



Elektromobilität mit regenerativer Energie

Prof. Dr. rer. nat. habil. E. Boggasch

Centrum für Elektromobilität an der Ostfalia -CEMO
und Fakultät Versorgungstechnik, Institut für energieoptimierte Systeme -EOS



Salzgitter

Suderburg

Wolfenbüttel

Wolfsburg



Elektromobilität mit regenerativer Energie

- Elektromobilität und regenerative Energie
 - einige Fakten und Zahlen
- CEMO
- Eigene Forschungsarbeiten
 - Das „Gebäude der Zukunft“, ein Smart Home im Smart Grid?
 - regenerativer Energiepark mit E-Mobilität
 - Stromspeichertechnologien
 - Management regenerativer Energien
 - Management des Gesamtsystems
- Zusammenfassung und Ausblick



Elektromobilität mit regenerativer Energie

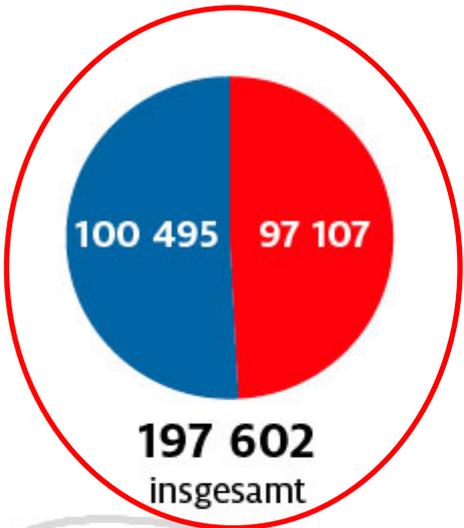
- Elektromobilität und regenerative Energie
 - einige Fakten und Zahlen
- CEMO
- Eigene Forschungsarbeiten
 - Das „Gebäude der Zukunft“, ein Smart Home im Smart Grid?
 - regenerativer Energiepark mit E-Mobilität
 - Stromspeichertechnologien
 - Management regenerativer Energien
 - Management des Gesamtsystems
- Zusammenfassung und Ausblick



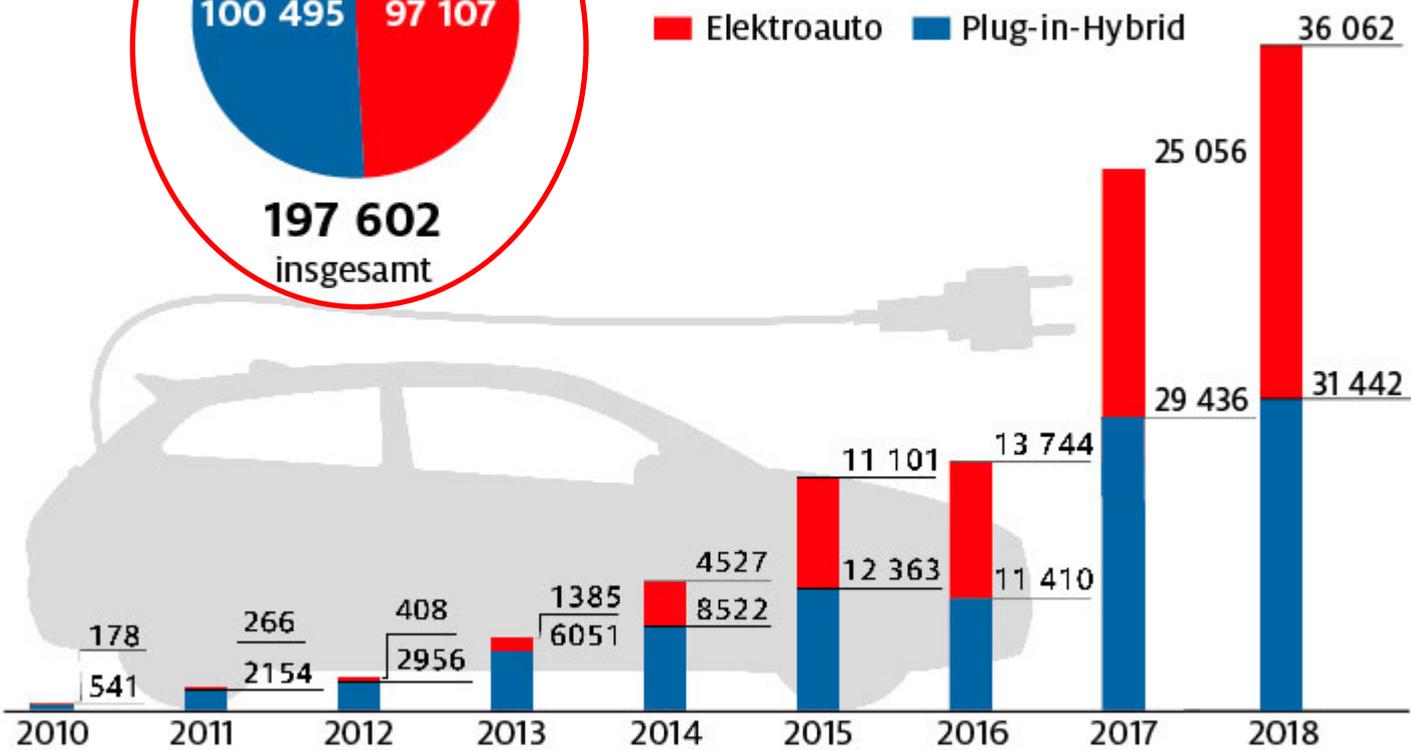
Elektromobilität

- derzeit etwa 57.000.000 Kfz mit Verbrennungsmotor in D zugelassen, davon 47.000.000 Pkw,
- dagegen sind derzeit nur etwa 200.000 E-Fahrzeuge unterwegs, 50% als Plug-In-Hybrid und 50% als reine Elektrofahrzeuge (ADAC, KBA).
- Bis zum Jahr 2020 sollten nach den Zielen der Bundesregierung die Anzahl auf 1.000.000 E-Fahrzeuge gesteigert werden.
- E-Motor wesentlich effektiver als Verbrennungsmotor,
- aber Energiebereitstellung ist entscheidend,
- Treibstoff „Strom“ umweltfreundlich, möglichst regenerativ, erzeugen,
- große Herausforderungen, viel Forschungsbedarf !

Wolfenbüttel



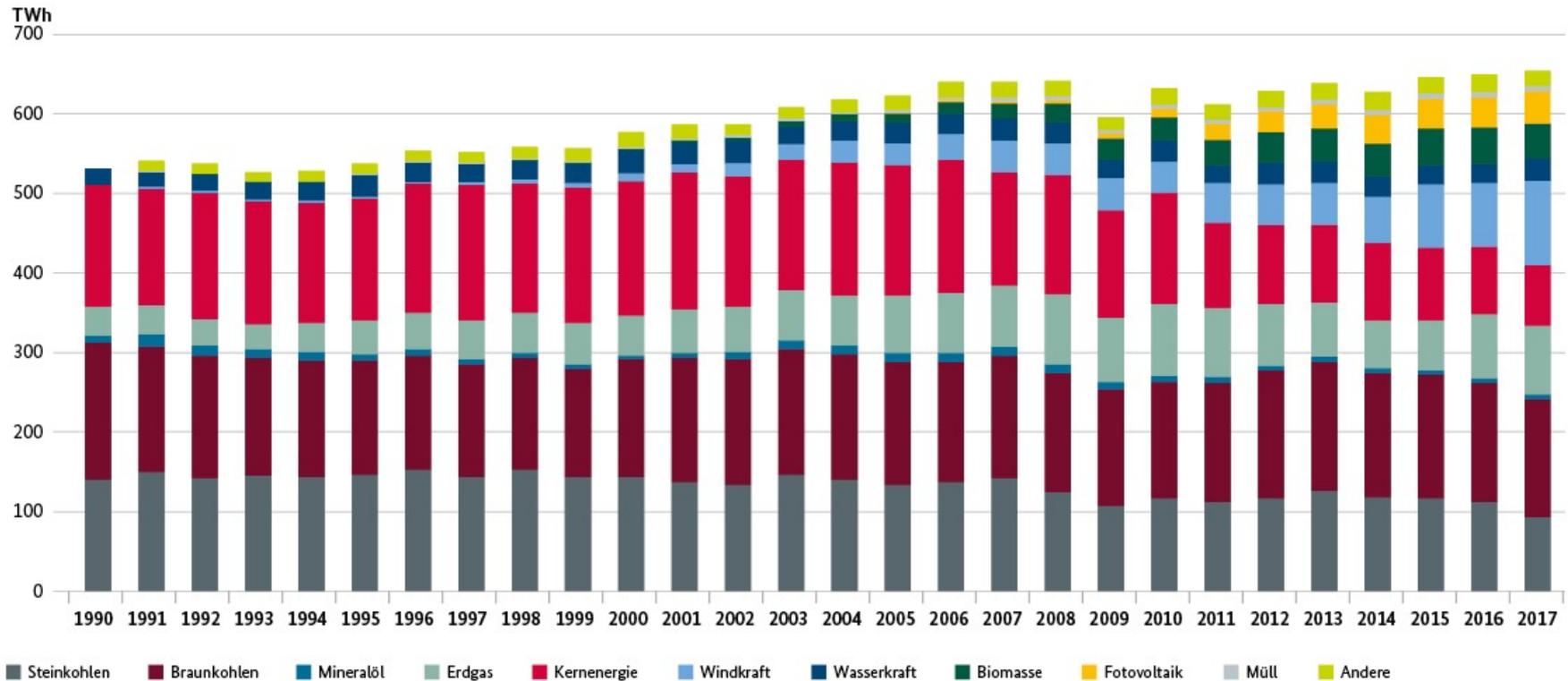
Jährliche Neuzulassungen,
es tut sich was...



Quellen: KBA, EAFO, VDA



Wolfenbüttel

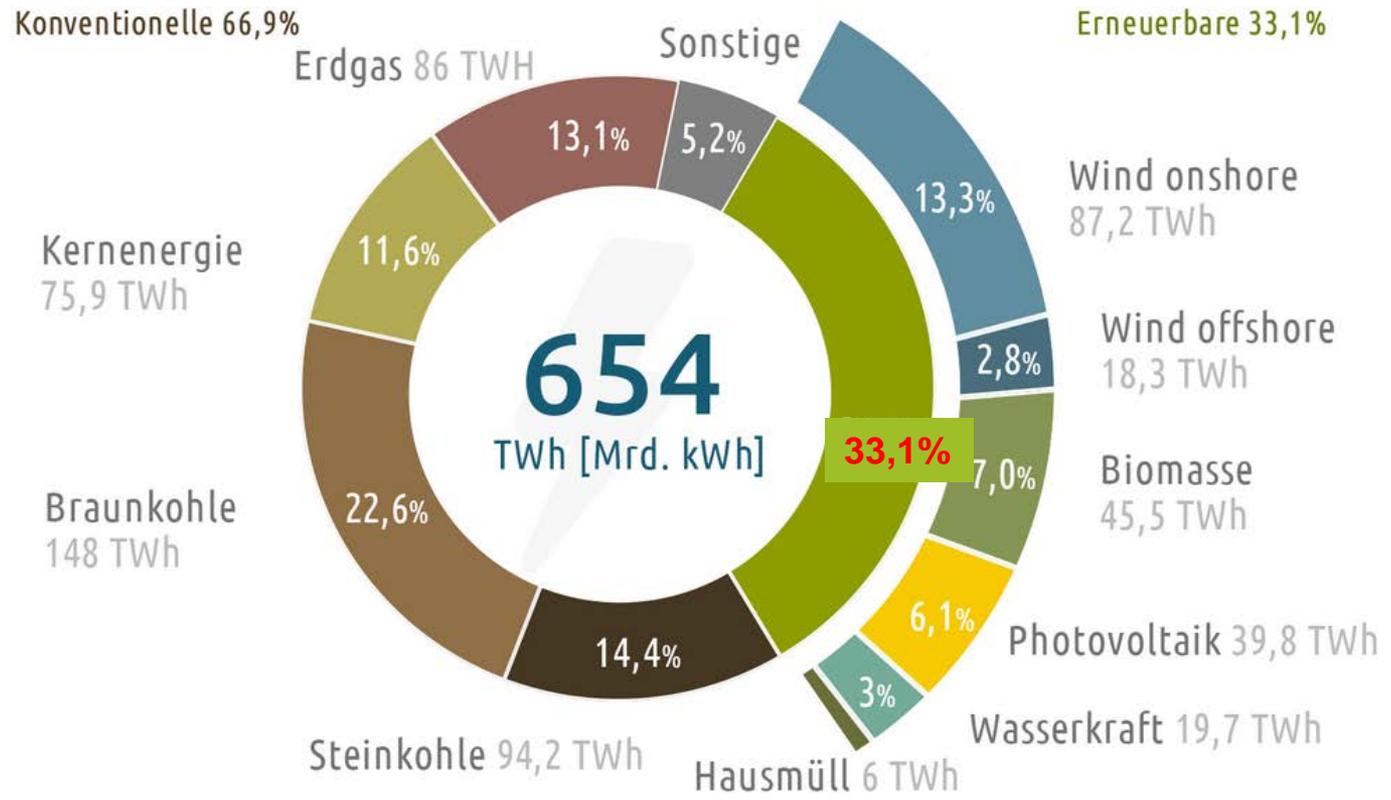


Bruttostromerzeugung in Deutschland

Quelle: **Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)**

DER STROMMIX IN DEUTSCHLAND 2017 [BRUTTO]

