



Speicherung elektrischer Energie:

Chemische Speicherung elektrischer Energie

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Arlt

Universität Erlangen-Nürnberg

Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik

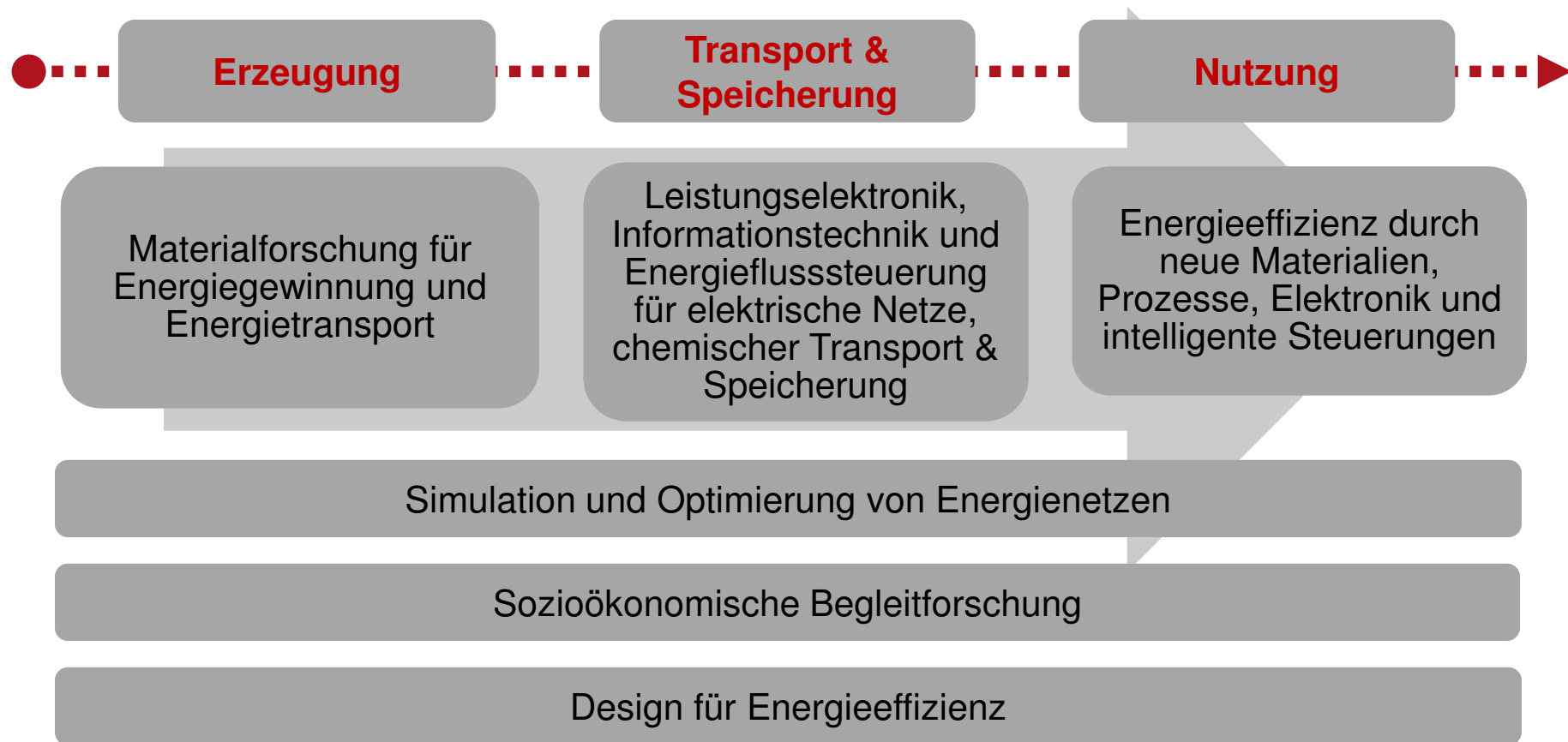
Wiss. Sprecher des Energie Campus Nürnberg EnCN

