

# Nachhaltigkeit der Elektromobilität im Hinblick auf die Rohstoffe

Methodik zur Evaluierung einer  
möglichst nachhaltigen Rohstoffnutzung

8. Ökobilanz-Werkstatt 2012, Stuttgart

Dipl.-Ing. Benjamin Reuter  
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik  
Technische Universität München



# Gliederung

1. Ist Elektromobilität per se nachhaltig?
2. Klassische LCA-Rohstoffbetrachtungen und ihre Probleme
3. Ist nachhaltige Rohstoffnutzung möglich?
4. „Wirkungskategorien“ für die Rohstoffnutzung
5. Zusammenfassung und Ausblick

# Wie nachhaltig ist die Elektromobilität an sich?

- Vorteile:
  - Unabhängigkeit von Erdölimporten
  - Strom aus erneuerbaren Energien  
→ Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz
- Probleme:
  - Strom-Mix ?
  - Batteriekapazität → Reichweite
- Aktuelle Innovationsansätze:  
„Die Entwicklung der Batterietechnologie kommt doch nur dadurch voran, dass man immer noch exotischere und noch **seltenerer** Elemente in den Batteriezellen verwendet“



## Diverse Technologien und Ansätze

Alu- anstatt  
Kupferkabel !

Batterien ohne  
Ni, Co, Mn !

Wir brauchen  
Car-Sharing !

Kleinere Autos  
bauen !

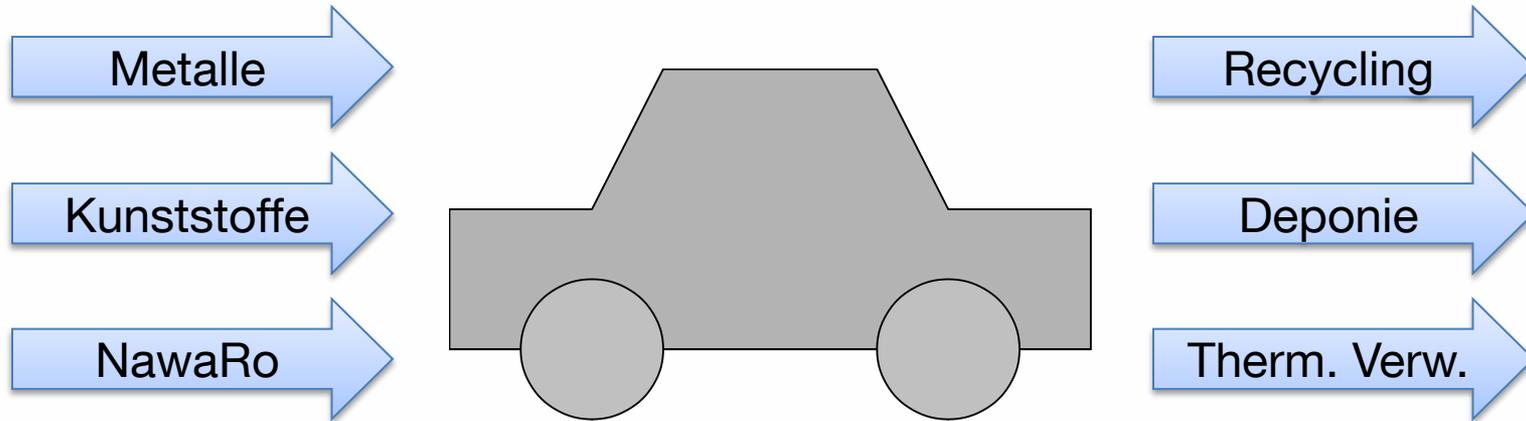
Elektromotoren  
ohne Neodym-  
Magnete !

Mehr  
nachwachsende  
Materialien ins  
Auto !

**Kompromiss zwischen Effizienz und Rohstoffverfügbarkeit!**

**→ Methode zur Evaluierung der nachhaltigen Rohstoffnutzung**

## „Klassische“ Rohstoffbetrachtung in der LCA



Ansatz für den Verbrauch abiotischer Rohstoffe: Metalle, Erdöl, etc.

$$ADP = \sum_i m_i \cdot ADP_i$$

Ansatz für den Verbrauch knapper, biotischer Rohstoffe: NawaRo

$$BDP = \sum_i m_i \cdot BDP_i$$

# Probleme der klassischen Rohstoffbetrachtung

*Ultimate reserves* als unrealistische Verfügbarkeit

$$ADP = \sum_i m_i \cdot ADP_i$$

Exergie drückt keine Verknappung aus!

