Stuttgarter Wasserforum
Stuttgart, 13.06.2017

Emissionsfreie Mobilität mit Wasserstoff

Werner Tillmetz

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW)
Baden-Württemberg

Vielen Dank für die Einladung

Neue Aspekte der Wasserstoff-Forschung

*Süddeutsche Zeitung
vom 29.05.15
„Badeanzug - neuer Trend
in der Bademode“

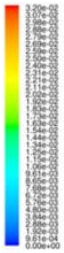
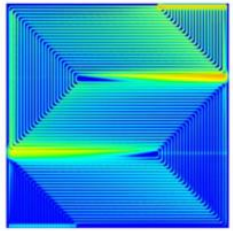
http://www.sueddeutsche.de/stil/bademode-mehr-wasserstoff-1.2495839?reduced=true

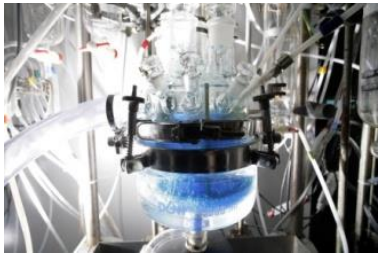
KURZPORTRAIT ZSW

ZSW – Neue Energietechnologien

Angewandte Forschung & Entwicklung:

- Batterien & Superkondensatoren
  - Materialien, Produktion Technologies, Systeme, Qualifikation
- Brennstoffzellen
  - Technologie, Systeme, Testzentrum
- Photovoltaik
  - Dünnschichttechnologie (CIGS) & Anwendungssysteme
- Erneuerbare Kraftstoffe
  - Power-to-Gas, Biomasse, Vergasung
- Energiepolitik & Energiewirtschaft

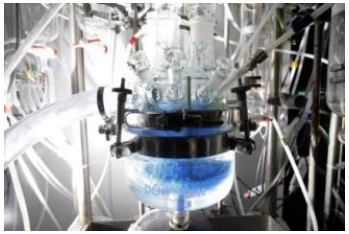


Gemeinnützige Stiftung - 85 % drittmittelfinanziert - 240 Mitarbeiter

ZSW – Ulm: Elektrochemische Energietechnologien

Angewandte Forschung & Entwicklung:

- Batterien & Superkondensatoren
  - Materialien, Zell- und Fertigungs-Technologien, Systemtechnik, Testzentrum
- Brennstoffzellen & Elektrolyseure
  - Komponenten, Zell- und Fertigungs-Technologien, Systemtechnik, Testzentrum



Partner

3M
adstec
Opel
Automotive Fuel Cell Cooperation
AKASOL
ALCOA
BASF The Chemical Company
BOSCH
BMW
CAF
Clariant
Continental
DAIMLER
Deutsche ACCUmotive
MINI
DIRECTAPLUS Partners in Nanotechnology
DLR
EPCOS
EVONIK INDUSTRIES
elringklinger
EXIDE
Fraunhofer
FREUDENBERG INNOVATING TOGETHER
fumatech functional membranes for fuel cells BWT GROUP
GAMMA Technologies
GK Graphit Kropfmühl AG
Greenerity
HALDOR TOPSØE
HZB Helmholtz Zentrum Berlin
HIU
Hochschule Aalen
HILTI
HOPPECKE POWER FROM INNOVATION
HySA Infrastructure Hydrogen South Africa
Johnson Controls
JUSTUS-LIEBIG-UNIVERSITÄT GIESSEN
KÄRCHER
KIT
Leclanché
LIEBHERR
LionTec
manz passion for efficiency
AMG
NEXT ENERGY EWE-Forschungszentrum für Energietechnologie e.V.
orion ENGINEERED CARBONS
PORSCHE
POWERCELL
PM
VICTOR REINZ
RENAULT
Rockwood Lithium
RWTH AACHEN UNIVERSITY
SAFT
SSB Wind Systems Be consistent.
SFC ENERGY
SGL GROUP THE CARBON COMPANY
SGS
SIEMENS
SOLVAY
Steca Elektronik
SÜDPACK
SWISS HYDROGEN
TEIJIN
trainelec Traction solutions for the railway industry
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
TOYOTA
TRUMPF
Universität Stuttgart
TUM Technische Universität München
Universität Ulm
VARTA
VOITH
VOLKSWAGEN AKTIENGESELLSCHAFT
vodafone
WBZU
Wieland
WÜRTH SOLAR
Reformer GmbH
ZF
ZBT
ZEISS

ZSW

E-MOBILITÄT

Elektromobilität – Vielfältige Lösungen

Schlüsseltechnologien: Batterie & Brennstoffzelle

	Mild Hybrid	Full Hybrid	Plug-In Hybrid	Brennstoffzellen-E-Fahrzeug	Batterie-E-Fahrzeug
Reichweite (elektrisch)	Start / Stopp	ca. 2 km	bis 50 km	ca. 500 km	100 - 200 km
		elektrisch fahren			
			Nutzung Erneuerbarer Energien		
			Strom	H_2 aus EE	Strom
				Infrastruktur Betankung	
Einsatz	beliebig (ideal für Stadt- und Regionalverkehr)			beliebig	Stadtfahrzeug
Emission	+	++	++	+++	+++

