

# Ökobilanz von Li-Ion Batterien für Elektrofahrzeuge

***Hans-Jörg Althaus***

*Dominic Notter, Marcel Gauch, Rolf Widmer,  
Patrick Wäger, Anna Stamp, Rainer Zah*

[hans-joerg.althaus@empa.ch](mailto:hans-joerg.althaus@empa.ch)

[www.empa.ch/lca](http://www.empa.ch/lca)

- Lebenszyklus einer Batterie
- Lithiumproduktion
- Produktion einer Li-Ion Batterie: Lebenszyklusmodell
- Ökobilanzergebnisse der Batterieproduktion
- Gebrauch und Entsorgung einer Li-Ion Batterie: Lebenszyklusmodell
- Ökobilanzergebnisse von elektrischem Fahren
- Li Ressource: Knappheit?

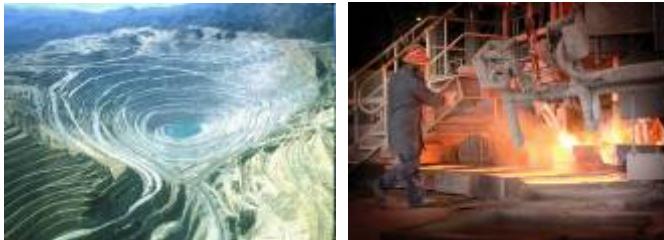
Li



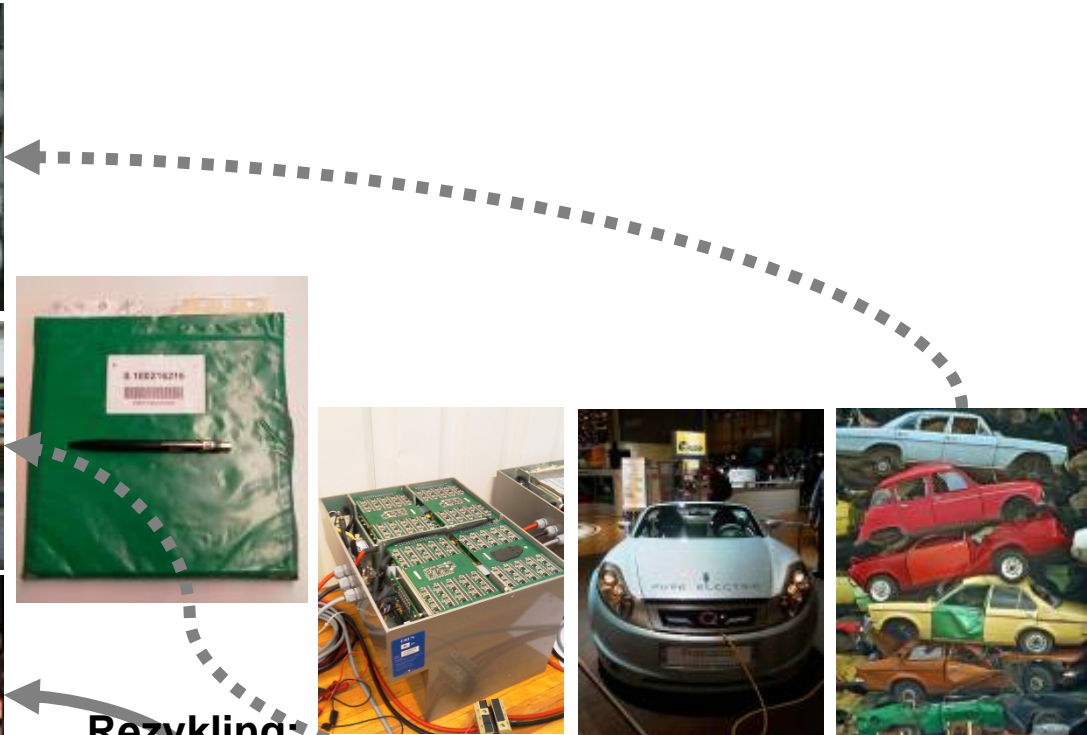
Al



Cu

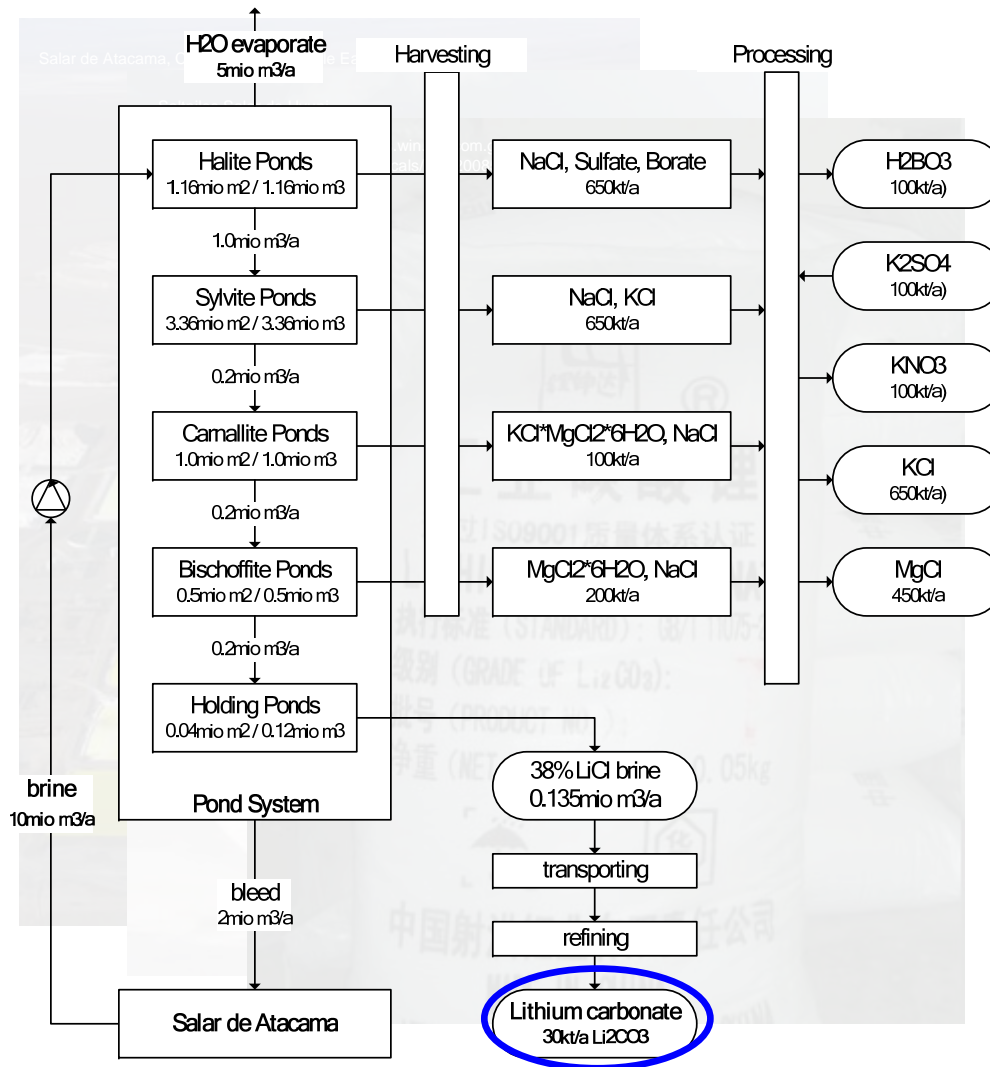


Fe



## Rezykling:

- Rezykling heute typischerweise im Cu-smelter
- Cu, Mn, Co, Ni und Fe werden zurückgewonnen
- Al, Li, Graphite, und Electrolyt werden verbrannt und gehen verloren
- Technologien um Al und Li zurückzugewinnen sind vorhanden und dürften zum einsatz kommen, sobald mehr Batterien rezykliert werden.



