Energie speichern – Stand der Batterieforschung

Wissenschaft im Sturm der Energiewende

Jürgen Janek

PCI – Justus-Liebig-Universität
BELLA – Karlsruher Institut für Technologie

- **Energie?**
- **Energiespeicherung?**
- **Elektrochemische Energiespeicherung?**
- **„Der lange Atem“ – Forschung und Lehre für Schlüsseltechnologien**

S

$\hat{H}\Psi = E\Psi$

$dH = dU + pdV$

$\varphi \equiv \chi + \Psi$

$dU = dG + dW$

$H_m(\alpha) \rightleftharpoons$

$\alpha_i \; \varphi \; \gamma_i \; d\xi = \frac{dn_i}{\nu_i} \; k = k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \; \beta_m$

$\prod [G]^{\nu_i}$

$PV = nRT$

$\frac{dn_i}{A\,dt} = -k_i$

$n(O_2)$

$\Delta S_m (\neq 0)$

Was macht der Physikochemiker (nicht…)?

Naturwissenschaftler erforschen
das grundsätzlich Machbare („Naturgesetze“).

Naturwissenschaftler machen aber dann
nicht das Machbare. Das überlassen Sie Ingenieuren.

Naturwissenschaftler berechnen auch
nicht die Kosten des Machbaren. Das können Ökonomen besser.

Naturwissenschaftler erforschen, definieren und begründen
die Grenzen des grundsätzlich Möglichen.
Sie zeigen Wege und Wegbegrenzungen auf.

Was ist Energie?

- **Energie kann nicht erzeugt und nicht vernichtet werden. ACHTUNG: Sprachgebrauch ist hier unsauber….**
- Es gibt verschiedene Arten von Energie, und Energie kann nur gewandelt werder

$$dU = dQ + dW$$
$$= 0$$

- Nutzbare Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten.
- Wärme allein kann keine Arbeit verrichten.

Was ist Energie?

- **Energie kann nicht erzeugt und nicht vernichtet werden.**
- Energie (Universum) = konstant
- Energie (Erde) = Gespeicherte Energie
  + eingestrahlte Sonnenenergie
  – abgestrahlte Energie
- Fossile Energie = Gespeicherte „alte“ Sonnenenergie
- **Die Menge nutzbarer fossiler Energie nimmt rapide ab.**

Unser Gesamtenergieverbrauch (Deutschland)

Bevölkerung:	**82 Mio. Menschen**
Gesamtbedarf an Primärenergie:	**14.200 Peta-Joule / Jahr** **(= 4.000 Mrd. kWh/a)**
Benötigte Gesamtleistung:	**450 GW**
Benötigte Leistung/Mensch: **(bezogen auf Primärenergie!)**	**5.500 W/Mensch** 11.200 W/Mensch – USA 800 W/Mensch – Indien

Alle Angaben sind grob gerundet!

(Peta-, 10^{15} = 1.000.000.000.000.000)

Unser „persönlicher“ Energieverbrauch

Benötigte Leistung/Mensch: **132 kWh/Tag**
(bezogen auf Primärenergie!)

Volumen gemessen in Litern

Fluss gemessen in Litern/Minute

Energie gemessen in kWh

Leistung gemessen in kWh/Tag

Alle Angaben sind grob gerundet!

Unser „persönlicher“ Energieverbrauch

Benötigte Leistung/Mensch: **132 kWh/Tag**
(bezogen auf Primärenergie!)

Der gesamte Primärenergieverbrauch (Einkauf!) Deutschlands pro Person.

Das entspricht natürlich nicht dem „wahren“ individuellen Verbrauch.

Alle Angaben sind grob gerundet!

Unser „persönlicher“ Energieverbrauch

Benötigte Leistung/Mensch: **132 kWh/Tag**
(bezogen auf Primärenergie!)

Endenergie: **85 kWh/Tag**
(ohne Wandlungsverluste)

davon	**Privathaushalte**	**24 kWh/Tag**
	Verkehr	**24 kWh/Tag**
	Industrie, Handel, Gewerbe	**37 kWh/Tag**

Alle Angaben sind grob gerundet!

Unser „persönlicher“ Energieverbrauch

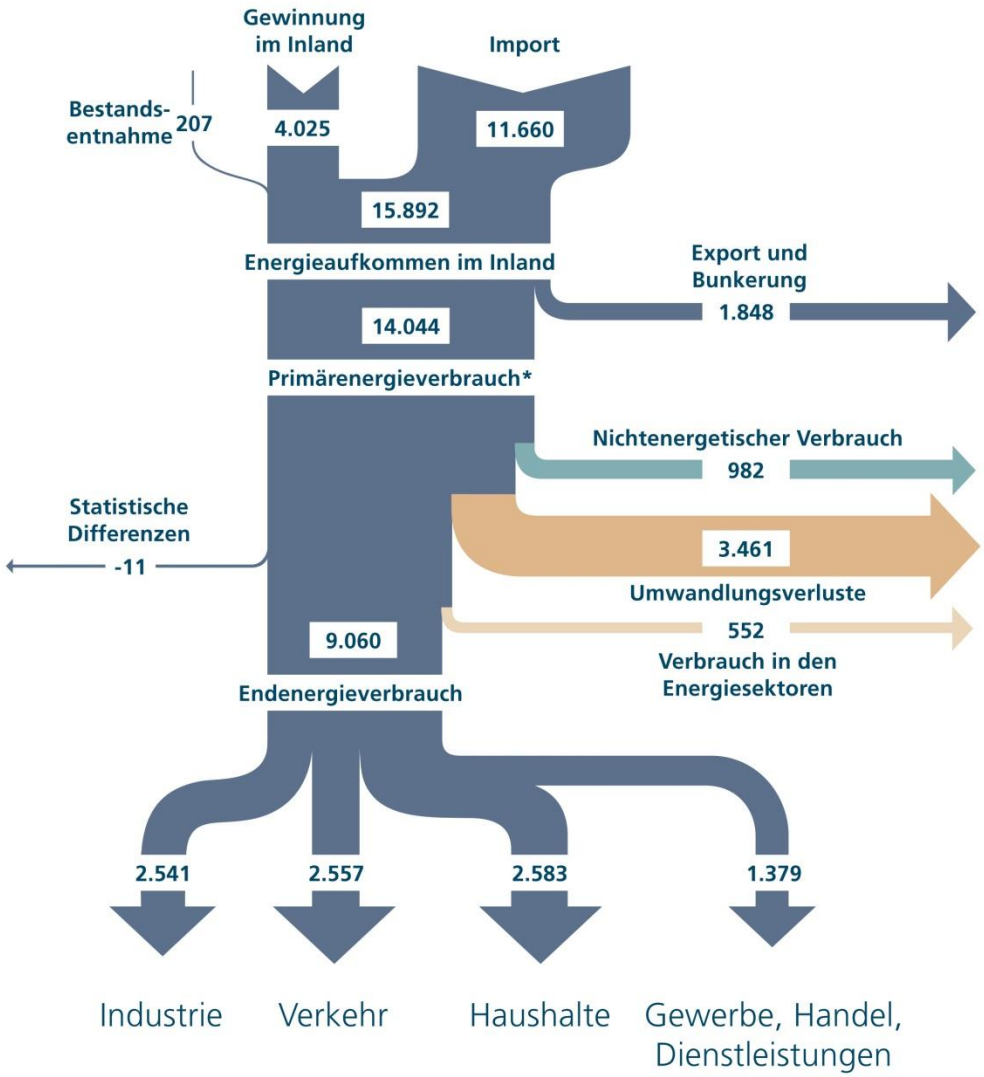
Benötigte Leistung/Mensch: **132 kWh/Tag**
(bezogen auf Primärenergie!)

Endenergie: **85 kWh/Tag**
(ohne Wandlungsverluste)

davon	**Privathaushalte**	**24 kWh/Tag**
	Verkehr (PkW)	**11 kWh/Tag**
	Verkehr (nicht PkW)	**13 kWh/Tag**
	Industrie, Handel, Gewerbe (= Konsum!)	**37 kWh/Tag**

Alle Angaben sind grob gerundet!

Energieflüsse



„Durch nichts lässt sich mathematische Unbildung besser demonstrieren als durch übermäßige Genauigkeit im Zahlenrechnen.“