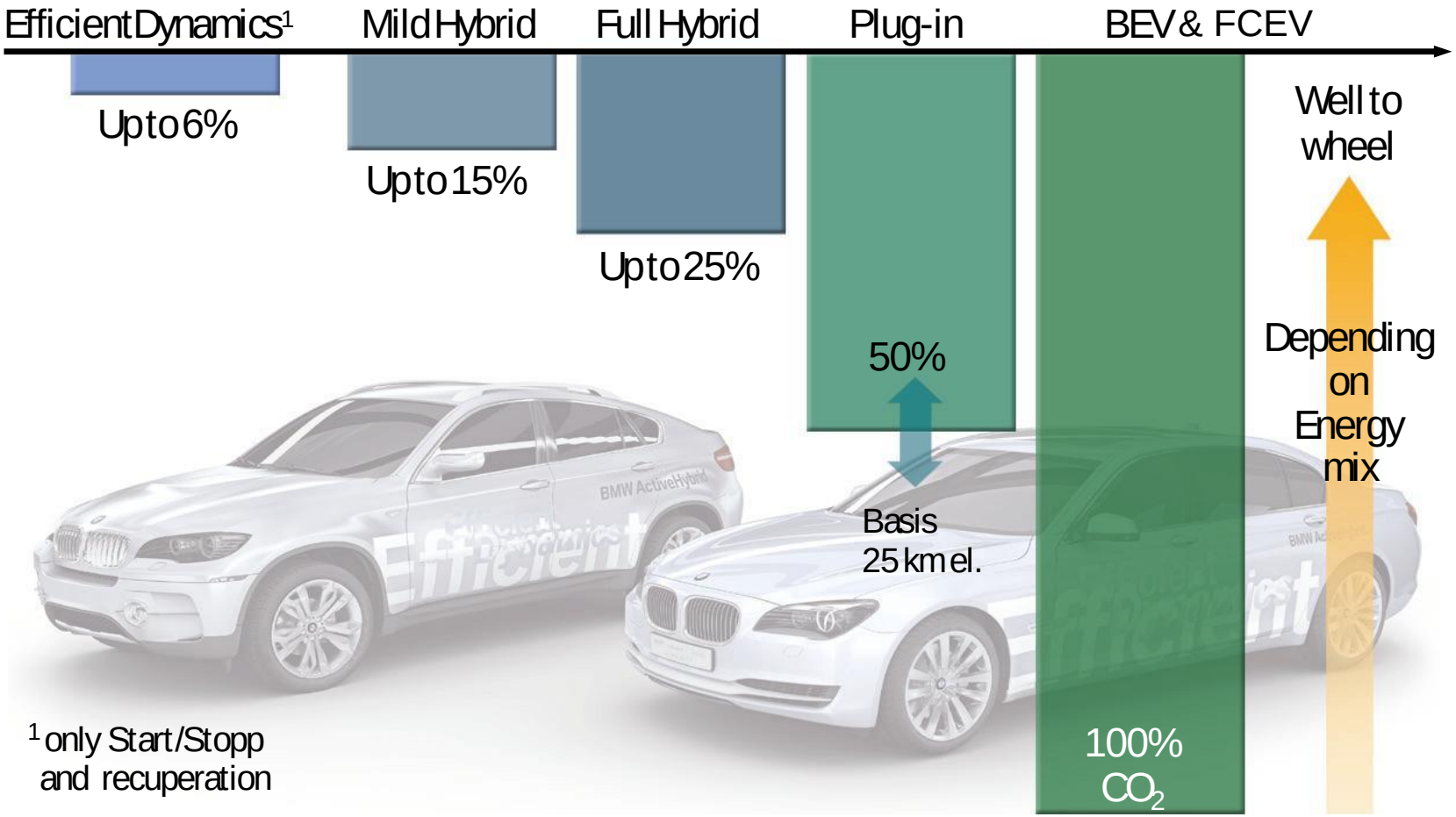
Elektromobilität – Vielfältige Lösungen

Schlüsseltechnologien: Batterie & Brennstoffzelle

Elektrofahrzeuge

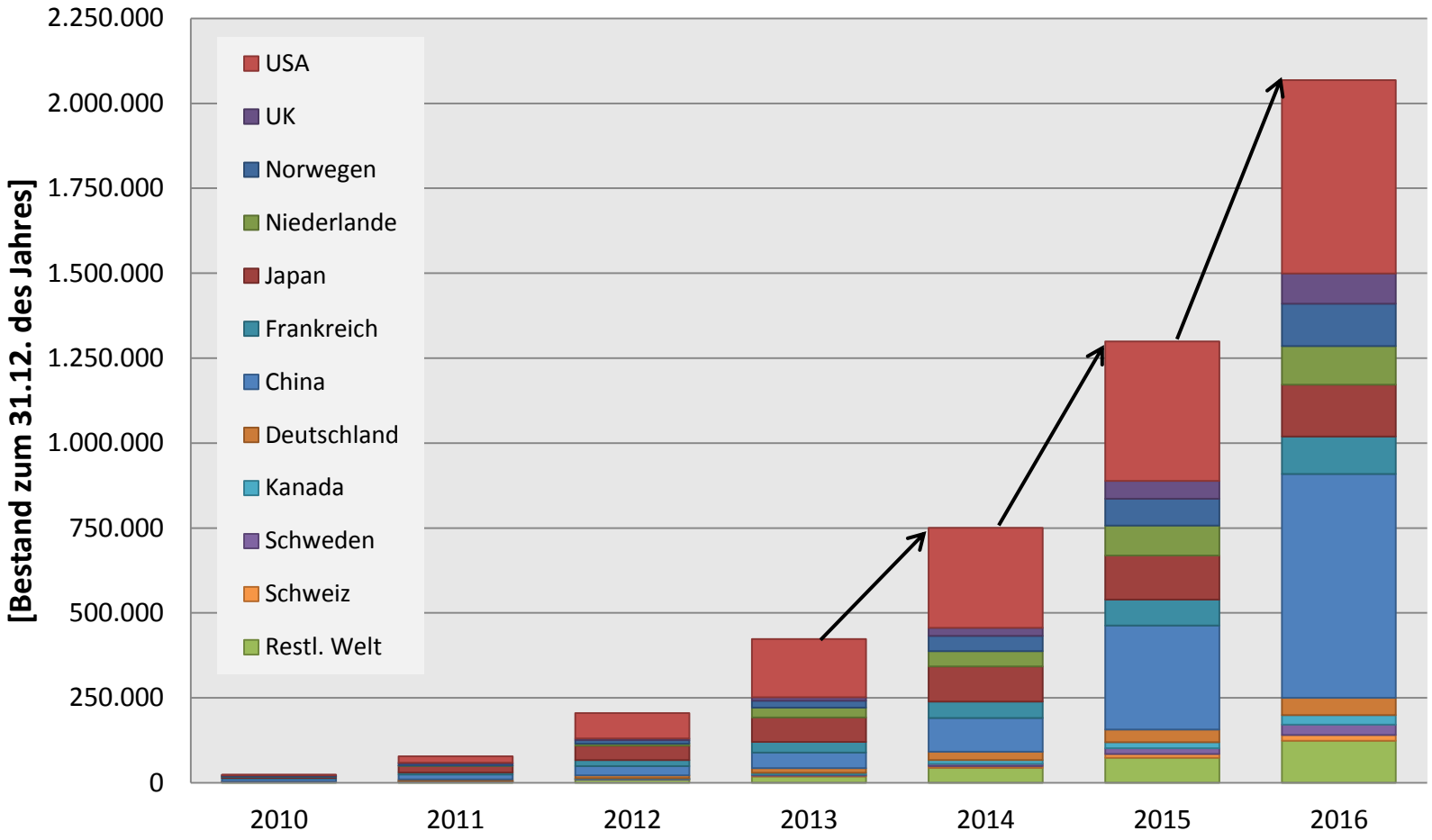
	Mild Hybrid	Full Hybrid	Plug-In Hybrid	Brennstoffzellen-E-Fahrzeug	Batterie-E-Fahrzeug
Reichweite (elektrisch)	Start / Stopp	ca. 2 km	bis 50 km	ca. 500 km	100 - 200 km
		elektrisch fahren			
			Nutzung Erneuerbarer Energien		
			Strom	H_2 aus EE	Strom
				Infrastruktur Betankung	
Einsatz	beliebig (ideal für Stadt- und Regionalverkehr)			beliebig	Stadtfahrzeug
Emission	+	++	++	+++	+++

Herausforderung Klimawandel:
CO_2 Reduzierung durch Elektrifizierung des Antriebsstranges



Quelle: Lamp, BMW, Batterieforum 2015

Weltweit 2,1 Mio. E-Fahrzeuge auf der Straße (12/2016)



Details: https://www.zsw-bw.de/mediathek/datenservice.html#c6700

siehe

www.electrive.net

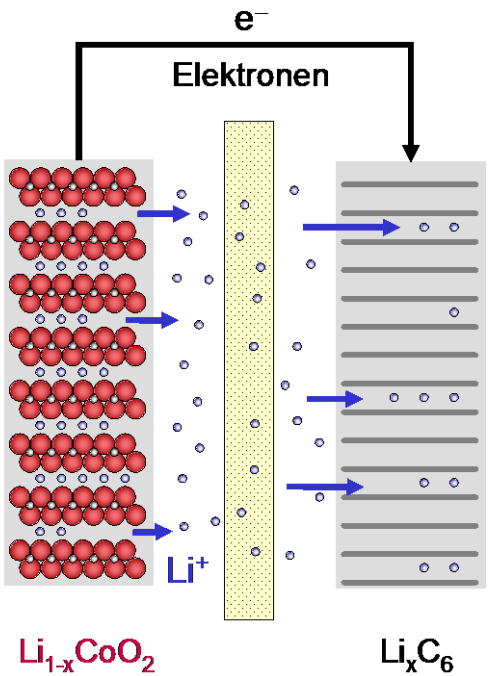
Newsletter-Abo per Mail an: *abo@electrive.net*

Schlüsseltechnologien für die E-Mobilität

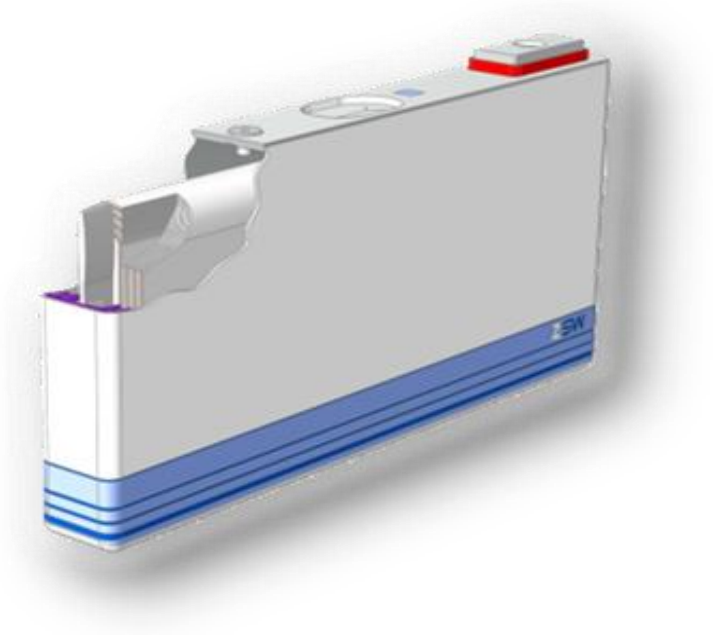
LITHIUM-IONEN-BATTERIEN

Batterien (Akkumulatoren) = Elektrochemische Energiespeicher

- Batterien (Akkumulatoren) speichern elektrischen Strom mit hohem Wirkungsgrad (Laden - Entladen)
- Li-Ionen-Batterien haben die höchste Energiedichte heutiger Akkumulatoren



Funktion und Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie



Lithium-Ionen-Technologie in etablierten Märkten

Zellen für Unterhaltungselektronik, E-Bikes, Power Tools:

- Globaler Markt für Li-Ionen-Zellen 2015: ca. 20 Mrd. US $

  Zellenproduktion: Asien

- Jährliche Wachstumsraten (CAGR): ca. 20%
- Neue Produkte: E-Bikes, E-Scooter
- Steigende Anforderungen (Kapazität) bei Smartphones, Tablets…

Lithium-Ionen-Technologie in der E-Mobilität

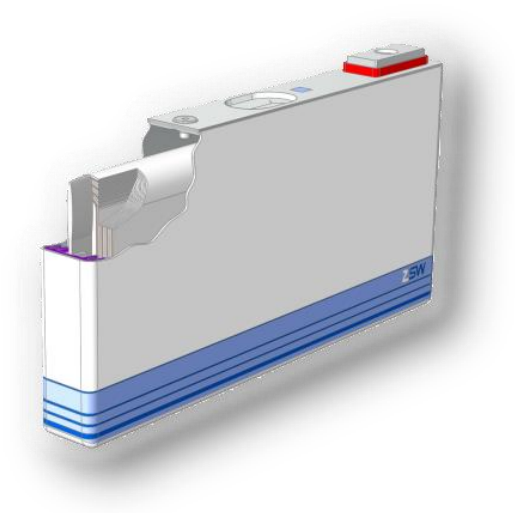
Zelle:

- Entscheidend für viele Fahrzeugeigenschaften
  Reichweite, Kosten, Sicherheit, Zuverlässigkeit…
- Batterie hat bis zu 40% Wertschöpfungsanteil am Fahrzeug,
  davon Zellen bis zu 80%. Zellenproduktion heute: Asien
- Dynamische Marktentwicklung für Fahrzeug-Zellen
  in 2014: > 2 Mrd. €
  in 2025 : 30…60 Mrd. €
  in 2035 : > 100 Mrd. €

Tesla S, Toyota Prius, Audi A3 e-tron, BMW i3, Mercedes S500, Quellen: Hersteller

Anforderungen an Li-Ionen-Zellen in der E-Mobilität

- Energiedichte
  Ziel: 800 Wh/l
- Leistung
  Schnellladung
- Betriebsbedingungen
  - 30°C bis 50°C
- Qualität
  z.B. homogene Kapazität



- Sicherheit
  Betrieb & Crash
- Lebensdauer
  Kalendarisch & Zyklen
- Ressourcen
  Rohstoffe, Know How

Kalander

Fahrzeugtestkabine

Testbunker mit Videoüberwachung

Neue Generation E-Fahrzeuge mit 300+ km Reichweite für 30.000+ €

BMW i3: € 35.000, 33 kWh

Chevy Bolt: $ 37.500, 60 kWh

Tesla Model 3: $ 35.000, < 60 kWh

Renault ZOE E: € 21.500 + B-Miete

Batterie-E-Fahrzeuge

- Stadtfahrzeuge & Car Sharing
- Lieferfahrzeuge (Paketdienste, Handwerker, Kommunalfahrzeuge, etc.)
- 90% aller privaten Pkw Fahrten sind kürzer als 40 km pro Tag:
  - weniger als 6 kWh pro Tag nachladen
  - genügend Reserve bei einer 20…30 kWh Batterie
  - 23 h Zeit zum Nachladen (zu Hause, in der Firma, beim Shopping)

Schlüsseltechnologien für die E-Mobilität

BRENNSTOFFZELLEN & WASSERSTOFF

Brennstoffzellen = Energiewandler

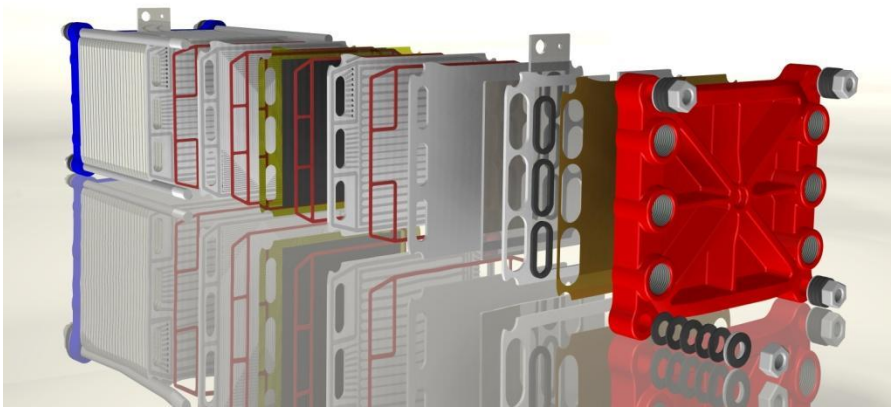
Brennstoffzellen wandeln

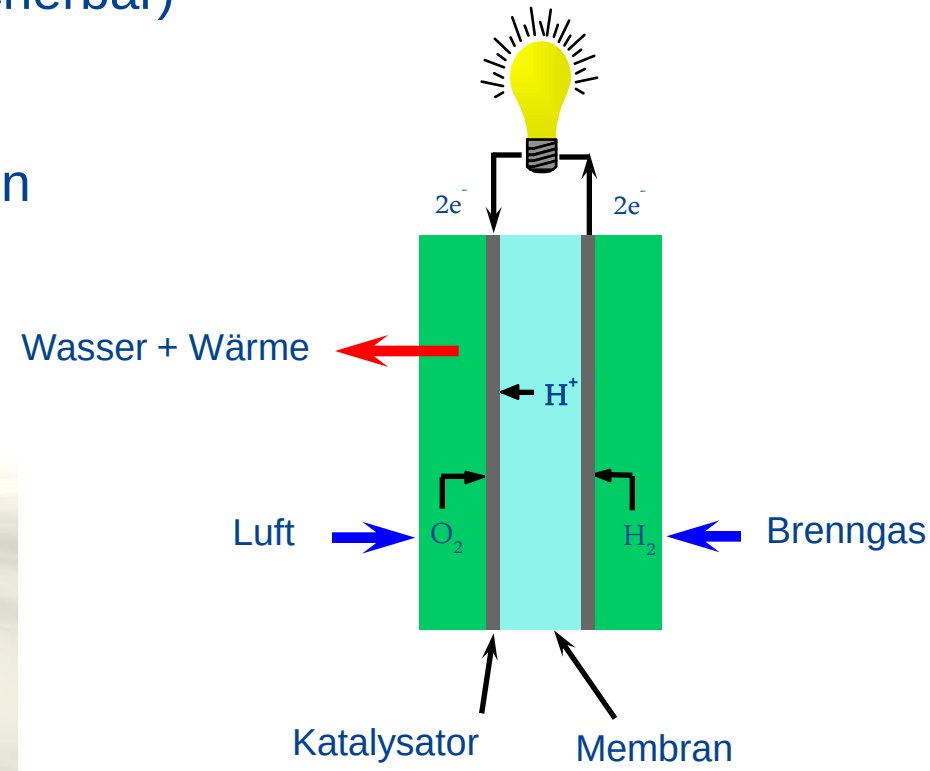
Brenngase (Wasserstoff = gut speicherbar)