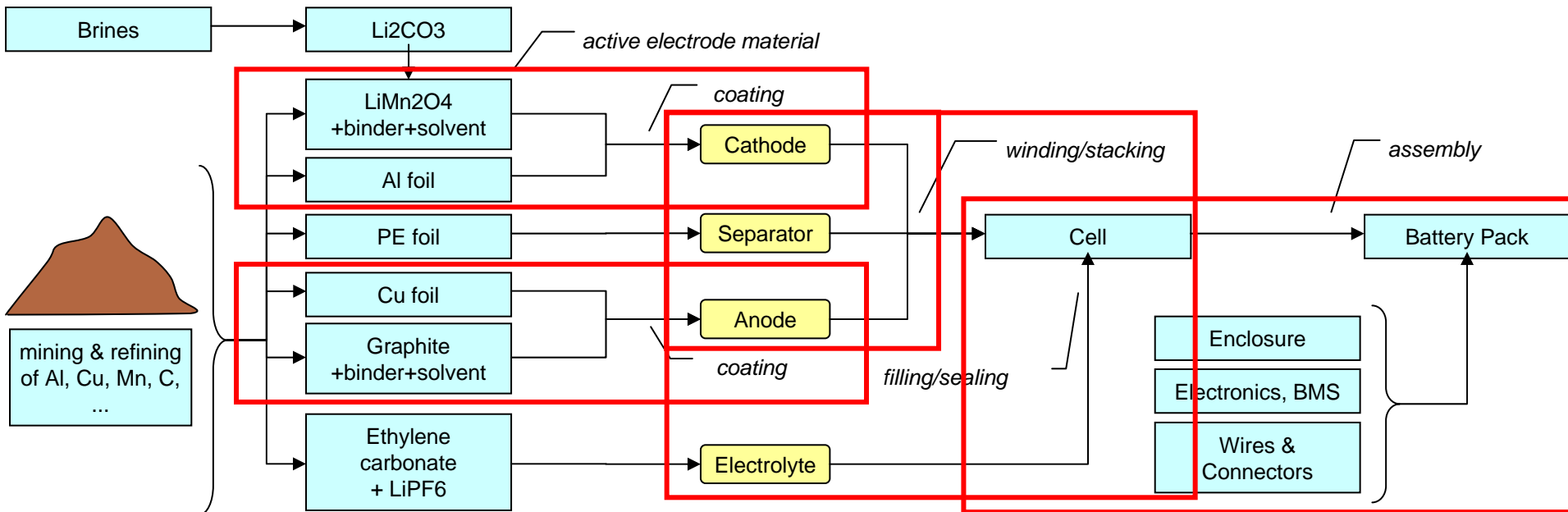
## Eigenschaften

- Leichtestes Metall (Dichte 0.543 kg/l)
- Höchstes elektrochemisches Potential
- Ungiftig (Anwendung als Heilmittel)
- Mit 0.17 ppm in Meerwasser häufiger als Kupfer
- Als Metall sehr reaktiv (brennt)

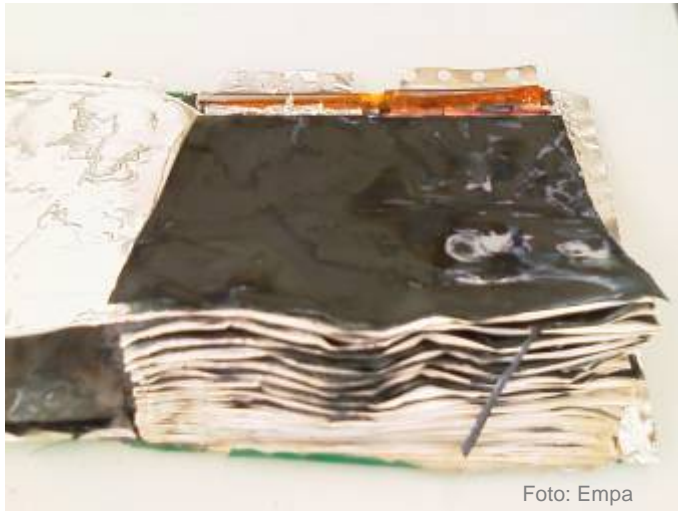
## Produktion

- Gewinnung vor allem aus Salzseen in den Anden (Chile, Bolivien) oder in China (Tibet)
- Vor allem Solarenergie für Produktion
- Aufarbeitung zu Lithiumcarbonat ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) nahe der Saline
- Co-produktion mit verschiedenen anderen Salzen, die v.a. als Dünger eingesetzt werden

Extraction of lithium carbonate from Atacama (CL), one of the most important worldwide  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  producers  
Compilation of numbers and graphics: Empa