Carl Friedrich Gauss

Zusammenfassung Energieverbrauch

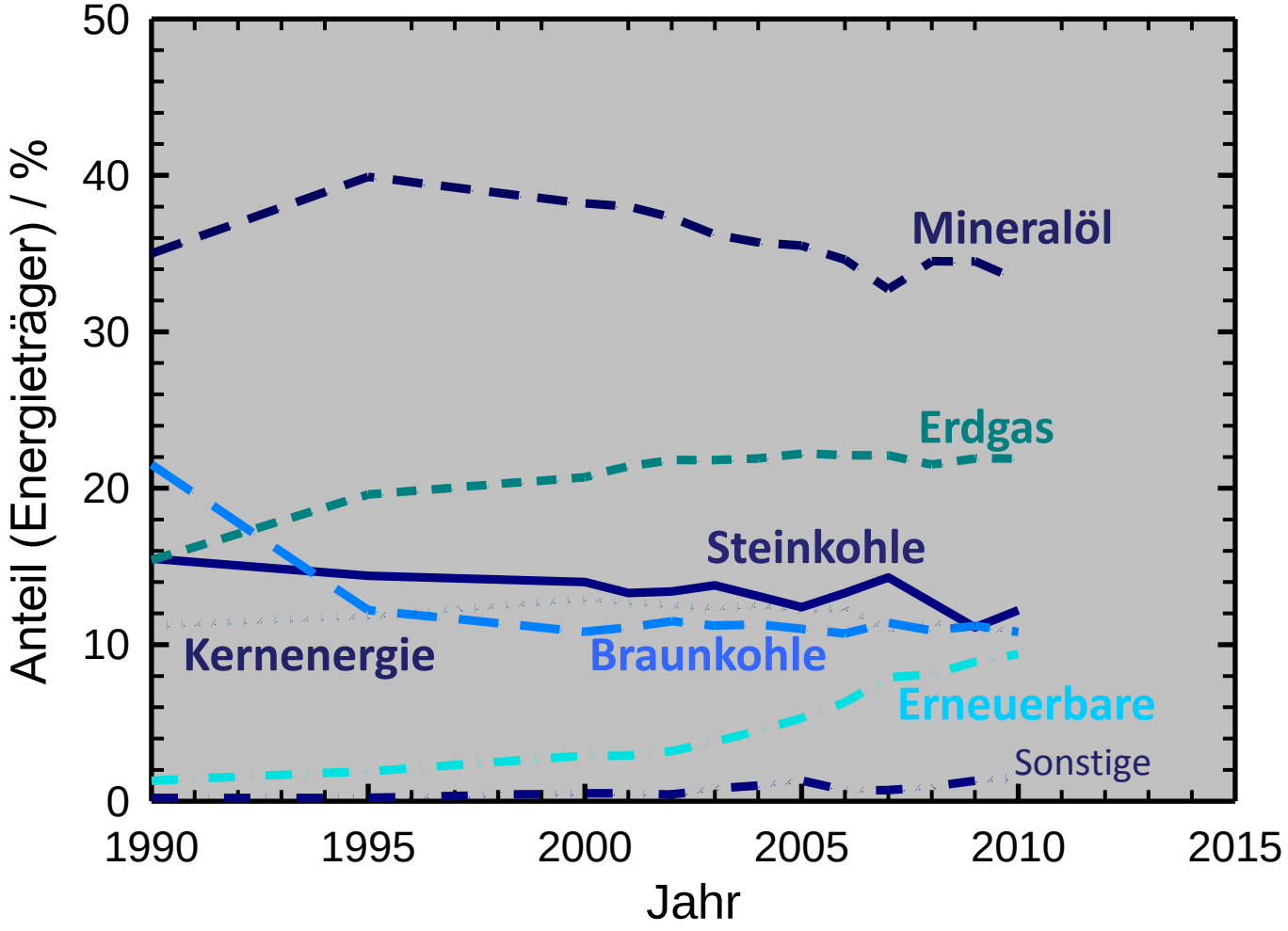
Um pro Bundesbürger/in eine

Endenergie von 85 kWh/Tag

nutzen zu können, benötigen wir eine

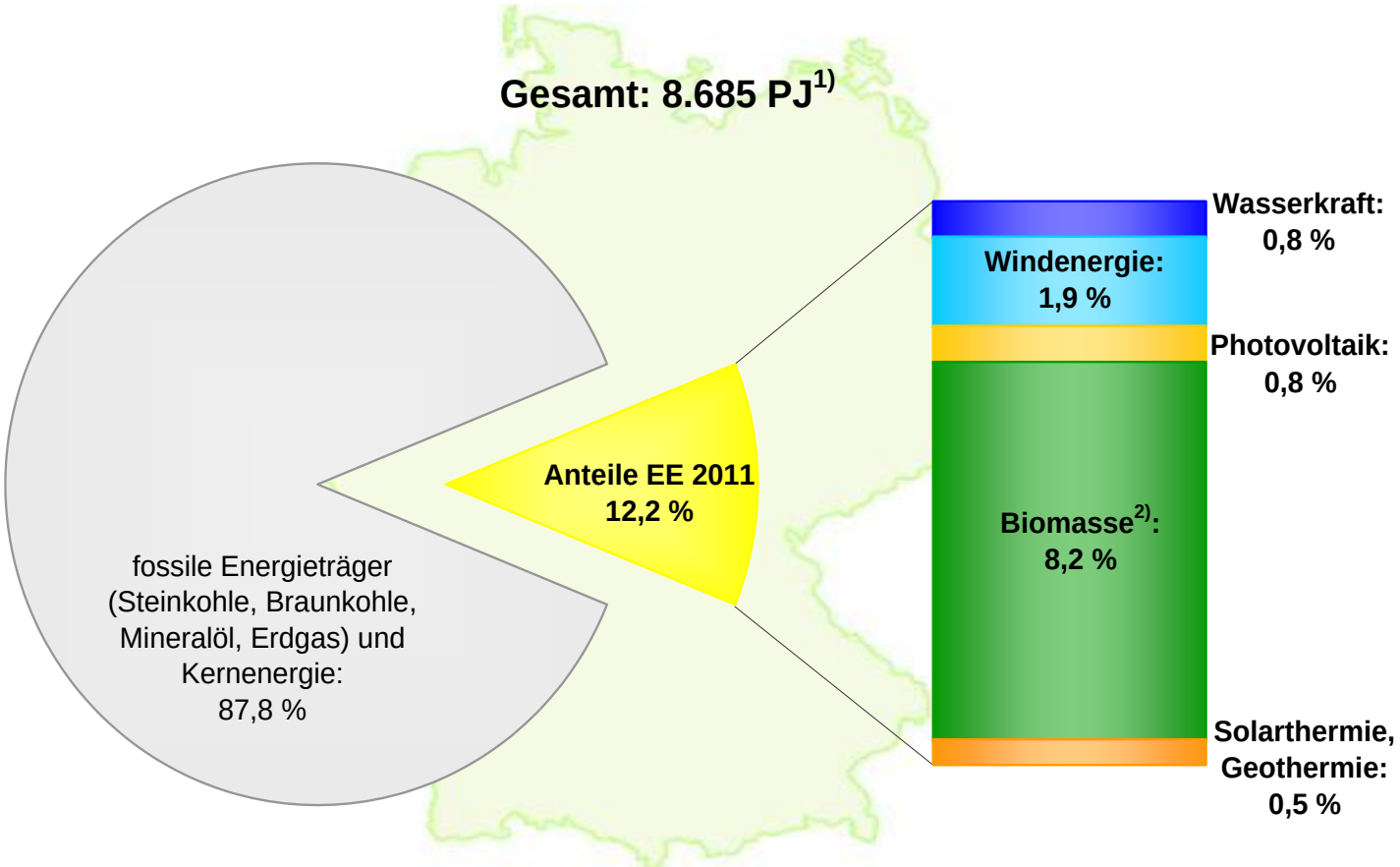
Primärenergie von 132 kWh/Tag.

Unsere Energiequellen (Primärenergieanteile)



Unsere erneuerbaren Energiequellen (Endenergieanteile)

Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2011



1) Quelle: Energy Environment Forecast Analysis (EEFA) GmbH & Co KG; 2) Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Deponie- und Klärgas, biogener Anteil des Abfalls, Biokraftstoffe;
Quelle: BMU-KI III 1 nach Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) und ZSW, unter Verwendung von Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB);
EE: Erneuerbare Energien; 1 PJ = 10^{15} Joule; Abweichungen in den Summen durch Rundungen; Stand: März 2012; Angaben vorläufig

Windenergie heute

2011: 29.000 MW installierte Leistung*

= 8,5 kWh/Tag (Person)

Aber: 46.500 GWh gewonnene Energie/Jahr

= 1,6 kWh/Tag (Person)
= 1,6 / 85 = 2 %

Problem: Nur ca. 20 % effektive Nutzung der installierten Leistung…

* ca. 22.000 Windgeneratoren

Annahme: Komplettversorgung durch Wind

Wenn der komplette Endenergieverbrauch durch Windenergie gedeckt werden soll:

Gut 50 x die heute installierte Leistung

= 1.450.000 MW

= ca. 725.000 Generatoren (mit 2 MW Nennleistung).

= ca. 2 Generatoren / km^2 Fläche.

= ca. 1 Generator alle 700 m in alle vier Richtungen.

Photovoltaik heute

2011: 25.000 MW_p installierte Leistung

= 7,3 kWh/Tag (Person)

Aber: 19.000 GWh gewonnene Energie/Jahr

= 0,6 kWh/Tag (Person)
= 0,6 / 85 = 0,7 %

Annahme: Komplettversorgung durch Photovoltaik

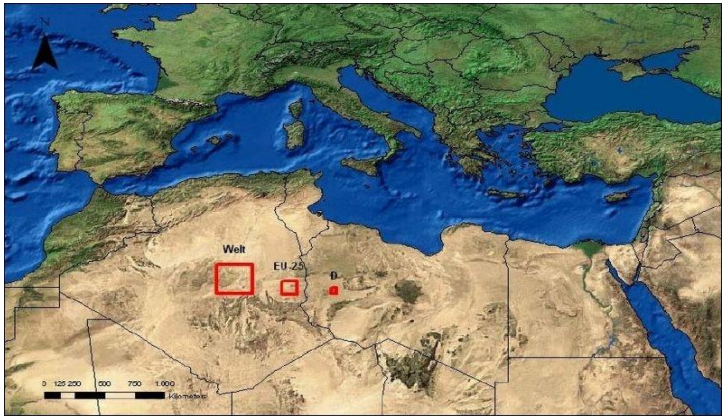
Wenn der komplette Endenergieverbrauch durch Photovoltaik gedeckt werden soll:

Gut 140 x die heute installierte Leistung

= 3.500.000 MW

= knapp 3000 x die Jahresproduktion von Deutschland (2008)

Versorgt uns die Sonne mit hinreichend Energie?



Grob: Alle 800 m in vier Richtungen müsste ein Solarpark mit $(200\ m)^2$ Fläche gebaut werden.

Theoretische Fläche, die den elektrischen Energiebedarf der Welt, Europas (EU-25), und Deutschlands mittels Solarthermie decken könnte. (Data by DLR, 2005).

	Deutschland	Welt
Primärenergiebedarf / Jahr	$1.4 \cdot 10^{19}$ J	$50 \cdot 10^{19}$ J
	$3.9 \cdot 10^{12}$ kWh	$140 \cdot 10^{12}$ kWh
Nutzbare Sonnenergie	1000 kWh/(m^2 Jahr)*	2350 kWh/(m^2 Jahr)**
Benötigte Fläche	3888 km^2	59101 km^2
Kantenlänge der Fläche	62,3 km	243,1 km
Gesamte Landfläche	357059 km^2	$153 \cdot 10^6$ km^2***
Flächenbedarf in % für 100 % Effizient (20 % Effizienz)	**1.09 (5.4)**	**0.04 (0,2)**

* Deutschland **Sahara *** $510 * 10^6$ km^2 Gesamtoberfläche

Zusammenfassung Energiequellen

Nur ein Anteil von ca. 2,7 % der benötigten

Endenergie von 85 kWh/Tag

wird heute von Wind/Photovoltaik gedeckt.

Biomasse deckt ca. 8,2 % zusätzlich ab.

Nur eine gewaltige (grundsätzlich nicht unmögliche) Steigerung der Energie-gewinnung aus EE kann die Komplett-versorgung sichern.

Problem gelöst?