und Sauerstoff (aus der Luft)

hoch effizient und **schadstofffrei** in

Strom, Wärme und Wasser um





Elektrofahrzeuge mit Brennstoffzelle und regenerativem Wasserstoff

- Erfüllen Kundenanforderungen:
  Reichweite (> 500 km) - schnelles Tanken (< 3 min) - Heizung

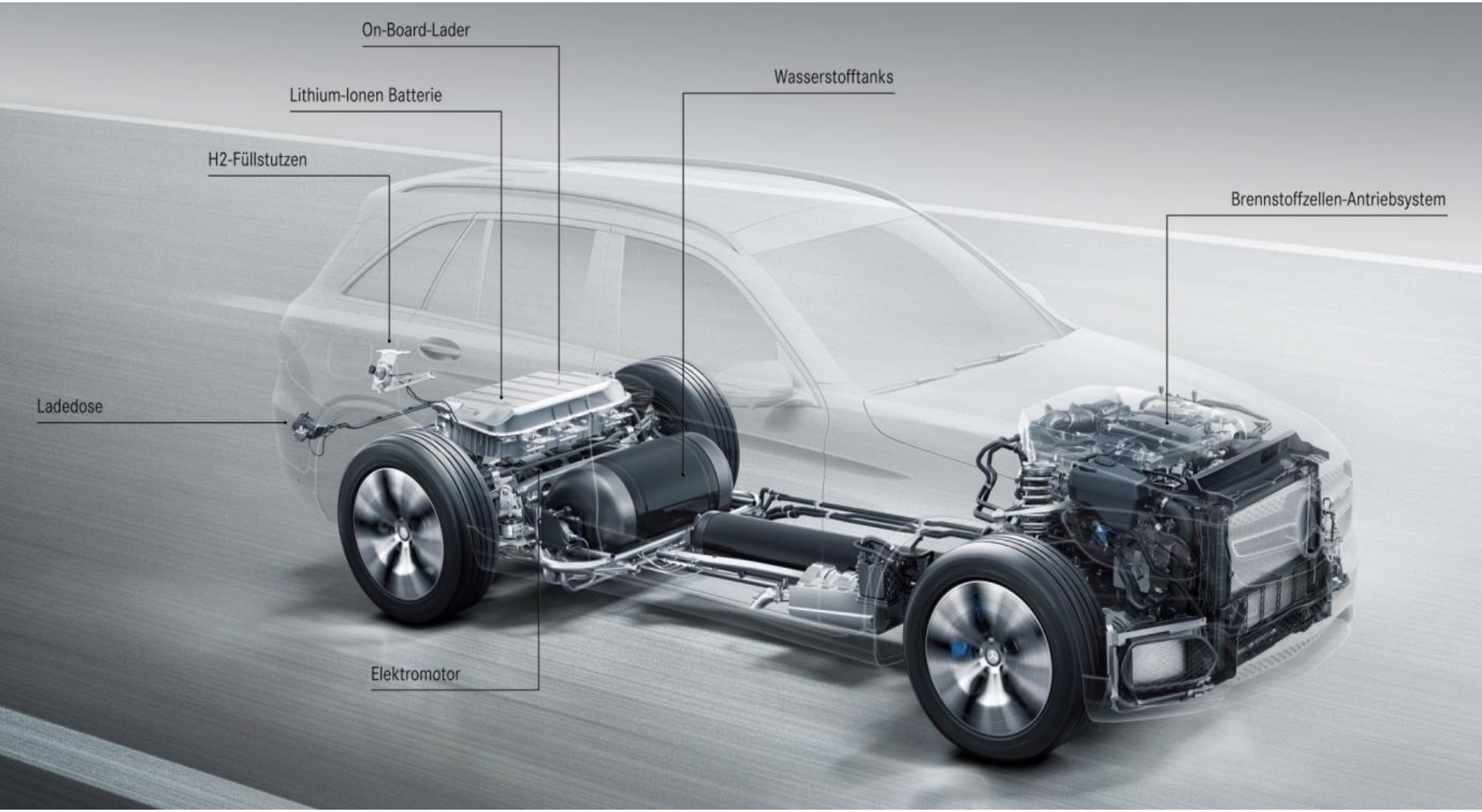
- Serienfahrzeuge:
  - Toyota, Honda, Hyundai
    Markteinführung gestartet (5000 in 2016)
  - Daimler ab E 2017
  - Ideal auch für Stadtbusse und Lieferfahrzeuge

Automotive BZ-Stack 100 kW
(Bild: ZSW)

Toyota FCV, Mercedes B-Klasse F-Cell (Bilder: Hersteller)

Brennstoffzellen-Hybridbus in Stuttgart. Bild: SWP/dpa

Mercedes GLC mit Brennstoffzelle



Wasserstoff-Infrastruktur

- Wasserstoff aus Erneuerbarem Strom über Elektrolyse (Power to Gas)
- Speicherung von Überschussstrom - Netzentlastung
- Treibstoff für Brennstoffzellen-Fahrzeuge
- Aufbau von Wasserstofftankstellen (weltweit ca. 200 in Betrieb; Regierungsprogramme für den weiteren Ausbau etabliert)
- Fahrzeugdepots einfach ausrüstbar

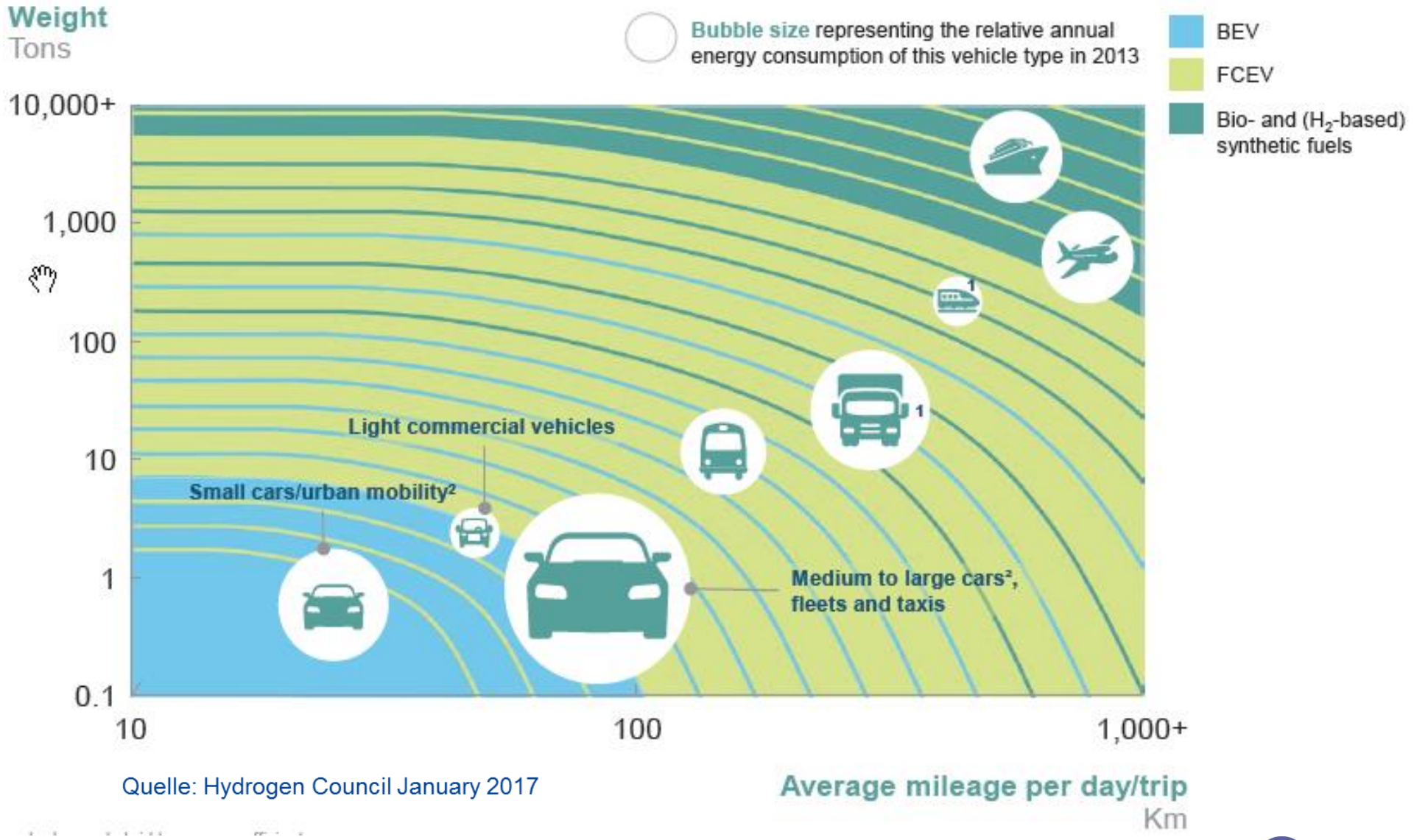
Wartung einer Elektrolyseanlage (ZSW)

Wasserstofftankstelle am ZSW in Ulm

Elektromobilität

STROM ODER WASSERSTOFF TANKEN?

Strom oder Wasserstoff tanken?

