

**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:** 72 (1981)

**Heft:** 4

**Artikel:** Nutzung von Sommerelektrizität zur Substitution von Automobiltreibstoffen

**Autor:** Taube, M.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-905081>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.01.2025

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

# Nutzung von Sommerelektrizität zur Substitution von Automobiltreibstoffen

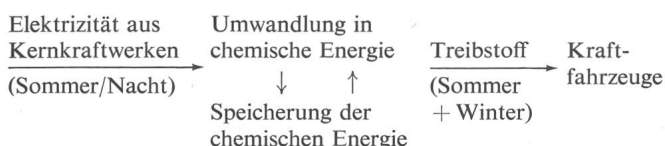
Von M. Taube

Die elektrische Energie, welche in der Schweiz in den Schwachlastzeiten in der Nacht anfällt, könnte für die Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse genutzt werden. Der Wasserstoff würde chemisch in flüssigem Methylcyclohexan gebunden. Dieser flüssige Wasserstoffträger mit rund 6 Gewichtsprozent Wasserstoff würde als Treibstoff für Lastwagen genutzt, indem der Wasserstoff zum Antrieb verwendet würde. Ein solches System könnte mit einem Energieeinsatz von rund 0,7 GW (el) und 2,1 TWh (el) im Jahre 2000 in 35 regionalen Anlagen Ersatztreibstoff für etwa 4000 Lastwagen und Busse erzeugen. Im Jahre 2015 könnten sich diese Zahlen verdoppeln.

## 1. Zielsetzung

Die zeitliche Struktur der Elektrizitätsproduktion in der Schweiz zeigt spezifische Eigenschaften. Im Sommerhalbjahr erreicht die Produktion etwa 54% der ganzjährigen Produktion, hingegen der Verbrauch nur etwa 46% des ganzjährigen Strombedarfs. Diese Situation ist durch den relativ grossen Anteil der erzeugten Bandenenergie entstanden; früher waren das nur die Laufwasserkraftwerke, in neuerer Zeit tragen nun auch die Kernkraftwerke zur Bandenenergieproduktion bei. Der relativ grosse Anteil an Bandenenergieproduktion aus den Laufwasserkraftwerken und aus Kernkraftwerken wie auch die vorhandenen Speicherkapazitäten rufen in nächster Zukunft nach neuen Lösungen.

Eine Möglichkeit zur Verwertung der Überschussenergie im Sommerhalbjahr, welche in der Nacht und an Wochenenden anfällt, könnte ein System sein, das auf der saisonalen Speicherung der Energie eines Treibstoffes basiert. Ein solches System könnte folgendermassen aufgebaut sein:



Es gibt mehrere Möglichkeiten zur langfristigen Speicherung von Energie. Hier soll das MTH-System (M = Methylcyclohexan, T = Toluol; H = Hydrogen [Wasserstoff]) vorgestellt werden:

## 2. Kurze Beschreibung des MTH-Systems

Das MTH-System basiert auf folgenden Schritten (Fig. 1):

- Die Basiskraftwerke erzeugen elektrische Energie (Sommerhalbjahr, Nacht und Wochenende).
- Die elektrische Energie wird in einem Elektrolyseur in chemische Energie des freien Wasserstoffes umgewandelt (mit einem Wirkungsgrad von rund 70%).
- Der Wasserstoff wird in Toluol eingelagert und in Form von hydriertem Toluol (Methylcyclohexan, flüssig) für die Speicherung vorbereitet. Der Wasserstoffträger enthält etwa 6,2 Gewichtsprozent Wasserstoff.
- Der Wasserstoff aus 5 l Toluol entspricht als Treibstoff etwa einem Benzinäquivalent von 1 l.
- Wasserstoff wird mittels eines katalytischen Prozesses vom Träger abgespalten (Wirkungsgrad etwa 90%). Der Was-

serstoff wird im Verbrennungsmotor direkt genutzt. Das Toluol, vom Wasserstoff befreit, wird an die Tankstelle zurückgeliefert. Nur etwa 10% des Toluols (Oktanzahl ~ 120) wird für den Kaltstart und den Leerlauf benötigt. f) Ein Teil des hydrierten Toluols wird gelagert. Eine solche saisonale Speicherung ist relativ billig. Ein normaler Treibstofftank kann verwendet werden: drucklos, nicht isoliert, etwa 5mal grösser als für Benzin. Im Winterhalbjahr werden die Fahrzeuge (Lastwagen und Busse) mit diesem gespeicherten Wasserstoffträger betankt.