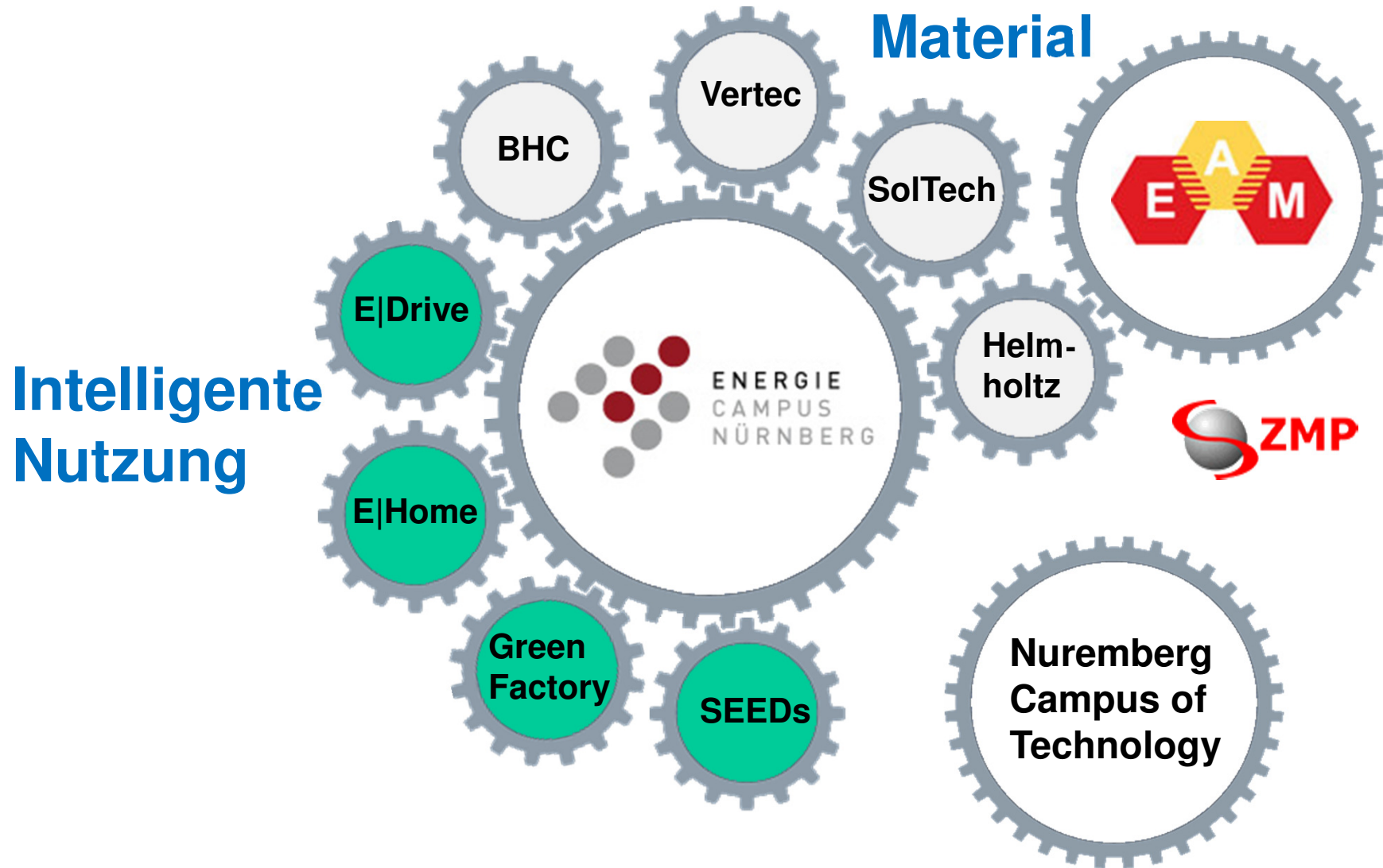
Mitglied des bayerischen Energierates

Wolfgang.Arlt@fau.de

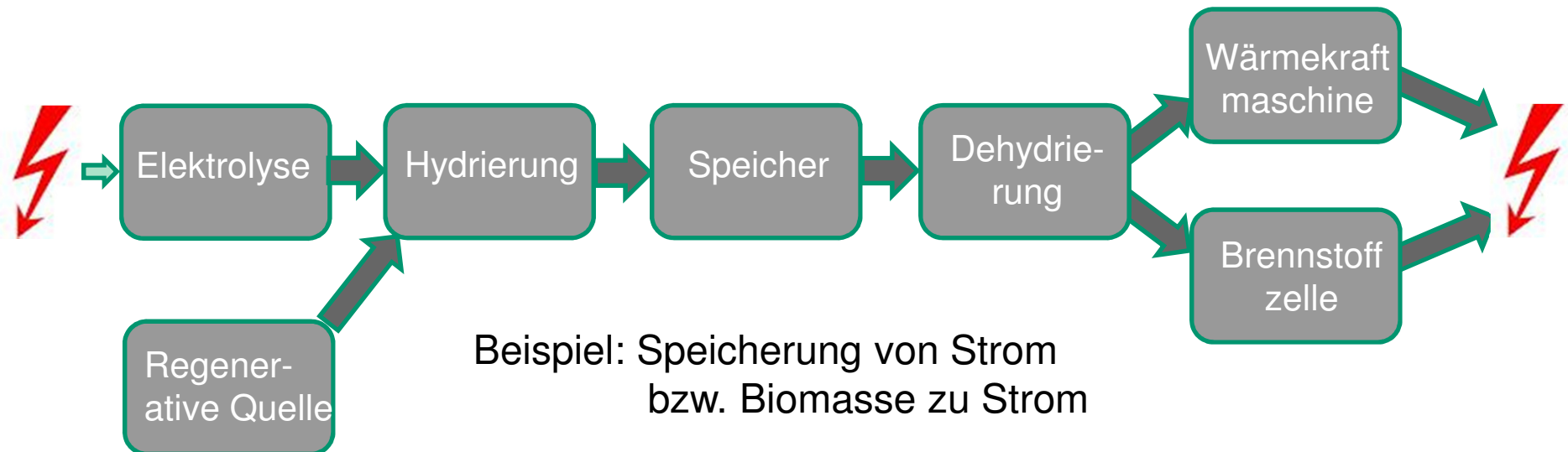
ENERGIE CAMPUS NÜRNBERG

Spitzenforschung entlang der Energiekette!





Gesamtinvestitionen von ca. 160 Mio. € durch den Freistaat in den letzten Jahren



Ziel: Wasserstoff-Wirtschaft

sicher – ohne niedrige Temp./hohen Druck – ohne neue Infrastruktur

Der finanzielle Preis

1. Menschengemachte Speicher kosten Geld
2. Im Moment sind die Betriebskosten der regenerativen Energien noch höher als die der fossilen -> Preissteigerung für den Verbraucher
3. Im Moment werden 2 Systeme nebeneinander gefahren -> Preissteigerung
4. Hergebrachte Unternehmen werden untergehen -> neue Arbeitsplätze nötig

