



Aktueller Stand und Entwicklungen der Batterieforschung für eine nachhaltige Mobilität

Dr.-Ing. Ralf Benger

Forschungszentrum Energiespeichertechnologien

Hildesheim

11.11.2019



Inhalt

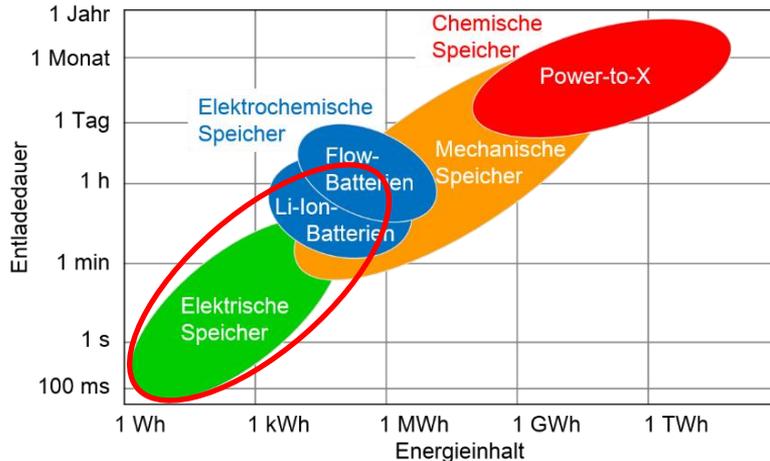
- Die Kernfragen der Elektromobilität
- Wann kommt die Superbatterie?
- „Volltanken“ in 5 Minuten?
- Ist ein Elektroauto ökologisch sinnvoll und woher kommt der Strom?
- Batterie oder Brennstoffzelle?

Forschungszentrum Energiespeichertechnologien der TU Clausthal

- Das EST repräsentiert den Clausthaler Forschungsschwerpunkt innerhalb des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen (EFZN) am Standort Goslar
- Thematisch fokussiert es die (elektrische) Energiespeicherung und –wandlung von leistungsstarken Kurzzeitspeichern bis hin zu saisonalen (stofflichen) Speichern



Thematische Ausrichtung



nach Abb. 12.2 in M. Sterner und I. Stadler:
Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration,
Springer Vieweg 2014, ISBN 978-3-642-37380-0
(eBook)

Gesellschaftliche Relevanz

- Effiziente Integration (technisch, ökonomisch, rechtlich, gesellschaftlich) regenerativer Energiewandlungs- und -speichersysteme in das Energienetz der Zukunft

Kernthemen der TUC

- Power to X-Technologien
- Kurz- und Langzeitspeicher
- Materialwissenschaften
- Energiesystemtechnik

Wissenschaftliche Fragestellungen

- Systemintegration von Speichern
- Second-Life Nutzung von Li-Ionen Batterien
- Grundlegende Prozesse der Methanisierung
- Katalytische Oberflächenstrukturierung

Die Kernfragen der Elektromobilität

1. **Reichweite** - Wie weit kann das E-Auto mit einer Batterieladung fahren?
2. **Infrastruktur** - Wie lange dauert die Vollladung der Batterie und woher kommt der Strom (CO₂-frei)?
3. **Preis** – was kostet elektrisch fahren?
4. Was passiert beim Unfall?



[Vortrag vom 28.11.2017, Berufs-
und Studienorientierungsnetzwerk
Schule und Wirtschaft]

Wann kommt die Superbatterie?



tagstaugliches Elektroauto eine Strecke von rund
minister | Rainer Brüderle | Mirko Hannemz



Der japanische Technologiekonzern hat eine neuartige Superschnell-Lade-Batterie für Elektroautos entwickelt: mit der Super Charge Ion Battery (SCiB) soll nach nur 6 Minuten Ladezeit bereits eine Reichweite von 320 Kilometern möglich sein.

Markteinführung der Superbatterie: 2019

Das wäre dreimal so viel Reichweite wie bei einer derzeit zum Einsatz kommenden **Li-Ionen-Batterie**. Möglich wird die Superleistung laut Toshiba durch den Einsatz von neuartigem Anode-Material wie Mischoxid-Titan un

Niob - ein selten vorkommendes Schwermetall, was hauptsächlich in Brasilien gefördert wird. Der Testeinsatz einer 50Ah-Prototyp-Batterie sei positiv verlaufen, so das Unternehmen.
Die Langlebbarkeit, die niedrige Betriebstemperatur und das Superschnelllade-Verhalten seien gewährleistet worden. Die

Energyload.eu
Emobilservers.de
Faz.net
Spiegel.de

Wann kommt die Superbatterie?



Das Internetpo

STROM WÄRME MOBILITÄT THEMEN ▾

Branchenver

US-Forscher entwickeln betankbare Batterie für 2.000 km Reichweite

13.02.2019 / [Archiv](#) / [Photovoltaik](#) / [Speicher](#) / [Top Solar News](#)

Eric Naumann testet mit Kollegm die neue Flow-Batterie, die Autos 2.000 Kilometer weit tragen soll. Foto: Lyna Landis, Purdue Research Foundation

Mit einer neuartigen Durchflussbatterie wollen Wissenschaftler der Purdue-Universität lange Ladezeiten abschaffen. Die Elektrolyte sind tankbar und können durch Photovoltaik und andere regenerative Energien geladen werden.