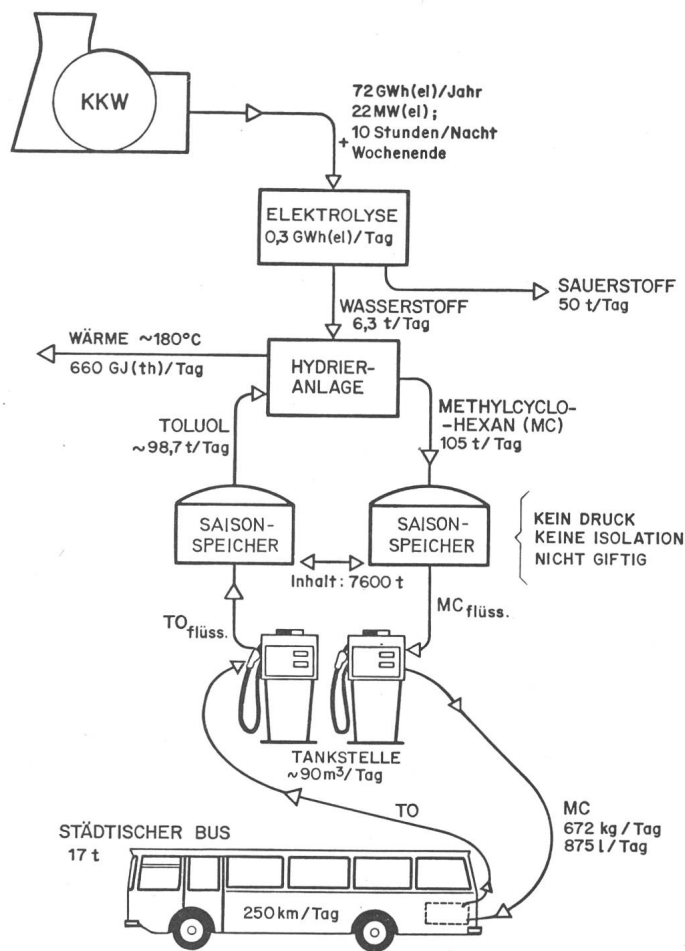


Fig. 1 Schema einer regionalen MTH-Anlage

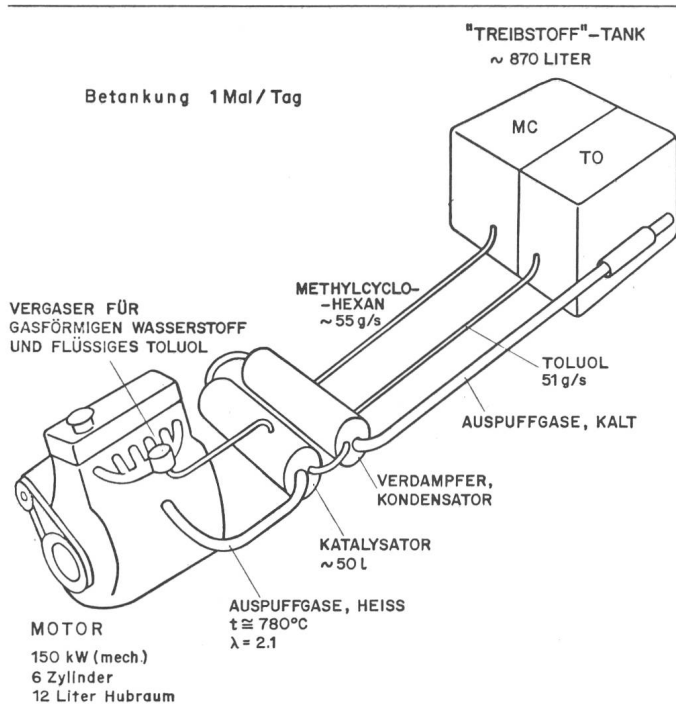


Fig. 2 Lastwagen, städtischer Bus, 250 km/Tag

Die Fig. 2 zeigt ein Schema eines Fahrzeuges, z.B. ein städtischer Bus (17 Tonnen) für rund 100 Passagiere, angetrieben von einem 6-Zylinder-Verbrennungsmotor mit 150 kW (mech.), einen katalytischen Reaktor für die Freisetzung von Wasserstoff und einem Tank für den «aufgeladenen» Energieträger (Methylcyclohexan) sowie den «entladenen» Energieträger (Toluol).