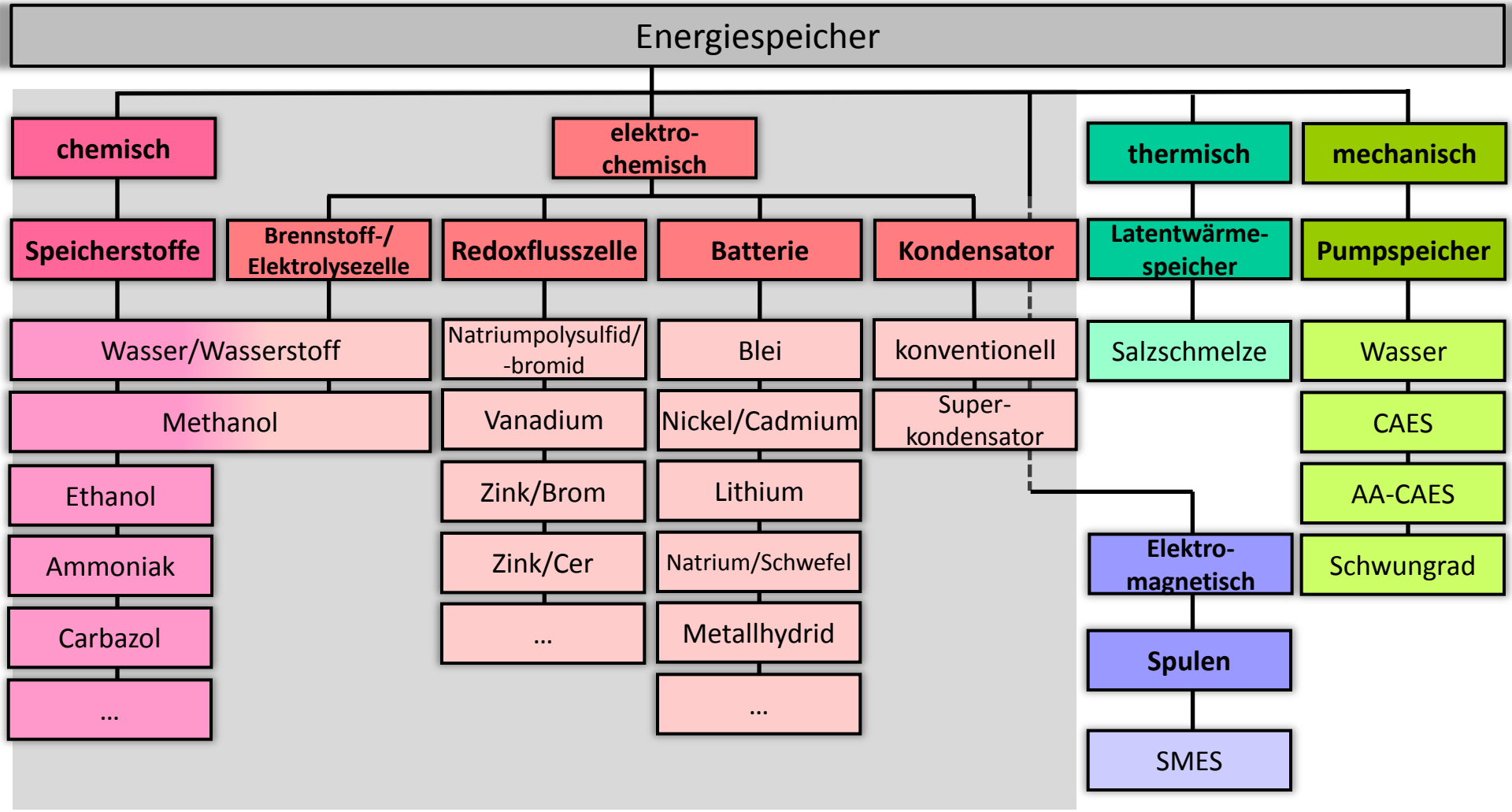
Nein!

Fossile Energie ist stofflich gebunden und kann problemlos gespeichert und gelagert werden!

Wind und Photovoltaik liefern Strom, der zur Speicherung gewandelt werden muss!

Energiespeicherung entsteht als zusätzliche Aufgabe.

Typen von Energiespeichern (-wandlern)



CAES = Compressed Air Energy Storage
AA-CAES = Advanced Adiabatic CAES
SMES = Superconducting magnetic energy storage

Vergleich von Konzepten der Energiespeicherung

chemisch

elektro-chemisch

Energiemenge, die für die chemische Spaltung von 1 kg Wasser benötigt wird (Erzeugung von 111 g Wasserstoff):

$$E = \Delta G_{\mathrm{m}}^{\mathrm{o}}$$

$$E = 13.300\ \mathrm{kJ} = 3{,}7\ \mathrm{kWh}$$

thermisch

Energiemenge, die für die Erwärmung von 1 kg Wasser (25 °C bis 100 °C) benötigt wird:

$$E = m \cdot c_V \cdot \Delta T$$

$$E = 314\ \mathrm{kJ} = 0{,}087\ \mathrm{kWh}$$

mechanisch

Energiemenge, die für das Pumpen von 1 kg Wasser (100 m) benötigt wird:

$$E = m \cdot g \cdot h$$

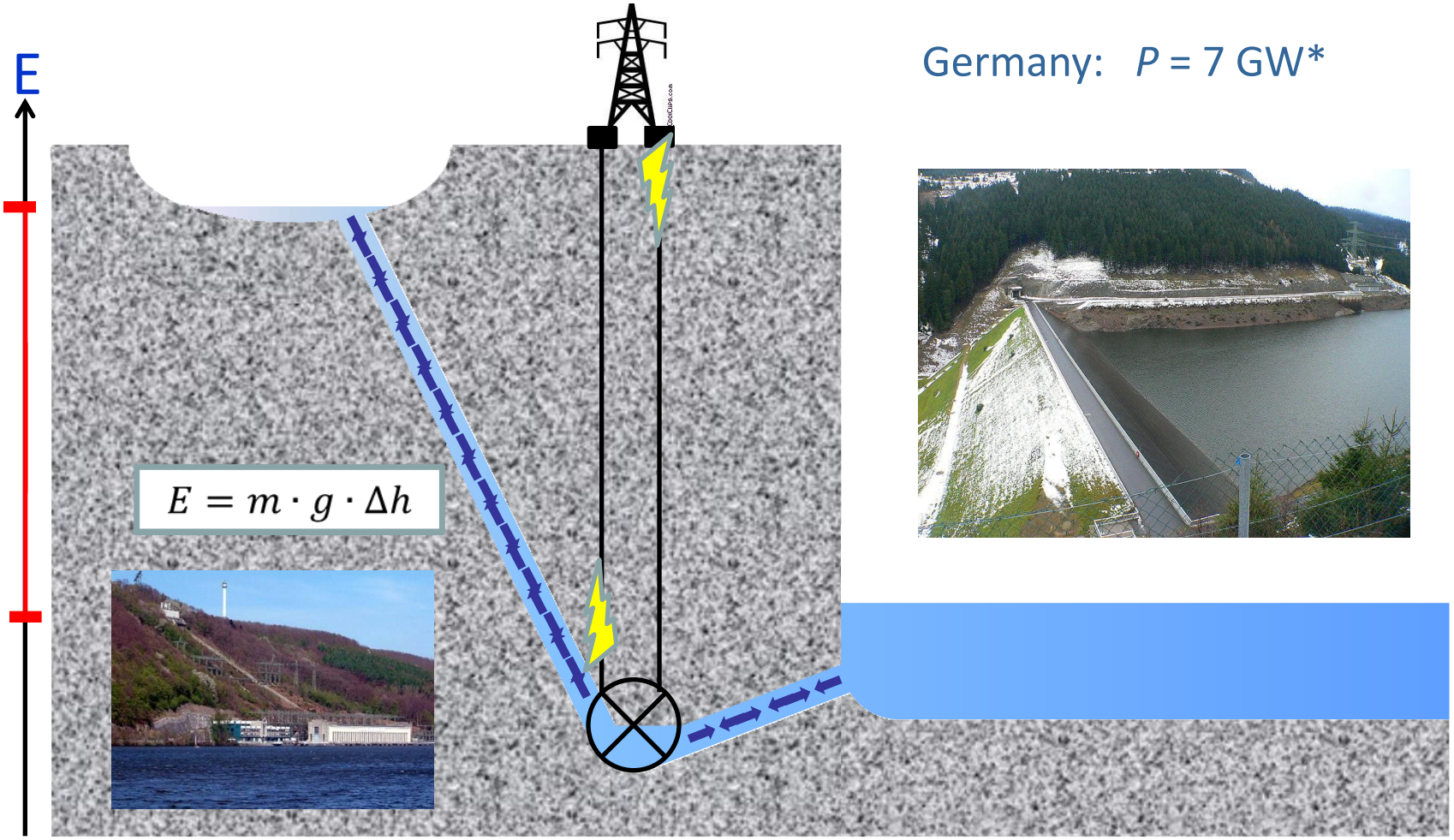
$$E = 981\ \mathrm{J} = 0{,}0003\ \mathrm{kWh}$$

$\times\ \mathbf{100}$ ← $\times\ \mathbf{100}$ ←

Bedarf nach Energiespeicherung

Goldisthal: P = 1.06 GW

Germany: P = 7 GW*



*Mai 2010: Gutachten der Bundesregierung schließt, das Speicherpotential in Skandinavien für zukünftige Windenergieproduktion hinreichend ist.

Energiespeicherstoffe

Energiespeicher(stoffe) und ihre Energiedichten

	Energieinhalt	
	kWh/kg	kWh/l
Wasserstoff	33.3	0.53 (200bar)
Methan	13.9	2.58 (200 bar)
Benzin	12.7	8.8
Diesel	11.6	9.7
Li-Ionenbatterie	*0.17*	*0.3*

Die Energiedichte chemischer Speicherstoffe (s. fossile Brennstoffe) ist nicht zu schlagen!