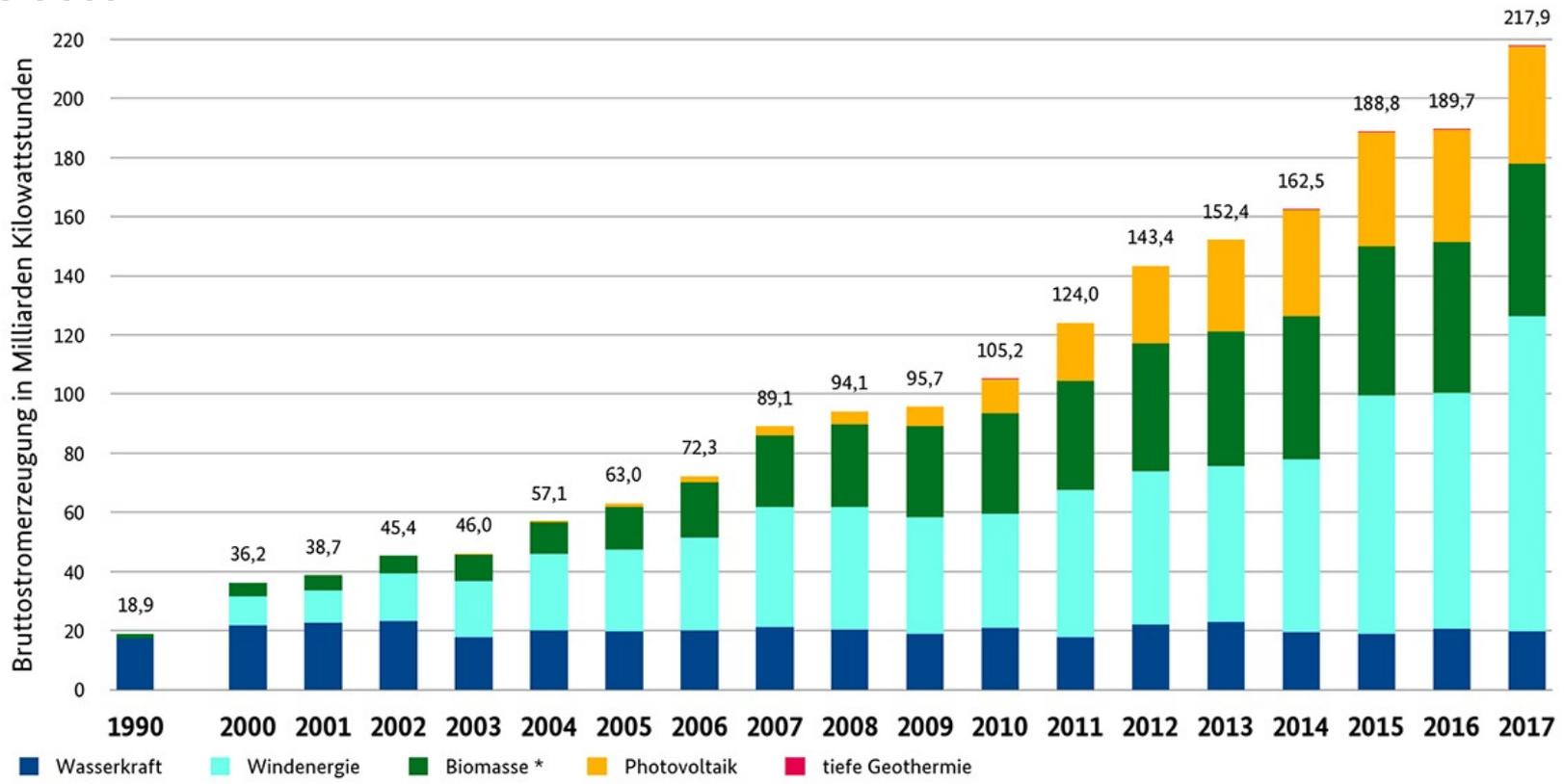
Anteil der Energieträger an der Bruttostromerzeugung in Deutschland



Bereits 1/3 des Bruttostromes regenerativ!

TWh

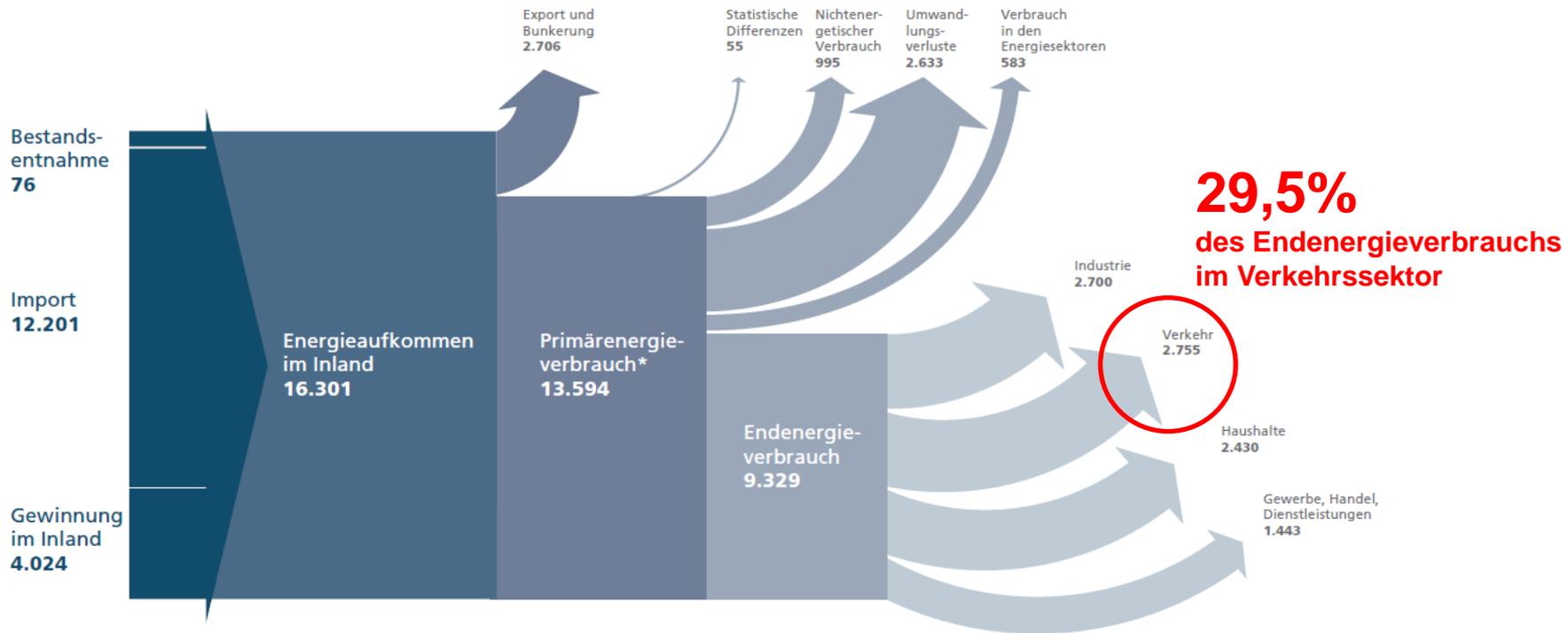
Der Siegeszug der Erneuerbaren



* inkl. feste und flüssige Biomasse, Biogas inkl. Biomethan, Klär- und Deponiegas und dem biogenen Anteil des Abfalls, ab 2010 inkl. Klärschlamm; BMWi auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Stand: Februar 2018; Angaben vorläufig

Energieflussbild 2017
 für die Bundesrepublik Deutschland
 in Petajoule (PJ)

1 TWh = 3,6 PJ = 10¹⁵ J



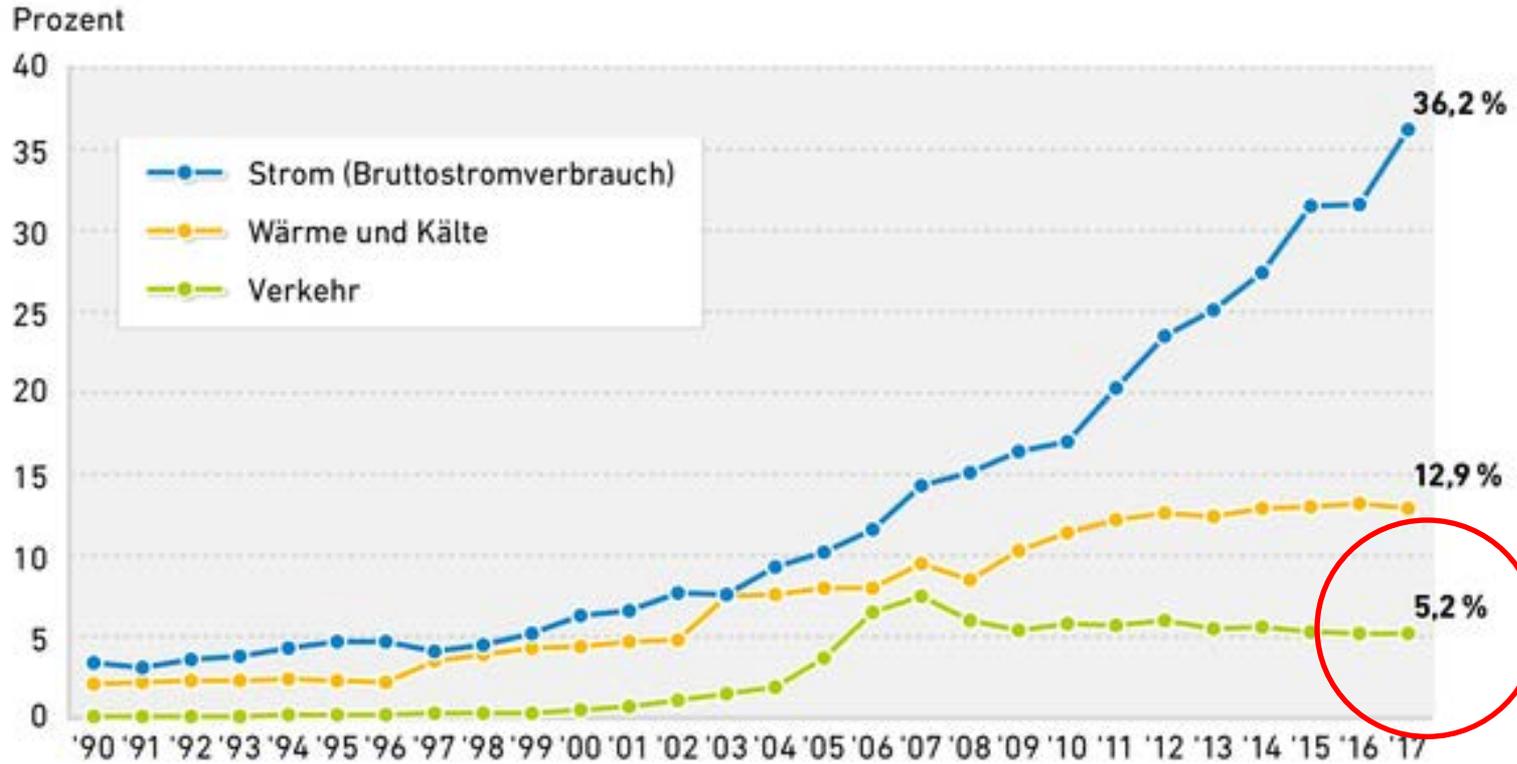
29,5%
 des Endenergieverbrauchs
 im Verkehrssektor

davon nur 5,2%
 regenerativ ! ?

Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 13,1 %.
 Abweichungen in den Summen sind rundungsbedingt.
 * Alle Zahlen vorläufig/geschätzt.
 29,3 Petajoule (PJ) \pm 1 Mio. t SKE
 Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 07/2018

Wolfenbüttel

Anteile Erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland 1990-2017



Quelle: BMWi / AGEE-Stat
Stand: 3/2018
© 2018 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

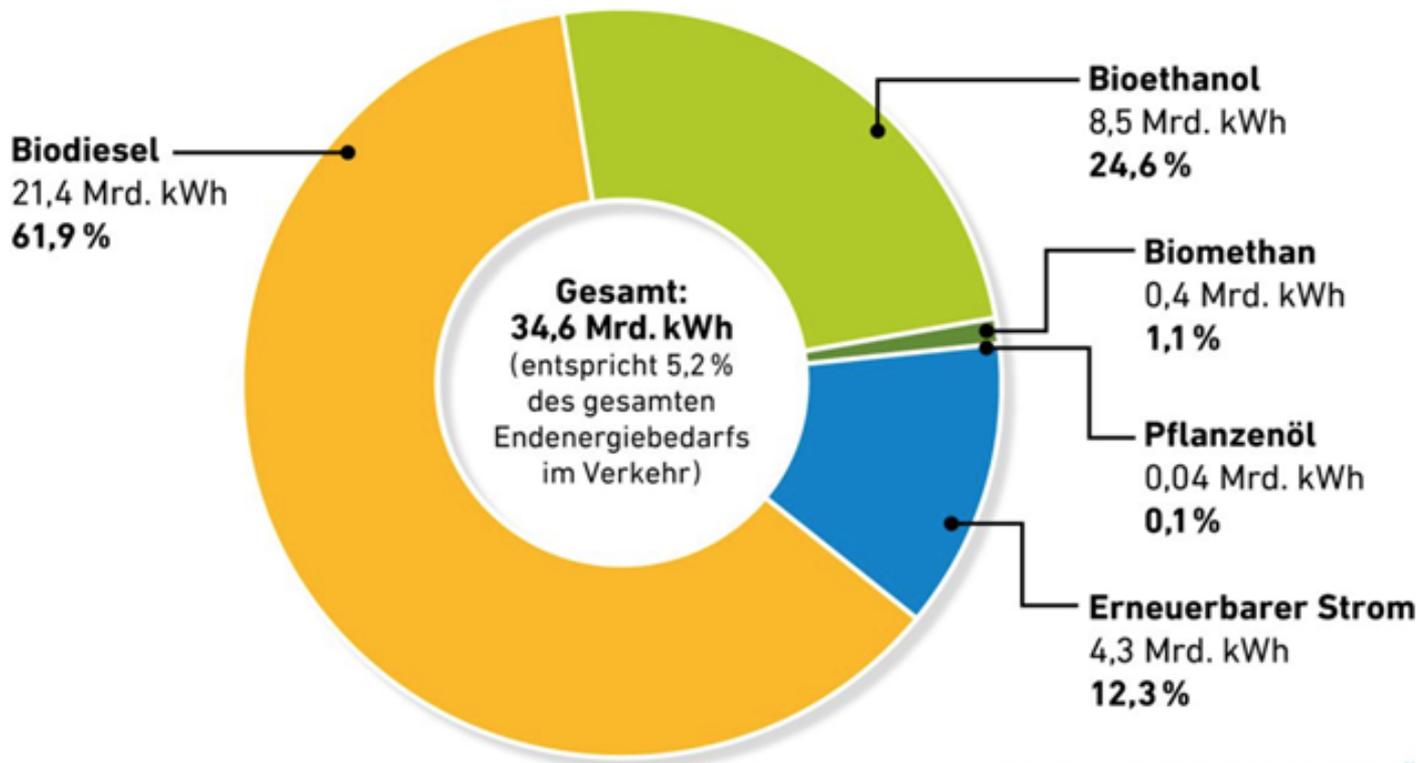


?



Erneuerbare Energien im Verkehrssektor 2017

2017 deckten Bioenergie, Wind, Sonne und Co. 5,2 Prozent des gesamten Endenergiebedarfs im deutschen Verkehr. Den größten Anteil daran hatten Biokraftstoffe, die knapp 90 Prozent des Erneuerbaren-Anteils ausmachten.

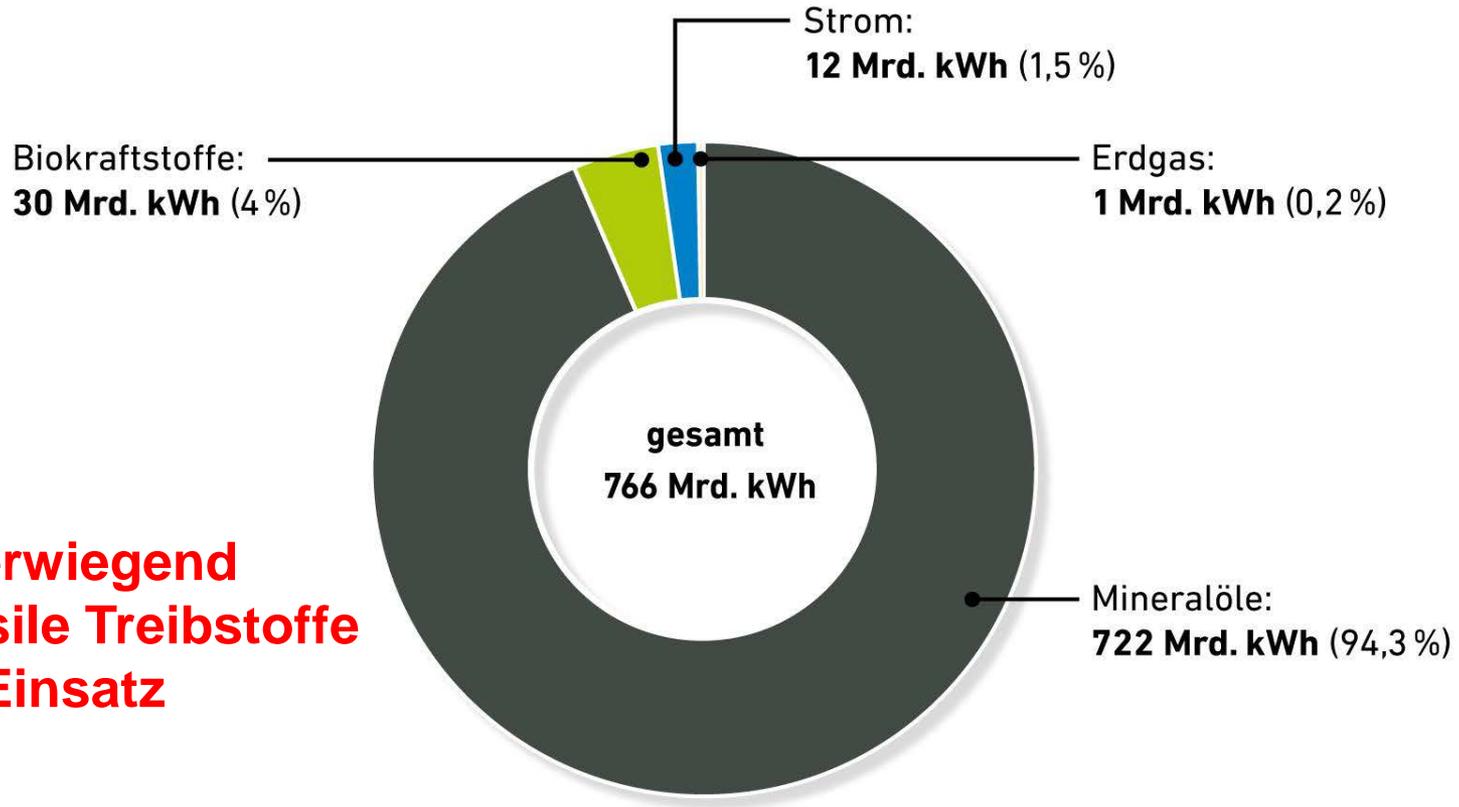


Quelle: BMWi/AGEE-Stat
Stand: 3/2018
© 2018 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.



Wolfenbüttel

Endenergieverbrauch des Verkehrs 2017 in Milliarden Kilowattstunden



**Überwiegend
fossile Treibstoffe
im Einsatz**

Quelle: eigene Darstellung nach AG Energiebilanzen
Stand: 7/2018

© 2018 Agentur für Erneuerbare Energien e.V.





Energiebedarf für 1.000.000 reine Elektrofahrzeuge

Annahmen:

Fahrstrecke pro Jahr:	20.000 km
Energieverbrauch je 100 km	15 kWh
Energiekosten pro 100 km	4,5 € (bei 30 Cent je kWh)
Energiebedarf pro Jahr:	3000 kWh

Energiebedarf von 1.000.000 Elektrofahrzeugen: 3.000.000.000 kWh =
3 TWh
(200 WKA mit 5 MW)

Derzeitige Bruttostromerzeugung in Deutschland: ca. 650 TWh

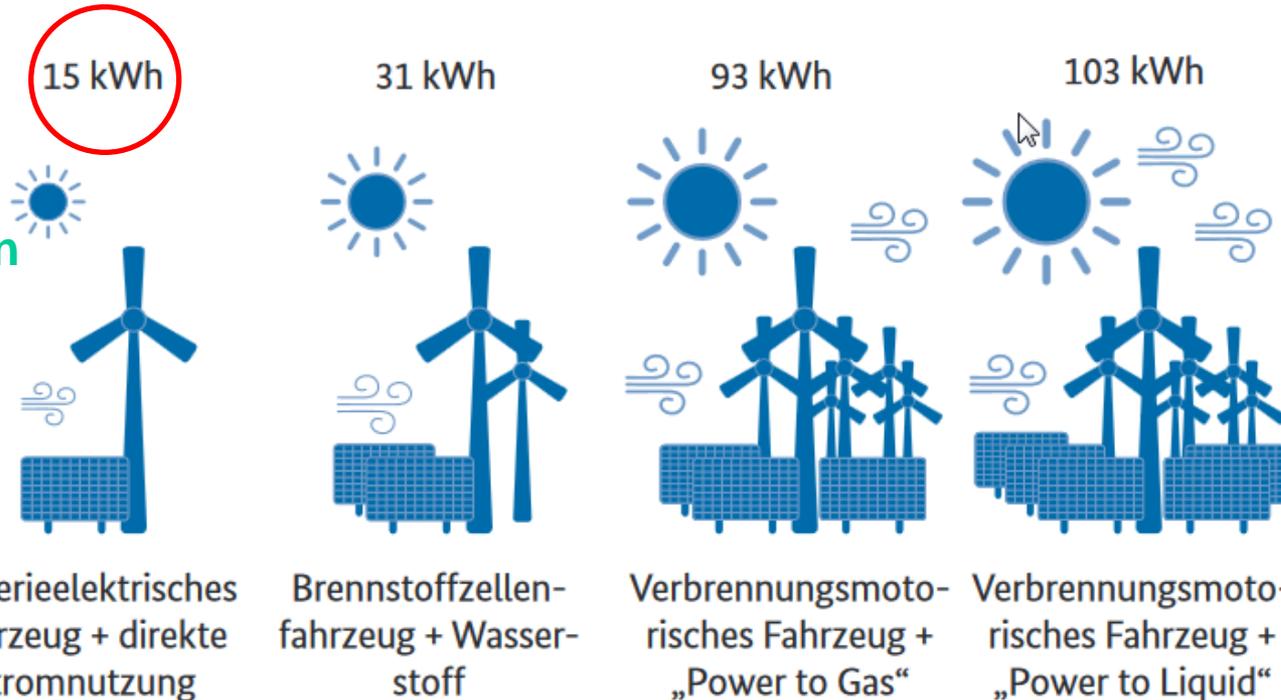
- 1.000.000 Elektrofahrzeuge benötigen
ca. 0,5 % des heutigen Strombedarfs
- **ca. 1,4 % des derzeit regenerativ erzeugten elektrischen Stroms !**



Abbildung 4: Strombedarf aus erneuerbaren Energien in Kilowattstunden (kWh) für verschiedene Antriebs- und Kraftstoffkombinationen pro 100 Kilometer

**am
effektivsten**

= 1,5 l Benzin



Quelle: Agora Verkehrswende, auf Basis der im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums erstellten MKS-Kurzstudie „Erneuerbare Energien im Verkehr“

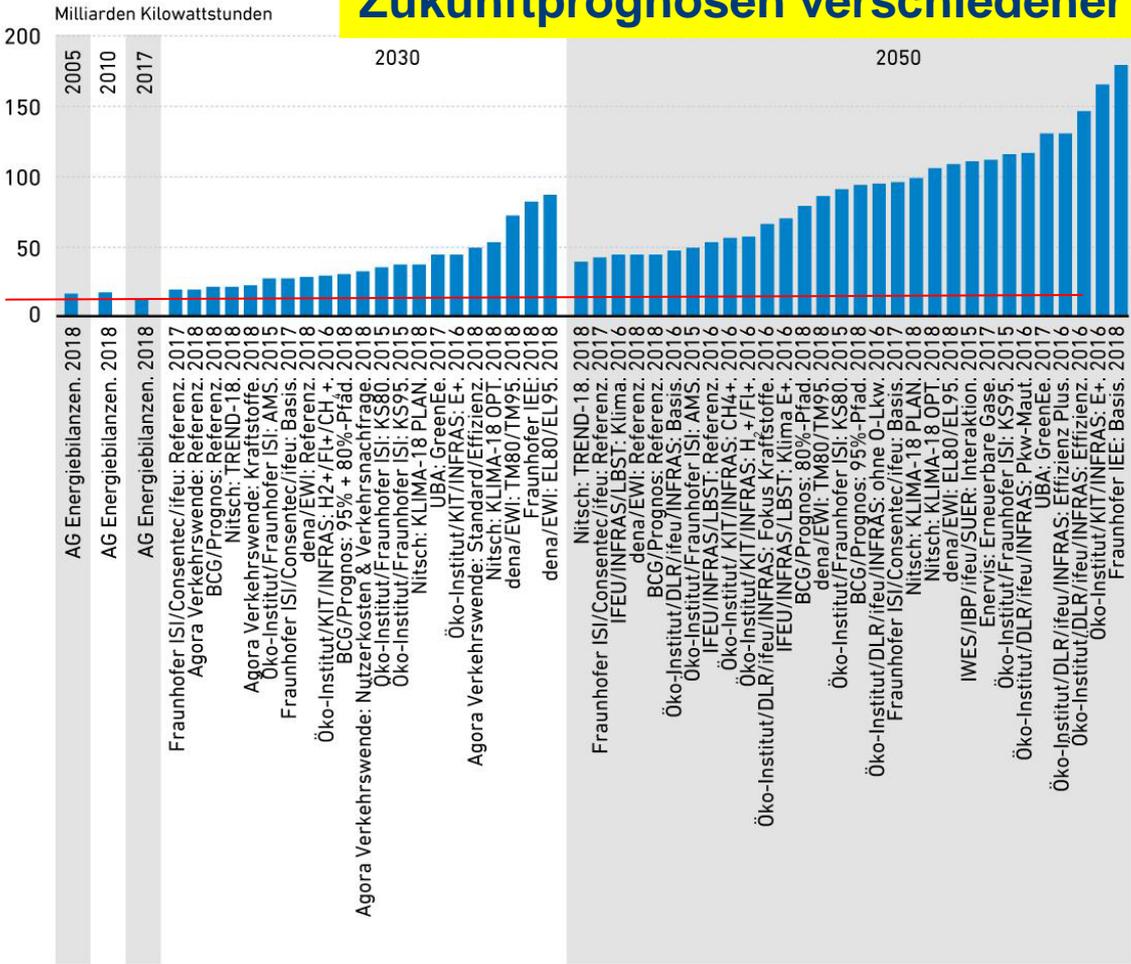
Forschungsradar
Vergleichsgrafik

Metaanalyse: Strom und strombasierte Kraftstoffe für den Verkehr

Szenarien zur direkten Nutzung von elektrischem Strom im Verkehr in Deutschland

Die Werte berücksichtigen in der Regel den Endenergie-Stromverbrauch des Schienenverkehrs, von Elektrofahrzeugen sowie gegebenenfalls von Oberleitungs-LKW.

