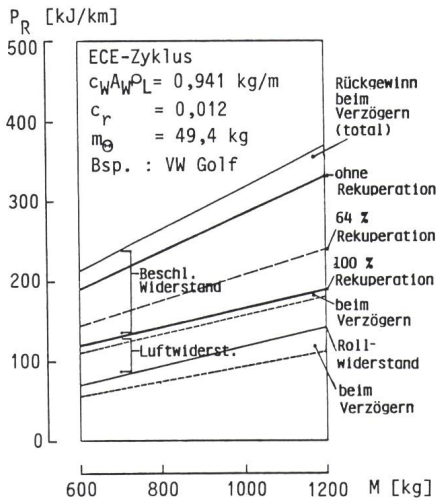
gesprochen werden; fraglos ist es so, dass ein Verbesserungspotential besteht, dieses allein aber kaum genügt, drastische Verbesserungen zu realisieren. Diese Schritte wären der integrale Bestandteil praktisch eines jeden weitergehenden Konzeptes.

Was auch immer das zukünftige Antriebskonzept (und auch der Brennstoff) sein wird, die Fahrzeugmassen müssen drastisch gesenkt werden, sofern eine grosse Emissionsreduktion (inkl. CO₂) erreicht werden soll. Diese Aussage gilt auch für einen allfälligen Betrieb mit Wasserstoff, da dieser vorwiegend durch Elektrolyse erzeugt würde. Mit der Speicherung von Wasserstoff könnte allerdings das Problem der Elektrizitätsproduktion gemildert werden, da er ja in Zeiten geringeren Strombedarfs produziert werden könnte.

Die Figur 6 illustriert, warum der *Verbrennungsmotor-Elektro-Hybrid*, mindestens mittelfristig, eine reelle Chance hat. Langfristig ist ein reiner Elektroantrieb für gezielten Einsatz denkbar, doch die vergleichsweise geringe Energie- und Leistungsdichte heutiger Batterien schränkt die Reichweite stark ein, und zudem ist die Elektrovariante bis heute sehr unwirtschaftlich. Aus den genannten Gründen erscheint der im folgenden näher definierte *Verbrennungsmotor-Elektro-Hybrid* als eine sinnvolle Kompromissvariante. Mit diesem Ausblick auf Elektroantriebe als Hybrid- oder reines Elektrofahrzeug ist die Aussage im Titel dieses Artikels verständlich – Autos der Frühzeit hatten auch Elektroantrieb!

Die Figur 7 zeigt in eindrücklicher Weise den Einfluss der Masse auf den Verbrauch, dargestellt für den sog. ECE-Zyklus⁴⁾. Im gleichen Diagramm ist veranschaulicht, was mit *Rekuperation* gewinnbar wäre. Ähnliche Ergebnisse werden mit dem bei uns üblichen FTP-Zyklus gefunden.

Im folgenden soll nun das Hybridkonzept näher erläutert werden.

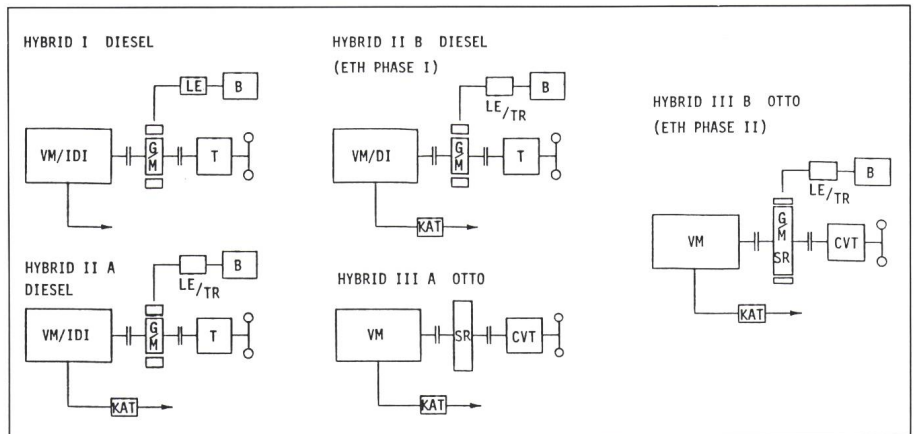


Figur 7 Energieverbrauch am Rad

- M Fahrzeugmasse inkl. 100 kg Zuladung
- P_R Energieverbrauch am Rad
- c_w Luftwiderstandszahl
- A_w Stirnfläche
- ρ_L Luftdichte
- C_R Rollwiderstandszahl
- m_θ Zusatzträgheit durch rotierende Teile