- Kupferfolie wird mit Graphit beschichtet → Anode
- Alufolie wird mit Lithiummanganoxid ( $\text{LiMn}_2\text{O}_2$ ) beschichtet → Kathode
- Anoden und Kathoden werden gestapelt (getrennt von einer Ionendurchlässigen Plastikfolie) und gefaltet
- Der Stapel wird in einen Beutel gegeben und dieser mit Elektrolyt (Lithiumhexafluorophosphat  $\text{LiPF}_6$ ) gefüllt verschweisst → Zelle
- Viele Zellen werden elektrisch verbunden und mit einem Batteriemanagementsystem (BMS) in ein Gehäuse verpackt → Batterie

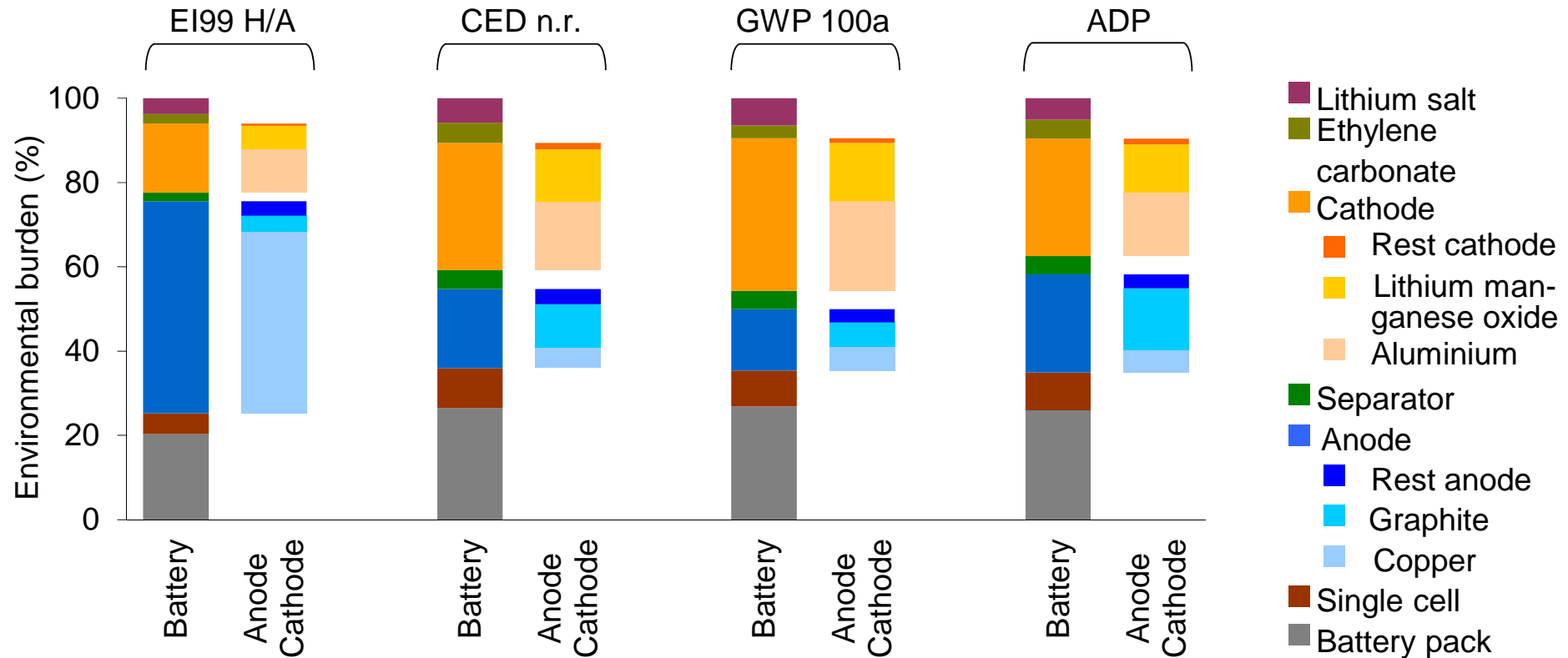


## Zusammensetzung:

- Nur etwa 1% einer Li-Ionen Batterie ist Lithium (5%  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), d.h. 0.08 kg Li pro kWh Energieinhalt
- Etwa 40% der Zellen ist Alu (~23%) und Kupfer (~13%) (Träger- und Leiterfolien der Elektroden)
- Etwa 40% der Zelle ist Aktives Material (Kathode:  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  ~24%, Anode: Graphit ~16%)
- Etwa 20% ist der Elektrolyt (Lithiumhexafluorophosphat  $\text{LiPF}_6$ , 1M Lösung in Ethylencarbonat)