Zukunftprognosen verschiedener Studien



Strom

**12 TWh Strom
in 2017**

Wolfenbüttel

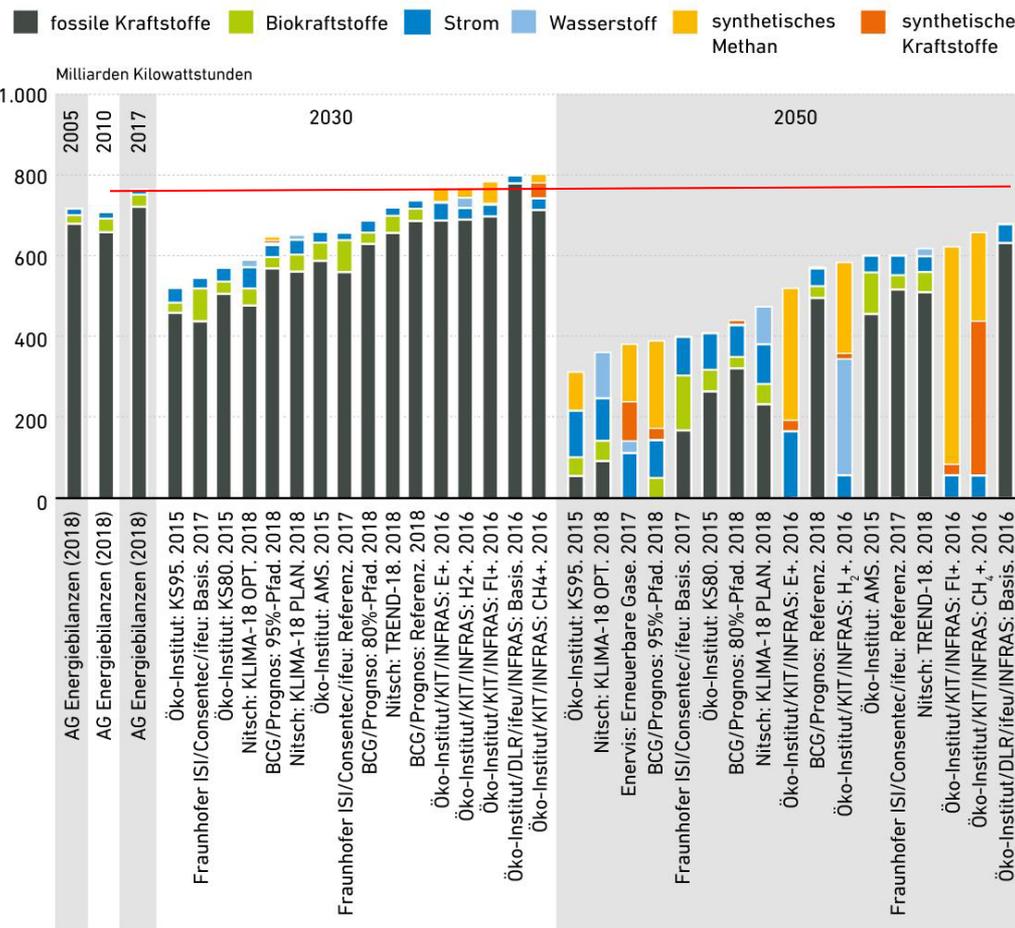
766 TWh in 2017

Forschungsradar Vergleichsgrafik

Metaanalyse: Strom und strombasierte Kraftstoffe für den Verkehr

Szenarien zum Endenergieverbrauch nach Energieträgern im Verkehr

Zur Dekarbonisierung des Verkehrs stehen verschiedene Energieträger zur Verfügung: Synthetische Gase und Kraftstoffe (Power-to-Gas, Power-to-Liquid), Biokraftstoffe und Strom aus Erneuerbaren Energien. Die Zusammensetzung fällt in den Klimaschutzenszenarien sehr unterschiedlich aus. Im Szenario Enervis 2017 ist unter „synthetisches Methan“ auch Biomethan enthalten.



**Synthetische
 Energieträger
 aus
 erneuerbaren
 Energien**



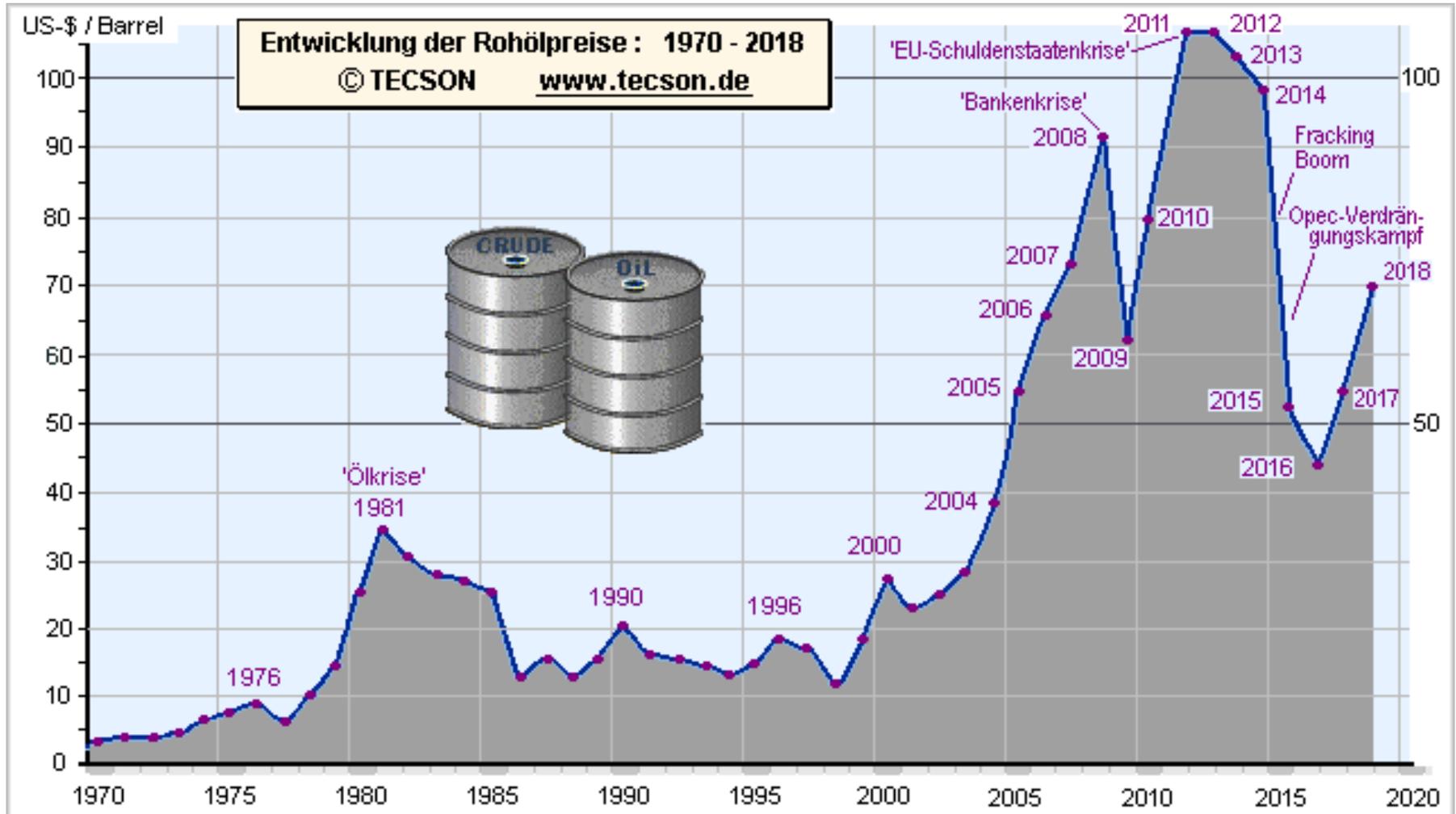


„Es ist absolut klar, dass Elektrizität das „neue Öl“ ist. Mit diesem Energieträger geht es nur in eine Richtung, während andere wie Kohle oder Gas ihren Höhepunkt erreichen, versiegen oder stagnieren... “

**Christoph Frei, Generalsekretär des
Weltenergierats (World Energy Council, WEC),**



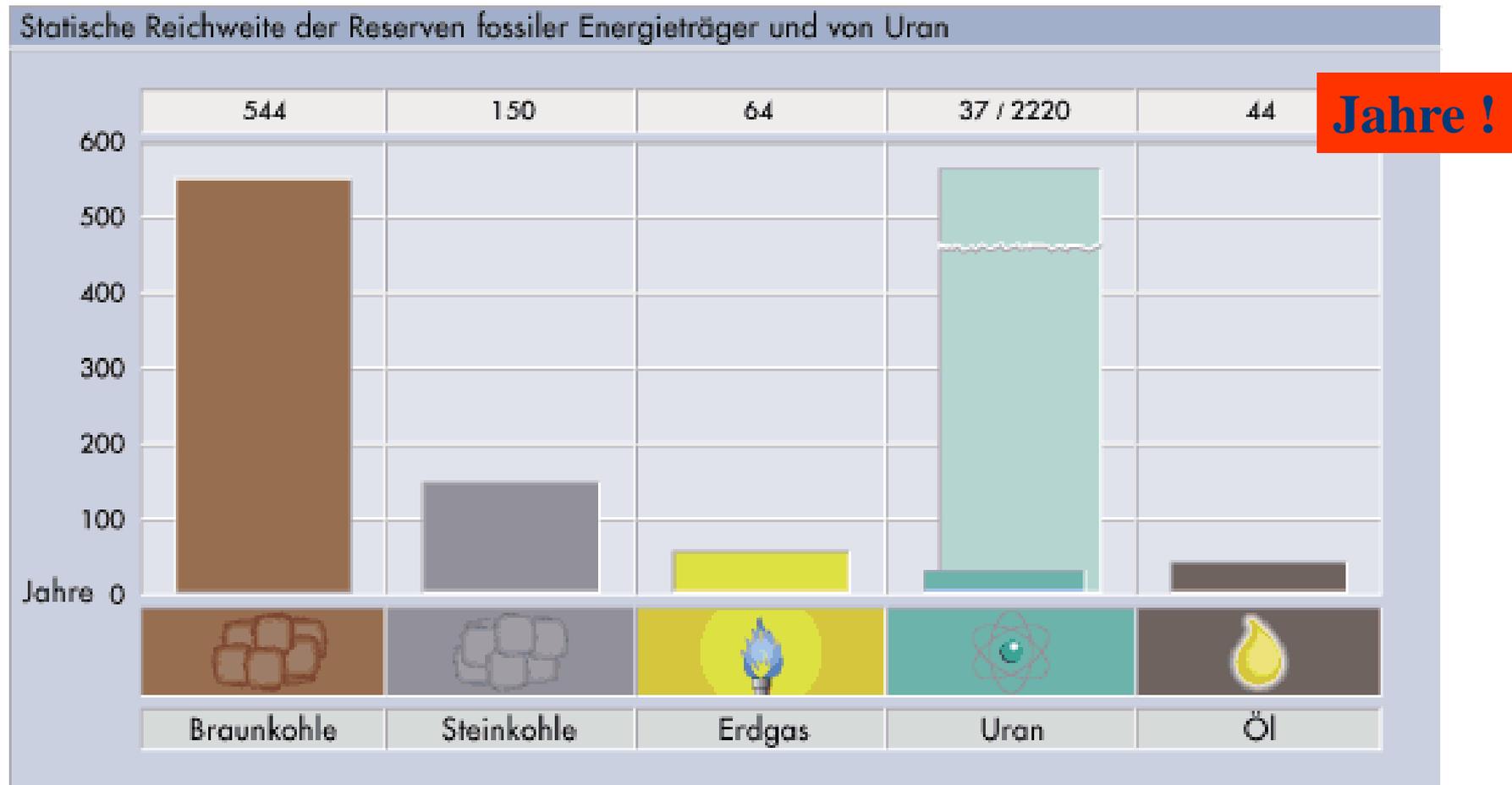
Wolfenbüttel



Erdölpreis hat sich in letzten 20 Jahren mehr als vervierfacht
Natürliche Ressourcen sind endlich!



Endliche Ressourcen, denn wenn wir so weitermachen wie bisher ...