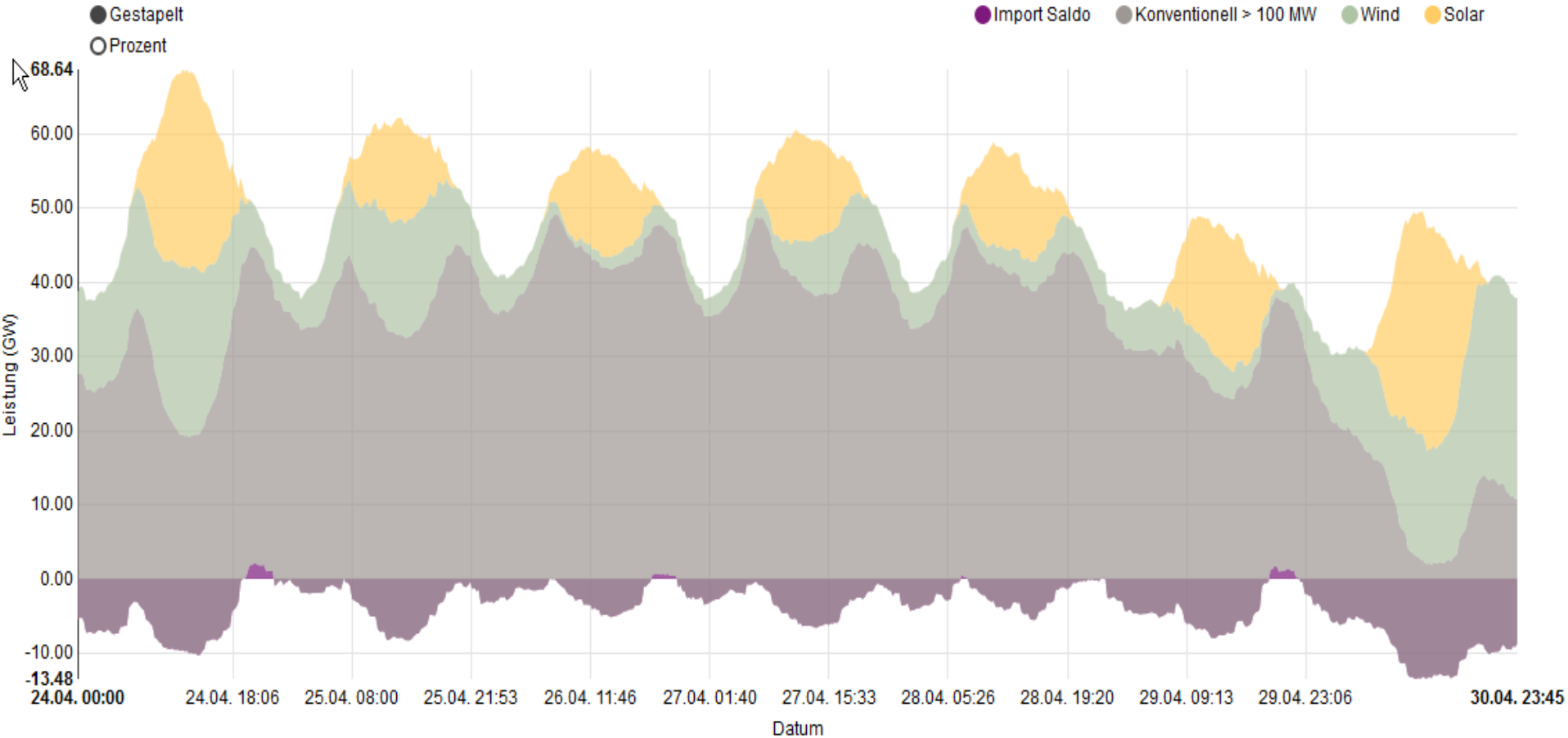


Quelle: Hydrogen Council January 2017

Elektromobilität

ENERGIESPEICHERUNG MIT WASSERSTOFF

Stromerzeugung in Deutschland
Beispiel 24.4. – 30.4.2017



Nettoerzeugung von Kraftwerken zur öffentlichen Stromversorgung.
Datenquelle: 50 Hertz, Amprion, Tennet, TransnetBW, EEX
letztes Update: 07 May 2017 00:12

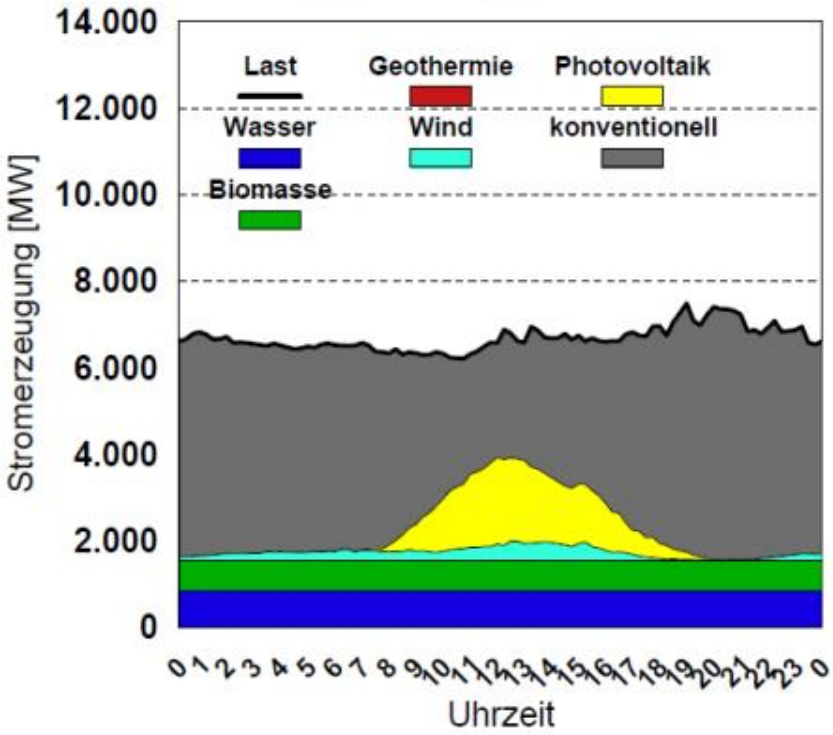
Quelle: Energy-Charts.de

2016 wurden mehr als 50 TWh Strom für 3,7 ct/kWh exportiert – damit ließen sich etwa 20 Mio. E-Fahrzeuge betreiben

Technische Herausforderung durch fluktuierende Erneuerbare Energien

Beispiel: Mögliches Szenario "38% Anteil bis 2020"

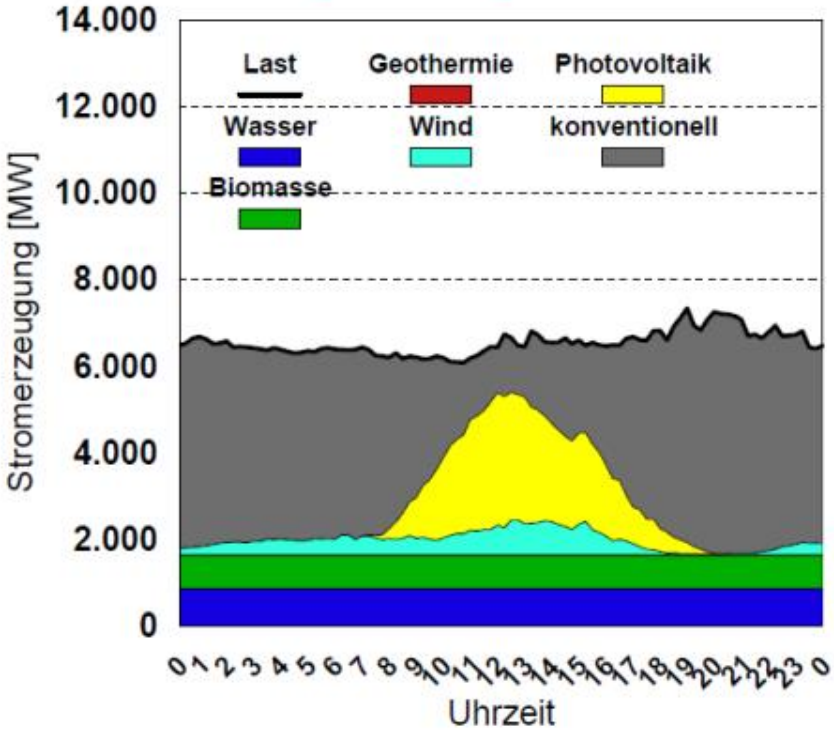
Tag im "August 2011"



Technische Herausforderung durch fluktuierende Erneuerbare Energien

Beispiel: Mögliches Szenario "38% Anteil bis 2020"

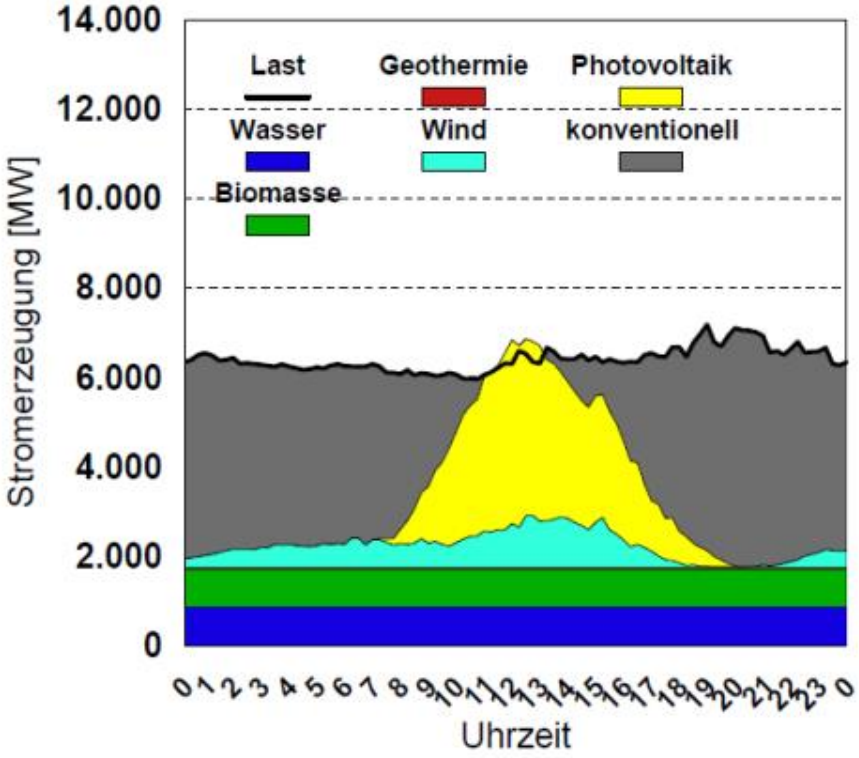
Tag im "August 2013"



Technische Herausforderung durch fluktuierende Erneuerbare Energien

Beispiel: Mögliches Szenario "38% Anteil bis 2020"