in der Folge für die Beschleunigung des Fahrzeugs genutzt werden kann. Der getaktete Motorbetrieb erlaubt andererseits, den Verbrennungsmotor vornehmlich im Bereich eines guten Wirkungsgrades zu betreiben. Die Elektrokomponente, d.h. der Elektromotor, ermöglicht bei niedrigen Durchschnittsleistungen einen reinen, lärm- und emissionsfreien Elektrobe-

zeuges sind jene des herkömmlichen Personenwagens, was bei reinem Elektrobetrieb nicht möglich wäre, weil es zu einem unakzeptablen Batteriegewicht führen würde. Ein Hybridbetrieb mit einer rein elektrischen Reichweite von etwa 22 km und 6kW elektrischer Leistung stellt dabei einen vernünftigen Kompromiss zwischen Reichweite und Fahrzeugmasse dar,



Figur 8 Hybridkonzepte

- VM Verbrennungsmotor
- IDI indirekteinspritzender Diesel
- DI direkteinspritzender Diesel
- G/M Generator/Motor auf normalem Schwungrad
- LE Leistungselektronik
- TR transistorisiert
- B Batterie
- T Transmission (Getriebe)
- CVT kontinuierlich variable Transmission
- KAT Abgasnachbehandlung
- SR schweres Schwungrad

Hybridfahrzeug

Unter einem Hybrid versteht man hier in erster Linie ein gemischtes elektrisch-verbrennungsmotorisches Antriebskonzept, welches für die Kurzzeitergiespeicherung z.B. zusätzlich mit einem Schwungrad ausgerüstet werden kann. Eine Variante hiervon ist die Verbrennungsmotor-Schwungrad-Kombination, mit im Vergleich zum üblichen im Verbrennungsmotor vorhandenen Schwungrad bedeutend grösserem Massenträgheitsmoment, was unter Zuhilfenahme eines stufenlosen Getriebes einen getakteten Betrieb des Verbrennungsmotors oder eine Vergleichsmässigung der Elektromotor-Leistung ermöglicht. Der Kurzzeitspeicher gestattet einerseits die Rekuperation der Bremsenergie, welche

trieb; damit sind auch die Betriebsbereiche niedrigen Wirkungsgrades des Verbrennungsmotors eliminiert.

Die Figur 8 zeigt schematisch verschiedene Konzepte; der zugehörige erwartete Energieverbrauch und die Emissionen sind in Figur 9 dargestellt.

Der *Hybrid I* (Diesel) entspricht einer bereits heute durch die VW AG der Öffentlichkeit vorgestellten Variante. Dieses Antriebskonzept wurde von VW besonders für den Stadt- und Pendlerverkehr optimiert und entwickelt. Bei stehendem Fahrzeug läuft keiner der beiden Motoren. Im Stadt- und Kolonnenverkehr bis ca. 60 km/h ist – ausser bei stärkeren Beschleunigungen oder Steigungen – nur der Elektromotor in Betrieb. Die gasförmigen Emissionen sind gleich Null, die Lärmemissionen sind vernachlässigbar klein. Bei grösseren Geschwindigkeiten, Beschleunigungen oder Steigungen übernimmt ein Dieselaggregat den Antrieb. Reichweite und Ausstattung des Fahr-