Elektromobilität mit regenerativer Energie

- Elektromobilität und regenerative Energie
 - einige Fakten und Zahlen
- CEMO
- Eigene Forschungsarbeiten
 - Das „Gebäude der Zukunft“, ein Smart Home im Smart Grid?
 - regenerativer Energiepark mit E-Mobilität
 - Stromspeichertechnologien
 - Management regenerativer Energien
 - Management des Gesamtsystems
- Zusammenfassung und Ausblick



Elektromobilität mit regenerativer Energie

- Elektromobilität und regenerative Energie
 - einige Fakten und Zahlen
- **CEMO**
- Eigene Forschungsarbeiten
 - Das „Gebäude der Zukunft“, ein Smart Home im Smart Grid?
 - regenerativer Energiepark mit E-Mobilität
 - Stromspeichertechnologien
 - Management regenerativer Energien
 - Management des Gesamtsystems
- Zusammenfassung und Ausblick



Wolfenbüttel



Gründung des CEMO (Zentrum für Elektromobilität an der Ostfalia) am 13.09.2012
Zusammenarbeit von 16 Ostfalia-Professoren aus 6 technischen Fakultäten
zum Thema Elektromobilität!



Wolfenbüttel

CEMO - Kompetenzfelder

Batterie

Energieautarkes
Gebäude

Energie-
bilanz

Fahrwerk

Brennstoff-
zelle

Elektrische
Antriebe

Gesamt-
fahrzeug

Fahrzeug-
konzepte

Energie-
infrastruktur

Verbrennungs-
kraftmaschinen

Fahrzeug-
sicherheit

Betriebs-
strategien

Lade-
technologie

Rekuperation

Geschäfts-
modelle

Mobilitäts-
konzepte



Zielsetzung und Vision des Centrums für Elektromobilität der Ostfalia - CEMO

- Ziel: Das Centrum für Elektromobilität der Ostfalia (CEMO) möchte einen Beitrag zur **klimafreundlichen** und **nachhaltigen Umgestaltung der Mobilität** hin zur **Elektromobilität** leisten und die **Elektromobilität in der Region fördern**.
- Die Vision ist, die für **elektrisch angetriebene Fahrzeuge benötigte Energie zu 100% aus regenerativen Quellen** zu gewinnen und die Alltagsmobilität mit Elektrofahrzeugen ohne Einschränkungen realisieren zu können.



Wolfenbüttel



*Schlüsselübergabe:
Ganz rechts Prof.
Boggasch, Leiter des
Labors für
Elektrotechnik und
regenerative Energie,
daneben Olf Clausen,
Geschäftsführer der
m+p-Gruppe*

Am **12.04.12** erhielt die Fakultät Versorgungstechnik aus den Händen des **Geschäftsführers Olf Clausen** ein Elektrofahrzeug des Typs **Peugeot Ion** leihweise für Forschungszwecke von der **m+p gruppe**, einem Mitgliedsunternehmen unseres Beirates.



Wolfenbüttel

CEMO
Centrum für Elektromobilität der Ostfalia

Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften



Peugeot iOn



Typ	Peugeot iOn
Sitze	4
Leistung	49 kW
Drehmoment	196 Nm
Beschleunigung 0-100km/h	15,9 s
Leergewicht /Zuladung	1140 kg / 310 kg
Energieinhalt	14,5 kWh
Verbrauch	12,6 kWh/100 km
Reichweite	150 km
Höchstgeschwindigkeit	130 km/h
Ladeleistung	3,68 – 50 kW
Ladedauer	30 min. – 11 h

- **Peugeot iOn seit April 2012 im Einsatz,**
- **Leihgabe der M&P-Gruppe Braunschweig,**
- **Praktische Forschungstätigkeit,**
- **48.000 km im Sommer- und Winterbetrieb,**
- **kein Ausfall,**
- **neben Strom fast keine Betriebskosten!**
- **Ideal für „Kurzstrecke“ und Stadtbetrieb,**
- **Parken für 3 Stunden umsonst in BS, (leider nicht WF)**
- **Reduzierung der Batteriekapazität bis jetzt um etwa 20%.**



Elektromobilität mit regenerativer Energie

- Elektromobilität und regenerative Energie
 - einige Fakten und Zahlen
- CEMO
- Eigene Forschungsarbeiten
 - Das „Gebäude der Zukunft“, ein Smart Home im Smart Grid?
 - regenerativer Energiepark mit E-Mobilität
 - Stromspeichertechnologien
 - Management regenerativer Energien
 - Management des Gesamtsystems
- Zusammenfassung und Ausblick



Elektromobilität mit regenerativer Energie

- Elektromobilität und regenerative Energie
 - einige Fakten und Zahlen
- CEMO
- Eigene Forschungsarbeiten
 - Das „Gebäude der Zukunft“, ein Smart Home im Smart Grid?
 - regenerativer Energiepark mit E-Mobilität
 - Stromspeichertechnologien
 - Management regenerativer Energien
 - Management des Gesamtsystems
- Zusammenfassung und Ausblick



Motivation für unsere Arbeiten an der Ostfalia (seit etwa 18 Jahren!) im Labor für Elektrotechnik und regenerative Energietechnik der Fakultät Versorgungstechnik

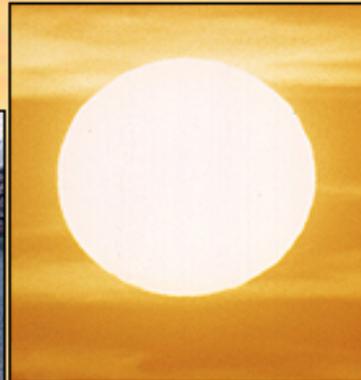
- regenerative Energienutzung ist aktuelle Thematik, Atomausstieg bis 2022 für Deutschland beschlossen,
- verschiedene regenerative Energieanlagen waren in Fak V vorhanden. Ergänzungen erfolgten im Rahmen von Forschungsvorhaben,
- Kommunikationsstrukturen aus Gebäudeautomation anwendbar (Bussysteme, LON), viele Strategien aus energieoptimiertem Gebäudemanagement bekannt,
- ganzheitliche Betrachtung und Zusammenwirken verschiedener regenerativer Energieformen, insbesondere im Gebäudeumfeld, von steigendem Interesse („smart grids“)
- Einbindung der Elektromobilität als „mobiler Speicher“ ins „Smart Grid“



Gibt es Alternativen zu fossilen Energieträgern?



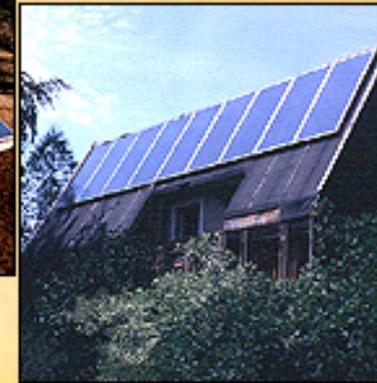
Wasserkraft



Sonne



Photovoltaik



Solarthermie



Biomasse



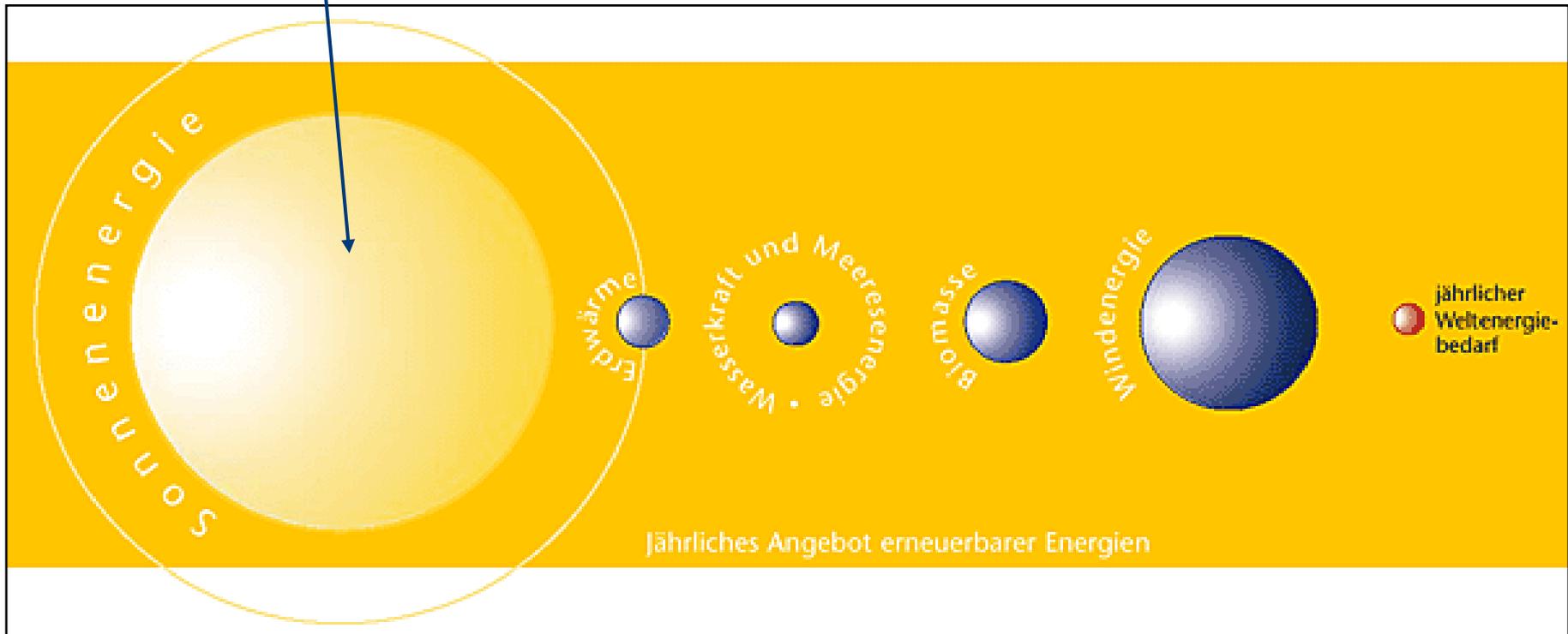
Windenergie



Erdwärme



10000-facher Weltenergiebedarf = $3,9 \cdot 10^{24}$ J



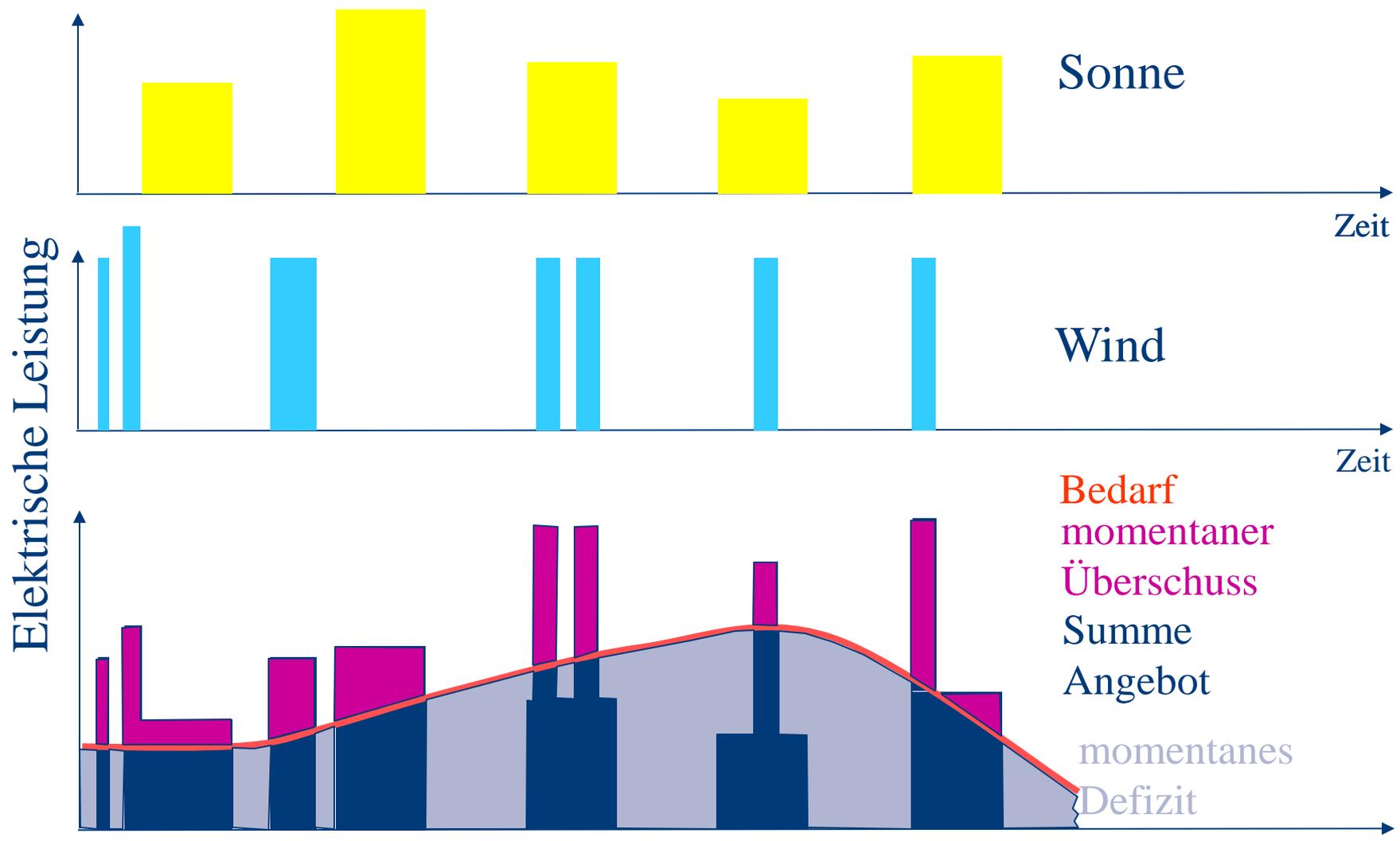
**Das Angebot regenerativer Energie ist groß!
Aber es gibt das Problem der jederzeitigen Verfügbarkeit ...**



Besonderheiten bei wetterabhängiger regenerativer Energienutzung

- **Solar- und Windenergie sind stochastisch auftretende Energieformen
⇒ Versorgungssicherheit?**
- **Stromversorgungsnetze unterliegen starken zeitlichen Schwankungen im Energieangebot, insbesondere bei Wind, $P \sim v^3$.**
- **selbst im Tages- Stunden- und Minutenmaßstab kann es zu starken Schwankungen der angebotenen Energie kommen.**
- **Grundregel im elektrischen Versorgungsnetz:
eingespeiste = abgenommene Leistung, um Netzfrequenz stabil zu halten.**
- **komplexes Energiemanagement, „Stromspeicher“-Techniken**

Wolfenbüttel



Idee des Managements regenerativer Energien



Wie sieht das Gebäude der Zukunft aus?