Energiespeicherstoffe

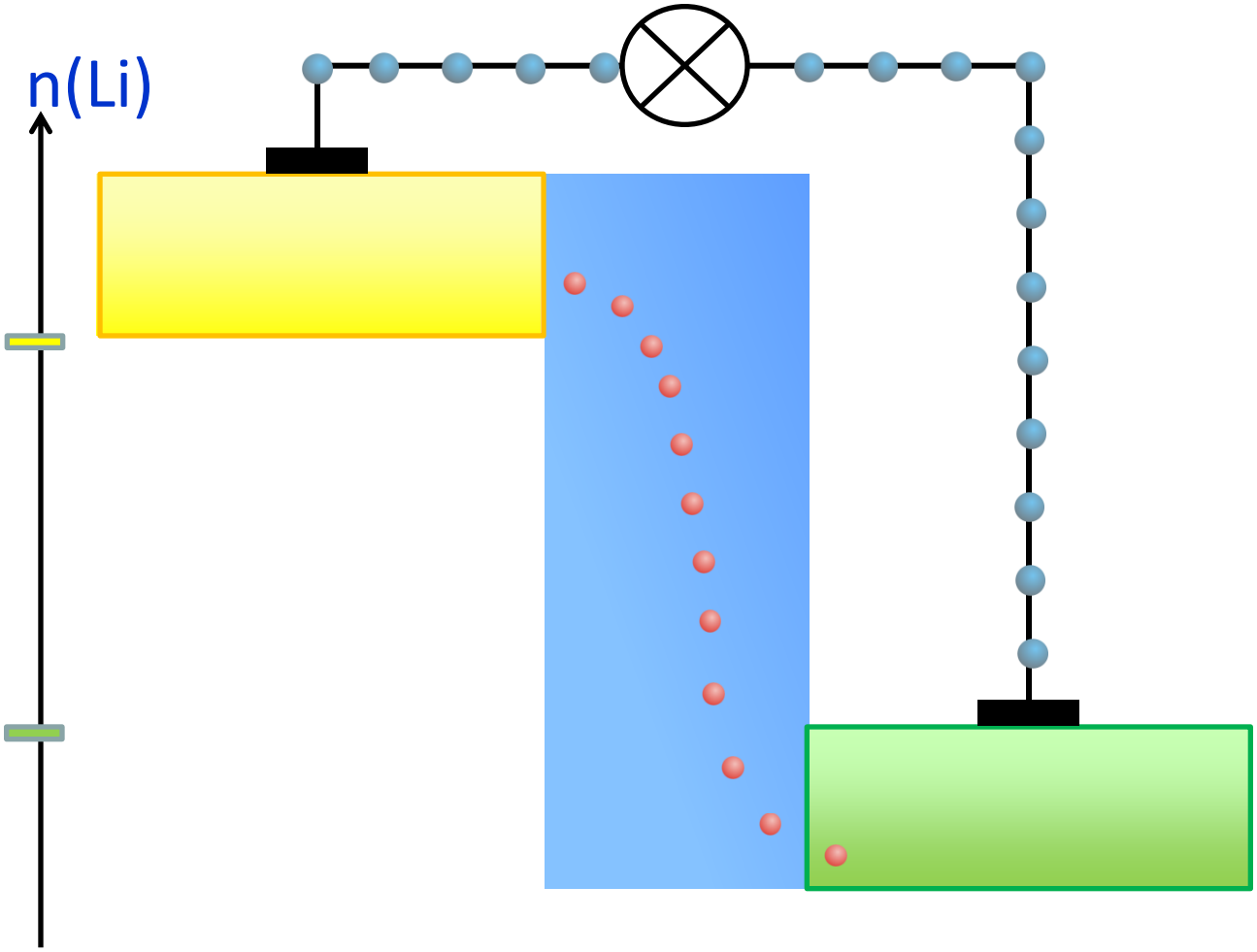
Problem – „Power-to-Gas“:

- Die **Synthese von stabilen Energieträgern** (Wasserstoff oder Methan) wird nur großtechnisch (zentral) sinnvoll betrieben.
- Geringe Effizienz durch komplexe Prozesskette.
  Aber: Besser als Abschaltung
- Nutzung von vorhandenen Gasleitungsnetzen im Falle des Methans.

Anm.: Die Verbesserung der Energieausbeute ist eine weitere (elektro)chemische Aufgabe!

Elektrochemische „Pumpspeicher“ – Die Batterie

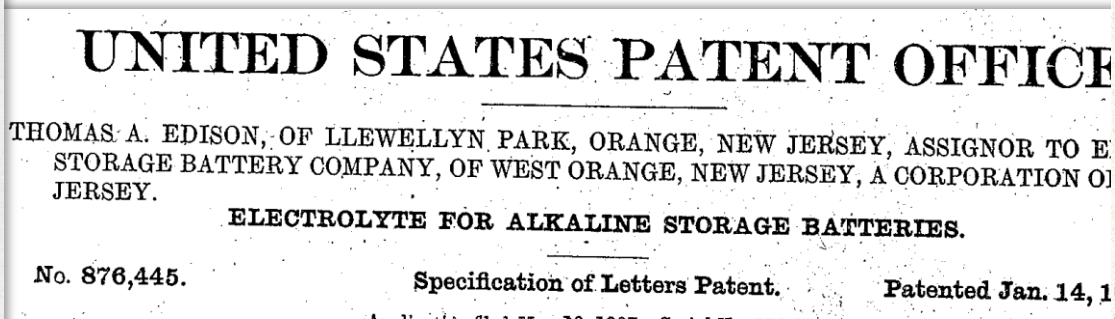
(wiederaufladbare galvanische Zellen)



1900-1910: Die erste “Welle” der Elektromobilität

- **Die frühe „Automobilität“ war elektromobil …**
- 1899: Waldemar Jungner (Schweden) entwickelt die Nickel-Cadmium-Batterie
- 1902-1907: Thomas A. Edison (147 Patente zu Batterien!)
- LiOH Additiv im Elektrolyt verbessert die Nickel-Eisen-Batterie

(1907-1939)



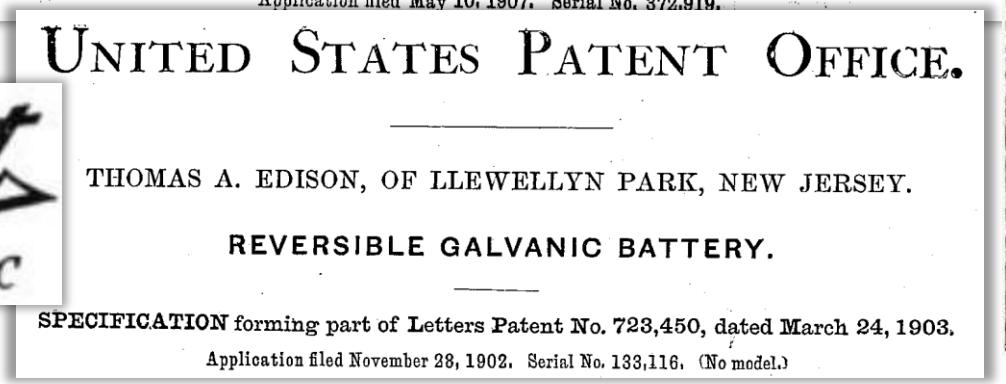
UNITED STATES PATENT OFFICE

THOMAS A. EDISON, OF LLEWELLYN PARK, ORANGE, NEW JERSEY, ASSIGNOR TO E STORAGE BATTERY COMPANY, OF WEST ORANGE, NEW JERSEY, A CORPORATION O JERSEY.

ELECTROLYTE FOR ALKALINE STORAGE BATTERIES.

No. 876,445. Specification of Letters Patent. Patented Jan. 14, 1

Application filed May 10, 1907. Serial No. 372,919.



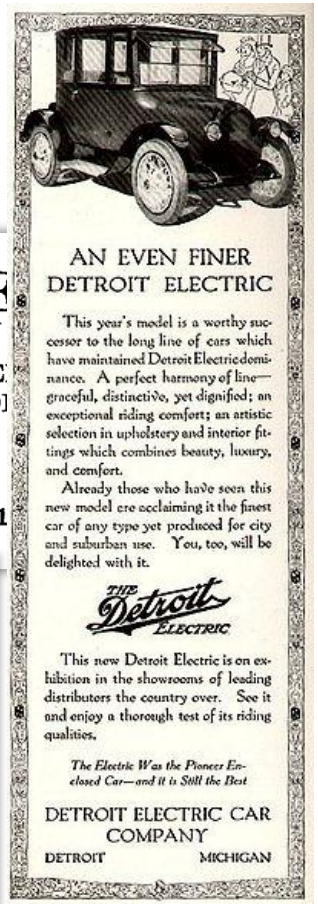
UNITED STATES PATENT OFFICE.

THOMAS A. EDISON, OF LLEWELLYN PARK, NEW JERSEY.

REVERSIBLE GALVANIC BATTERY.

SPECIFICATION forming part of Letters Patent No. 723,450, dated March 24, 1903.

Application filed November 28, 1902. Serial No. 133,116. (No model.)



AN EVEN FINER DETROIT ELECTRIC

This year's model is a worthy successor to the long line of cars which have maintained Detroit Electric dominance. A perfect harmony of line—graceful, distinctive, yet dignified; an exceptional riding comfort; an artistic selection in upholstery and interior fittings which combines beauty, luxury, and comfort.

Already those who have seen this new model are acclaiming it the finest car of any type yet produced for city and suburban use. You, too, will be delighted with it.

THE Detroit ELECTRIC

This new Detroit Electric is on exhibition in the showrooms of leading distributors the country over. See it and enjoy a thorough test of its riding qualities.

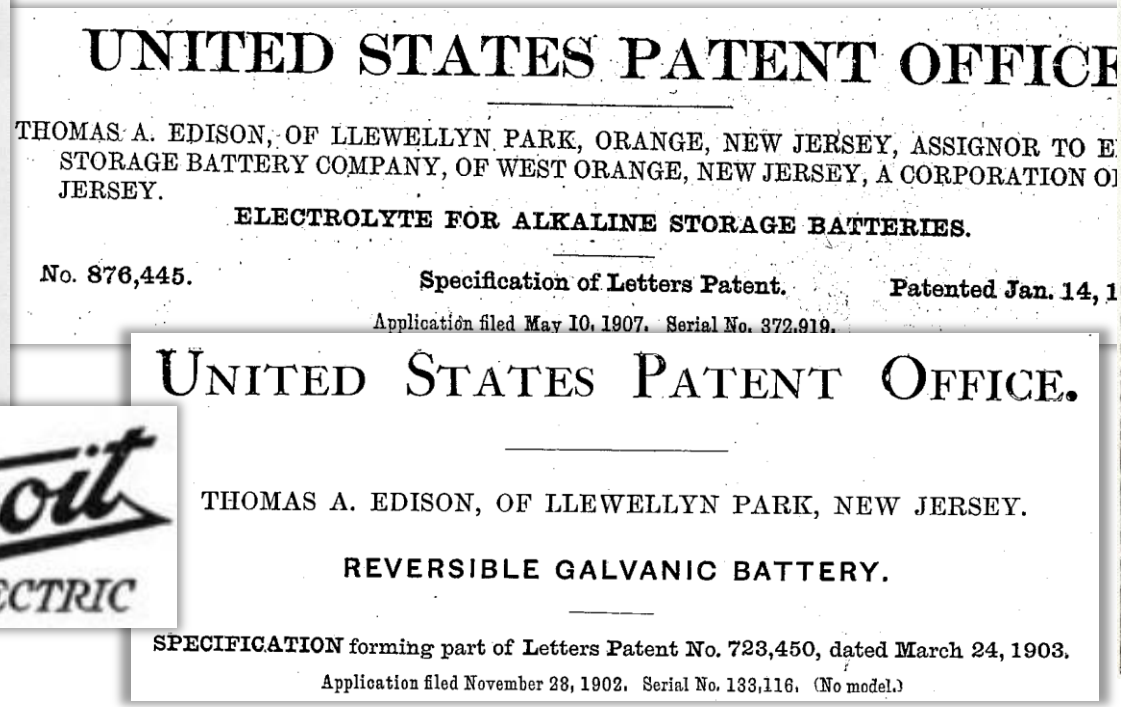
The Electric Was the Pioneer Enclosed Car—and it is Still the Best

DETROIT ELECTRIC CAR COMPANY
DETROIT MICHIGAN

1900-1910: Die erste “Welle” der Elektromobilität

- Spezifische Energie von Nickel-Eisen-Batterien: 30 Wh/kg - 50 Wh/kg
- Reichweite/Ladung: **130 km** (340 km Max. berichtet…) mit max. **32 km/h**
- Schätzung: 200 kg Batterie mit 40 Wh/kg liefert 8 kWh
- Schätzung: Damaliger Verbrauch von **6 kWh/100 km**
- **Heute**: Moderne Pkw benötigen ca. **15 kWh/100 km**

(1907-1939)



UNITED STATES PATENT OFFICE

THOMAS A. EDISON, OF LLEWELLYN PARK, ORANGE, NEW JERSEY, ASSIGNOR TO E STORAGE BATTERY COMPANY, OF WEST ORANGE, NEW JERSEY, A CORPORATION O JERSEY.