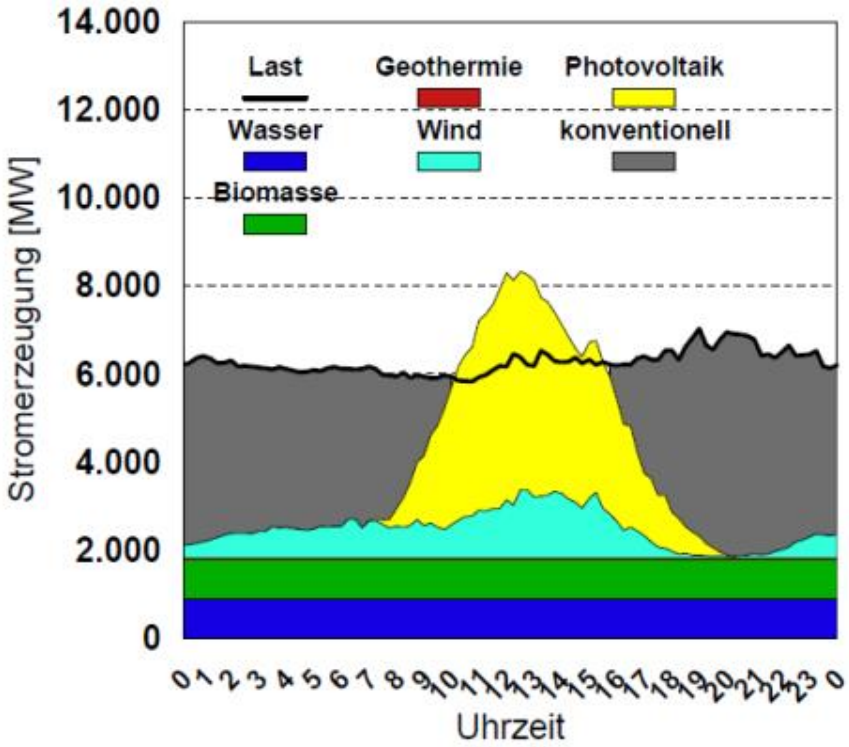
Tag im "August 2015"



Technische Herausforderung durch fluktuierende Erneuerbare Energien

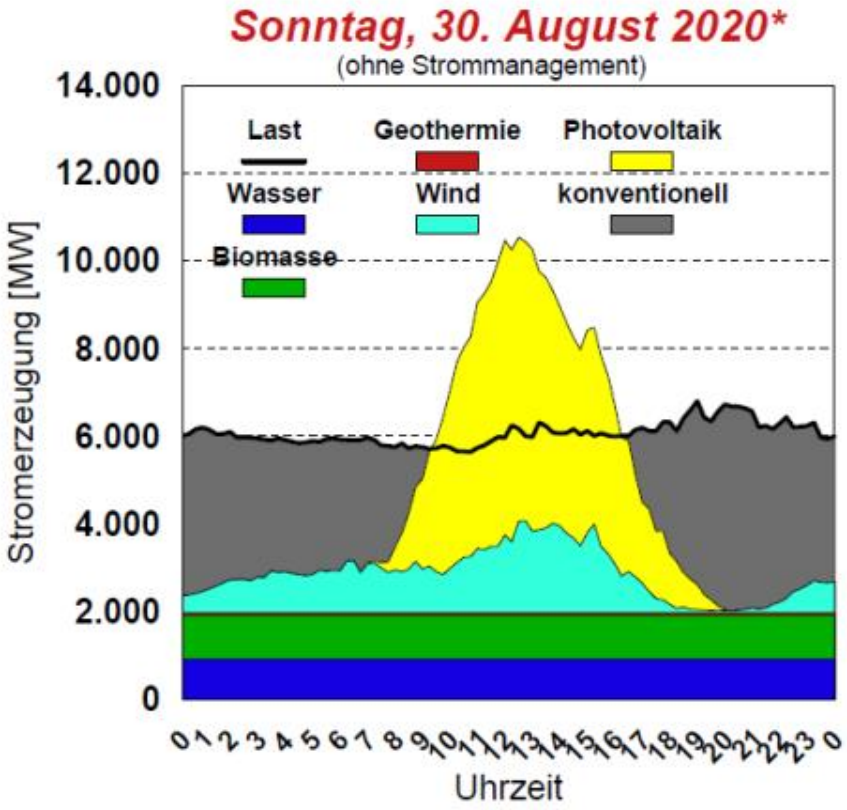
Beispiel: Mögliches Szenario "38% Anteil bis 2020"

Tag im "August 2017"



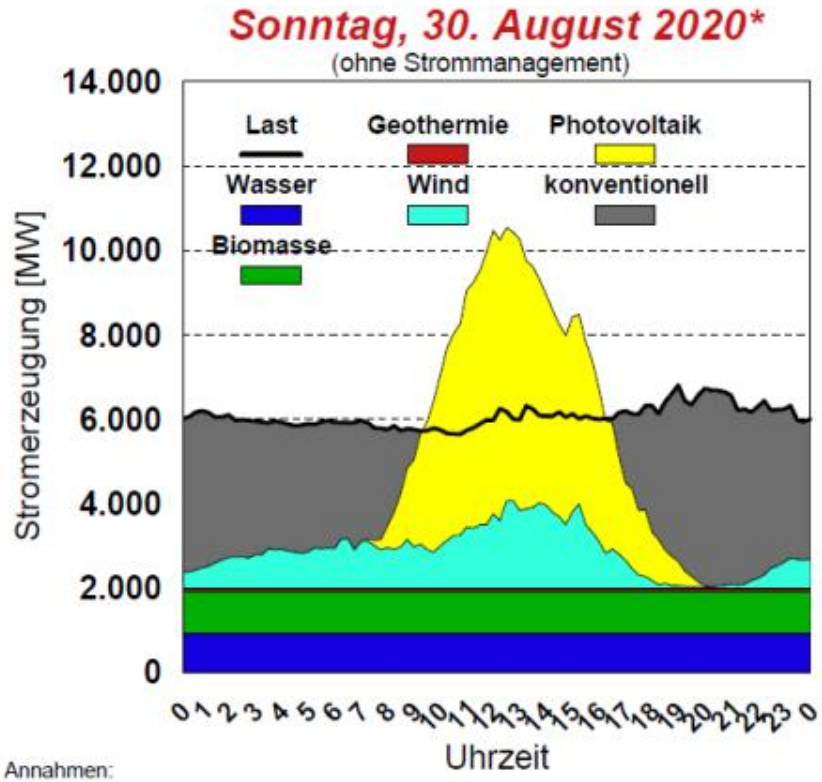
Technische Herausforderung durch fluktuierende Erneuerbare Energien

Beispiel: Mögliches Szenario "38% Anteil bis 2020"

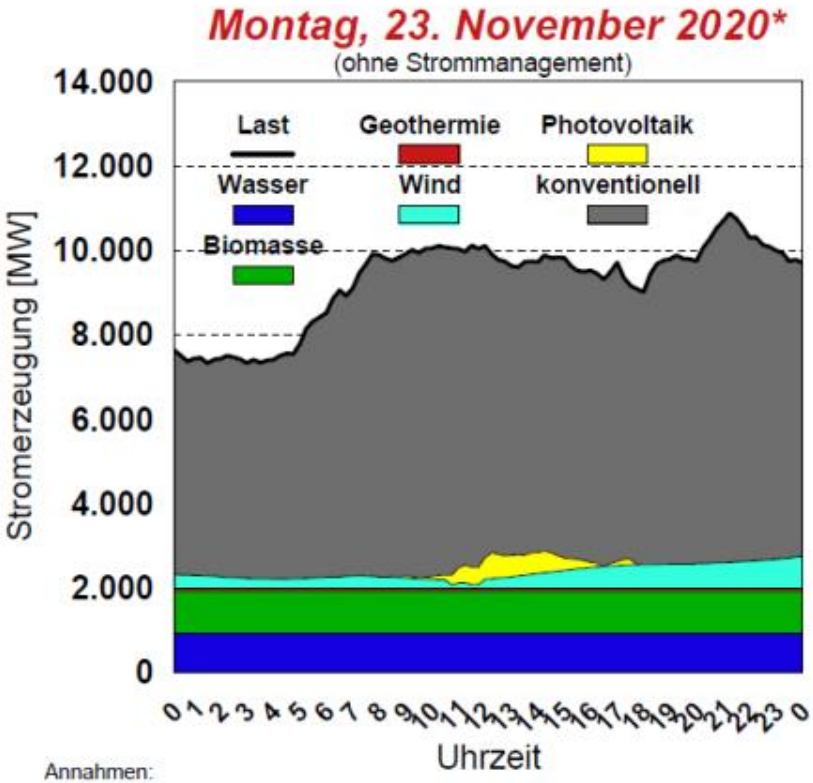


Technische Herausforderung durch fluktuierende Erneuerbare Energien

Beispiel: Mögliches Szenario "38% Anteil bis 2020"



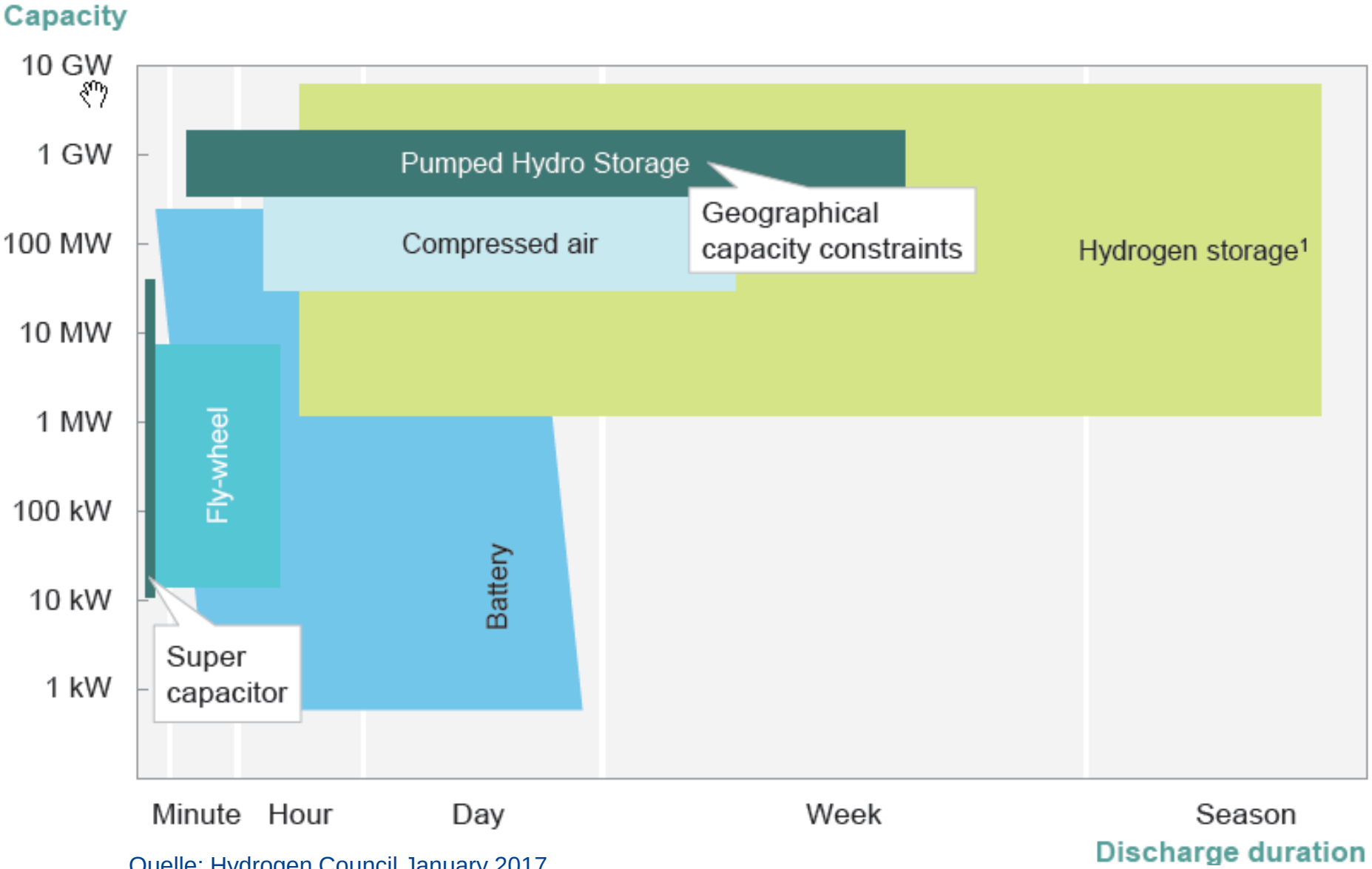
Annahmen:
Bandstromerzeugung Wasserkraft 920 MW, Biomasse 1.000 MW, Geothermie 60 MW
Verfügbarkeit Wind: max. 65% aus 3.700 MW, Photovoltaik: max. 80% aus 8.200 MW
Last gegenüber 2010 um 10% reduziert.
* Referenzverlauf: Wind, Photovoltaik, 26.8.2010, Last 29.8.2010