Der ethische Preis

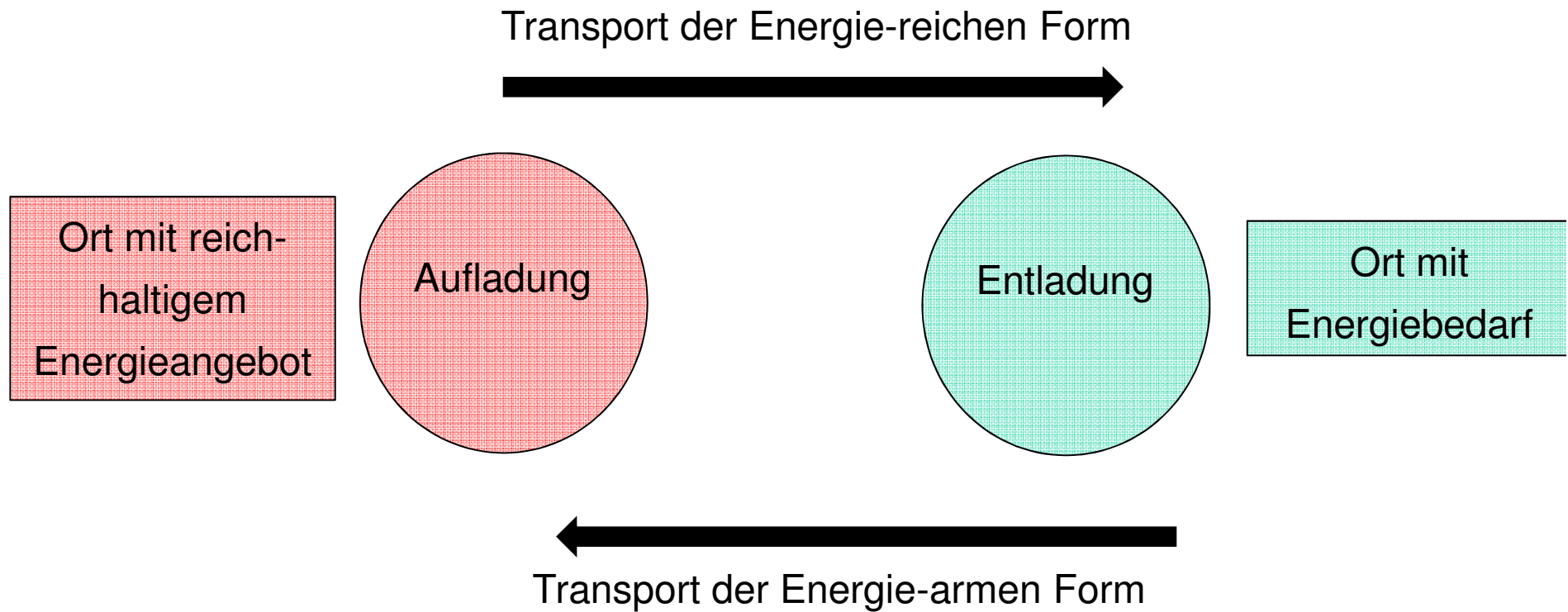
Das private und industrielle Leben muss sich stärker am nachhaltigen Energieangebot ausrichten

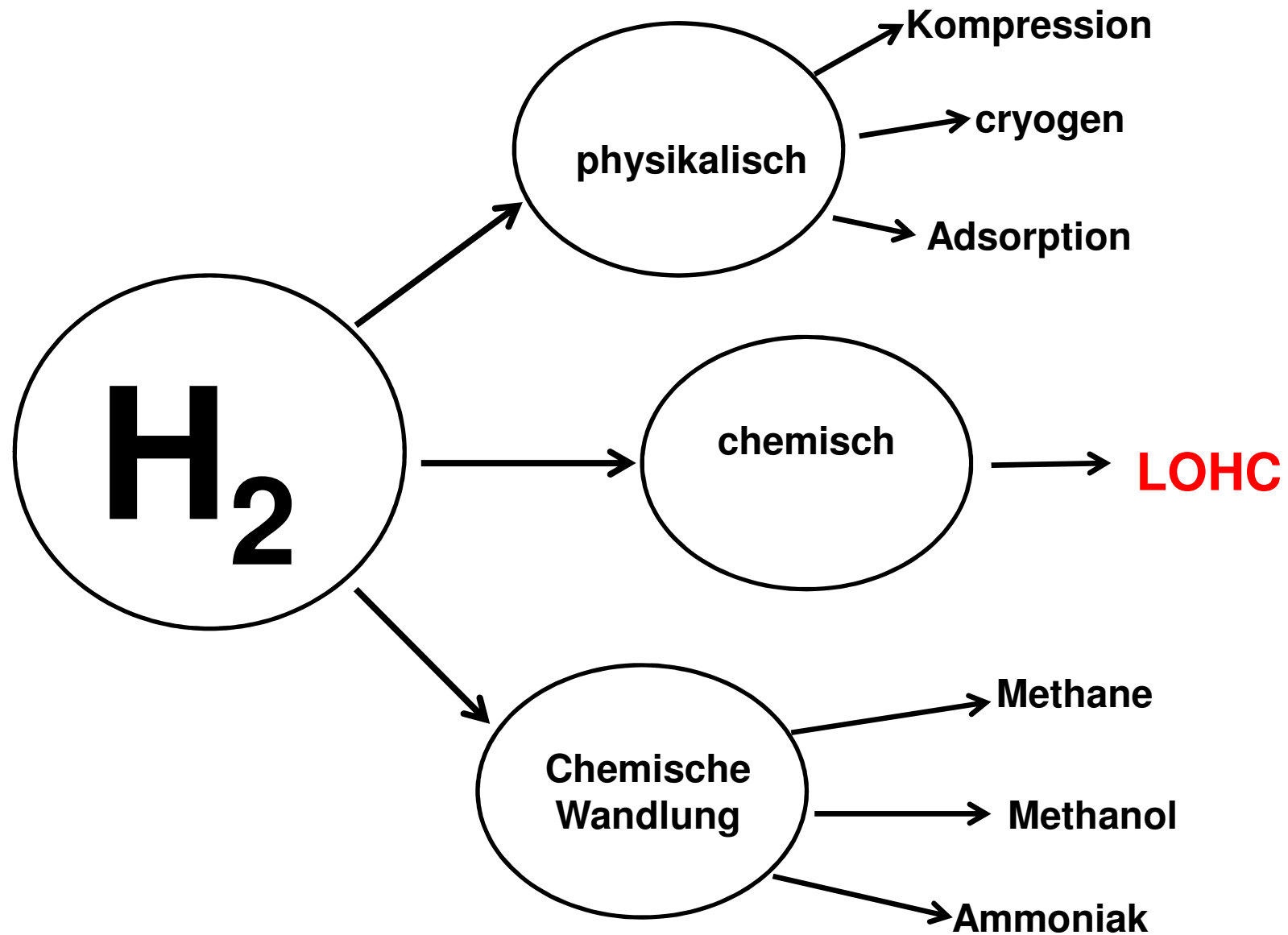
1. Arbeitszeiten nach dem Energieangebot ausrichten (8h Tag, 5 Tage Woche nicht mehr haltbar)
2. Diejenigen, die heute privat in regenerative Energien investieren können, koppeln sich teilweise vom Marktpreis ab; andere werden von Preissteigerungen voll getroffen
3. Die Durchdringung eines Haushalts mit Rechentechnik muss für alle Bevölkerungsschichten bedienbar sein
4. Variabler Preis führt zu sozialen Ungleichgewichten