ELECTROLYTE FOR ALKALINE STORAGE BATTERIES.

No. 876,445. Specification of Letters Patent. Patented Jan. 14, 1

Application filed May 10, 1907. Serial No. 372,919.

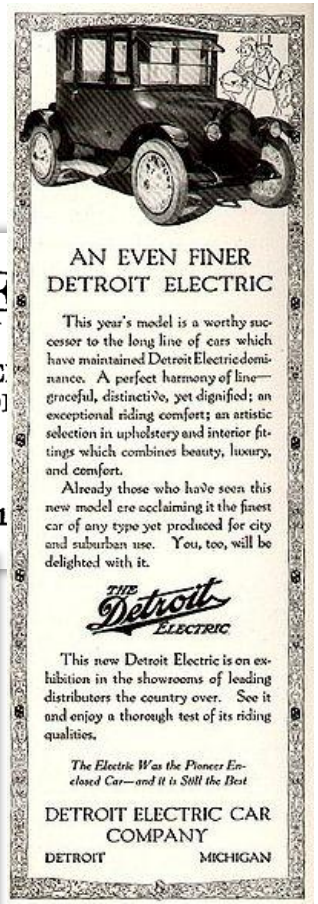
UNITED STATES PATENT OFFICE.

THOMAS A. EDISON, OF LLEWELLYN PARK, NEW JERSEY.

REVERSIBLE GALVANIC BATTERY.

SPECIFICATION forming part of Letters Patent No. 723,450, dated March 24, 1903.

Application filed November 28, 1902. Serial No. 133,116. (No model.)



AN EVEN FINER DETROIT ELECTRIC

This year's model is a worthy successor to the long line of cars which have maintained Detroit Electric dominance. A perfect harmony of line—graceful, distinctive, yet dignified; an exceptional riding comfort; an artistic selection in upholstery and interior fittings which combines beauty, luxury, and comfort.

Already those who have seen this new model are acclaiming it the finest car of any type yet produced for city and suburban use. You, too, will be delighted with it.

THE Detroit ELECTRIC

This new Detroit Electric is on exhibition in the showrooms of leading distributors the country over. See it and enjoy a thorough test of its riding qualities.

The Electric Was the Pioneer Enclosed Car—and it is Still the Best

DETROIT ELECTRIC CAR COMPANY
DETROIT MICHIGAN

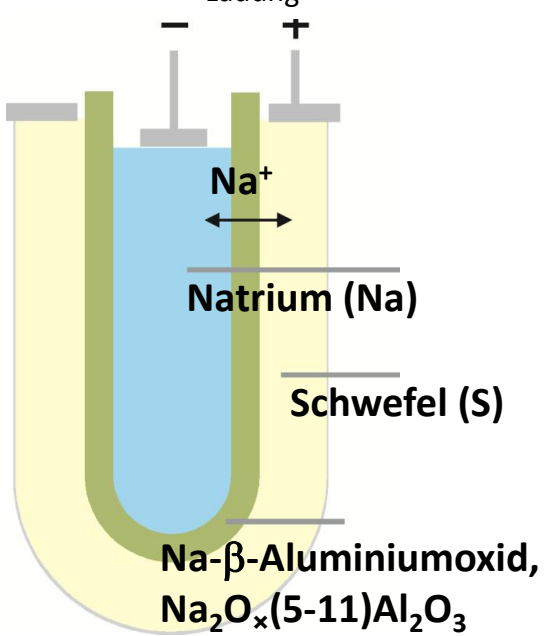
1970s: Die Öl-/Umweltkrise und die 2. Welle …

1967: Neil Weber/Joseph T. Kummer (Ford Motor Co.) erfinden die **Na/S Batterie**

1965-1967: Robert A. Huggins studiert „**Festkörper-Ionik**“
bei Carl Wagner in Göttingen

1972: 1. Konferenz zum „**Schnellen Ionentransport**“ in Belgirate/Italien
Intensive Batterieforschung in USA, Japan und Europa

$$2 \cdot Na + x \cdot S \underset{\text{Ladung}}{\overset{\text{Entladung}}{\rightleftharpoons}} Na_2S_x$$



1970s: Die Öl-/Umweltkrise und die 2. Welle …

1970s Vorschlag einer Li-Ionenbatterie durch Whittingham (Exxon)
Graphitanode: Yazami et al. (Grenoble)

1981 Kommerzielle Graphitanode (Bell Labs)

1983 Erste Oxid-Kathoden (Spinelle) durch Thackeray und Goodenough

1984 GE bricht Forschung an Natrium/Schwefel ab … Ende der „2. Welle“

„Without a market, what is the sense of development“

1991 Erste kommerzielle Lithium-Ionenbatterie (Sony).

1996 Lithium-Eisenphosphat ($LiFePO_4$) durch Goodenough

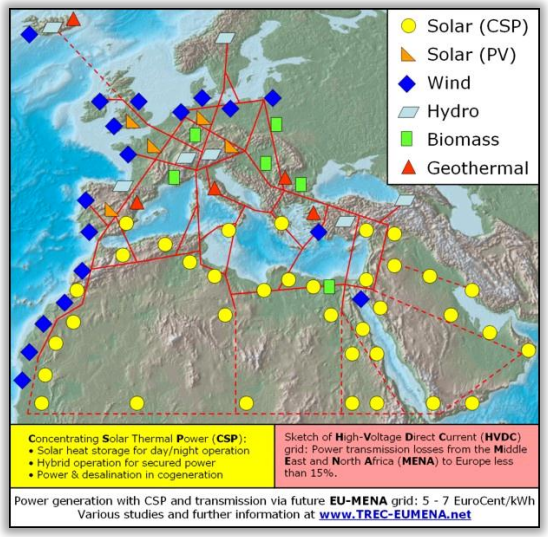
….

200x bis …. – Die dritte Welle

„Energieernte“

– Energieverbrauch

= Energiespeicherung



Abschätzung:

10 GW Windleistung speichern mit **3.3 Millionen Batterieladegeräten** (mit 3 kW)
(Deutschland: ca. 49 Mio. Fahrzeuge)

… **für 1 Stunde** (10 GWh) bei **15 %** Beladung von Fahrzeugbatterien
(mit 20 kWh/Batterie, 200 Wh/kg, 100 kg)

Deutschland (2011):
29 GW installiert

benötigt **330.000 Tonnen Batterien**

Bedarf nach Energiespeicherung – Stationäre Speicher

Deutschland (2011):

Installierte Leistung Windkrafträder: **29.000 MW**
(theoretische „Energieernte“: 254 Mrd. kWh/a = ca. 6,4 % des Primärenergiebedarfs)

Zahl Windkrafträder: **21.000 (circa)**

Reale „Energieernte“ (2011): **46,5 Mrd. kWh/a** (6.4 % des elektrischen Energieverbrauchs)

Mittlere Leistung / Windkraftrad: **1.2 MW**

Energiedichte w = 100 Wh/kg ⟶ m **= 12 Tonnen (pro 1 h)**

Electromobility requires lots of „chemistry“

Schätzung (grob):

1 Mio. Pkw 2020 mit jeweils einer Batterie von

200 kg Massw (mit 150 Wh/kg und einer Reichweite von 200 km) benötigen

200.000 Tonnen Batterien. 60 % Massenanteil der Zellchemie entspricht

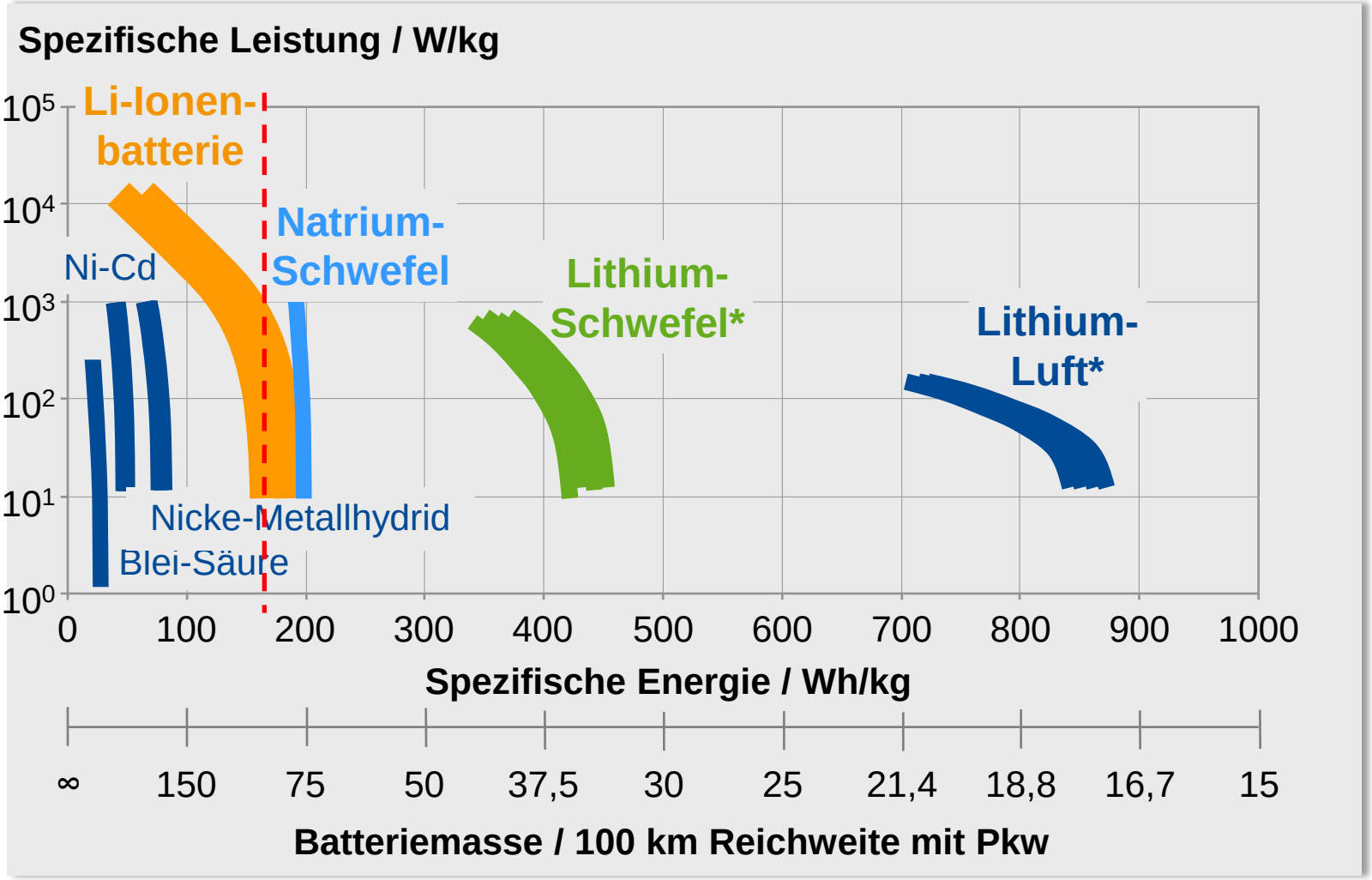
120.000 Tonnen Kathode, Anode, Elektrolyt, Separator, allein ca.