Es ist zu bemerken, dass die Abspaltung von freiem Wasserstoff aus dem Methylcyclohexan relativ viel Wärme benötigt (etwa  $\frac{1}{3}$  der Verbrennungswärme des Wasserstoffes). Diese Wärme kann im «verbesserten» Verbrennungsmotor aus den Auspuffgasen entnommen werden. Die Fig. 3 zeigt den kompletten Energiefluss im MTH-System.

Die Wärme aus den Auspuffgasen wie auch die «Abfallwärme» der Elektrolyse könnte in den regionalen Hydrierungsanlagen zurückgewonnen und im Falle eines Abnehmers (Fabrik, Spital, lokales Heizsystem) mit Vorlauftemperaturen von etwa 180 °C abgegeben werden; allerdings nur im Sommerhalbjahr (Fig. 3).

Die Tabelle I zeigt die wichtigsten technischen Parameter einer regionalen MTH-Anlage, welche eine Flotte von 100 Lastwagen oder Bussen beliefert.

### 3. Vor- und Nachteile

Das MTH-System hat folgende Vorteile:

- Verbraucht nur im Sommerhalbjahr elektrische Energie während der Nacht und am Wochenende, also nur dann, wenn in der Schweiz ein struktureller Überschuss an elektrischer Energie besteht.
- Speichert die Energie in Form von gebundenem Wasserstoff in relativ einfachen und damit kostengünstigen Tankanlagen.
- Die geschätzten Kosten der Speicherung des Wasserstoffes über die Periode Sommer-Winter (d.h. nur Kapitalkosten und Unterhalt für Toluol und Tanklager) beziffern sich schätzungsweise auf etwa 2 bis 2,5 Rp./kWh gespeicherter

Energie, was bei einem Wirkungsgrad von 70 % einem kWh-Preis von 3,0 bis 3,8 Rp. entspricht. Nicht enthalten sind darin die Kosten, verursacht durch die restlichen MTH-Anlageteile.

- Diese Speichermethode eignet sich nicht für eine spätere Umwandlung von Wasserstoff in elektrische Energie!
- Das System wirkt als Puffer im Falle einer unvorhergesehenen Senkung der Produktion der elektrischen Energie (z. B. schlechte Hydraulizität, Ausfall eines Kernkraftwerkes). Das System verfügt über «interne» Speichermöglichkeiten. Die Toluolmengen, also des Wasserstoffträgers, sind relativ gross. Für jedes Kilogramm Wasserstoff (Verbrennungswärme 120 MJ/kg H<sub>2</sub>) wird etwa 16 kg Toluol (à 42 MJ/kg) benötigt, der aber im Normalbetrieb nicht verbrannt wird. Im Falle von Engpässen in der Elektrizitätserzeugung im Sommer kann das MTH-System ohne jede Verzögerung und ohne jede Vorwarnung direkt auf die Verbrennung fossiler Treibstoffe oder wenn nötig sogar auf Verbrennung des Toluols umgeschaltet werden (der durchschnittliche Preis des Toluols entspricht etwa dem des Benzins).
- Die Infrastruktur des MTH-Systems ist der bestehenden Benzinverteilstruktur sehr ähnlich (technisch, umweltschutzmässig usw.), braucht aber ein etwa sechsfach so grosses Speichervolumen sowohl in den einzelnen regionalen Anlagen wie auch in den Fahrzeugen selbst.
- Das MTH-System ist unter diesen Voraussetzungen heute wirtschaftlich schon fast konkurrenzfähig gegenüber Benzin oder Dieselöl. Alle Berechnungen wurden aufgrund des Nettopreises des herkömmlichen Treibstoffes, also ohne Einbezug von Zoll, Steuern usw., durchgeführt.
- Das MTH-System kann die Zahlungsbilanz der Schweiz wesentlich entlasten und neue Arbeitsplätze schaffen.