Wirtschaftlich abbaubare *Reserven* fluktuieren zu stark

Basieren teilweise auf Zukunftsszenarien

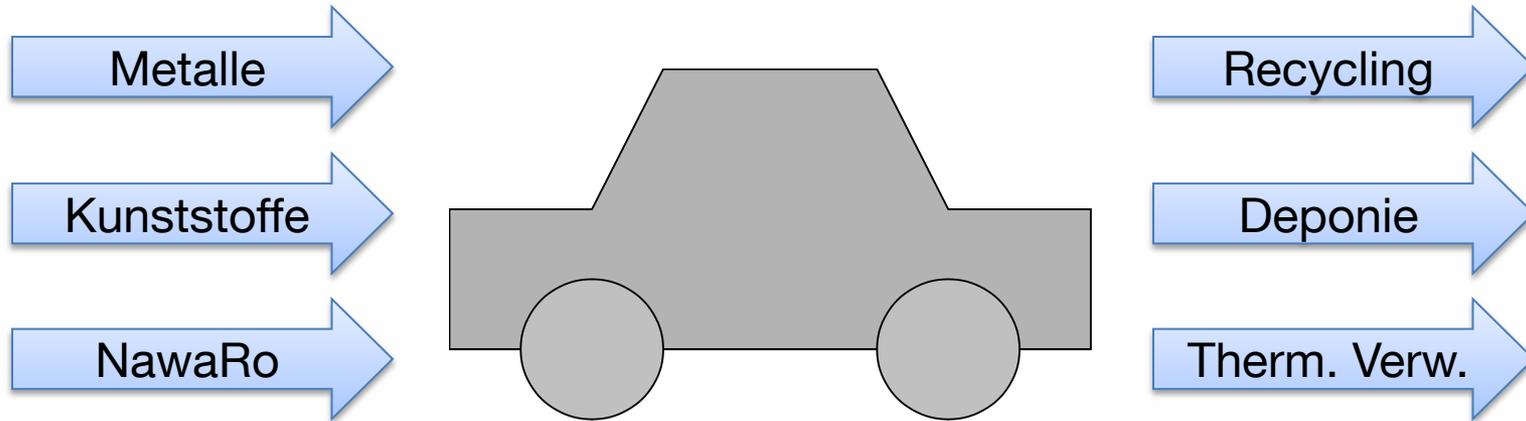
Metalle werden nicht *verbraucht*!

Für knappe Rohstoffe := Abbau > Regeneration  
→ Sollte unbedingt vermieden werden

$$BDP = \sum_i m_i \cdot BDP_i$$

Keine Konkurrenz zu anderweitiger Flächennutzung

# Nachhaltige Rohstoffnutzung



- Metalle → Recycling oder Deponie (= neue Lagerstätte)
- Kunststoffe → Recycling oder thermische Verwertung
- NawaRo → Recycling, Kompostierung oder thermische Verwertung

Ideal: komplett geschlossener Materialkreislauf (ohne Verluste) mit wenig Energiebedarf, wenig Emissionen und geringem Flächenbedarf (NawaRo)