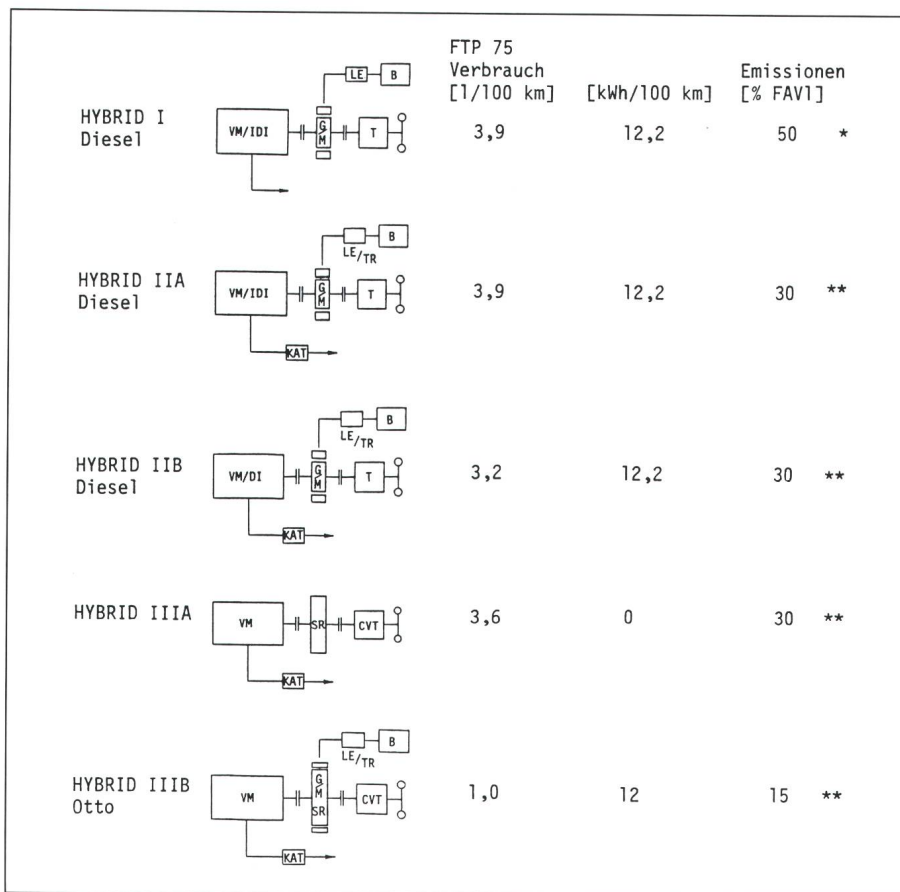
stets mit dem Ziel minimalen Verbrauchs und geringer Abgasemissionen.

Ein Schwerpunkt der Entwicklung war bei VW der sehr kompakte und leichte Elektromotor. Ferner war die Entwicklung einer Leistungs- sowie einer Regelelektronik mit geeigneten Strategien und Komponenten, um den Einsatz des einen oder anderen Motors in Abhängigkeit des Fahrzustandes zu steuern, ein anspruchsvolles technisches Problem. Die Batterien werden mit Netzstrom aufgeladen.

Der Verbrennungsmotor ist ein optimierter Wirbelkammerdiesel. Die Wahl des Dieselmotors liegt darin begründet, dass der optimierte Wirbelkammerdiesel in allen Schadstoffen (ausser Partikel) so gut ist wie ein Ottomotor mit 3-Weg-Katalysator (FAV 1)⁵⁾, sein Brennstoffverbrauch (in kg

⁴⁾ ECE-Zyklus: Economic Commission of Europe

⁵⁾ FAV1: Fahrzeug-Abgasverordnung



Figur 9 Erwartete Ergebnisse

* gemessen

** geschätzt

FTP 75 Federal Test Procedure 1975 (USA)

FAV 1 Fahrzeug-Abgasverordnung

und somit die CO₂-Produktion jedoch um etwa 10% tiefer liegt.

Mit dem Hybrid-I-Prototyp wurden folgende Kennwerte erreicht:

- im Stadtverkehr bei nur schwacher Beschleunigung und ebener Strecke: Abgasemissionen und Brennstoffverbrauch null (nur Stromverbrauch)
- im FTP-75-Zyklus: Verbrauch 3,9 l Dieselöl und 12,2 kWh Strom; Emissionen 50% der FAV1-Werte.