Annahmen:
Bandstromerzeugung Wasserkraft 920 MW, Biomasse 1.000 MW, Geothermie 60 MW
Verfügbarkeit Wind: max. 20% aus 3.700 MW, Photovoltaik: max. 8% aus 8.200 MW
Last gegenüber 2010 um 10% reduziert.
* Referenzverlauf: Wind, Photovoltaik, Last 22.11.2010

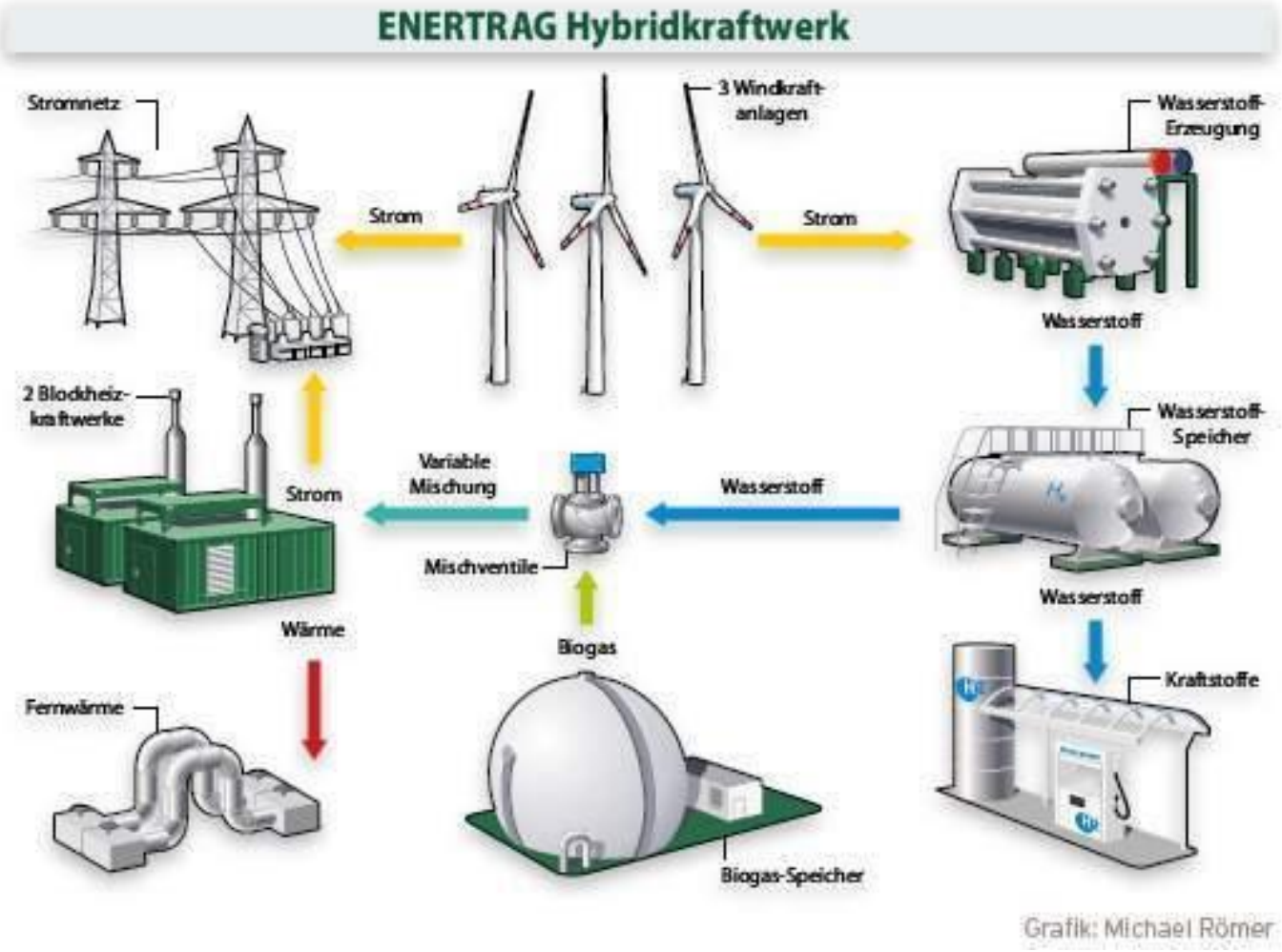
➡ **Benötigt werden Maßnahmen zum kurzzeitigen und saisonalen Strommanagement**

Überblick Speichertechnologien



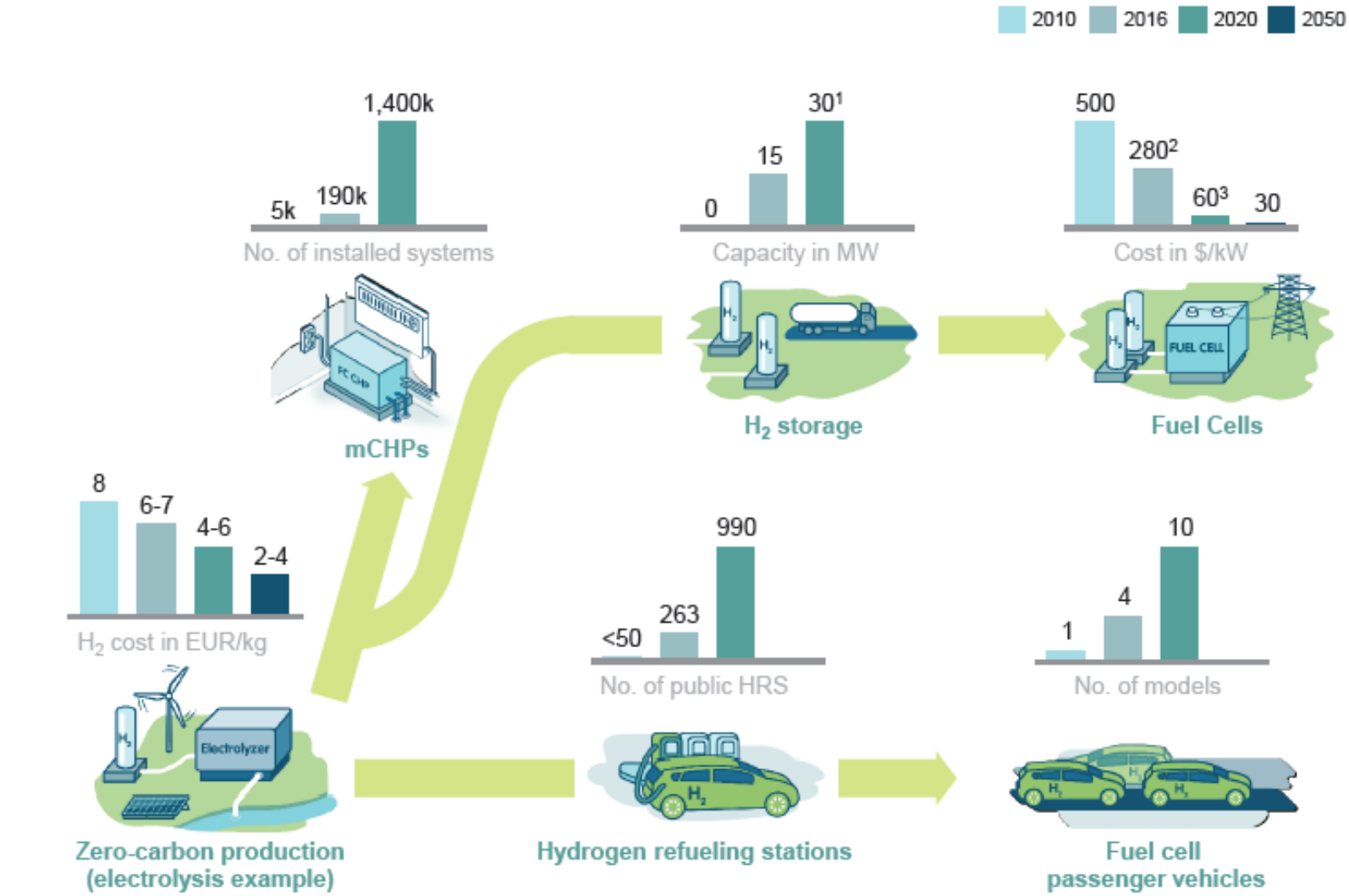
Quelle: Hydrogen Council January 2017

Intelligente Verknüpfung von Erzeugungstechnologien, Wasserstoffspeicher + Verbraucher



Quelle: ENERTRAG

Mobiltät mit Wasserstoff



1 Extrapolating the growth to 20 MW in 2017/2018 from outstanding projects, 2 Assuming 20k units production per year, 3 Assuming 100k units production per year in 2025