40.000 Tonnen Kathodenmaterial.

Die Entwicklung einer wirtschaftlich vernünftigen Zellchemie, eines Batterie-Recyclings und der entsprechenden Produktion ist ein Schlüsselthema für die chemische Industrie.

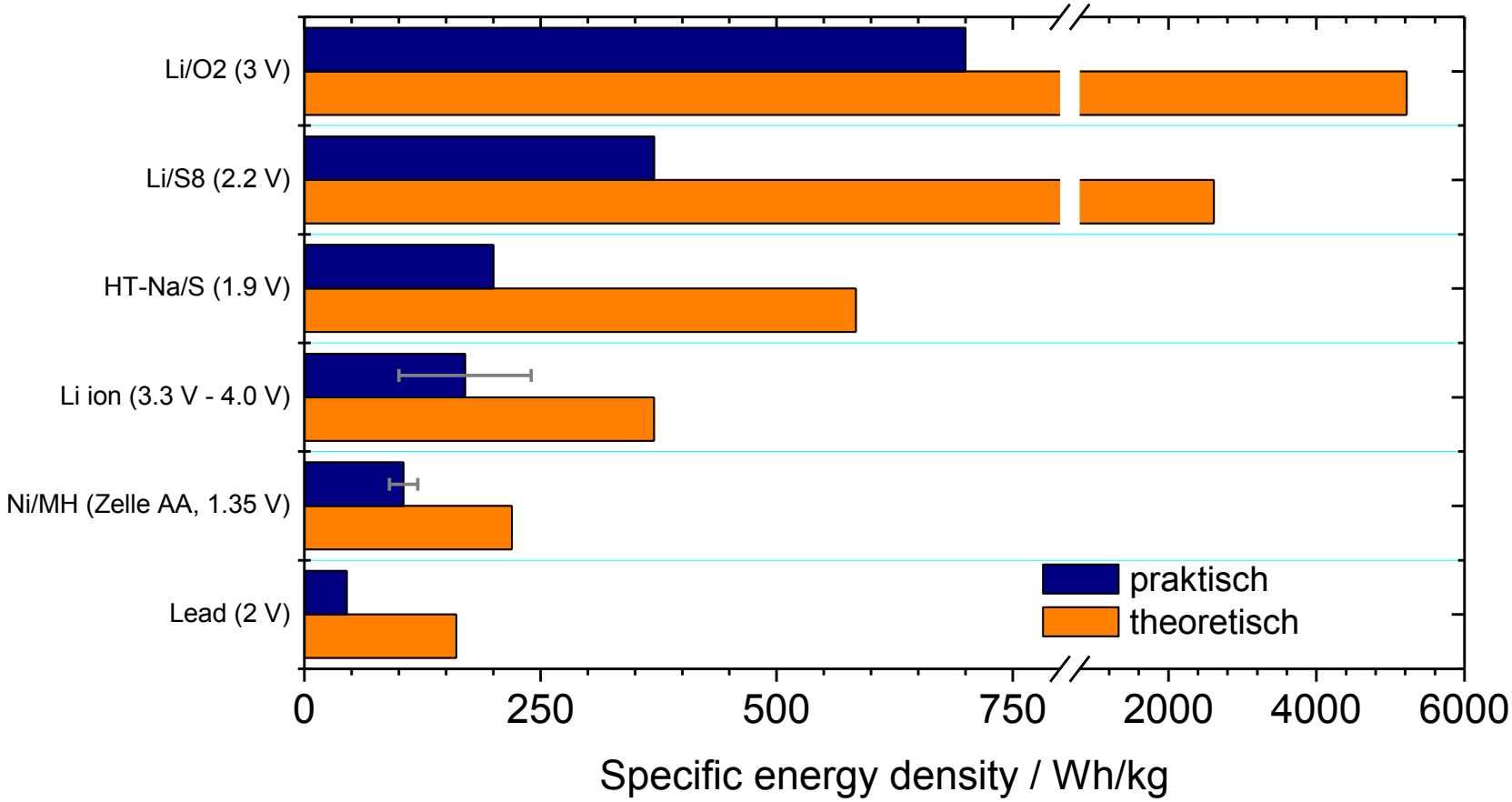
Batterien sind nicht automatisch grün – Energiespeicherung ist vermutlich nie grün….
… alle kommerziellen Systeme verwenden kostenintensive metallhaltige Elektroden.

Speicherkapazität von Batteriesystemen

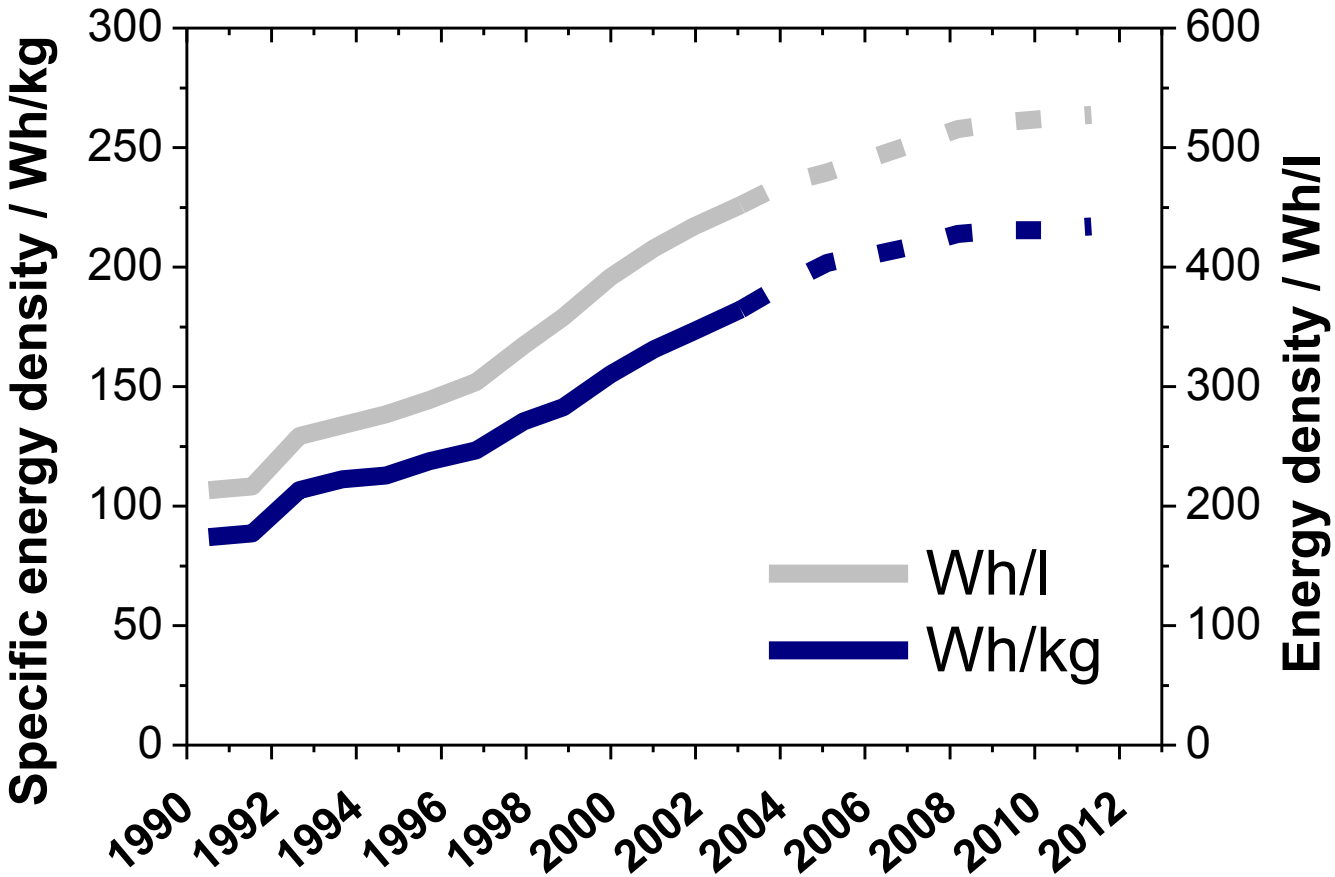


* Schätzung durch BASF SE

Gegenwärtige und zukünftige Batteriesysteme



Entwicklung der Speicherkapazität



Achtung: Große Unterschiede zwischen den theoretischen Grenzwerten und den praktisch erreichten Größen!

Stand der Batterietechnik (für Elektromobilität)

Benötigte Leistung	Mobile Elektronik	HEV	PHEV	EV *
"Elektrische Reichweite"	–	< 5 km	~ 60 km	~ 250 km
Energieverbrauch	6 Wh	< 1 kWh	~10 kWh	~ 40 kWh
Energiedichte	130 Wh/kg	< 100 Wh/kg	~ 130 Wh/kg	~ 200 Wh/kg
"Lebenszyklen"	500 volle Entladungen	500.000 leichte Entladungen	5.000 volle Entladungen ?	1.000 volle Entladungen ?

Energieverbrauch auf der Basis von 15 kWh / 100 km

(200 kg)

- **Grundsätzliche Leistungsdaten sind erreichbar**
- **Problem: Langzeitstabilität – Zellchemie und Materialinstabilitäten**

** Langzeitziel USABC for EVs*

Zusammenfassung

Fakt:

Elektrochemische Energiespeicherung ist bereits heute eine **unverzichtbare Technologie** in unserem täglichen Leben.