Solarserver.de

Spezifischer Brennwert im Vergleich



<http://www.flensburg-online.de>



Benzin

<http://www.hood.de>



Salami-Pizza

<http://www.rezeptesuchen.com>



<http://www.kappit.com>

Wasser bei 100°C



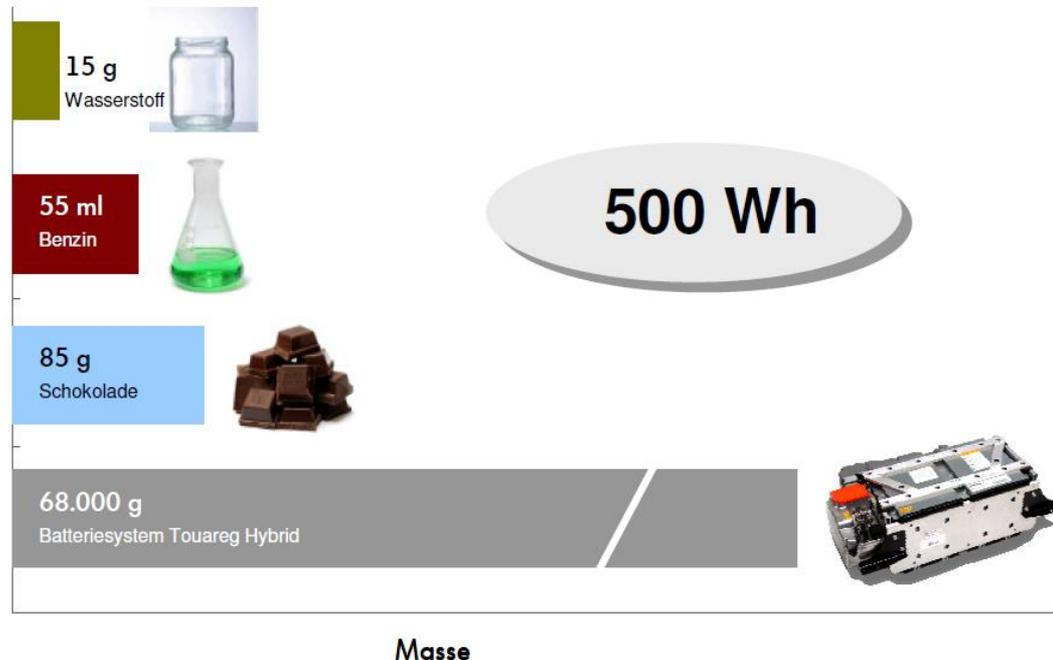
Tesla Model 3
Batterie

[\https://www.mobilegeeks.de

[https://www.goingelectric.de/forum/viewtopic.php?t=38323\]](https://www.goingelectric.de/forum/viewtopic.php?t=38323)

Angaben in kJ/kg

Energiedichten verschiedener Energieträger im Vergleich



[Schmitz: Brennstoffzellen und Batterien- Optionen für die Elektromobilität, Summerschool 2010]

Wann kommt die Superbatterie?

- Theoretische spezifische Energiedichten von
 - Lithium-Schwefel-Batterien: 2,5 kWh/kg
 - Lithium-Luft: 11 kWh/kg
 - Feststoffbatterien: 11 kWh/kg

Wann kommt die Superbatterie?

- Realistisch erreichbare spezifische Energiedichten von
 - Lithium-Schwefel-Batterien: 700 Wh/kg
 - Lithium-Luft: 1000 Wh/kg
 - Feststoffbatterien: 450 Wh/kg
 - und viele unbeantwortete Fragestellungen....

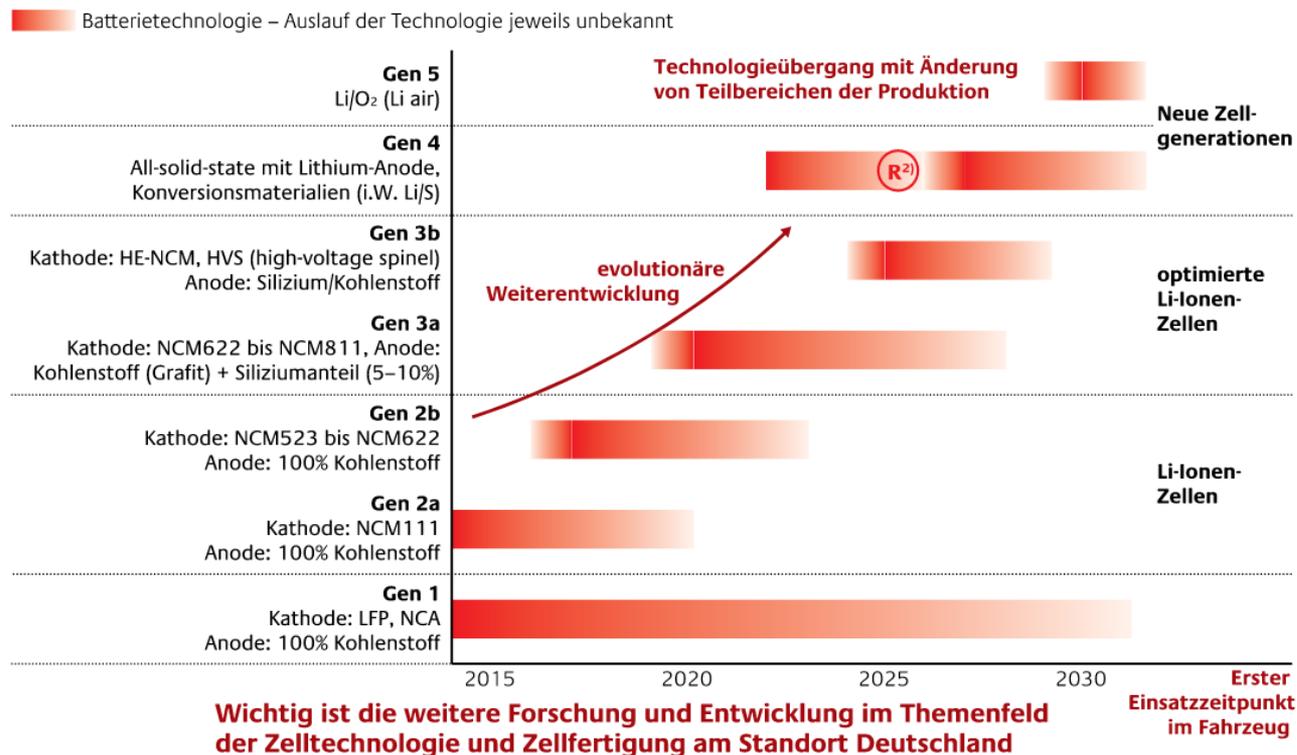
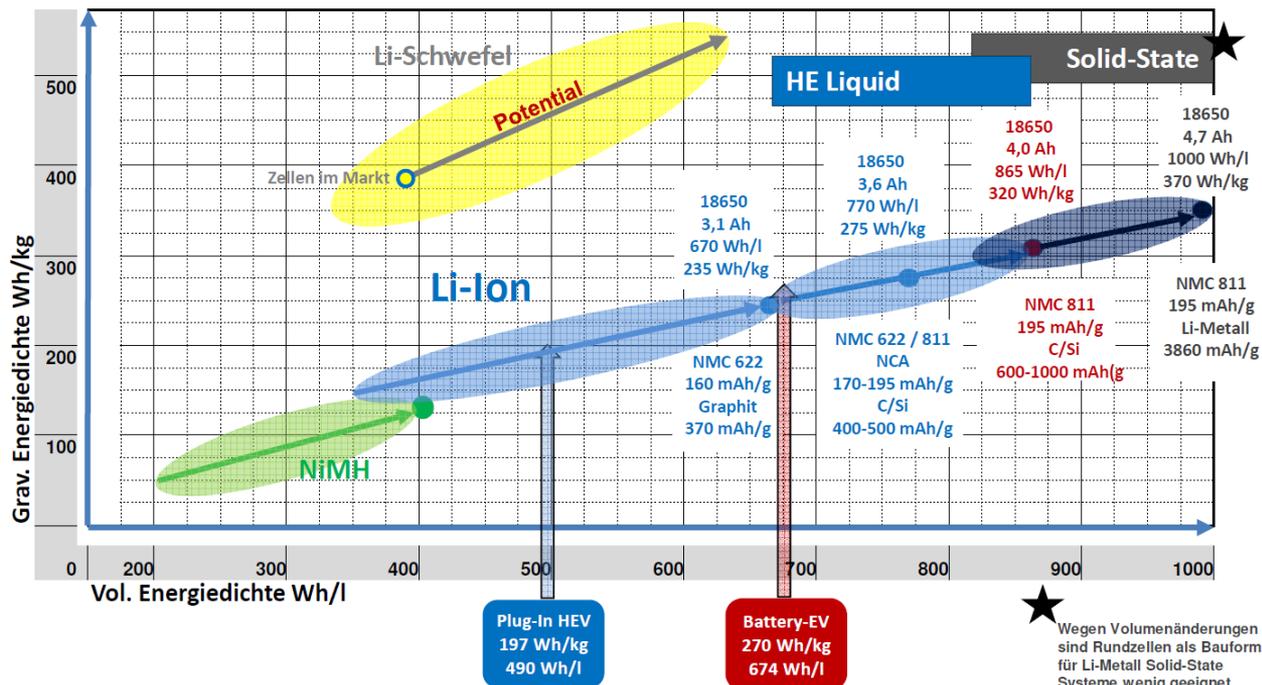