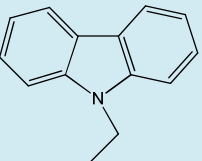
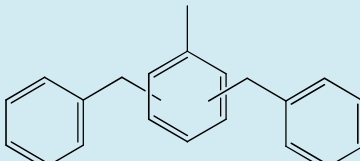
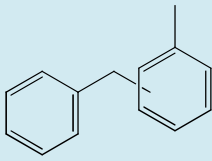
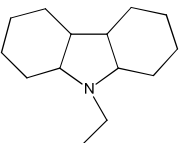
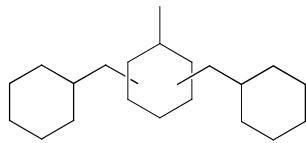
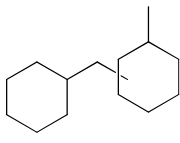
Flüssige organische Wasserstoffträger (engl. Liquid Organic Hydrogen Carriers, LOHCs) als mögliches Speichermedium für Wasserstoff

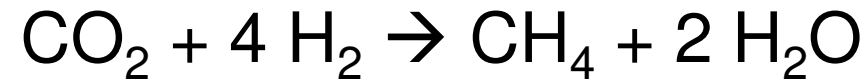
Anforderungen:

- flüssig bei Umgebungsbedingungen (25°C, 1 bar)
- niedriger Dampfdruck
- hohe thermische Stabilität
- ungiftig für den menschlichen Organismus
nicht umweltgefährdend
- hohe massenbezogene H₂-Speicherkapazität





LOHC System	NEC/H12-NEC	MSH/H18-MSH	MLH/H12-MLH
H ₂ -arme Form			
H ₂ -reiche Form			
Festpunkt (H ₂ -arme Form)	68 °C	-34 °C	-30 °C
Siedepunkt (H ₂ -arme Form)	270 °C	390 °C (Diesel: 170 – 390 °C)	280 °C
H ₂ -Beladung / m%	5.8	6.2	6.2
Energygehalt / kWh kg ⁻¹	1.91	2.05 (komm. Li-Ion-Batterie= 0.15)	2.05
Hydrierwärme / kJ mol ⁻¹ H ₂	55	71	71
Kosten €/ kg (1 ton scale)	ca. 40	ca. 4	ca. 4
Gefahrensymbol H ₂ -arme Form	Xn	- (Diesel: Xn, Otto-K.: giftig)	Xn



$$\Delta^{\text{R}}H^+ = -165 \text{ kJ/mol}$$

Ein Teil des eingesetzten Wasserstoffs wird bereits bei der Sabatierreaktion „verbrannt“.