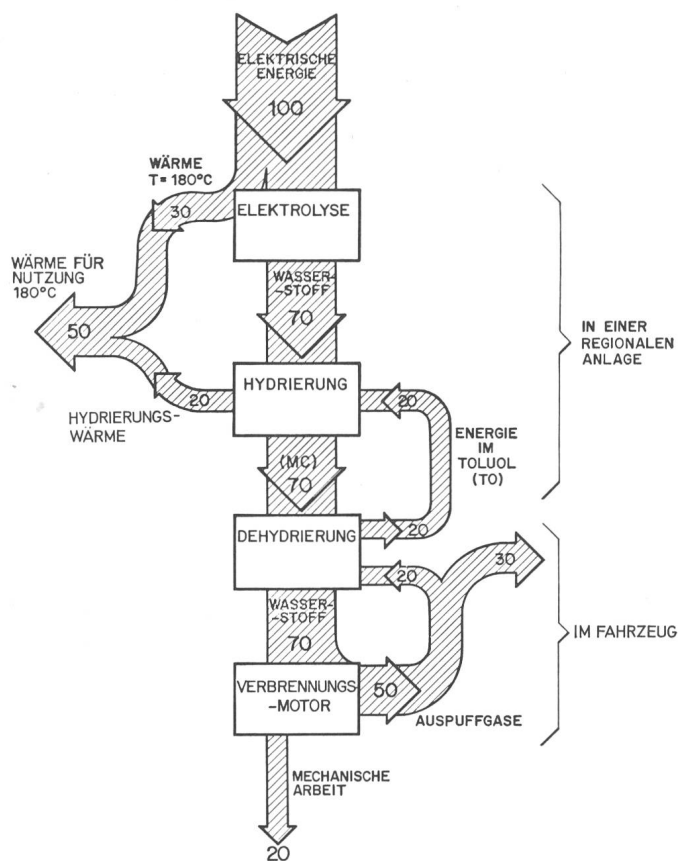


Fig. 3 Energiefluss in MTH-System

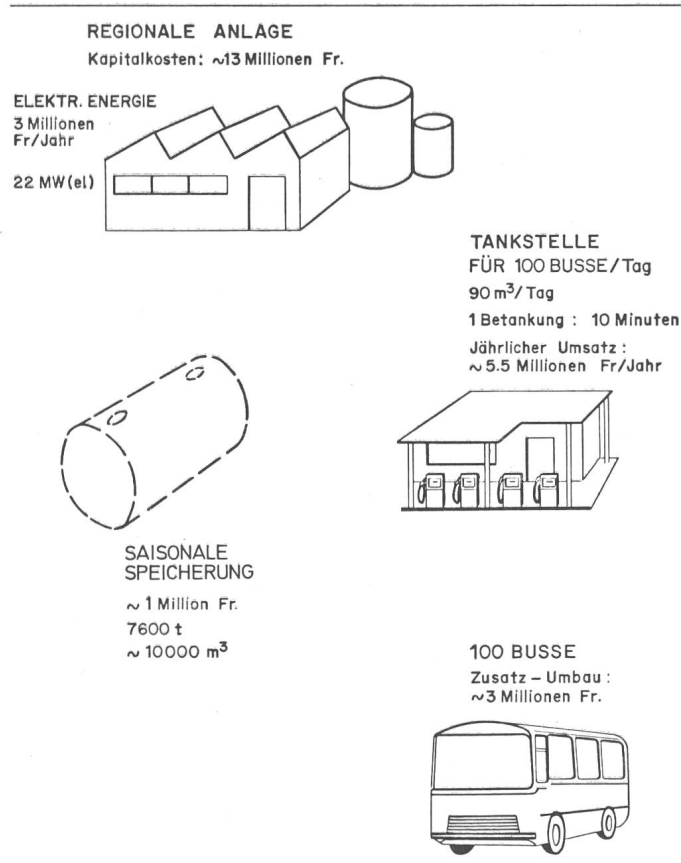


Fig. 4 Regionalanlage des MTH-Systems

- Alle Komponenten des Systems könnten schon heute in der Schweiz produziert werden, und zwar: Elektrolyseure grösserer Leistung; Hydrieranlagen; Katalysatoren für Hydrierung und Dehydrierung, kleine Dehydrierungsanlagen für Busse und Lastwagen, Verbrennungsmotoren für die Wasserstoffnutzung im Leistungsbereich von etwa 150 kW (mech.).
- Es sind keine neu zu entwickelnden Technologien erforderlich, aber eine optimalisierte Anlage für den ganzen Zyklus.
- Die Umweltfreundlichkeit des MTH-Verbrennungsmotors ist hoch: Auspuffgase sind gekühlt und enthalten nur Wasserdampf und sehr geringe Mengen Stickstoffoxyde (siehe auch Tabelle II).