Abbildung 8:
Entwicklung
Roadmap Zell-
technologie
2015 bis 2030¹⁾

[http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/NPE_AG2_Roadmap_Zellfertigung_final_bf.pdf, 2015]

Einordnung im Vergleich zum Stand der Wissenschaft und Technik

Li-Ion Energiedichten auf Basis von 18650 Zellen

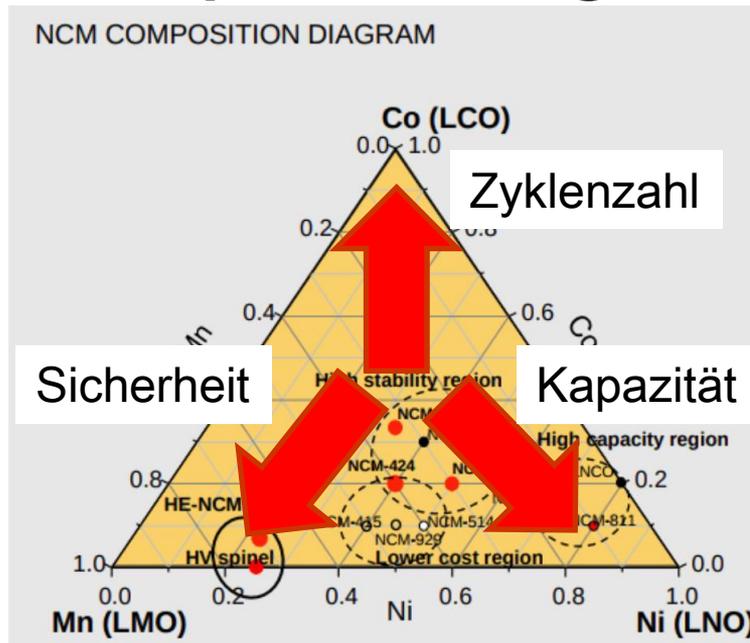


[Holl: Forschungen zu innovativen Hochenergie-Zellchemien und ressourceneffizienten Darstellungsprozessen für Lithium-Ionen-Batteriezellen für mobile Anwendungen in Deutschland - (LiMo), Statusseminar BMWi, 2018]
Dr.-Ing. Ralf Bengler, Aktueller Stand und Entwicklungen der Batterieforschung

Klimaschutzagentur Hildesheim, 11.11.2019

Wann kommt die Superbatterie? - Zukünftige Entwicklungen NCM Composition Diagram

1	State-of-the-art	NCM 111: $\text{Li}_{1+x}(\text{Ni}_{0.33}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.33})_{1-x}\text{O}_2$ Discharge Capacity: 154 Ah/kg @ 0.1C
		NCM 523: $\text{Li}_{1+x}(\text{Ni}_{0.5}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.3})_{1-x}\text{O}_2$ Discharge Capacity: 164 Ah/kg @ 0.1C
		NCM 424: $\text{Li}_{1+x}(\text{Ni}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.4})_{1-x}\text{O}_2$ Discharge Capacity: 155 Ah/kg @ 0.1C
2	Hi Nickel	NCM 622 Discharge Capacity: 178 Ah/kg @ 0.1C
		NCM 811 and others Discharge Capacity: >185 Ah/kg @ 0.1C
3	Mn rich	HE-NCM: Discharge Capacity: 260 Ah/kg @ 0.1C
		HV-Spinel: Discharge Capacity: 140 Ah/kg @ 1C



[<https://cleantechnica.com/2018/03/04/exciting-developments-nmc-811-lithium-battery-technology/>]

1000km Laden in 5 Minuten?