→ Die Reaktion ist stark exotherm.
Diese Exothermie kann aber kaum genutzt werden.

→ Der erhaltene Brennwert ist geringer als der eingesetzte Brennwert.

Bei LOHC wird soviel Brennwert erhalten, wie eingesetzt wird.

Bewertung

- Bisher nur Großtechnik
- Problem der kostengünstigen CO₂-Quelle in Menge und Qualität
- Gute Lagermöglichkeit
- Ist auf fossile Kraftwerke angewiesen

Gesamtwirkungsgrad bei Verbrennung im Gasmotor

	Methanisierung	LOHC
Elektrolyse	70 %	70 %
Speicherung	90 %	98,6 %
Stromerzeugung	42 %	42 %
Gesamt	26,5 %	29 %

Bei der Methanisierung gehen etwa 9 % der Energie „verloren“, die beim LOHC-Konzept zurückgewonnen wird.

Alle chemischen Speicher bleiben bei 20-40% Wirkungsgrad Strom zu Strom „hängen“ -> Speicher-Wärme-Kopplung

Nutzbare Tragfähigkeit von N-Ethylcarbazol:	5,2 Ma% (Vol%)
Verbrauch eines Mercedes F-125 (FAZ 27.9.2011, S-Klasse, 136 PS, 220 km/h)	0,75 kg H ₂ /100 km
Für 600 km Reichweite, Bedarf an H ₂	4,5 kg
Benötigte Carbazol-Menge	87 Liter

Carbazol der Zukunft, <u>angestrebte</u> Tragfähigkeit	7%
Benötigte Menge an „Carbazol II“	64 Liter

Fazit: LOHC könnten sowohl in der Menge als auch in der Form vorhandene Tanks nutzen

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:HGÜ_Italien-Korsika-Sardinien.jpg

<http://www.panoramio.com/photo/15567255>

Leistung	2000 MW elektr.	2000 MW elektr., 1 Schiff 2100 to/h
Kosten	Sofort voller Betrag	Skaliert mit der elektr. Leistung
Akzeptanz	Niedrig	hoch
Infrastruktur	Muss errichtet werden	z.T. vorhanden (RMD-Kanal)
Reifegrad	Ausgereift	Wird 2014 im kleinen Maßstab erprobt
Flexibilität	Niedrig	Hoch
Speicherung	Nein	Ja

Einmal gebaute Leitung verhindert jede Innovation!

Vergleich

Batteriespeicher skalieren proportional mit der gespeicherten Energiemenge

Chemische Speicher skalieren mit der Leistung und sehr unterproportional mit der Menge

Batteriespeicher können hohe Leistungen flexibel abgeben

Chemische Speicher sind nicht so flexibel, eher Grundlast

Fazit

Batteriespeicher für kleine gespeicherte Mengen

Chemische Speicher für große Mengen und langen Zeitraum

Zusammenfassung

1. LOHC haben das Potential, die Pufferung der regenerativen Elektrizitätsversorgung, die Hausheizung und die Mobilität mit einem System zu lösen.
2. LOHC passen in die heutige Infrastruktur von Diesel und Benzin.
3. LOHC bieten intrinsisch eine Lösung des Klimaproblems.
4. Die Technik vieler LOHC-Einzelschritte ist in der chemischen Industrie bekannt.
5. LOHC bringt 4 leistungsfähige deutsche Industriezweige zusammen:

Chemie – Elektrotechnik – Fahrzeugbau - Umwelttechnik

Wir machen ein Technologie-Angebot. Nicht ein Professor sondern der Markt wird entscheiden!

Gefördert durch



Bayerische Staatsregierung