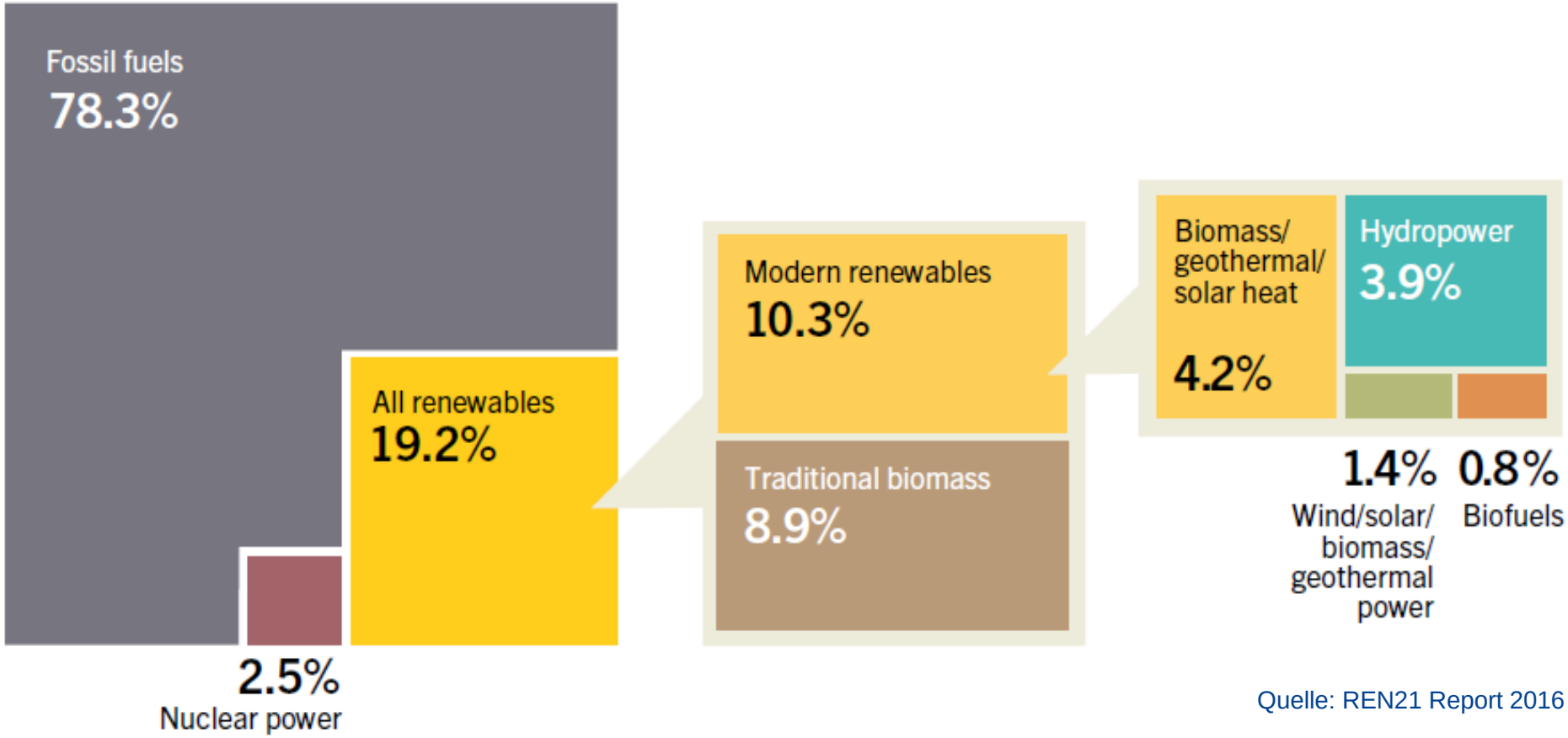
Source: IEA, E4Tech, US DOE, Press research

Quelle: Hydrogen Council January 2017

Elektromobilität

WARUM DAS ALLES?

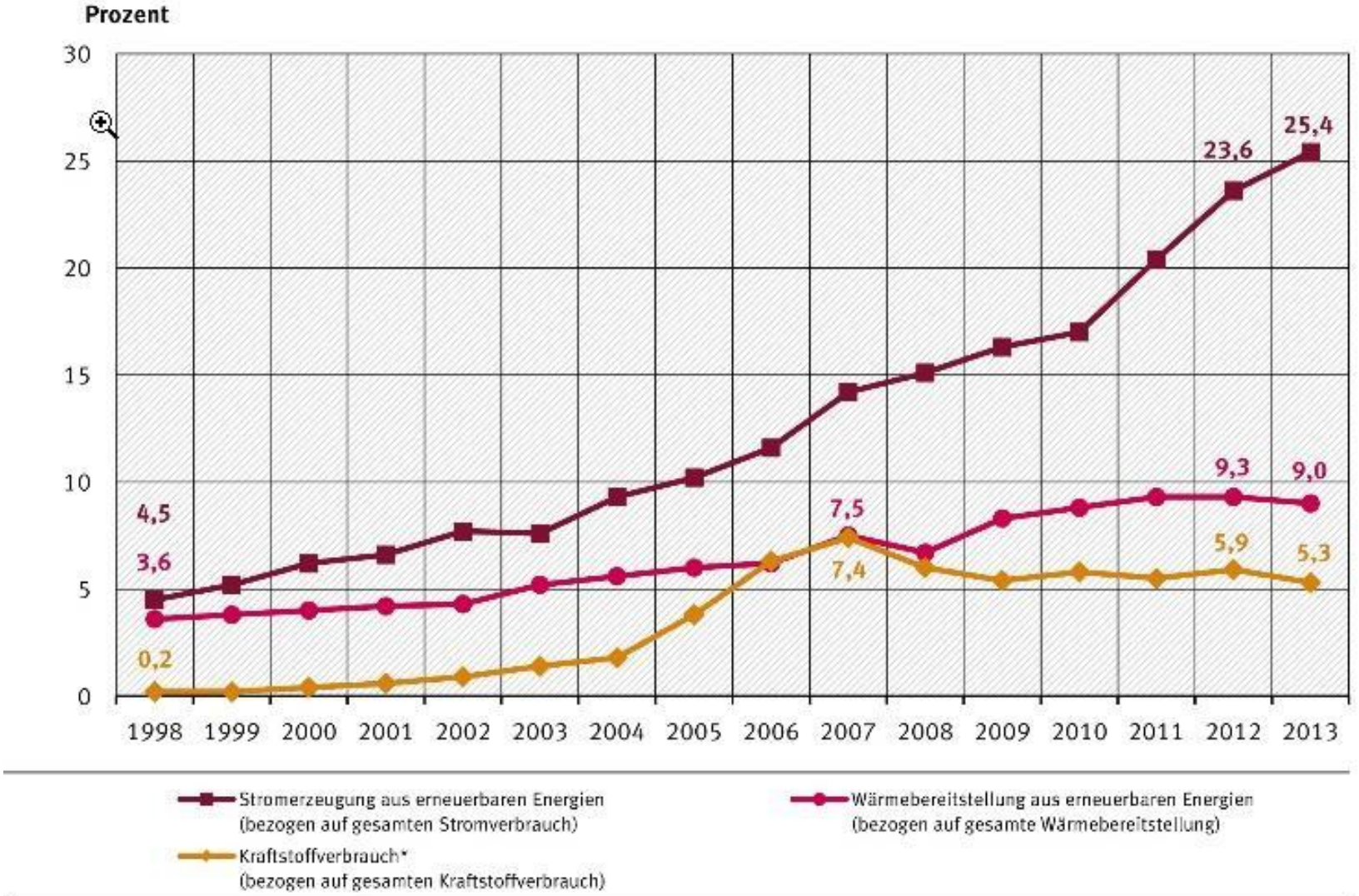
Anteil erneuerbarer Energien weltweit 2014



Quelle: REN21 Report 2016

- Die Welt ist heute abhängig von fossilen Energien
- Fossile Energien werden mit > 650 Mrd. $ p.a. subventioniert
- Investitionen in Erneuerbare Energien 2015: 285 Mrd. $

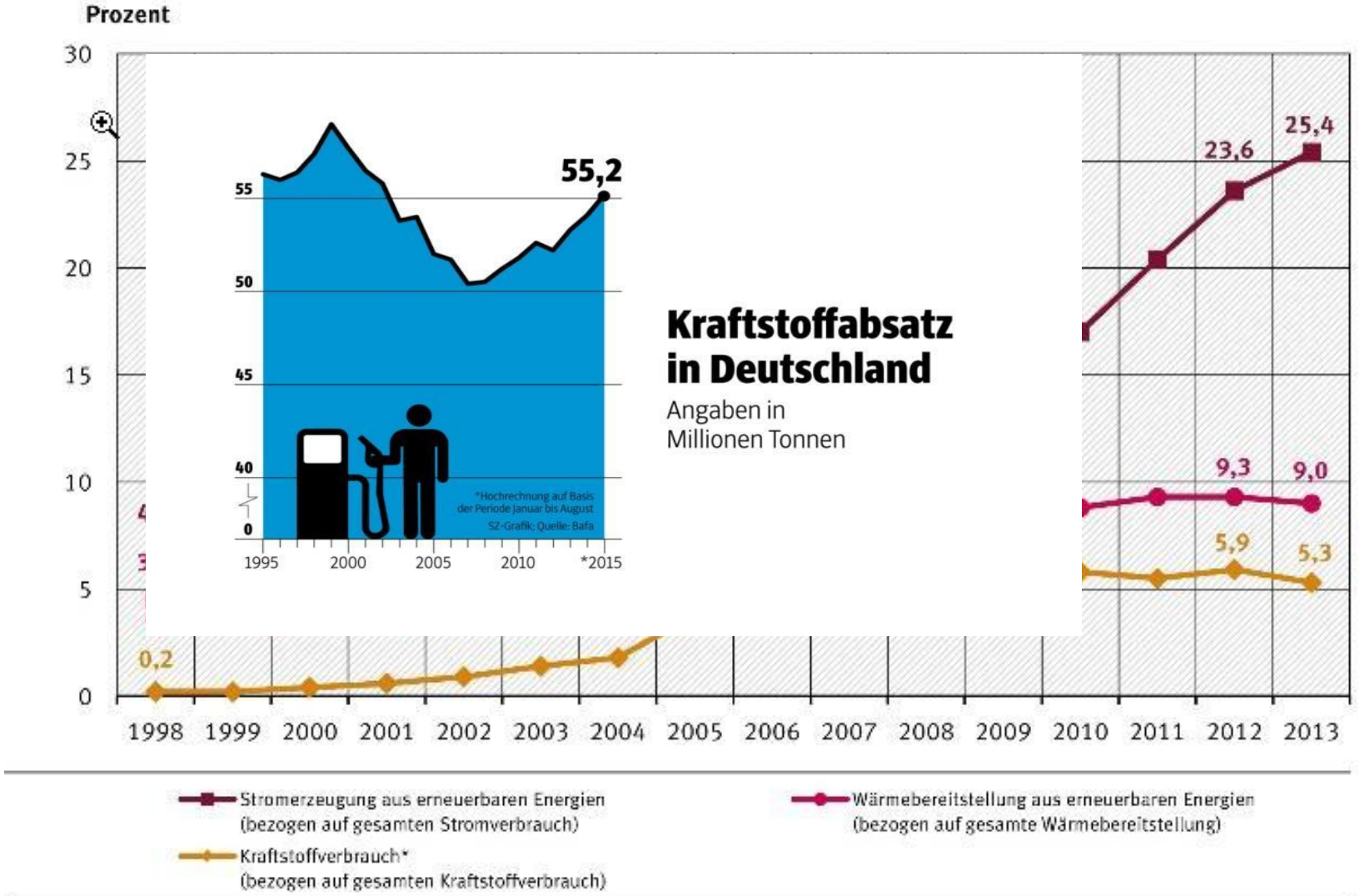
Anteil Erneuerbare Energien bei Strom, Wärme, Kraftstoff



* bis 2002 Bezugsgröße Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr, ab 2003 gesamter Verbrauch an Motorkraftstoff, ohne Flugbenzin