Die Nachteile sind die folgenden:

- Der Katalysator ist eine komplizierte und schwache Stelle jedes Prozesses, speziell bei einer kleinen Anlage, wo im allgemeinen auf eine qualifizierte Überwachung verzichtet werden muss. Speziell negativ wirkt sich der unregelmässige Leistungsbedarf des Motors auf den Katalysator aus.
- In der Pilotphase der Entwicklung ist die Verbrennung von kleinen Mengen von Toluol (ca. 10 %) für den Kaltstart und für den Leerlauf erforderlich. Dadurch verschlechtert sich die Umweltfreundlichkeit des MTH-Systems.
- Für die Abwärme müssen Abnehmer gefunden werden: etwa 7 MW(th) pro Regionalanlage mit Temperaturen von rund 180 °C. Diese Wärme fällt nur im Sommer an.

Regionale MTH-Anlage

Tabelle I

Parameter	Einheit	Wert	Bemerkung
<i>Elektrolyseanlage</i>			
Leistung	MW(el)	22	Zwei Moduln
Arbeitstage	Tage/Jahr	200	Im Sommerhalbjahr
Arbeitsdauer	Stunde/Jahr	3 200	Nacht + Wochenende
Energie	GWh(el)/Jahr	72	
<i>Wasserstoffanlage</i>			
Wasserstoffanlage	Tonne/Tag	6,3	Hauptprodukt
Sauerstoffzeugung	Tonne/Tag	50	Nebenprodukt: gratis!
Methylcyclohexan	Tonne/Stunde	7,5	
<i>Speicheranlage (Sommer-Winter)</i>			
Toluol + Methylcyclohexan	{ Tonne m <sup>3</sup>	7 600 ~ 10 000	
Wasserstoffinhalt	Tonne	170	
Benzinäquivalent	Liter	2,2 × 10 <sup>6</sup>	{ Inklusive bessere Effizienz von Wasserstoff: 1,2
<i>Fernwärme und Sauerstoff</i>			
Fernwärme	°C	~ 180	Nur im Sommerhalbjahr
Mengen	Tage/Jahr	~ 130	
Mittlere Leistung (200 Tage)	MW(th)	6,7	Über den ganzen Tag gemittelt
<i>Tankstelle</i>			
Arbeitszeit	Tage/Jahr	350	} Über das ganze Jahr
Verkauf	kg H <sub>2</sub> /Tag	4 000	
Benzinäquivalent	Liter/Tag	18 500	
<i>Busse + Lastwagen (à 17 Tonnen-Wagen)</i>			
Zahl der Fahrzeuge	Zahl	100	} Über das ganze Jahr
Mittlere Fahrstrecke	km/Tag	250	
Totaler Weg	km/Tag	25 000	

Fahrzeug Distanz	MTH-Bus 17 t 250 km	Mercedes mit Wasserstoff-Treibstoff 150 km	Elektrofahrzeug 15 t 250 km
Menge der Energieträger	850 kg Methylcyclohexan, was 180 kg Dieselöl entspricht. Katalysator nicht gerechnet (etwa 100–200 kg)	300 kg Hydride, welche entsprechen: ~ 20 l Benzin (~ 15 kg Benzin) Wärmetauscher nicht gerechnet (etwa 50 kg)	5600-kg-Akkumulator Zink-Nickel-Oxyd 80 Wh (elekt)/kg
Spezifischer Energieinhalt, Äquivalent 1 kg Benzin	~ 7 kg Methylcyclohexan	20 kg Hydrid	46-kg-Akkumulator
Saisonale Speichermöglichkeit	Technisch möglich Wirtschaftlich günstig	Technisch möglich Wirtschaftlich sehr ungünstig	Technisch nicht möglich Wirtschaftlich extrem ungünstig

Die Entwicklung des MTH-Systems liesse sich etwa folgendermassen denken:

- Einführungsphase ab 1985. Jedes Jahr etwa 2 regionale MTH-Anlagen (Fig. 4) zu je rund 20 MW(el) auf dem Gelände einer chemischen Fabrik oder einem ähnlichen Industriebetrieb.
- Im Jahre 2000 erreicht das MTH-System die Hälfte seiner Endausbaukapazität mit 35 regionalen Stationen und einer totalen Leistung von etwa 700 MW<sub>el</sub>. Leistungsbedarf bei rund 3000 Betriebsstunden (200 Tage) im Sommerhalbjahr; totaler Verbrauch etwa 2,1 TWh<sub>el</sub>.