Chancen (Vielfalt!) und neue Herausforderungen

MWh

Stationäre Energiespeicher

kWh

Fahrzeugbatterien .... Starterbatterie, Hybride, Elektroauto

Mobile Elektronik/IT .... Telefon, Notebook, Kamera, ...

Wh

Intelligente Kleidung ?

mWh

Medizin („Reparatur“ und Diagnose) .... Herzschrittmacher, Hörgeräte, künstliche Augen, ... !

Was muss Forschung hier leisten?

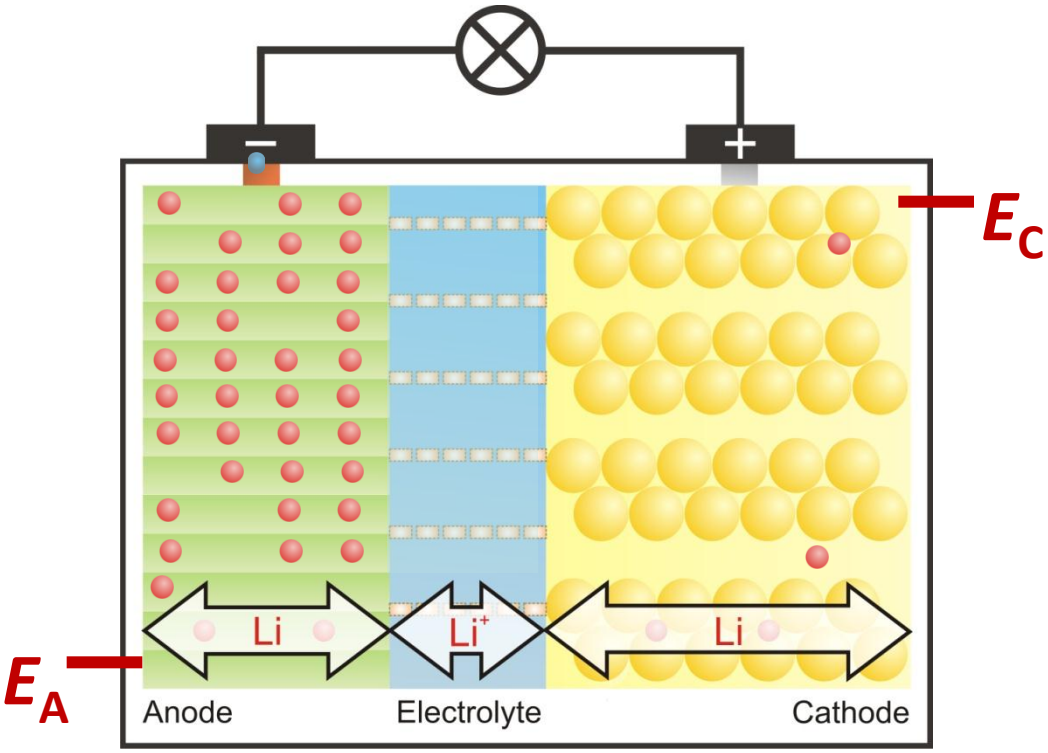
- Machkarkeit von „Systemen nächster Generation“ beweisen
- Stoffe und Stoffkombinationen für langzeitstabile Batteriesysteme
- Umweltfreundliche Batteriesysteme
- Kostengünstige Stoffsysteme ohne Verknappungsprobleme
- …

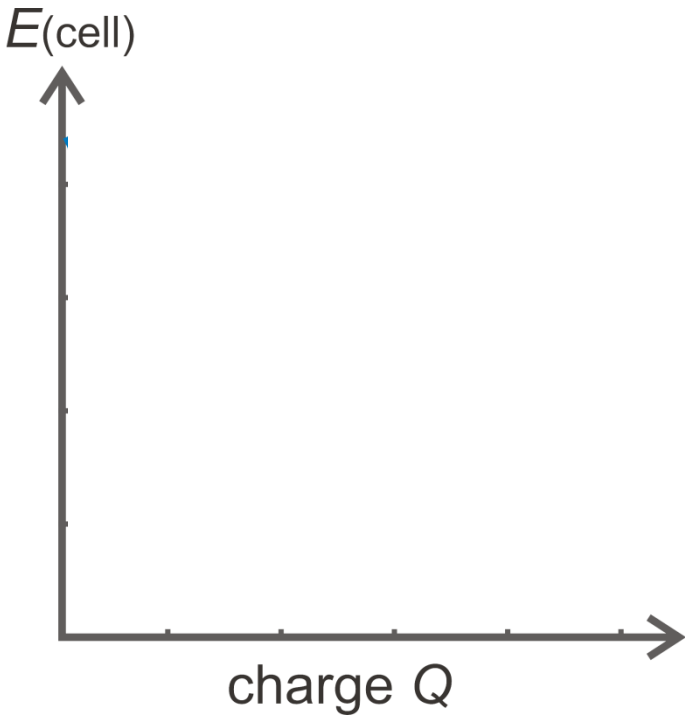
Brennstoffzellen (elektrochemische Wandler für Speicherstoffe)

Elektrochemische Energiespeicherung – Li-Ionenbatterie

Schematische Funktion einer Li-Ionenbatterie
(Graphit / Elektrolyt / Übergangsmetalloxid)

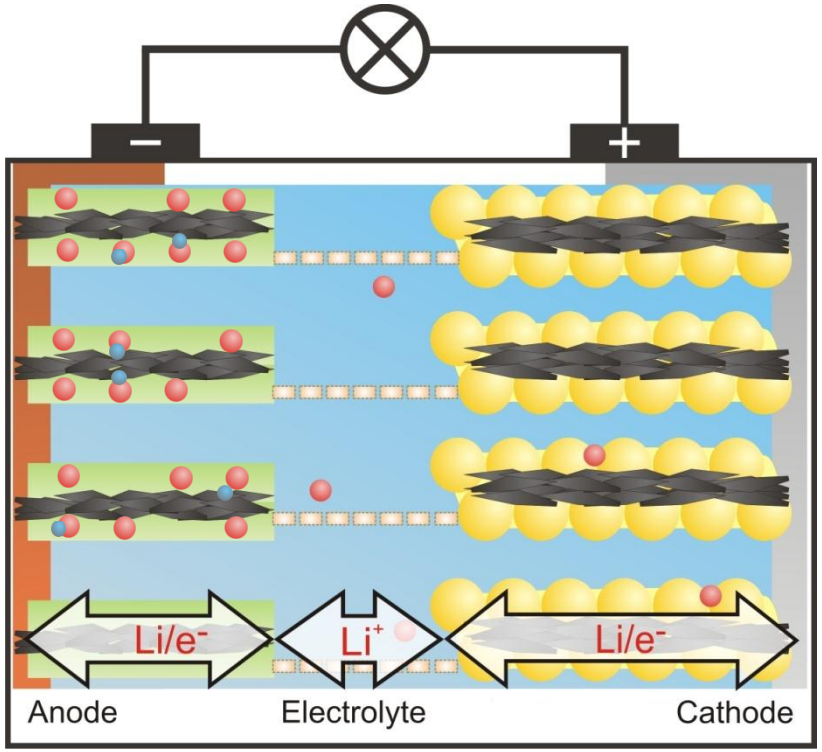
	Wh/kg	Wh/l
Metalloxid	150-240	450-680
$LiFePO_4$	90-120	200-230





Hochleistungsbatterien erfordern Hochleistungschemie

$$P = UI$$



Hohe Leistung:

- Hohe Spannung
- Hohe Stromdichte (hohe „C-Raten“)

Herausforderung:

Schneller Transport von Ionen durch Nanotechnologie

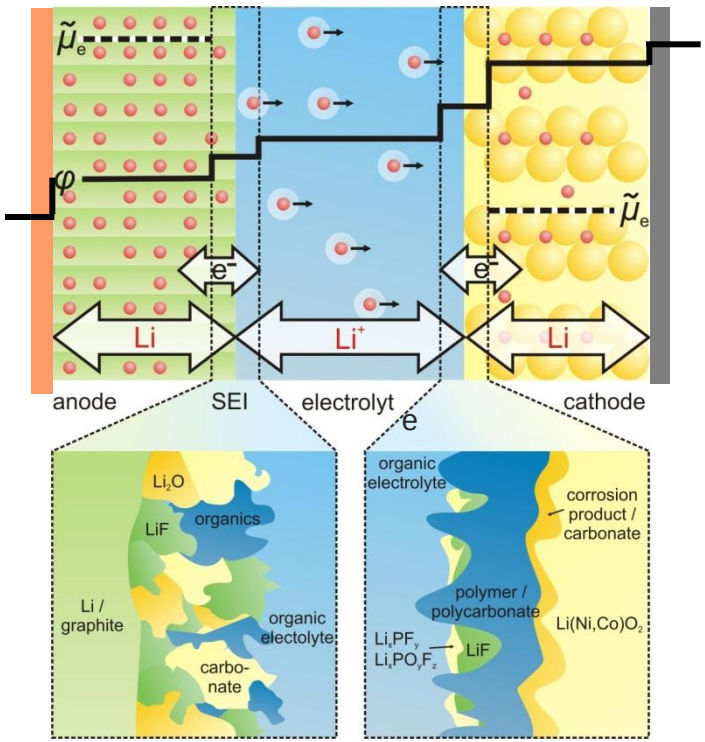
Battery materials – Quo vadis?