Quelle: ITM, Sheffield, GB <http://www.theengineer.co.uk/pictures/web/images/30950.jpg>



Beispiele gibt's schon heute ...





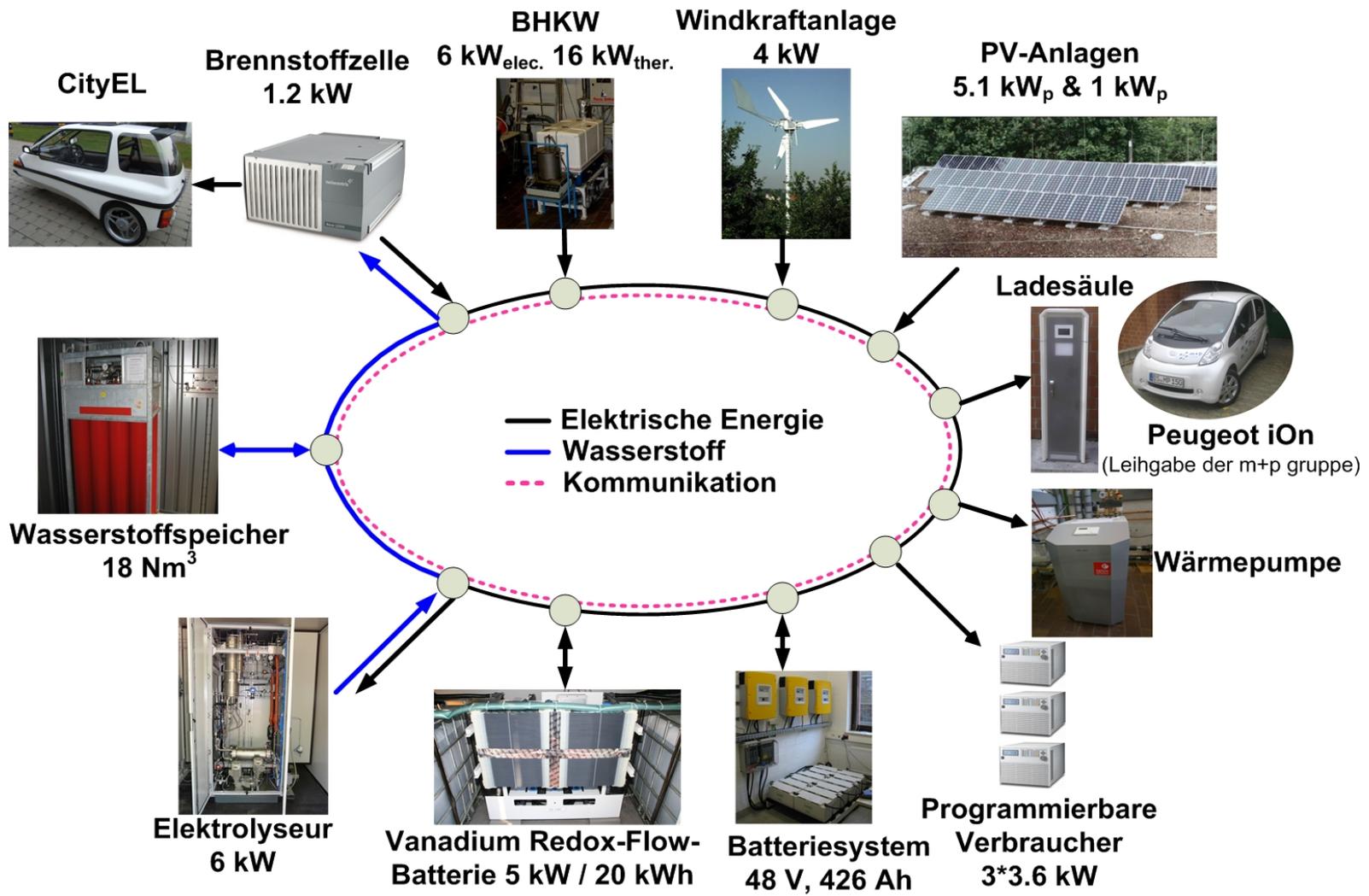
Wolfenbüttel

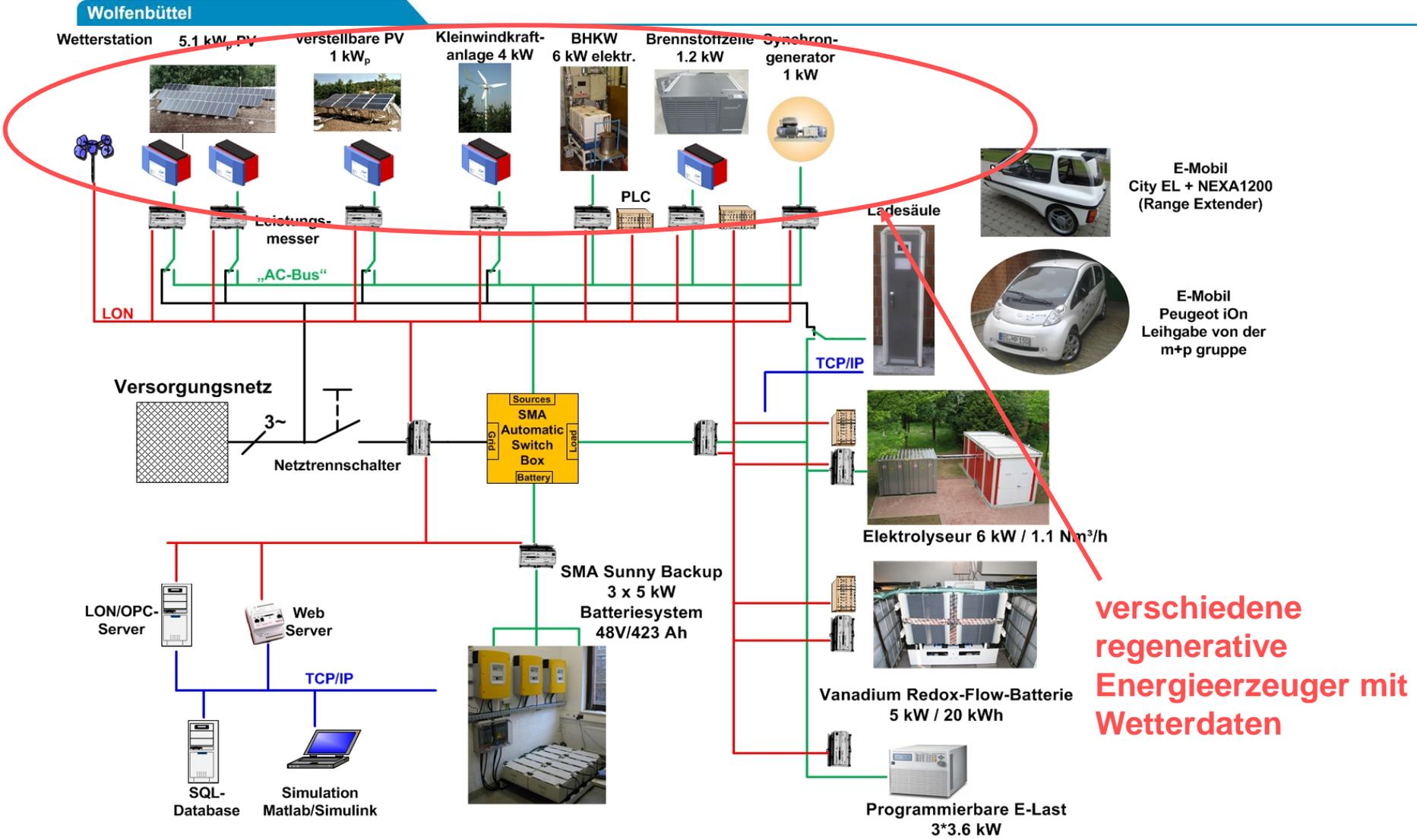


Anwesen Wedel, Groß Elbe, Niedersachsen, Foto: Lutz Wedel

Wolfenbüttel

Intelligent vernetzter Energiepark -Smart Grid- an der Ostfalia

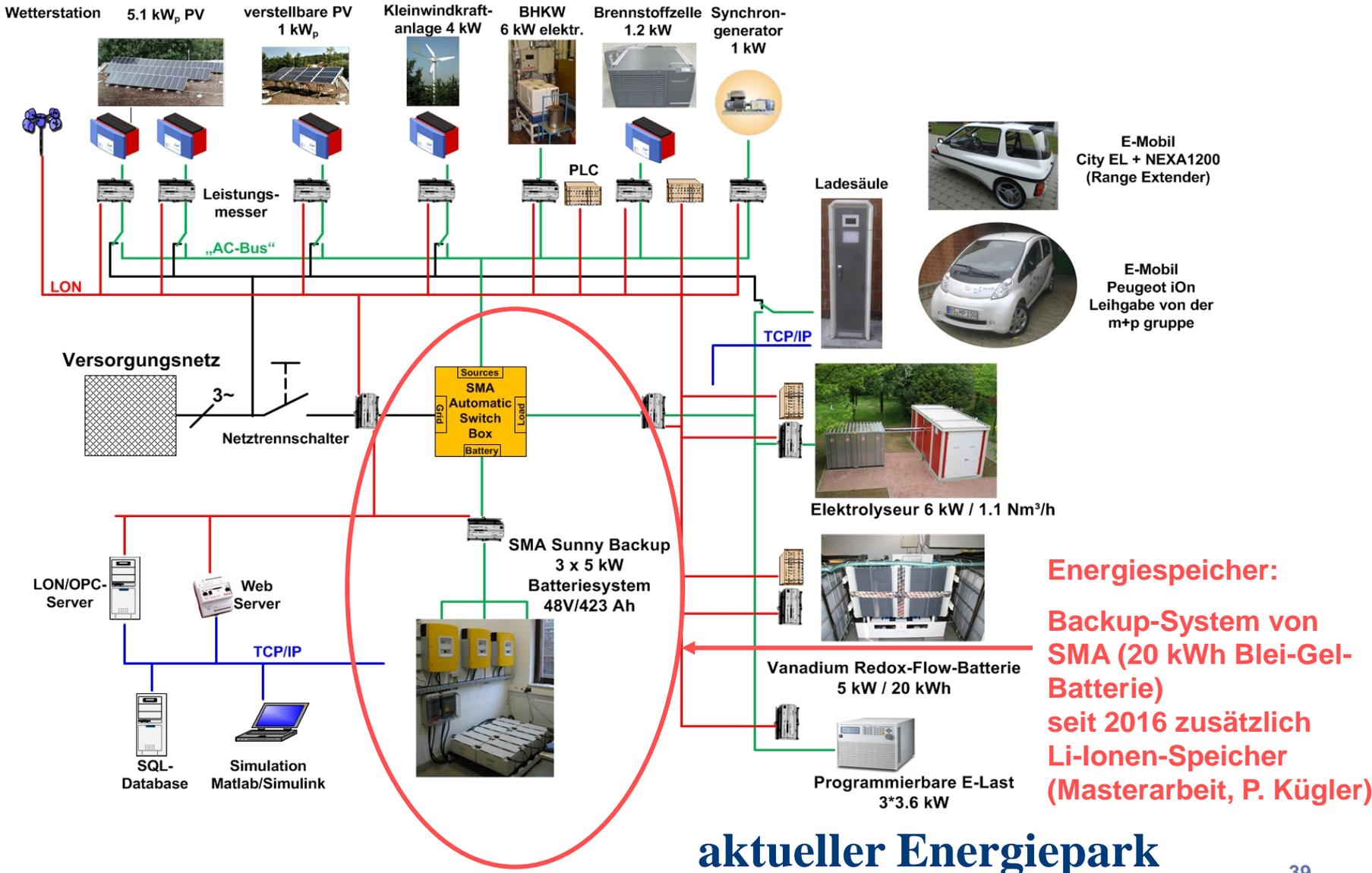




verschiedene
 regenerative
 Energieerzeuger mit
 Wetterdaten

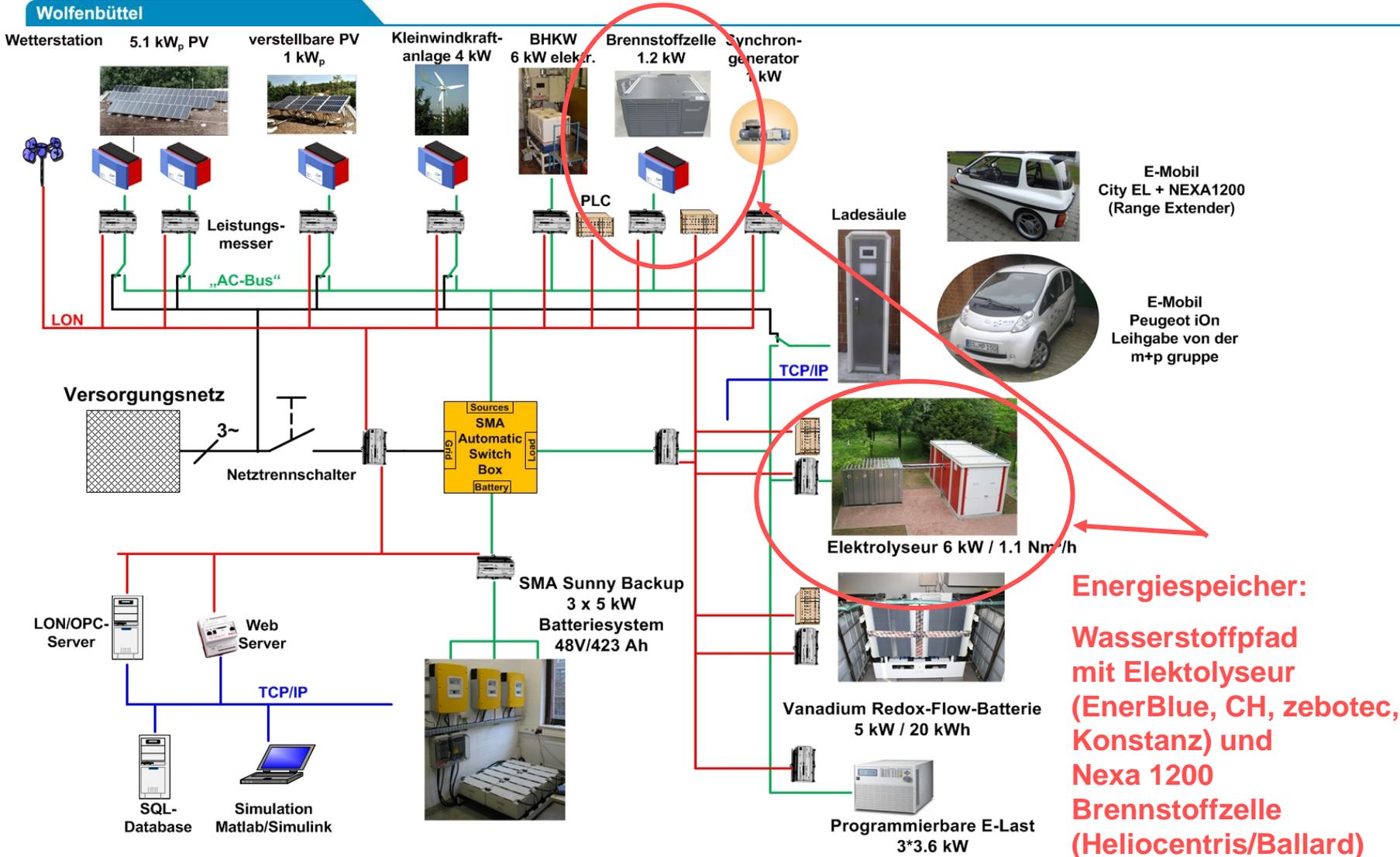
aktueller Energiepark