Data: measurement Empa

# Results: Battery



- Anode und Kathode sind bedeutend (50-80%) für Umweltwirkungen
- Kupferfolie in Anode macht bis zu 43% der Umweltwirkungen aus
- Batteriegehäuse (Stahl), BMS und Verkabelung sind nicht vernachlässigbar (20-30%)
- Lithiumsalze (in der Kathode und im Elektrolyt) tragen nur 10-20% zu den Umweltwirkungen bei





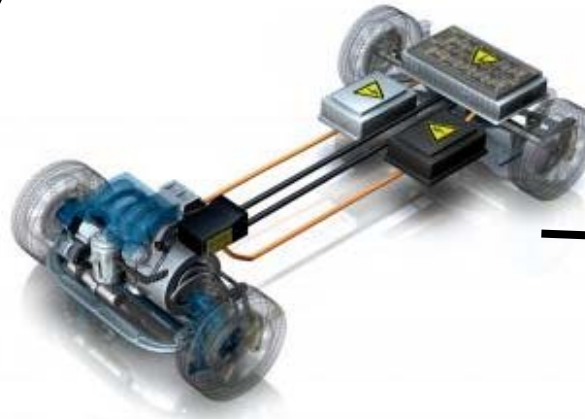
## ICE Vehicle

### Glider

Body and Frame,  
Axle, Brakes, Wheels,  
Bumpers, Cockpit,  
A/C System,  
Seats, Doors, Lights  
Entertainment etc.

### Drivetrain

Engine, Gearbox,  
Cooling System,  
Fuel System,  
Starting System,  
Exhaust System, Lubrication  
etc.



## Battery Vehicle

### Glider

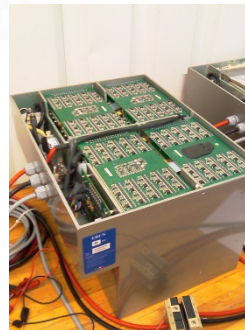
Body and Frame,  
Axle, Brakes, Wheels,  
Bumpers, Cockpit,  
A/C System,  
Seats, Doors, Lights  
Entertainment etc.

### Drivetrain

El. Motor, Gearbox,  
Controller, Charger, Cables,  
Cooling System etc.

### Battery

Li-Ion battery 300 kg





## Unterhalt

- Ersatzteile  
(z.B. Reifen, Kupplung, Bremsklötze,...)
- Ersatzflüssigkeiten (inkl. Entsorgung)  
(z.B. Öl, Kühlwasser,...)
- ICE Fahrzeuge: Bleibatterie
- Ersatz der LI-Ionen Batterie im Szenario  
mit 240'000 km Lebensfahrleistung