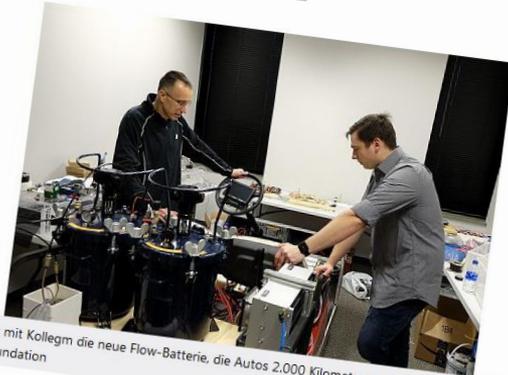
STROM WÄRME MOBILITÄT THEMEN

Das Internetpo

Branchenver

US-Forscher entwickeln betankbare Batterie für 2.000 km Reichweite

13.02.2019 / Archiv / Photovoltaik / Speicher / Top Solar News



Eric Naumann testet mit Kollegm die neue Flow-Batterie, die Autos 2.000 Kilometer weit tragen soll. Foto: Lyna Landis, Purdue Research Foundation

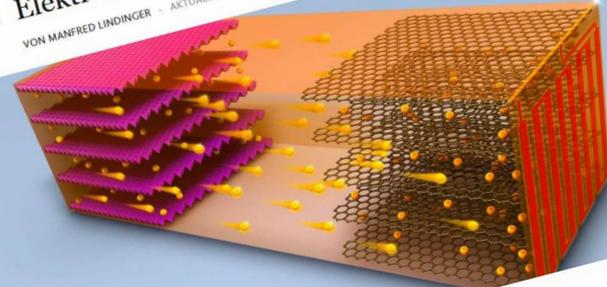
Mit einer neuartigen Durchflussbatterie wollen Wissenschaftler der Purdue-Universität lange Ladezeiten abschaffen. Die Elektrolyte sind tankbar und können durch Photovoltaik und andere regenerative Energien geladen werden.

Solarserver.de

LADUNG IN REKORDZEIT

Revolutioniert diese Lithium-Batterie die Elektromobilität?

VON MANFRED LINDINGER - AKTUALISIERT AM 30.10.2019 - 18:44



Quelle: iStock.com/Chintakrishna, www.silicon.com/Chintakrishna und Linaus/Andreas/Dirk

Faz.net

1000km Laden in 5 Minuten?

Ein durchschnittlicher „konventioneller“ Tankvorgang dauert nicht länger als 5 Minuten.

Bei der Aufnahme von 50l Benzin entspräche dieses einer elektrischen Anschlussleistung von:

$$42000 \text{ kJ/kg} \cdot 0,75 \text{ kg/l} \cdot \frac{50\text{l}}{300\text{s}} = 5,25 \text{ MW} !!$$



[http:// www.bergershop.com](http://www.bergershop.com)

1000km Laden in 5 Minuten?

Aber:

- 50 li Benzin entsprechen 437 kWh
- Bei 20kWh_e / 100 km könnte man also mehr als 2000km weit fahren.
- Batteriekapazitäten zwischen 50kWh und 100kWh erscheinen zukünftig realistisch, wodurch Reichweiten von 300-500 km möglich werden.

- 100kWh in 5 Minuten sind „nur noch“ 1,2MW....
- 500kW sind für Elektrofahrzeuge durchaus realistisch und auch Gegenstand aktueller Forschungsaktivitäten (High Power Charging)
- Im Sprachgebrauch sollte man zukünftig von Reichweitengewinn / Minute Ladezeit sprechen anstatt von der Zeit bis zur Vollladung

1000km Laden in 5 Minuten?



Tesla Supercharger
[insideev.com]

400V

170kW

Ladezeit: 30min. (85kWh)

$$\begin{aligned} t' / 100km \\ = 7min \end{aligned}$$



Porsche High Power Charger
800V, 350kW
[electrive.net, porsche.de]

Ladezeit: 20min. (100kWh)

$$t' / 100km = 4min$$



Pantograph
350 - 500kW
[schunk-group.com]

Ladezeit: 12min. (100kWh)
(Zukunft)

$$t' / 100km = 2,4min$$

1000km Laden in 5 Minuten?

There are many DC charging standards currently available... but the Power is too low. Target must be **1 to 3 MW**

	GB/T	New GB/T	CHAdeMO	CharIN		Tesla	Proposed
Max Power	950V x 250A = 237.5 kW	1500V x 600A = 900 kW	1000V x 400A = 400 kW	1000V x 500A = 500 kW	1000V x 500A = 500 kW	410V x 610A = 250 kW	1500V x 2000A = 3 MW??
Range add /minute charge	1.5 miles	5.8 miles	2.6 miles	3.2 miles	3.2 miles	1.6 miles	19.2 miles
Communication Protocol	CAN (SAE J1939)	CAN (SAE J1939)	CAN (ISO 11898)	PLC (ISO 15118)	PLC (ISO 15118)	CAN (SAE J2411)	CAN or Ethernet (ISO 15118)
Location Used	China, India	China	Global	US	EU, South Korea, Australia	Global	US?, EU?
Related Standards	IEC 61851	IEC 61851	IEC 61851 IEEE 2030.1	IEC 61851 SAE J1772	IEC 61851	none	none
Notes	none	Liquid Cooled under development	Liquid Cooled under development	Liquid Cooled	Liquid Cooled	Liquid Cooled	Liquid Cooled

HPCVC: High
Power
Commercial
Vehicle
Charging

What already exists?

There are many DC charging standards.
See table.

Why do we need another?

Target charge times of 20 minutes
(currently possible with today's batteries)
on commercial EVs require power levels
of **~1-3 MW**

Why not AC?

AC charging requires that the inverter be
carried on the vehicle, which is a limiting
factor in weight and charging speed.

Ist ein Elektroauto ökologisch sinnvoll und woher kommt der Strom?

Stromnetz nicht bereit für Ausbreitung von E-Autos

Eng werden könnte es gerade in den Autoländern Bayern und Baden-Württemberg

München (dpa) • Das Stromnetz in den Autoländern Bayern und Baden-Württemberg ist nach Brancheneinschätzung nicht auf die erwartete Verbreitung von Elektroautos und Wärmepumpen vorbereitet. Die Energiewirtschaft geht davon aus, dass in Zukunft deutlich höhere Lastspitzen auftreten als bisher, heißt es bei den Verbänden für Energie- und Wasserwirtschaft in den beiden wirtschaftsstarken Bundesländern. Zugleich geht die in Süddeutschland produzierte Strommenge zu-

rück. Die vier Übertragungsbetreiber erwarten in den Berechnungen für den Netzentwicklungsplan, dass die Stromproduktion im Süden nach der Abschaltung des letzten Atomkraftwerks 2022 deutlich unter dem Bedarf liegen wird.

Sowohl in Bayern als auch in Baden-Württemberg deckten Atomkraftwerke bis zur Nuklearkatastrophe von Fukushima 2011 etwa die Hälfte des Strombedarfs. Der Atomstrom wird ab dem Jahreswechsel 2022/23 fehlen. Die geplanten Gleichstrom-

Höchstspannungsstrassen von Nord- und Ostdeutschland nach Süden aber werden nach allgemeiner Einschätzung frühestens 2025 fertig sein.