Wolfenbüttel



Energiespeicher:
 Backup-System von
 SMA (20 kWh Blei-Gel-
 Batterie)
 seit 2016 zusätzlich
 Li-Ionen-Speicher
 (Masterarbeit, P. Kügler)

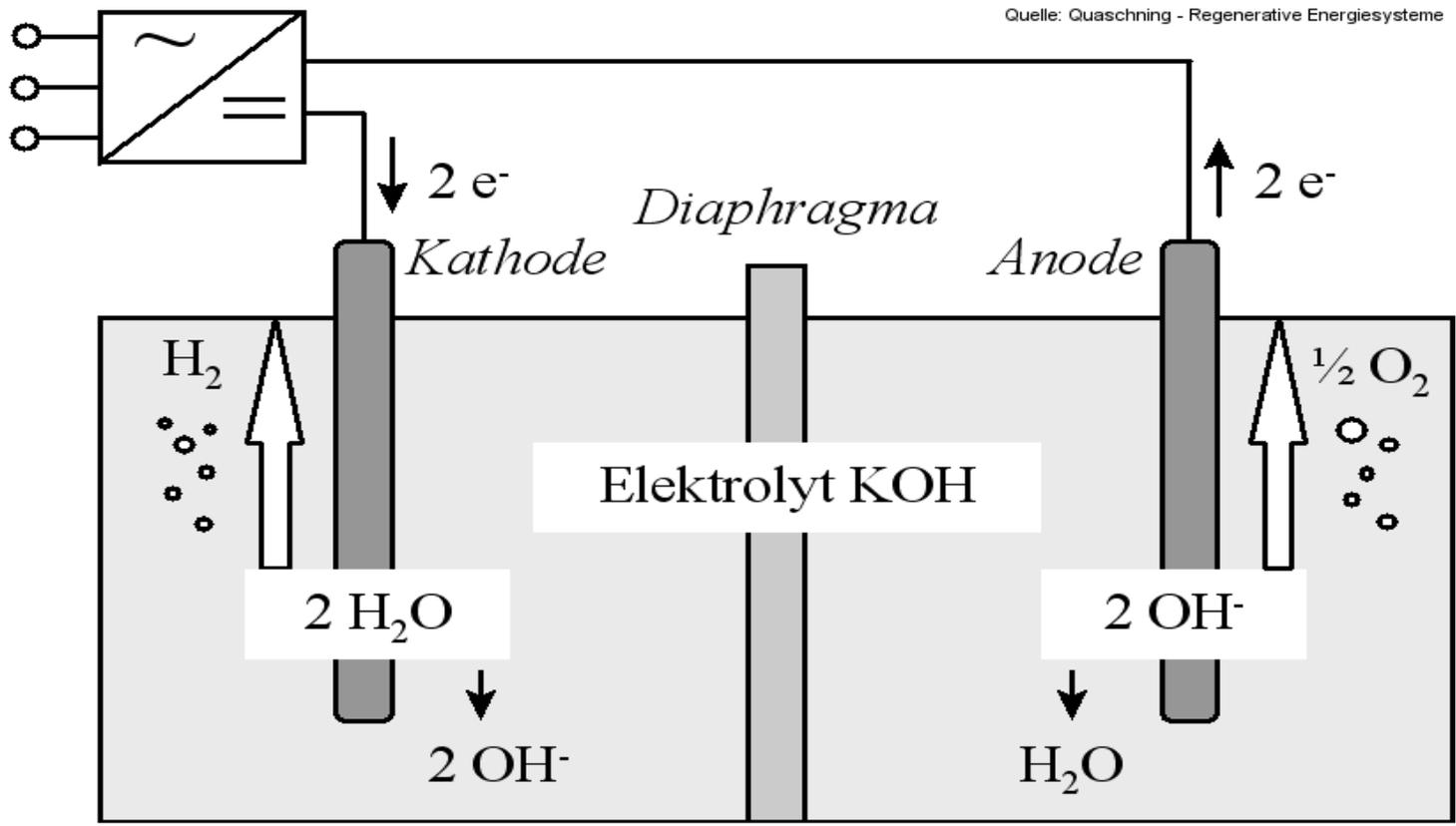
aktueller Energiepark



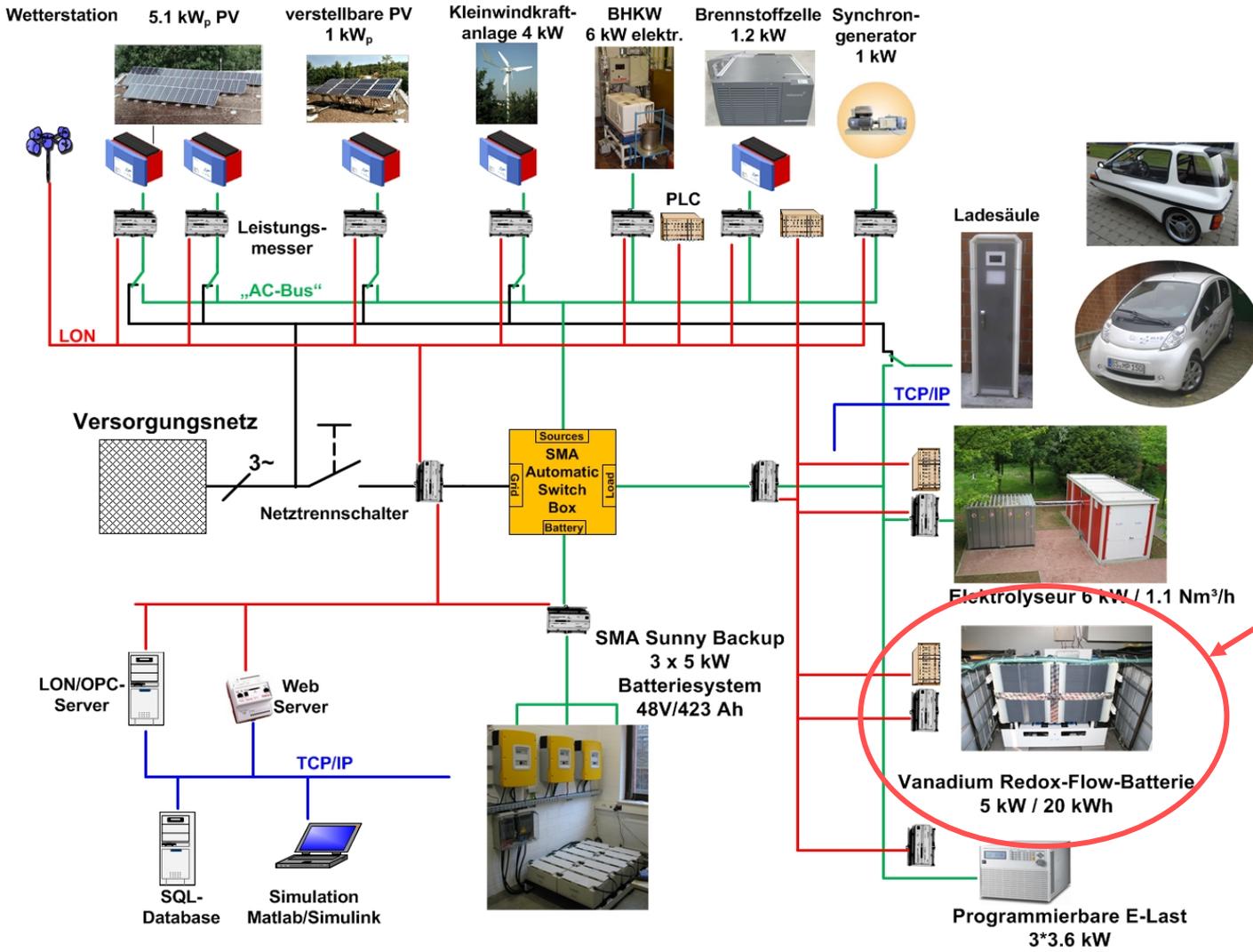
Energiespeicher:
Wasserstoffpfad
mit Elektrolyseur
(EnerBlue, CH, zebotec,
Konstanz) und
Nexa 1200
Brennstoffzelle
(Heliocentris/Ballard)

aktueller Energiepark

wichtiges Speicherelement: Elektrolyseur



Wolfenbüttel



E-Mobil
 City EL + NEXA1200
 (Range Extender)