Der Hybrid I hat sich somit als besonders abgasarmes Antriebskonzept gerade dort erwiesen, wo das Abgasproblem am bedeutendsten ist: in Stadt- und Ballungszentren. Der Verbrauch an Dieselöl und damit die CO₂-Produktion liegen im FTP-75-Zyklus über 40% unter dem Serie-Golf mit Dieselmotor, da bei der in der Schweiz üblichen Stromproduktion mittels Wasserkraft, Kernenergie (und in Zukunft teilweise mit Sonnenenergie) kein CO₂ entsteht.

Das Hybrid-I-Konzept soll nun weiterentwickelt werden, und, zusam-

men mit der Stadt Zürich, wollen die ETH und VW einen zweijährigen Flottenversuch durchführen. Die Weiterentwicklung besteht aus zwei Hauptschritten, die Hybrid IIA und Hybrid IIB genannt werden. Der *Hybrid IIA* wird aufgeladen sein, über einen Oxidationskatalysator verfügen und eine Transistor-Leistungselektronik haben. Die Aufladung reduziert die Stickoxidemissionen und den Rauch. Der Katalysator ermöglicht, sowohl die HC-, die CO- als auch die Partikelemissionen erheblich weiter zu reduzieren. Mit der Transistor-Elektronik wird der Wirkungsgrad des elektrischen Teils erhöht. Ferner sollen beim Hybrid IIA auch verschiedene Batterien mit erhöhter Energiedichte erprobt werden. Die wesentlichsten Daten des Hybrid IIA, ausgerüstet mit Ni-Cd-Batterien, sind in Tabelle III angegeben. Die Spezifikationen des *Hybrid IIB* sind im Prinzip gleich wie beim IIA, jedoch in den folgenden Punkten geändert: *Direkteinspritzender (DI)* Dieselmotor 1,7 l, 44 kW und gesteuerte Abgasrückführung, wobei eine weitere Reduk-

tion des Brennstoffverbrauchs um 15% möglich erscheint.

Beim DI-Motor wird ein aus langjähriger Forschungstätigkeit (siehe [2,3]) am Labor für Verbrennungsmotoren der ETHZ entstandenes zukunftsweisendes, *elektronisch gesteuertes Einspritzsystem* verwendet, welches prinzipiell entwickelt ist, dessen Auswirkungen in bezug auf die Optimierung der Motorverbrennung jedoch noch nicht ausreichend untersucht worden sind. Ein wesentlicher Bestandteil der Entwicklungsarbeit des Hybrid IIB besteht folglich darin, die Optimierungsmöglichkeiten der Motorverbrennung mit dem neuen Einspritzsystem zu untersuchen und eine optimale Parameterwahl zu treffen. Damit sollen Möglichkeiten zur weiteren Reduktion von Schadstoffen, Lärm und Verbrauch aufgezeigt werden. Wie bisherige Versuche zeigen, werden mit dieser Einspritzung tiefe Stickoxidwerte bei gleichzeitig niedrigen Lärmemissionen erreicht; dies bei bedeutend besseren Verbrauchswerten im Vergleich zum Indirekteinspritzer. Ausserdem ist in Zusammenarbeit zwischen ABB und dem Laboratorium für Verbrennungsmotoren ein Konzept für geregelte Abgasrückführung entwickelt worden, welches ein grosses Potential für niedrige Emissionen bei gutem Verbrauch ermöglicht. Dieses Konzept wurde im Zusammenhang mit dem Aufladeaggregat *Complex* ausgeführt, ist aber allgemeingültig [4]. Zusätzlich soll deshalb der Motor mit einer analogen, an der ETHZ zu entwickelnden geregelten Abgasrückführung ausgerüstet werden, die die Stickoxide optimal absenkt, ohne den Verbrauch und die Rauchwerte merklich zu verschlechtern.

Die ETHZ beschäftigt sich nebst dem Konzept IIB mit der *Variante III*.