Für die Belastung des Stromnetzes entscheidend ist die Nachfrage in Spitzenzeiten. „Wenn alle sieben Millionen Autos in Bayern elektrisch fahren würden, hätten wir einen um 20 bis 25 Prozent höheren Strombedarf“, sagte Detlef Fischer, Geschäftsführer des Verbands der bayerischen Energie- und Wasserwirtschaft.



Das deutsche Stromnetz ist auf eine massenhafte Verbreitung von E-Mobilen gar nicht vorbereitet. Foto: [unbekannt]

„Energiewende setzt Stromnetz massiv unter Druck – immer mehr teure Eingriffe“ [heise.de]

[Haldensleber Volksstimme, 21.08.2017]

Erneuerbare Energien und Netzstabilität: Geht es vorerst auch ohne Speicher?

[Bundesverband Energiespeicher]



[wir-ernten-was-wir-saeen.de]

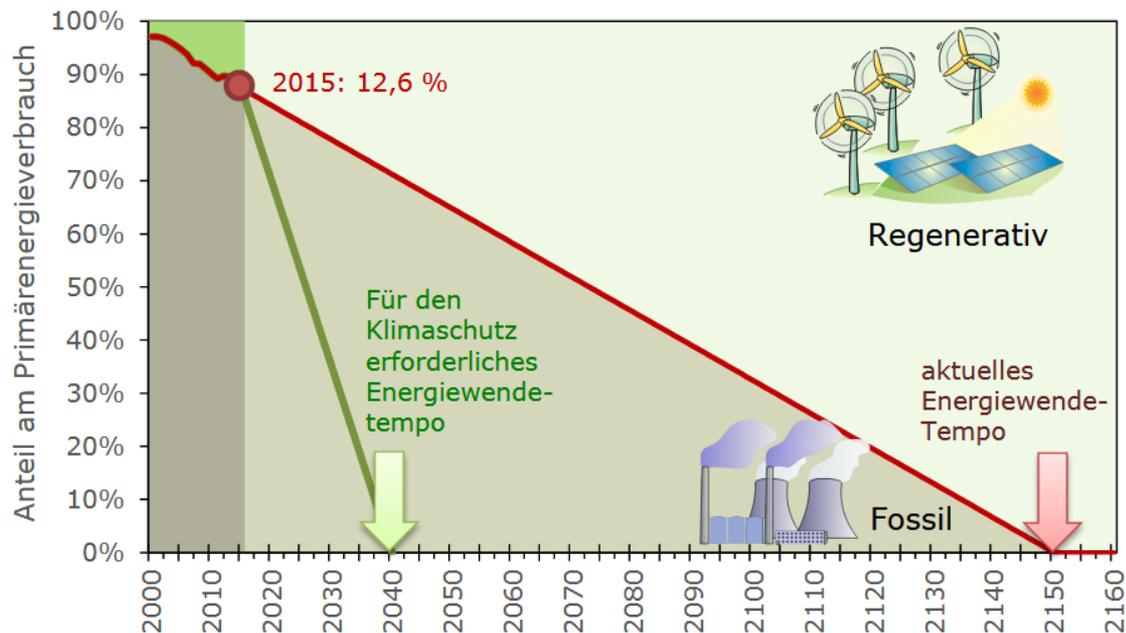


Bild 2 Bisherige Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch über alle Sektoren sowie Fortschreibung des aktuellen Energiewendetempos und Erfordernisse für den Klimaschutz

[Quaschnig: Sektorkopplung durch die Energiewende, 2016]

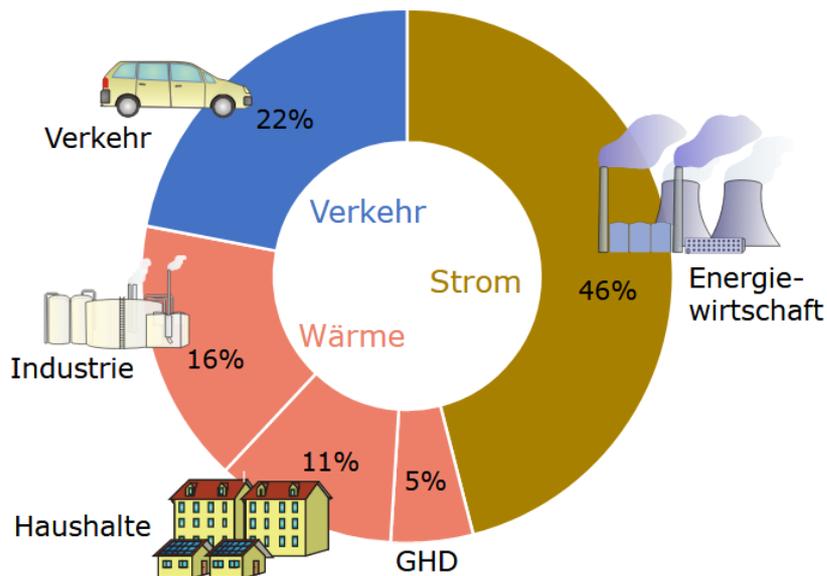


Bild 3 Anteil verschiedener Sektoren an den energiebedingten Treibhausgasemissionen in Deutschland im Jahr 2014 (Daten: [UBA16b])

[Quaschnig: Sektorkopplung durch die Energiewende, 2016]