Substituierte Ölprodukte:

- Treibstoff + Heizöl: rund 700000 Tonnen (d.h. etwas weniger als 4 Prozent des geschätzten Verbrauches der Schweiz im Jahre 2000).
- Im Jahre 2015 erreicht das MTH-System seine obere Grenze mit folgendem Ausbaugrad:  
rund 70 regionale Stationen mit einer total installierten Leistung von rund 1,4 GW<sub>el</sub> und einem jährlichen Energieverbrauch im Sommerhalbjahr (200 Tage) von etwa 4 TWh<sub>el</sub>. Die Zahl der Busse und Lastwagen (à 15 bis 17 Tonnen) würde damit etwa 8000 erreichen.

Adresse des Autors

Prof. Dr. M. Taube, Eidg. Institut für Reaktorforschung, 5303 Würenlingen.

## Verbandsmitteilungen des VSE – Communications de l'UCS



### 92. Kontrolleurprüfung

Vom 16.–18. Dezember 1980 fand in Luzern die 92. Prüfung von Kontrolleuren für elektrische Hausinstallationen statt. Von den insgesamt 10 Kandidaten haben 9 die Prüfung bestanden. Es sind dies:

*Ballabeni Alessandro*, Bellinzona TI  
*Brennwald Albert*, Männedorf ZH  
*Egger Markus*, Eggersriet SG  
*Gerber Walter*, Sumiswald BE  
*Schlatter Paul*, Schlossrued AG  
*Schult Horst*, Basel-Stadt  
*Senn Hans-Ulrich*, Hombrechtikon ZH  
*Vez Marius*, Seiry FR  
*Wehrli Hermann*, Küttigen + Wettingen AG

Eidg. Starkstrominspektorat

### Kontrolleurprüfung

Die nächste Prüfung für Kontrolleure findet voraussichtlich im April 1981 in Luzern statt.

Interessenten wollen sich beim Eidg. Starkstrominspektorat, Seefeldstrasse 301, Postfach, 8034 Zürich, bis spätestens am 28. Februar 1981 anmelden.

Dieser Anmeldung sind gemäss Art. 5 der Verordnung über die Prüfung von Kontrolleuren für elektrische Hausinstallationen beizufügen:

- ein Leumundszeugnis (nicht älter als drei Monate);
- ein vom Bewerber verfasster Lebenslauf;

### 92<sup>e</sup> examen de contrôleurs

Le 92<sup>e</sup> examen de contrôleurs d'installations électriques intérieures a eu lieu à Lucerne du 16–18 décembre 1980. Des 10 candidats 9 ont passé l'examen avec succès. Ce sont:

*Ballabeni Alessandro*, Bellinzona TI  
*Brennwald Albert*, Männedorf ZH  
*Egger Markus*, Eggersriet SG  
*Gerber Walter*, Sumiswald BE  
*Schlatter Paul*, Schlossrued AG  
*Schult Horst*, Basel-Stadt  
*Senn Hans-Ulrich*, Hombrechtikon ZH  
*Vez Marius*, Seiry FR  
*Wehrli Hermann*, Küttigen + Wettingen AG

Inspection fédérale des installations à courant fort

### Examens pour contrôleurs

Les prochains examens pour contrôleurs d'installations électriques auront lieu dans le courant du mois d'avril 1981 à Lucerne.

Les intéressés sont priés de s'annoncer à l'Inspection fédérale des installations à courant fort, Seefeldstrasse 301, case postale, 8034 Zurich, jusqu'au 28 février 1981.

Conformément à l'article 5 de l'Ordonnance relative aux examens pour contrôleurs d'installations électriques intérieures, il y aura lieu de joindre à la demande d'inscription:

- un certificat de bonne vie et mœurs (n'ayant pas été délivré depuis plus de trois mois);