Basistyp	VW Golf Diesel
Motorenleistung [kW]	
Diesel IDI 1,6l	40
Elektromotor	6
Massen [kg]	
Leermasse	1065
Nutzlast	365
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	
Diesel	145
Elektrisch	≥ 60

Tabelle III Daten des Hybrid II a

Das ultimative Ziel der ETH ist es, einen Antriebsstrang nach IIIA oder B in ein Leichtfahrzeug einzubauen. Die Konzepte IIIA und B basieren auf Ottomotoren mit Dreiwegkatalysatoren, Schwunrädern, CVT-Getrieben und – im Fall IIIB – auch einem Elektromotor/Generator-Teil. Diese beiden Varianten sind aufwendig, sollten aber noch bessere Ergebnisse liefern, da im Stadtbetrieb eine effiziente Bremsenergie-Rekuperation sowie Taktbetrieb des Verbrennungsmotors möglich sind.

Es ist nun geplant, mittels einer Hybridfahrzeugflotte (41...50 Stück ab 1991) in der Stadt Zürich und deren Agglomeration verschiedene Varianten der erwähnten Verbrennungsmotor-Elektro-Hybride in Kundenhand während eines rund zwei Jahre dauernden Feldversuchs zu evaluieren. Ziele sind dabei:

- statistisch auswertbares Datenmaterial zu sammeln, bezüglich
- Emissionen und Verbrauch im realen Stadtverkehr
- Akzeptanz bei Fahrern und anderen Verkehrsteilnehmern

- Betriebskosten in der Praxis
- Lebensdauer der Batterien vom Typ Pb-Gel, Ni-Cd, Na-S (ABB) unter speziellen Hybrid-Bedingungen
- Grundlagen für die Entscheidungsfindung der öffentlichen Hand betreffend denkbarer zukünftiger Konzepte
- Politiker und Öffentlichkeit auf technische Systeme aufmerksam zu machen, welche verschiedene mit dem Individualverkehr verbundene Probleme zu lösen vermögen
- Unterlagen für gezielte technische Weiterentwicklung zu liefern

Schlussfolgerungen

Lokale Luftqualitätsprobleme erfordern eine weitere Absenkung der Abgasemissionen von Fahrzeugen. Auch gilt es, den Lärm zu reduzieren. Eine mögliche Alternative zur bisherigen Fahrzeugtechnik bildet daher das Hybridkonzept, welches nach dem heutigen Stand der Technik einen guten Kompromiss zwischen reinem Verbrennungsmotor- und Elektroantrieb

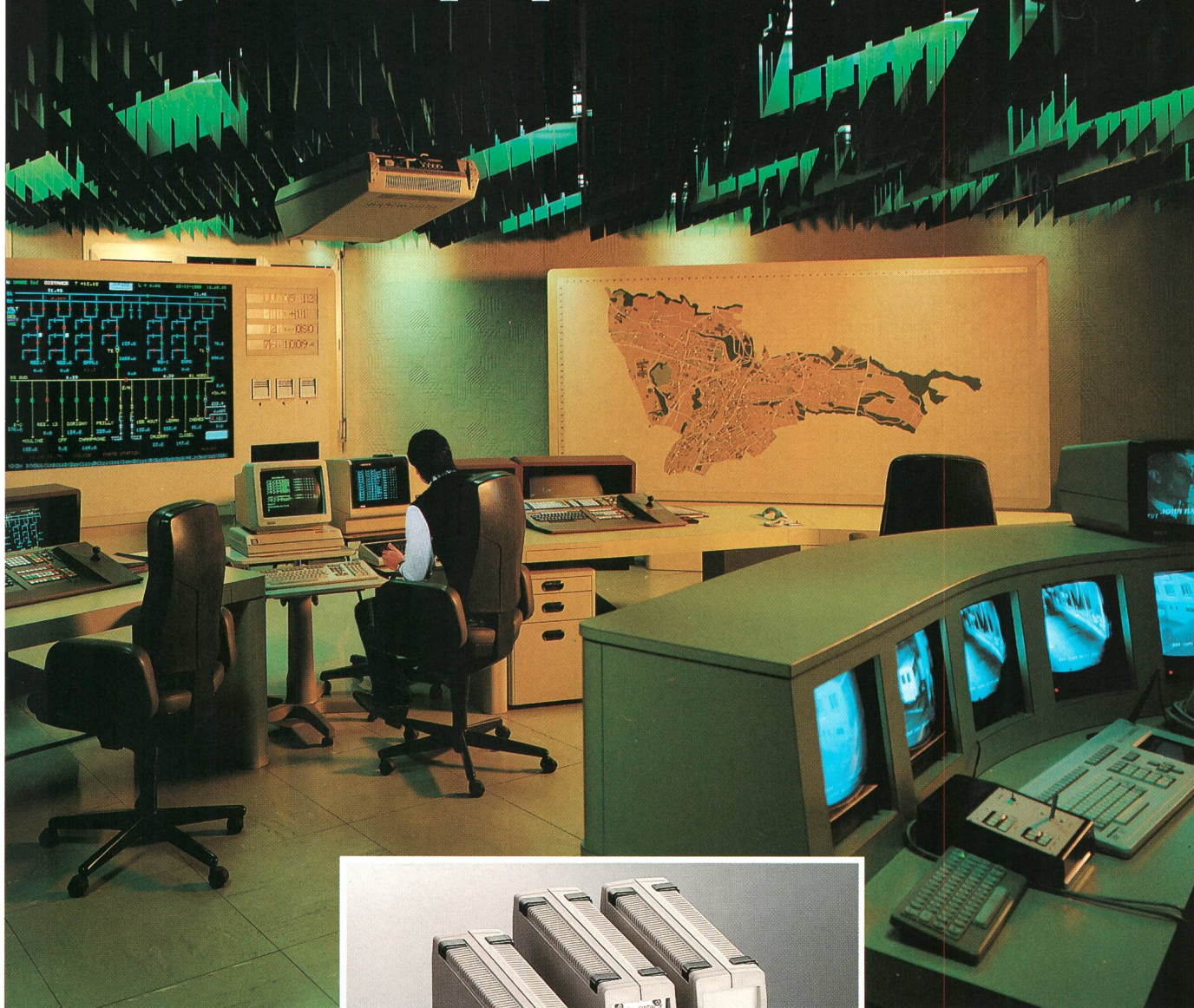
darstellt und erlaubt, die Nachteile beider Varianten zu reduzieren.