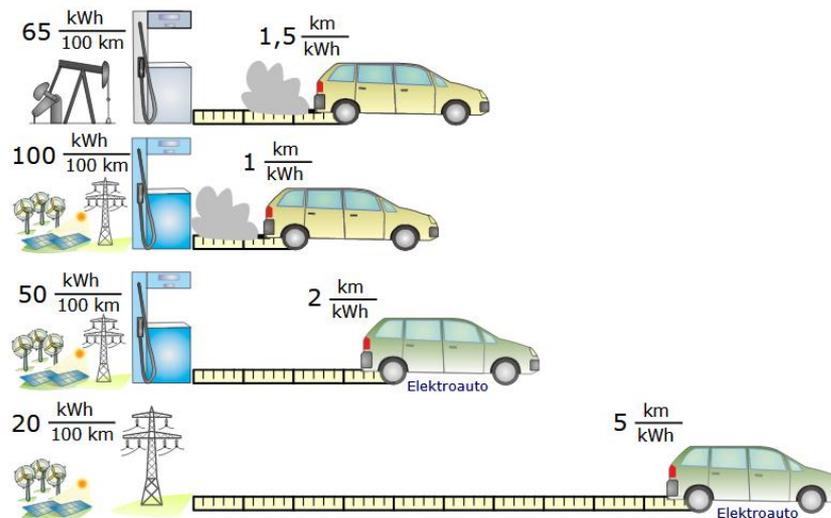


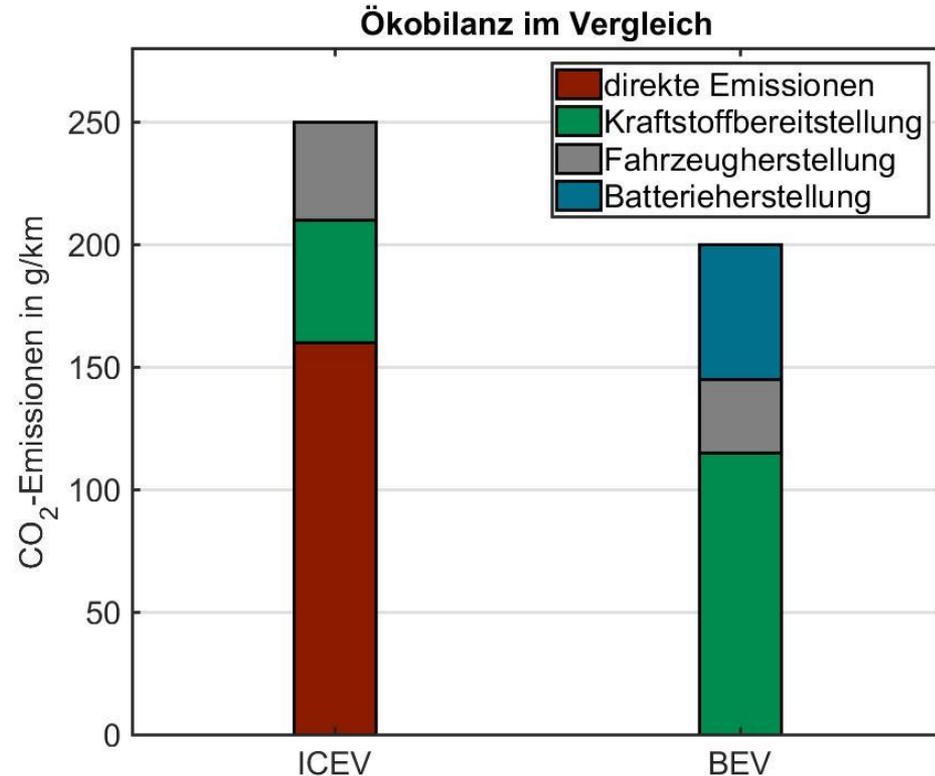
Bild 11 Effizienz strombasierter Verkehrskonzepte im Vergleich zu herkömmlichen Fahrzeugen im Individualverkehr mit Verbrennungsmotor (1.v.o.: konventionell, 2 v.o.: P2L/P2G mit Verbrennungsmotor, 3.v.o.: P2L/P2G mit Brennstoffzelle und Elektroantrieb, 4.v.o.: Batteriefahrzeug mit EE-Strom)

[Quaschnig: Sektorkopplung durch die Energiewende, 2016]

Ökobilanz

heute

- Internal Combustion Engine Vehicle
 - $\frac{2}{3}$ direkte Emissionen
- Battery Electric Vehicle
 - Kraftstoffbereitstellung: Strommix Deutschland
 - Batterieherstellung: hoher Energiebedarf bei Rohstoffgewinnung und Produktion



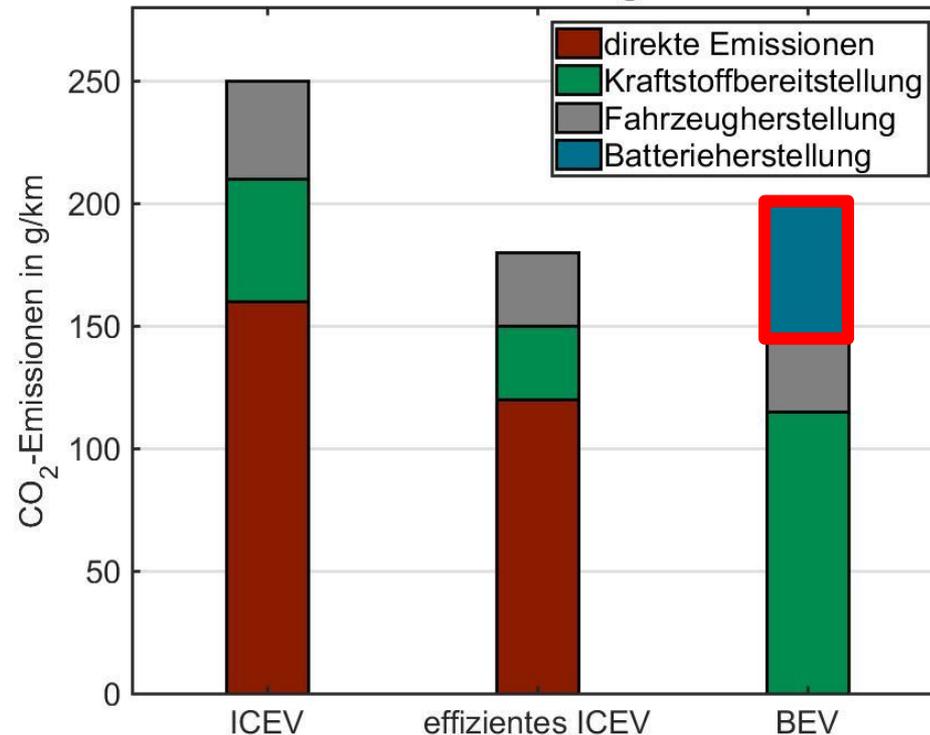
[nach: International Council on Clean Transportation (ICCT) – Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, 2018]

Ökobilanz

Second-Life

- verlängerte Nutzung der Batterie
- Lebenszeit des Fahrzeuges: 150.000 km
- Restkapazität der Batterie: 75% - 80%
- weitere Nutzung im stationären Bereich
- mögliche Einsparungen: bis zu 20%