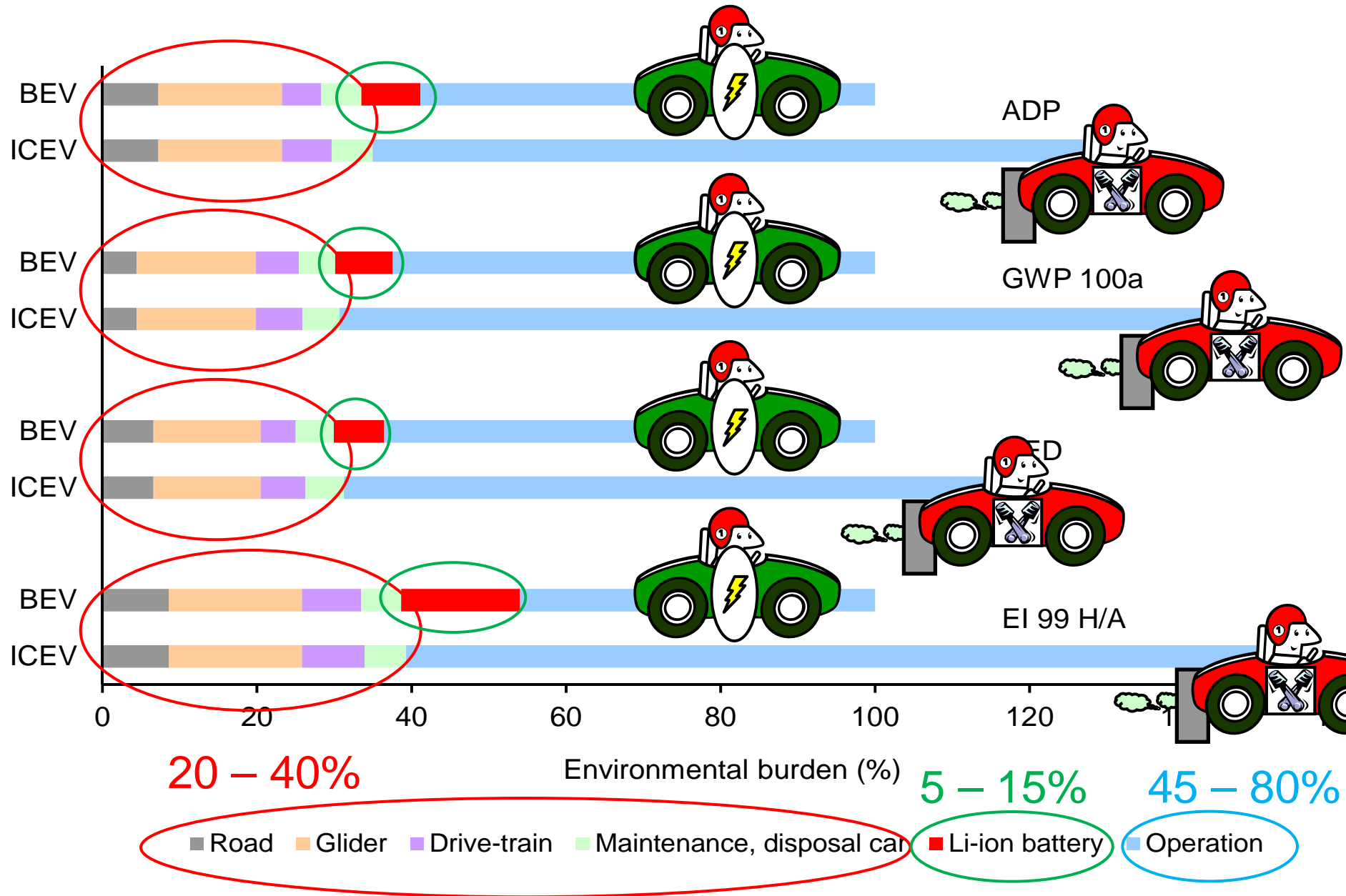
## Verwendung ICA Fahrzeuge

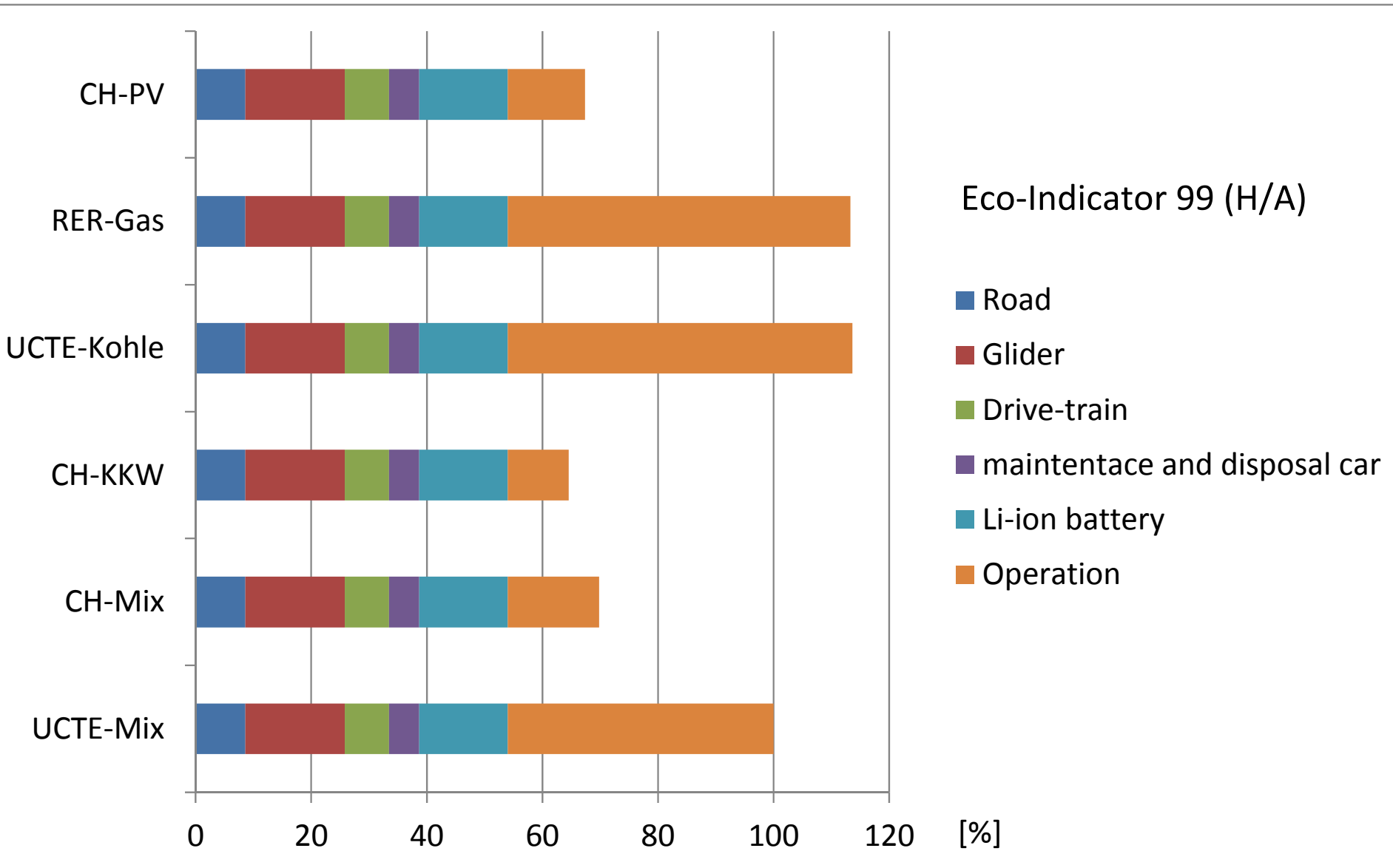
- 160'000 km
- Treibstoff: Benzin
- NEFZ Verbrauch: 5.2 l/100 km
- 0.9 l/100 km Treibstoffbedarf für  
Nebenverbraucher (Klima, Licht,...)
- 0.14 kg CO<sub>2</sub>/100 km (direkte Emission)

## Verwendung Elektrofahrzeug

- 160'000 km
- Treibstoff: UCTE Strom
- NEFZ Verbrauch: 14.1 kWh/100 km  
(80% Wirkungsgrad über alles)
- 2.9 kWh/100 km Strombedarf für  
Nebenverbraucher (Heizen, Klima,  
Licht,...)
- 90% reduzierte Emissionen von  
Bremsabrieb dank Rekuperation