In Zukunft muss mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit die Emission der zum Treibhauseffekt beitragenden Spurengase wie CO₂ drastisch gesenkt werden. Beim Individualverkehr sind hierzu Fahrzeugleichtbau, Hybridantriebe bis inkl. reiner Elektroantrieb denkbare Lösungen.

Literatur

- [1] Schutz der Erdatmosphäre, eine internationale Herausforderung. Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit. Bonn, 1988.
- [2] M. Ganser: Akkumuliereinspritzung: theoretische und experimentelle Untersuchung eines elektronisch gesteuerten Dieseleinspritzsystems für Personenwagen. Dissertation der ETH Nr. 7462. Zürich, 1984.
- [3] A. T. de Neef: Untersuchung der Voreinspritzung am schnelllaufenden, direkteingespritzten Dieselmotor. Dissertation der ETH Nr. 8292. Zürich, 1987.
- [4] E. Pauli und A. Amstutz: Regelstrategie zur Emissionsminimierung. 3. Aufladetechnische Konferenz, Zürich, ETH, Laboratorium für Verbrennungsmotoren, September 1988.

Les communications de l'an 2000 exigeront encore plus de performances. Les systèmes optiques, nous les avons déjà.



Les systèmes de transmission optiques que nous vous proposons sont le fruit de notre expérience.

Premier en Suisse à s'être intéressé au développement des câbles à fibres optiques, Câbles Cortaillod réalise des installations clés en mains pour la communication des données, de la voix et de l'image. Notre division «Systèmes optiques» vous propose un



service complet: conseils, élaboration des projets, développement et fabrication des câbles, des accessoires et des interfaces, pose et montage...

Un exemple de notre compétence: la gamme «OPTIBOX», composée d'interfaces optiques et électroniques d'une qualité

éprouvée, pour l'informatique, la téléaction, le télécontrôle et la signalisation, la transmission vidéo...

CH-2016 CORTAILLOD/SUISSE
TÉLÉPHONE 038 / 44 11 22
TÉLÉFAX 038 / 42 54 43
TÉLEX 952 899 CAB C H



CABLES CORTAILLOD
ÉNERGIE ET TÉLÉCOMMUNICATIONS

Une technologie avancée... des services... la sécurité...