Electrolytes

- **Stable electrolytes for HV cathodes**
- **Better solvents, Li salts and aditives**

Anodes

- **Improved carbons**
  e.g.
- **SEI-free anodes**
  e.g. $Li_4Ti_5O_{12}$
- **Li metal**
- **Si or Si/C composite anodes**



Cathodes

- **Improved oxides**
  e.g.
- **High voltage materials**
  e.g. $Li(Mn,Co)PO_4$, $LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$
- **High power micro-structures/architectures**
- **Non-metal redox systems**
  e. g. sulfur
  e. g. oxygen

Separators, membranes and protecting films

- **thin protecting films**
- **Better solvents and Li salts**

Our aims

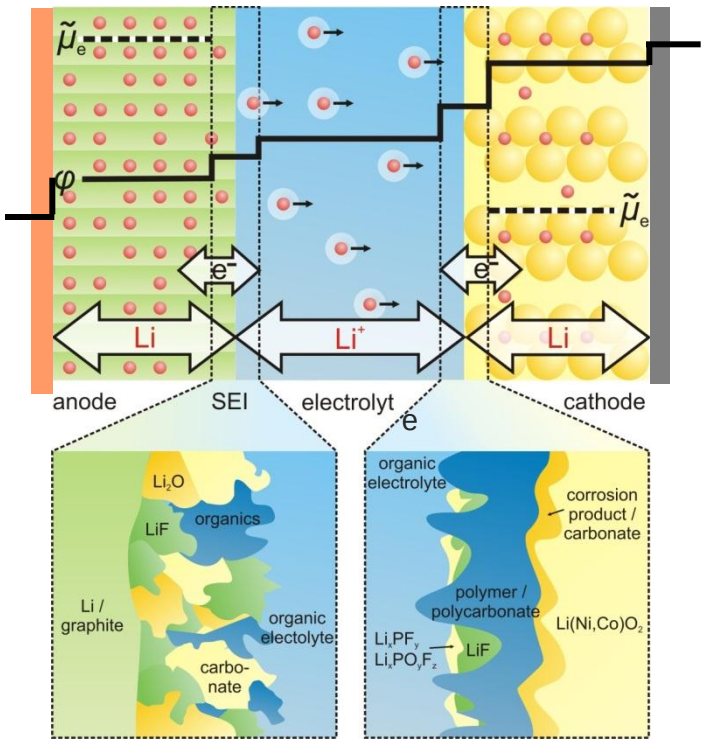
Electrolytes

- **Solid electrolytes**
- **Liquid electrolyte dispersions**

Na-based cells

(-> Philipp Adelhelm)

- **Na/carbon anodes**
- **electrolytes**
- **cathode concepts**



Cathodes

- **Interfaces of high voltage materials**
  e.g. $Li(Mn,Co)PO_4$, $LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O_4$
- **2D model systems**
- **Non-metal redox systems**
  e. g. sulfur
  e. g. oxygen

Separators, membranes and protecting films

- **Polymer/inorganic hybrid membranes**

Stationary Batteries – The Sodium-Sulfur battery

Large scale projects: NGK Insulators, LTD., Japan

NGK INSULATORS, LTD.

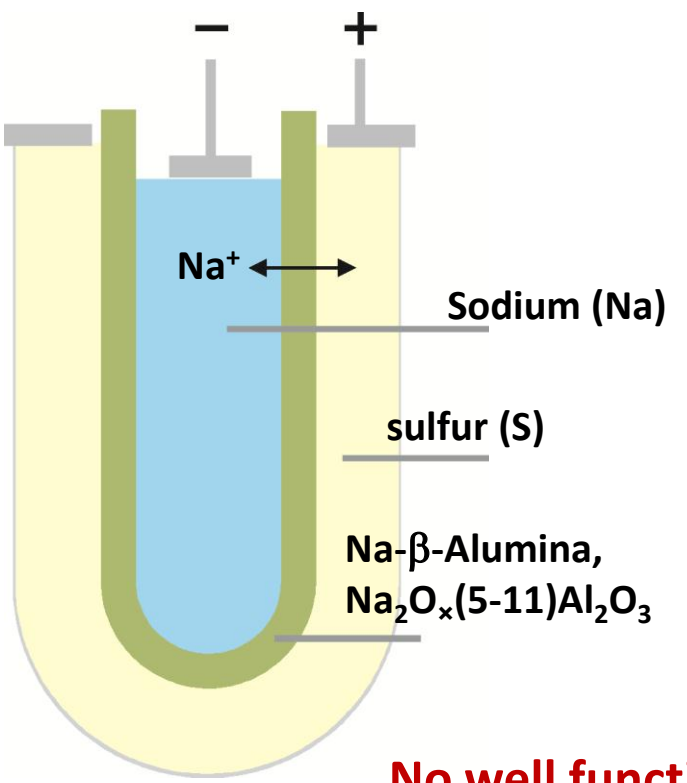
34 MW storage system for 51 MW wind park

1,5 MW storage system for 5 MW solar park

Project: Dr. Philipp Adelhelm

Stationary Batteries – The Sodium-Sulfur battery

$$2 \cdot Na + x \cdot S \underset{\text{charge}}{\overset{\text{discharge}}{\rightleftharpoons}} Na_2S_x$$

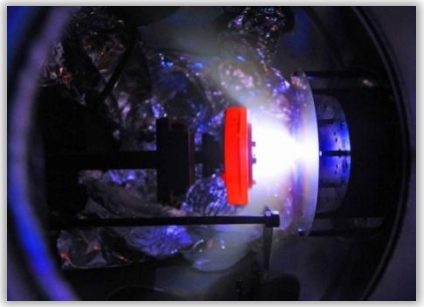


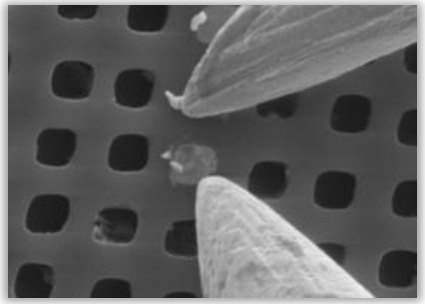
Characteristics:

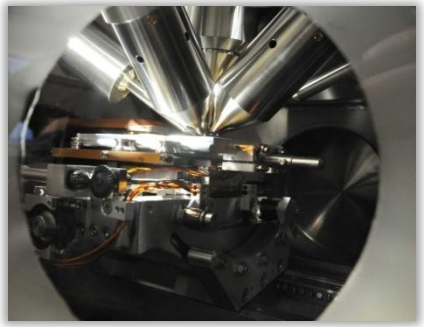
- high cell energy density, ≈ 200 Wh/kg (2 V)
- operation temperature 300 ° C to 400 °C
- virtually no self discharge
- high efficiency, > 85 %
- long life time, 15 Jahre
- recycling possible
- **abundant starting materials**

No well functioning room temperature cell concept yet.

Zusammenfassung







Der **Energieverbrauch** muss sinken.

Der Weg zu einer **Vollversorgung mit erneuerbaren Energien** ist unumgänglich.

Die Speicherung von Energie durch (zentralisierte) **Synthese von Energiespeicherstoffen** ist sehr wahrscheinlich.

Batterien werden unseren Alltag noch stärker als bisher mit bestimmen.

Allgemein:

Konzentration auf **die „elektronische“ Gesellschaft**. Langfristig werden wir Energie vorrangig elektrisch „ernten“ (Speicherung als strategische Aufgabe)

Denken Sie daran:

In unserer modernen Gesellschaft…

… sind gute mathematische und naturwissenschaftliche Kenntnisse zwingend!

… sollte es lächerlich sein, fehlende Kenntnisse in diesen Bereichen als witzig und entschuldbar anzusehen.

… ist es wichtig, Wissens- und nicht Bauch-gesteuerte Entscheidungen zu treffen.

Fördern Sie das mathematische und naturwissenschaftliche Interesse Ihrer Kinder.

Dank für finanzielle Förderung:

Justus Liebig-Universität
Laboratorium für Materialforschung (LaMa)

HMWK – Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst

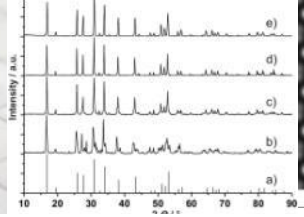
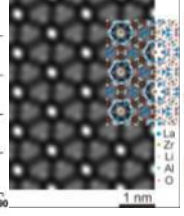
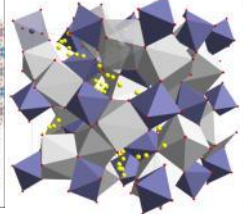
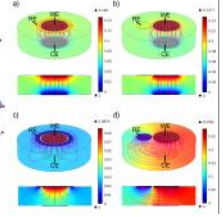
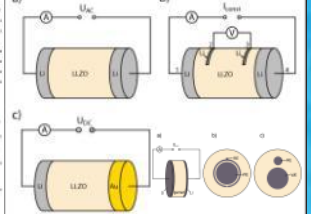
DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft
Verbundprojekt PAK 77 „Lithium high performance batteries“

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung
Projects „HE-Lion“, „LiVe“, Electrochemistry Alliance

BASF Netzwerk „Electrochemistry & Batteries“
Netzwerk partner: D. Aurbach (Bar Ilan University, Israel)
H. Gasteiger (TU Munich, Germany), B. Lucht (Rhode Island, USA)
L. Nazar (U Waterloo, Canada), P. Novak (Paul Scherrer Institute, Switzerland)

BELLA – Batteries and Electrochemistry Laboratory, KIT, Karlsruhe

FCI – Fonds der Chemischen Industrie

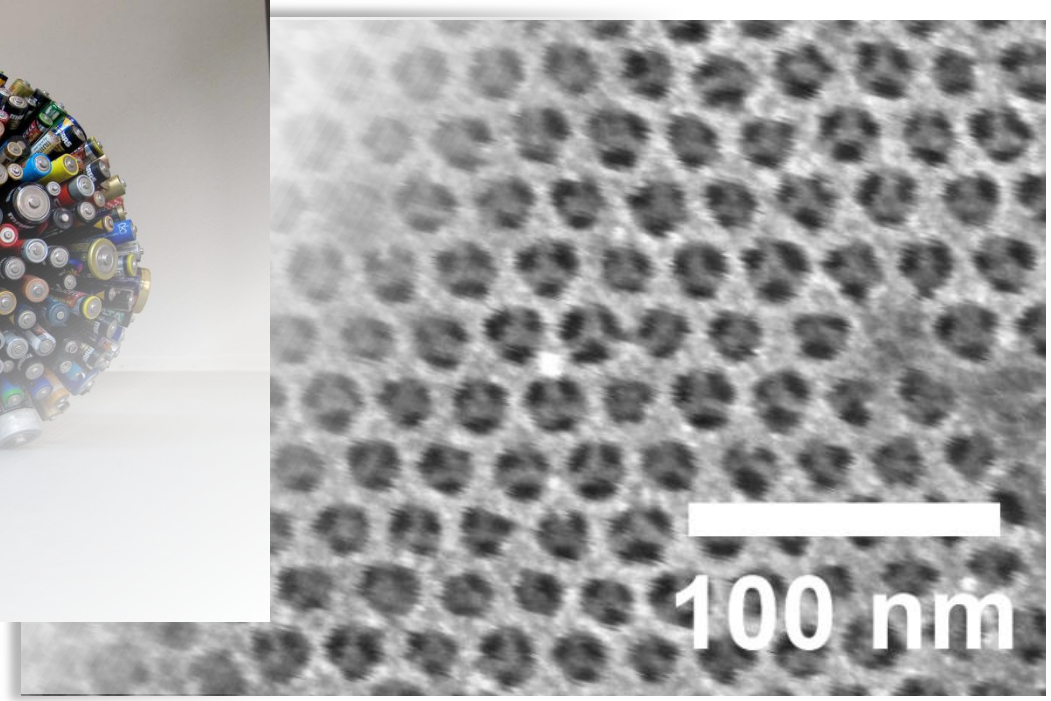
JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN

STORE-E

Stoffspeicherung in Grenzflächen

Philipps Universität Marburg

THM TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN



Finanzierung durch das HMWK für 2013 - 2015

STORE-E

Arbeitsgruppe Prof. Janek

Just v. Liebig