Ökobilanz im Vergleich



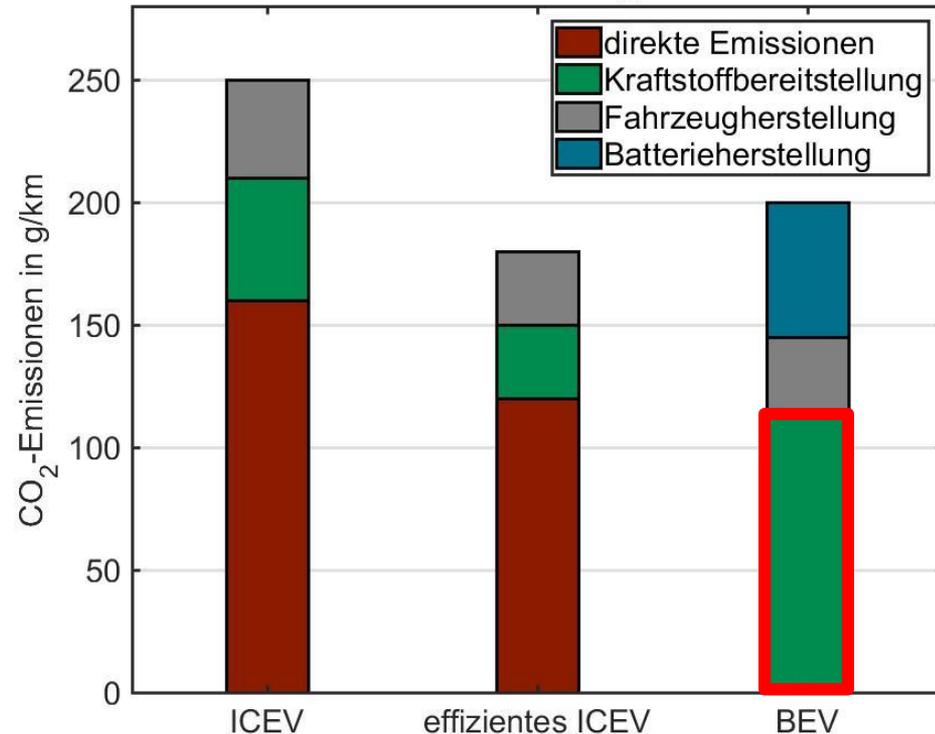
[nach: International Council on Clean Transportation (ICCT) – Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, 2018]

Ökobilanz

Ausbau EE

- Senkung CO₂-Emissionen bei Strombereitstellung
 - teilweise auch bei Herstellung
- mögliche Einsparungen: bis zu 30%

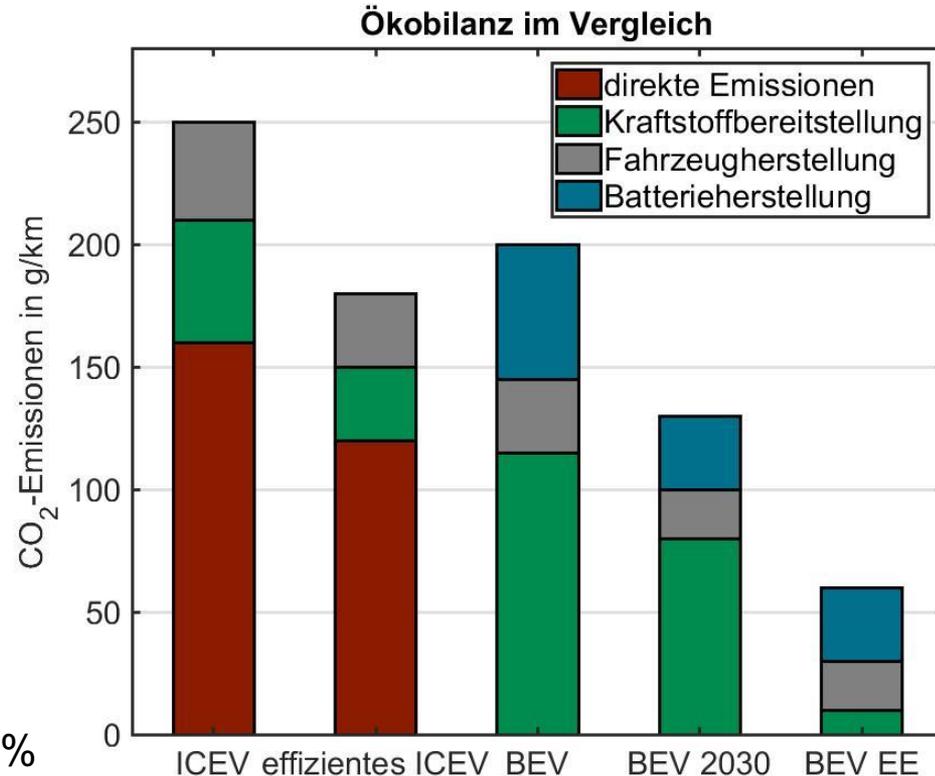
Ökobilanz im Vergleich



[nach: International Council on Clean Transportation (ICCT) – Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, 2018]

Ökobilanz zukünftig

- ICEV
 - nur geringe Effizienzsteigerungen möglich
 - begrenztes Potential der Emissionsminderung
- BEV
 - Emissionsminderung durch Second-Life und Ausbau EE
 - bis 2030 um bis zu 35%
 - rein erneuerbar um bis zu 70%



[nach: International Council on Clean Transportation (ICCT) – Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, 2018]

Batterie oder Brennstoffzelle?

- **"Was werden wir später einmal statt Kohle verbrennen?", fragte der Seemann. "Wasser", antwortete Smith. "Wasserstoff und Sauerstoff werden für sich oder zusammen zu einer unerschöpflichen Quelle von Wärme und Licht werden, von einer Intensität, die die Kohle überhaupt nicht haben könnte; das Wasser ist die Kohle der Zukunft."**

Jules Verne, "Die geheimnisvolle Insel", 1875

Batterie oder Brennstoffzelle?



<https://www.motor-talk.de/news/brennstoffzellen-zug-nimmt-betrieb-in-hessen-auf-t6322311.html>



<https://www.abendblatt.de/hamburg/harburg/article215531349/Hier-haelt-der-weltweit-erste-Wasserstoff-Zug.html>

Brennstoffzellen und Elektroautos?