# Resultate: Fahrten



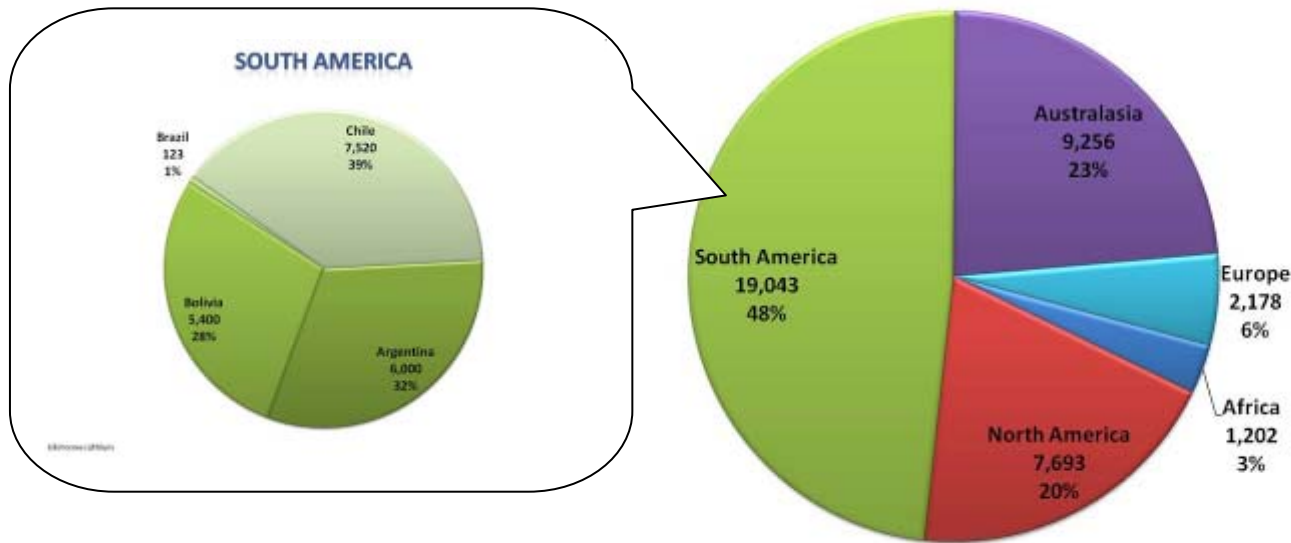


30 kWh Batterie pro Fahrzeug -> **6 kg Li** (Nissan Leaf: 24kWh Batterie -> 4 kg Li)

Heute:	900 mio Fahrzeuge x 6 kg	<b>5.4 mio t Li</b>
Ferne Zukunft:	4 mia Fahrzeuge x 6 kg	<b>24 mio t Li</b>

Li Produktion 2008:	27'000 t/a (source: USGS)	(reicht für 5.5 m Fahrzeuge/Jahr)
Reserven:	11 mio t (source: USGS)	<b>39.37 m t</b> (Int. Lithium Alliance)

## WORLD BROAD BASE LITHIUM RESERVES



graphics: [www.lithiumalliance.org](http://www.lithiumalliance.org)

*Environ. Sci. Technol. XXXX, xxx, 000–000*

## **Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles**

DOMINIC A. NOTTER,\* MARCEL GAUCH,  
ROLF WIDMER, PATRICK WAGER,  
ANNA STAMP, RAINER ZAH, AND  
HANS-JORG ALTHAUS

*Technology and Society Laboratory, Swiss Federal Laboratories  
for Materials Science and Technology (Empa),  
Ueberlandstrasse 129, 8600 Duebendorf, Switzerland*

*Received December 9, 2009. Revised manuscript received  
June 16, 2010. Accepted June 24, 2010.*

Battery-powered electric cars (BEVs) play a key role in future mobility scenarios. However, little is known about the environmental impacts of the production, use and disposal of the lithium ion (Li-ion) battery. This makes it difficult to compare

sodium–nickel–chloride (ZEBRA) batteries. New electric cars typically use lithium ion (Li-ion) batteries. Major reasons are the favorable material characteristics of lithium: it is the lightest of all metals and offers the greatest electrochemical potential, which results in a high power and energy density (2). Additionally, extensive experiences gained in the Information and Communication Technology (ICT) industry have led to safe, long-lasting, and affordable products. The Li-ion battery requires little maintenance, an advantage that most other battery chemistries cannot claim. There is no memory effect, little self-discharge, and no scheduled cycling is required to prolong the battery's life. Li-ion battery chemistries and cell construction are rapidly developing and changing: For instance, the commonly used, but expensive, cobalt is being replaced by chemistries using iron phosphate or manganese (3). Another development is the increase in the content of active material by, for example, using bipolar electrodes (4).

Commercial Li-ion cells are currently using various types of cathode materials (5); one of them is lithium manganese oxide (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Spinel type LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> is attractive for BEVs in many aspects, such as low cost, rather easy production process (3) and, last but not least, thermal safety (6). In addition, manganese is abundant in nature (7) and well

**DOI:** 10.1021/es903729a