# „Wirkungskategorien“ bei Rohstoffbetrachtungen

## 1. Rohstoff- verbrauch

**Was?** echter Verbrauch, fehlendes Recycling, nicht trennbare Mischung von Metallen, Recycling-Verluste

**Wie?**  $ADP_1 = f(extraction, resources)$  oder Exergie

## 2. Flächen- bedarf

**Was?** Nutzung von NawaRo

**Wie?** Flächenbedarf, so dass Abbau = Regeneration

**Sonst:** übermäßigen NawaRo-Bedarf zu Rohstoff-Verbrauch!

## 3. Energie- bedarf

**Was?** Energiebedarf über den kompletten Lebenszyklus für alle verwendeten Materialien

**Wie?** Kumulierter Energieaufwand im gesamten Lebenszyklus

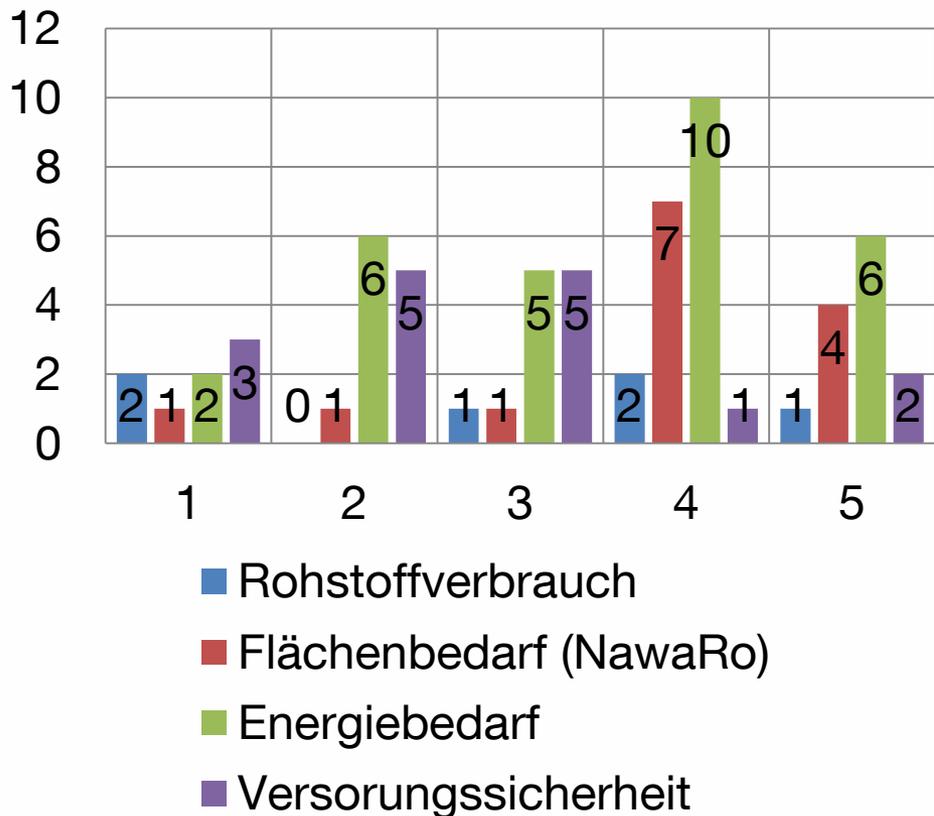
## 4. Versorgungs- sicherheit

**Was?** vorzugsweise gut verfügbare Materialien verwenden, um keine Versorgungsengpässe zu riskieren

**Wie?**  $ADP_4 = f(extraction, reserves) + \text{Vorrat in Technosphäre(?)}$

## Illustration (fiktiv)

### Vergleich von Fzg.-Varianten



Funktionelle Einheit:

- Je 12.000 km über 10 Jahre

Bekannte Nebeninformation:

- Produktion der NawaRo

Option 1: Fahrzeug mit Karosserie aus Kunststoff (therm. Verwertung)

Option 2: Fahrzeug mit Alu-Karosserie

Option 3: Fahrzeug mit Alu-Karosserie (Batterie kann nicht recycelt werden)

Option 4: Fahrzeug mit Karosserie aus Bio-Kunststoff (Nutzung > Regeneration)

Option 5: Fahrzeug mit 50-50-Kunststoff-Karosserie (Nutzung = Reg.)

## Zusammenfassung und Ausblick

- Nachhaltigkeitsaspekte bei der Rohstoffnutzung abgebildet in vier trennscharfe Kategorien → Zuweisung je eines eindeutigen Wertes
- Vereinfachung: Anforderungen und Qualität, Recycling-Verluste, Kosten → Qualitätsminderung über Kategorie „Rohstoffverbrauch“?
- Aggregation in einem einzigen Zahlenwert notwendig?  
→ Gewichtungsfaktoren für die vier Kategorien: z.B. 2; 1,5; 1; 0,5

## Danke für die Aufmerksamkeit !

In der „nachhaltigen“ Weinhandlung der Zukunft:

„Recycled glass, recycled paper label, recycled plastic cork ...

I hate to think where the wine comes from.“

Fragen ?

Hinweise !

Anregungen !

Diskussion !?

Beschwerden ?!

Quellen:

- [1] *U.S. Geological Survey*: Mineral Commodity Summaries.
- [2] *Guinée, J. B. (2002)*: Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Dordrecht, Boston.
- [3] *Klöpffer, W. und Grahl, B. (2009)*: Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. Weinheim.
- [4] *Finnveden, G. und Ostlund, P. (1997)*: Exergies of Natural Resources in Life-Cycle Assessment and Other Applications. In: *Energy*, 22. Jg. 1997, H. 9, S. 923–931.
- [5] *Bösch, M./Hellweg, S./Huijbregts M.A.J. und Frischknecht, R. (2007)*: Applying Cumulative Energy Demand (CExD) Indicators to the ecoinvent Database. In: *International Journal of LCA*, 12. Jg. 2007, H. 3, S. 181–190.
- [6] *Goedkoop, M. und Spriensma, R. (22.06.2001)*: The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment.
- [7] *Jolliet, O./Margni, M./Charles, R./Humbert, S./Payet, J. P./Rebitzer, G. und Rosenbaum, R. (2003)*: Impact 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8. Jg. 2003, H. 6, S. 324–330.
- [8] *Goedkoop, M./Heijungs, R./Huijbregts M.A.J./Schryver, A. de/Struijs, J. und van Zelm, R. (July 2012)*: ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.
- [9] *Rankin, W. J. (2011)*: Minerals, metals and sustainability. Meeting future material needs. Collingwood, Vic, Leiden.
- [10] *Schneider, L./Berger, M. und Finkbeiner, M. (2011)*: The anthropogenic stock extended abiotic depletion potential (AADP) as a new parameterisation to model the depletion of abiotic resources. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16. Jg. 2011, H. 9, S. 929–936.