- „...Wahrscheinlich werden im Jahr 1990 die Brennstoffzellen genügend ausgereift sein, um für den Fahrzeugantrieb eingesetzt zu werden; vielleicht werden sie bis dahin sogar schon einen großen Anteil am Markt erobert haben“

[Joh.-Chr. Spira in Sonderseiten „Motor“ der F.A.Z. vom 08. September **1976**]

Megatrend Wasserstoff?

- Gerade mal **6.475 Brennstoffzellen-Fahrzeuge wurden von 2013 bis Ende 2017 weltweit** abgesetzt, mehr als die Hälfte davon in Kalifornien. Das geht aus einem Bericht Global Market for Hydrogen Fuel Cell Vehicles, 2018 des Marktforschers Information Trends hervor.
- 2013 wurden solche Fahrzeuge erstmals kommerzialisiert, Vorreiter auf diesem Feld ist Toyota mit einem Marktanteil von 76 Prozent vor Honda (13 Prozent) und Hyundai (11 Prozent).

Megatrend Wasserstoff?

- Im Ländervergleich wurden in den vergangenen vier Jahren die meisten Brennstoffzellen-Fahrzeuge in den USA bzw. in Kalifornien abgesetzt (53 Prozent). Zweitwichtigster Markt ist Japan mit 38 Prozent gefolgt von Europa mit 9 Prozent. Viel spricht dafür, dass Europa aufholen könnte, denn bei der Infrastruktur macht allen voran Deutschland große Fortschritte. Im vergangenen Jahr verzeichnete die Bundesrepublik den größten Zuwachs an H₂-Tankstellen: Von insgesamt 64 weltweit neu in Betrieb gegangenen Wasserstoff-Tankstellen waren 24 auf deutschem Terrain. Mit einem Bestand von nunmehr 45 H₂-Zapfstellen zog Deutschland an den USA (40) vorbei auf den zweiten Rang hinter Japan, das mit 91 solcher Tankstellen weiter unangefochten an der Spitze liegt.

[<https://www.electrive.net/2018/02/28/weltweit-nur-6-475-verkaufte-brennstoffzellen-pkw/>]

H₂ Infrastruktur (Tankstellen)

H₂-Infrastruktur

Deutschland: 56 H₂-Tankstellen in Betrieb, davon 43 öffentlich nutzbar

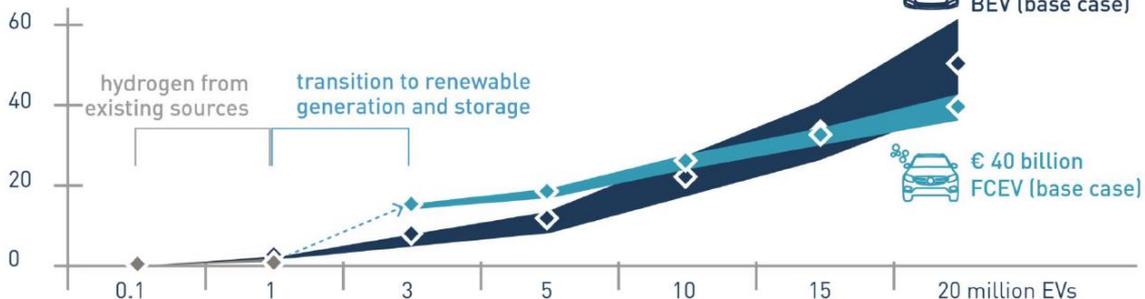


Batterie oder Brennstoffzelle?

Cumulative Investment

Infrastructure Roll-Out

cumulative investment [€ billion]



- Hydrogen more expensive during the transition period to renewable electricity-based generation
- High market penetration: battery charging needs more investment than hydrogen fueling
- For both infrastructures investment low compared to other infrastructures



Investment [€ billion]	
Renewable electricity generation scenario	374
Electric grid enhancement plan 2030	34
Federal transport infrastructure plan 2030	265
Hydrogen fueling infrastructure	40
Electric charging infrastructure	51

IRobinius, Fachveranstaltung OLEC, Vergleichende Infrastrukturanalyse für das Betanken von Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeugen und das elektrische Laden von Batterie-Fahrzeugen, 2018]

Batterie oder Brennstoffzelle?

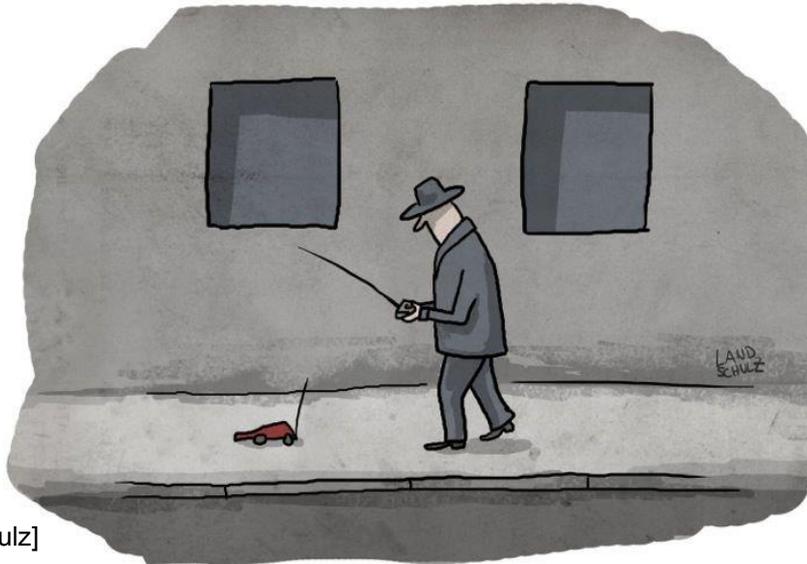
HYDROGEN & FUEL CELLS ARE COMPLEMENTARY TO BATTERIES



	 FCEV	 BEV
Range	Long	Short
Payload	Heavy	Light
Time	Primary	Secondary
Storage	Long term	Short term
Production	Proces intensive	Resources intensive

[Iwan, Fachveranstaltung OLEC Arbeitskreis Wasserstoff "Batterie und Brennstoffzelle in der Mobilität: Synergien oder Konkurrenz, 2018]

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



[Dorthe Landschulz]

Günter fühlte sich nicht nur moralisch, sondern auch körperlich besser, seit er mit seinem Elektroauto zur Arbeit fuhr.

Kontakt

Dr.-Ing. Ralf Bengler

Mail: ralf.bengler@tu-clausthal.de

Tel: 05321- 3816 8067