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand 02/2014

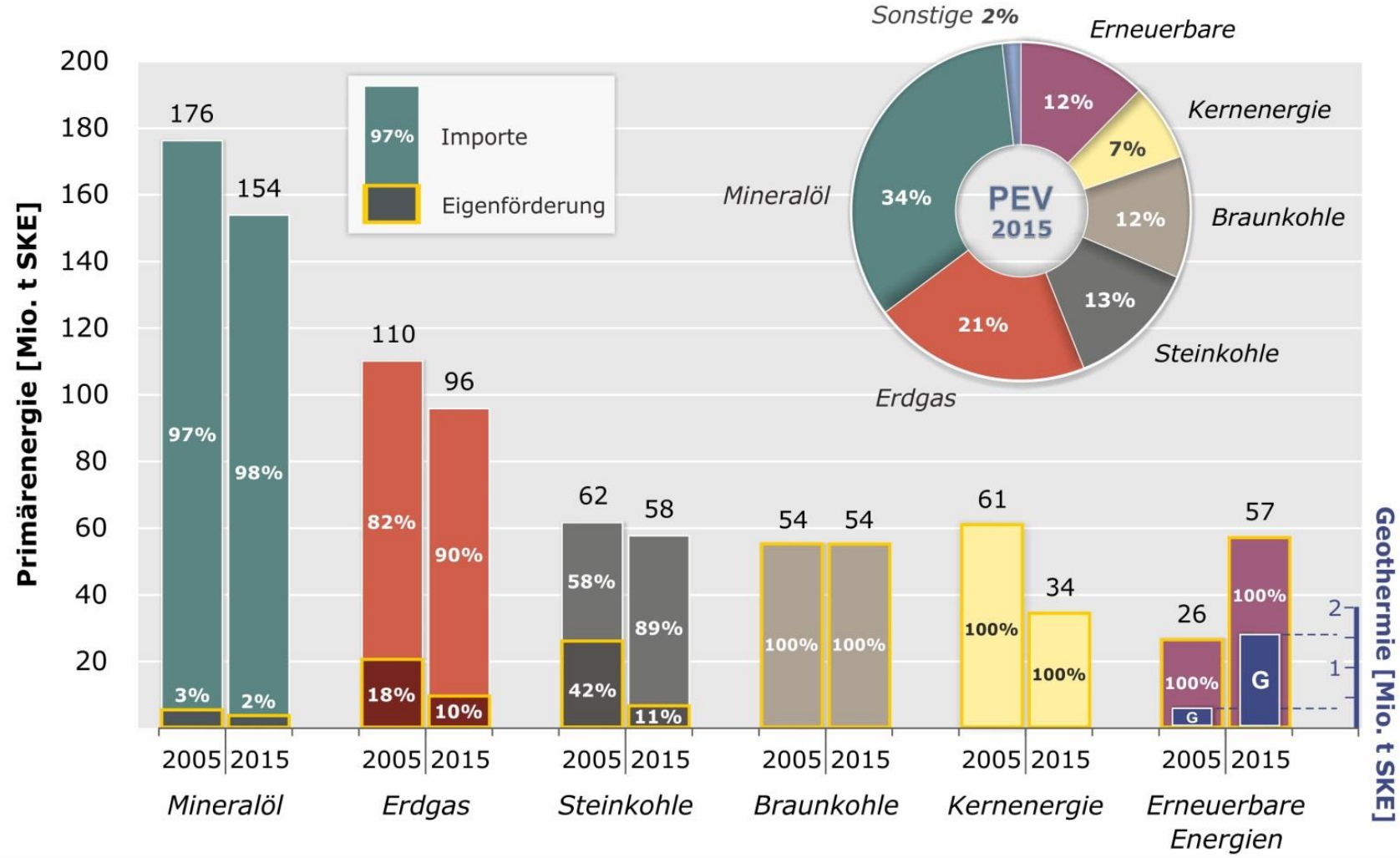
Anteil Erneuerbare Energien bei Strom, Wärme, Kraftstoff



* bis 2002 Bezugsgröße Kraftstoffverbrauch im Straßenverkehr, ab 2003 gesamter Verbrauch an Motorkraftstoff, ohne Flugbenzin

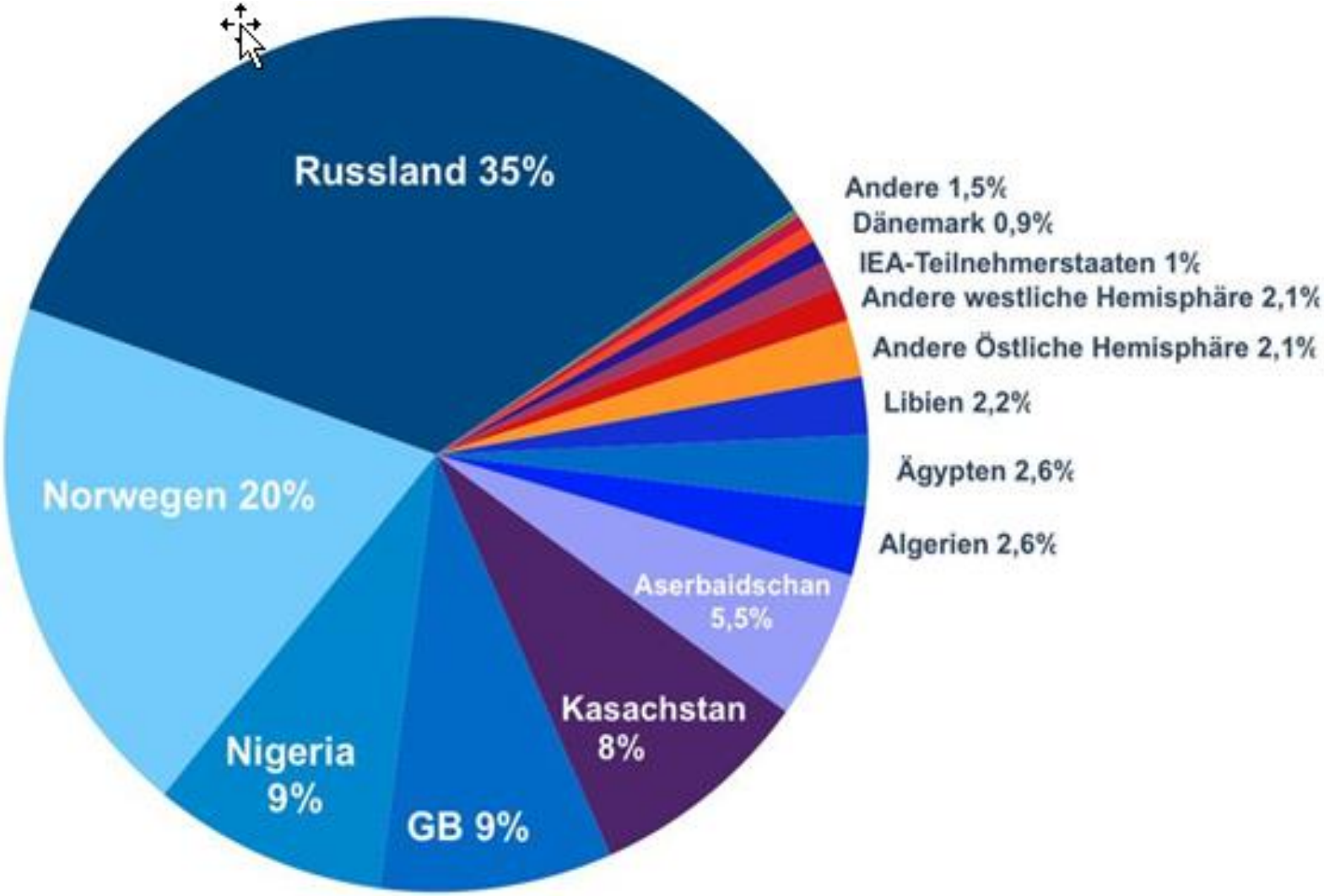
Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, Stand 02/2014

Herkunft der deutschen Primärenergie (2015)



Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Herkunft des Öls für Deutschland (2014)



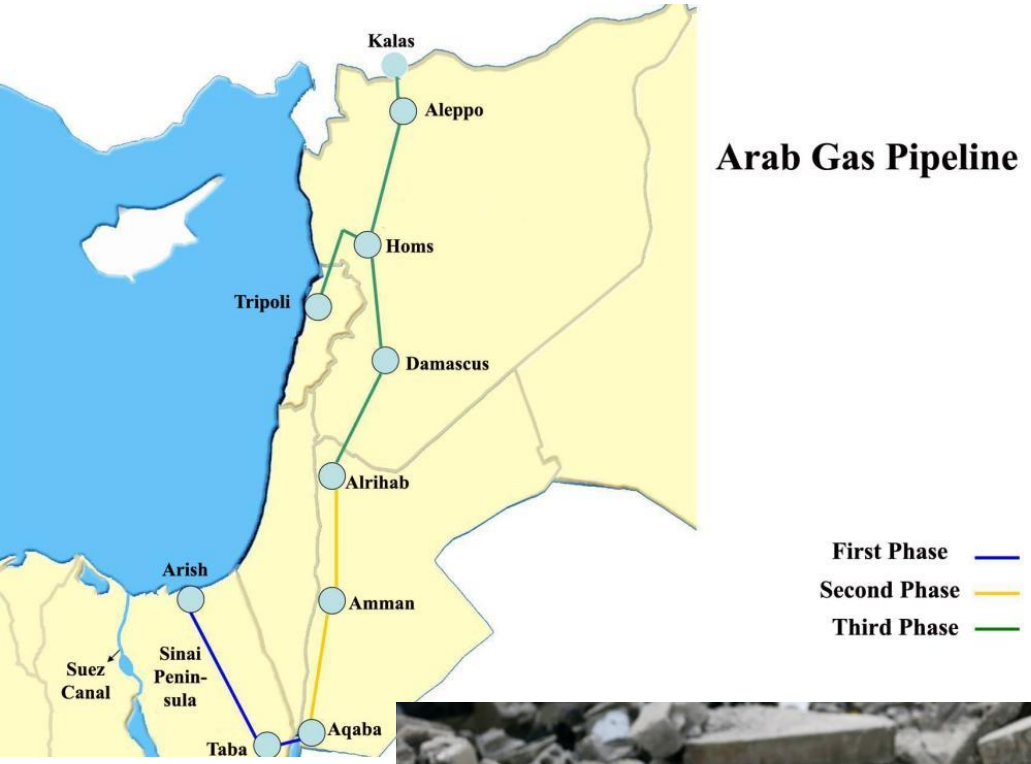
Quelle Bafa / ©SOLAR-professionell

Elektromobilität und Erneuerbare Energien

20 m² PV – Fläche genügen, um den Strombedarf eines E-Fahrzeuges zu decken
(12 000 km pro Jahr, Deutschland)

DIE WELT IM WANDEL

Die großen Herausforderungen



© dwn

© ARD, moma, 22.09.2015

© REUTERS/Bassam Khabie

© picture-alliance / dpa

Die großen Herausforderungen

© dwn

Was steckt dahinter ?

- Die globale Energieversorgung von heute basiert zu mehr als 80%, die Mobilität zu mehr als 95% auf fossilen Energien
- Viele Staatshaushalte hängen dramatisch vom Export fossiler Energien ab

© REUTERS/Bassam Khabie

© picture-alliance / dpa

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Sehens- und Lesenswertes

Interessante Fakten zu den EE:
http://www.ren21.net/ren21-annual-report-2016/

Reportage über Öl und Politik:
http://dokustreams.de/oelzeitalter/

Investments in EE:
http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsinrenewableenergyinvestment2016lowres_0.pdf

Elektromobilität:
http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/die-npe/publikationen/

Brennstoffzelle
http://www.fuelcellindustryreview.com/