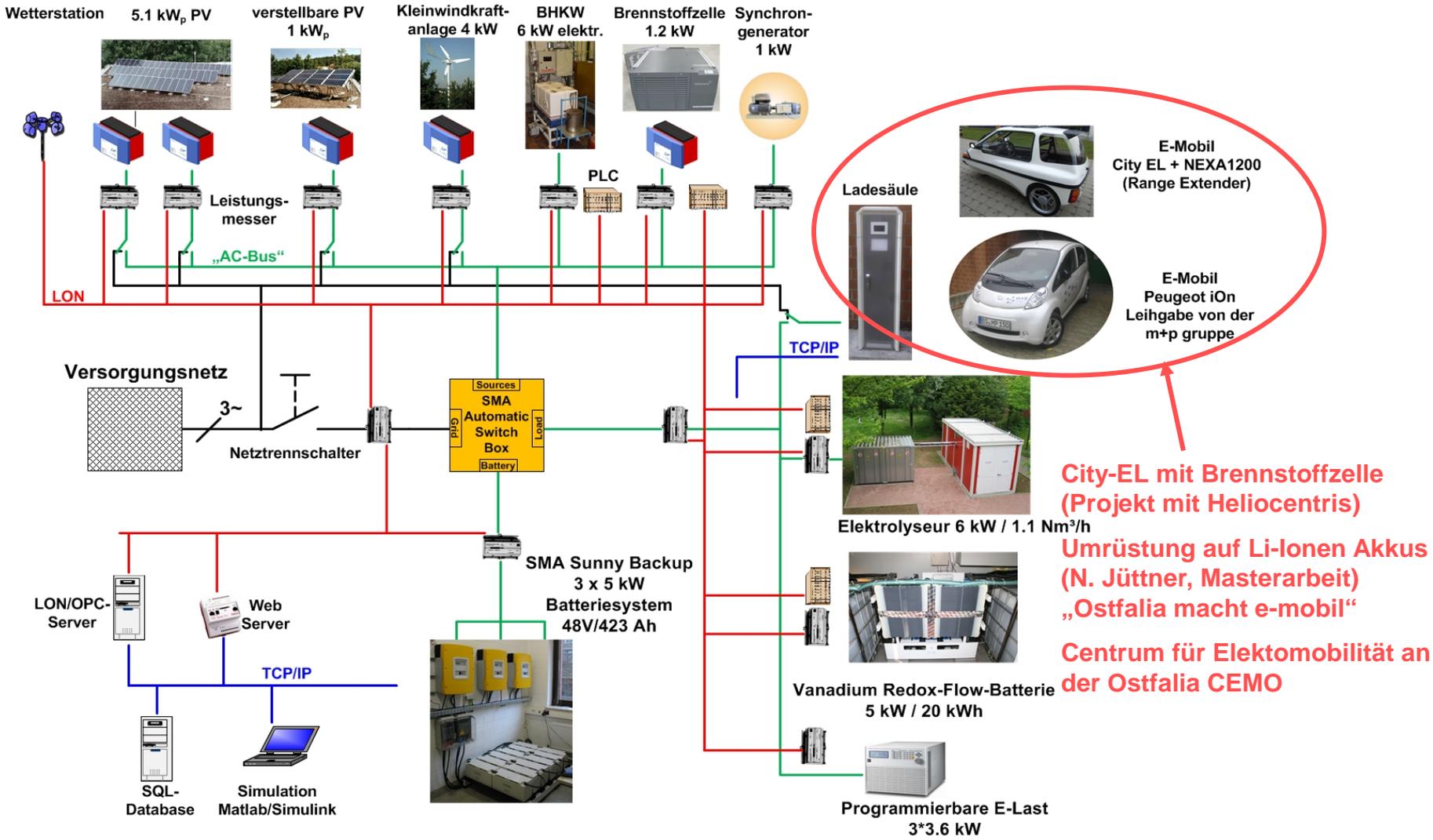
E-Mobil
 Peugeot iOn
 Leihgabe von der
 m+p gruppe

Redox-Flow-
 Batterie von
 Prudent-Energy
 im DeSG-Projekt
 mit Prof. Kühl

in Kooperation
 mit
 Fraunhofer ICT,
 WAGO,
 Heliocentris,
 SMA

aktueller Energiepark

Wolfenbüttel

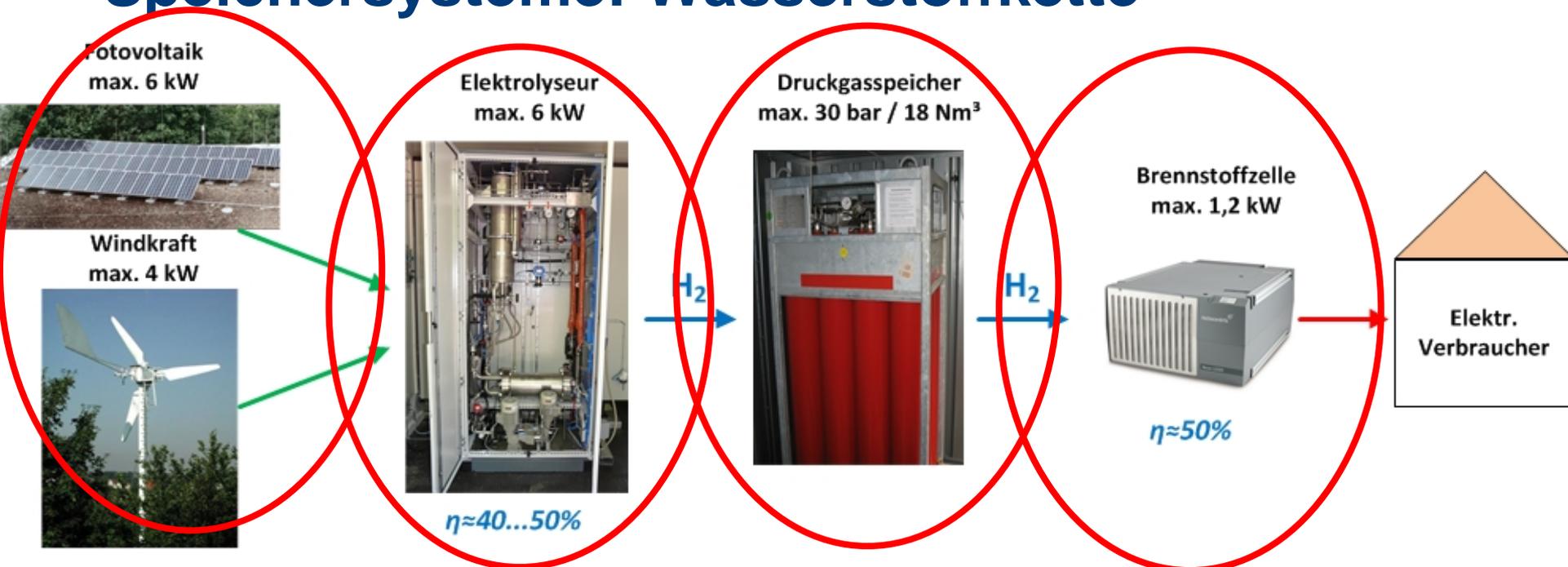


City-EL mit Brennstoffzelle (Projekt mit Heliocentris)
Umrüstung auf Li-Ionen Akkus (N. Jüttner, Masterarbeit) „Ostfalia macht e-mobil“
Centrum für Elektromobilität an der Ostfalia CEMO

aktueller Energiepark



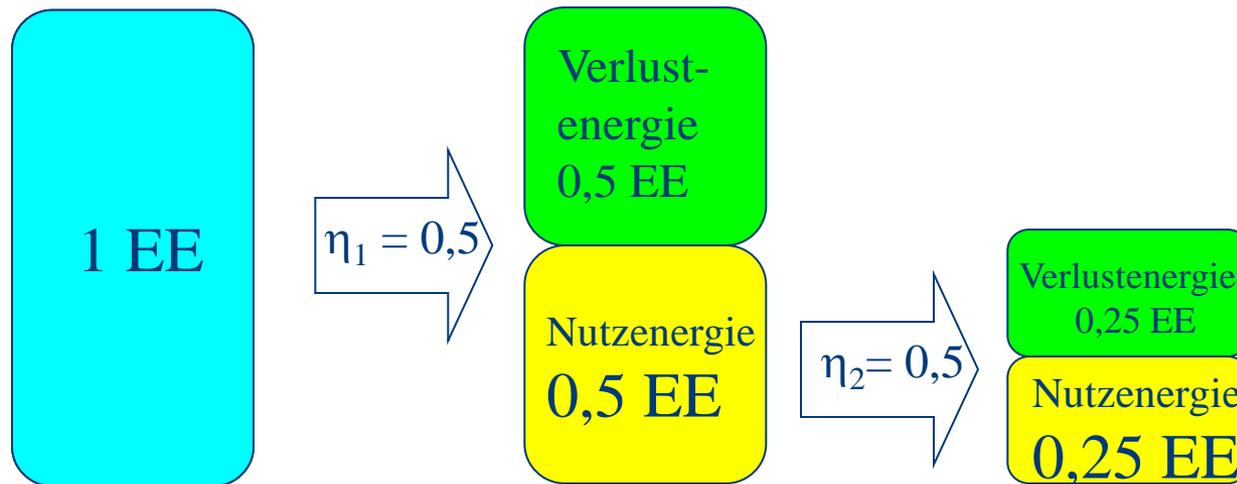
Speichersysteme: Wasserstoffkette



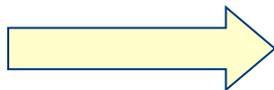
- Der Gesamtwirkungsgrad ist nur mäßig $\rightarrow \eta_{Ges} \approx 20...25\%$,
- nur bei einem regenerativen Energieüberschuss einsetzen!
- Die Produktion ist im Bereich von 10...100 % einstellbar.



Wirkungsgrad η bei Hintereinanderschaltung von Energieumwandlungen



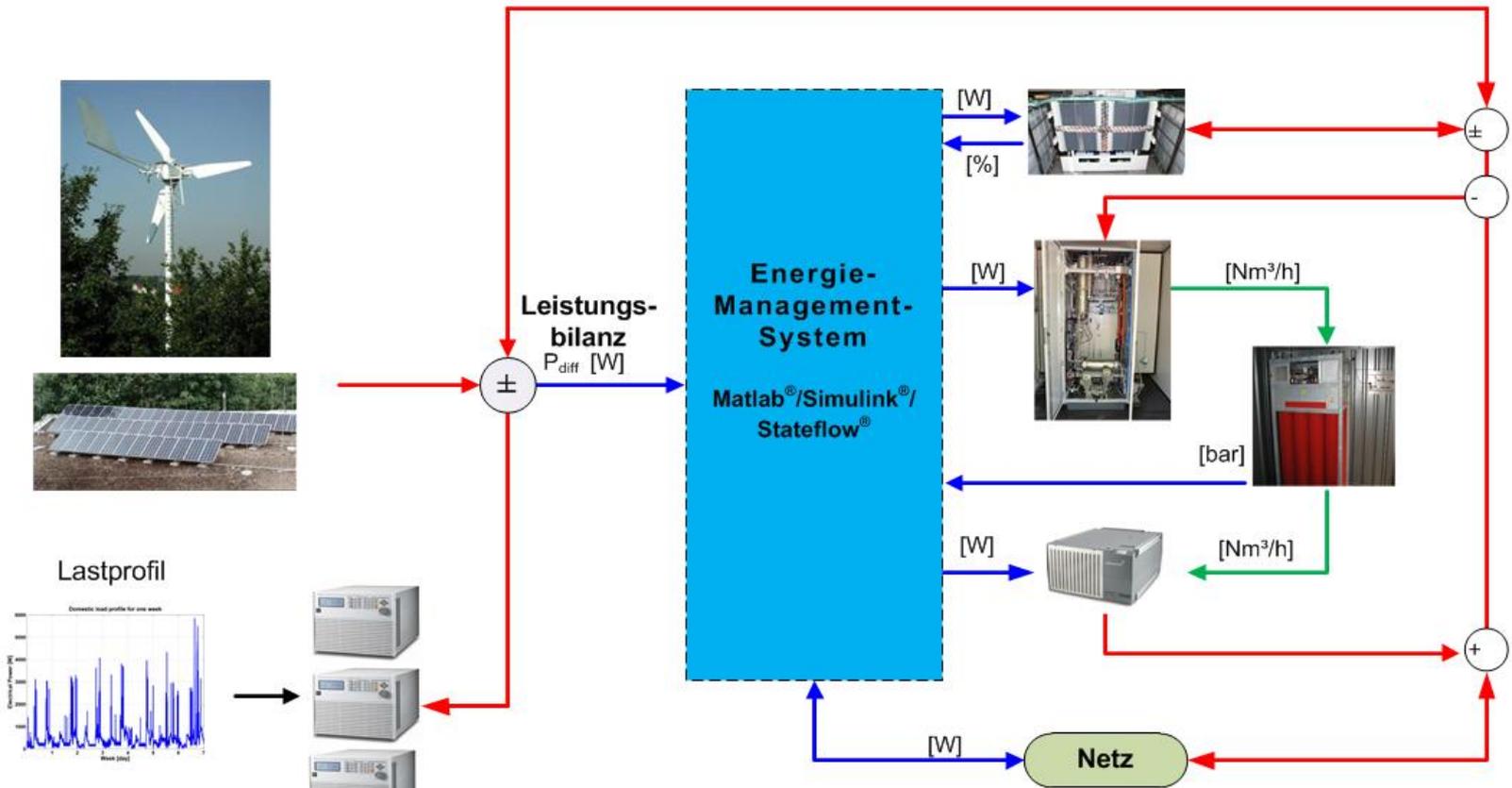
$$\eta_{\text{ges}} = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25$$



elektrische Nutzenergie verringert sich

**Energiemanagement
 basierend auf MATLAB/Simulink® mit realen Anlagen**

— Information — Elektrische Leistung — Wasserstoff





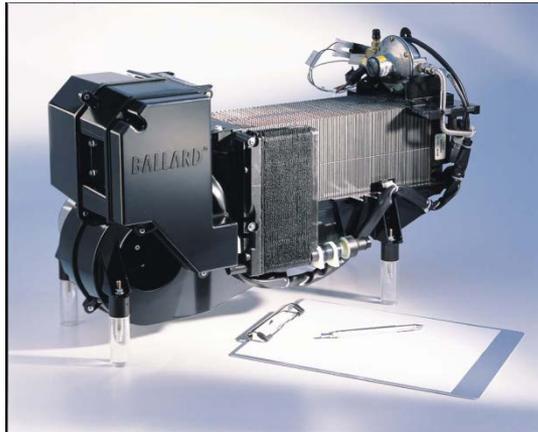
Wolfenbüttel

Metallhydridspeicher in verschiedenen Größen



760 NI H₂ ≈ 2,3 kWh

3 mal vorhanden, je 6,5 kg,
Einsatz im City-EL bereits
erfolgreich getestet



Brennstoffzellen Systeme Nexa™ Power Module und Nexa 1200, 1,2 kWel.



Wolfenbüttel

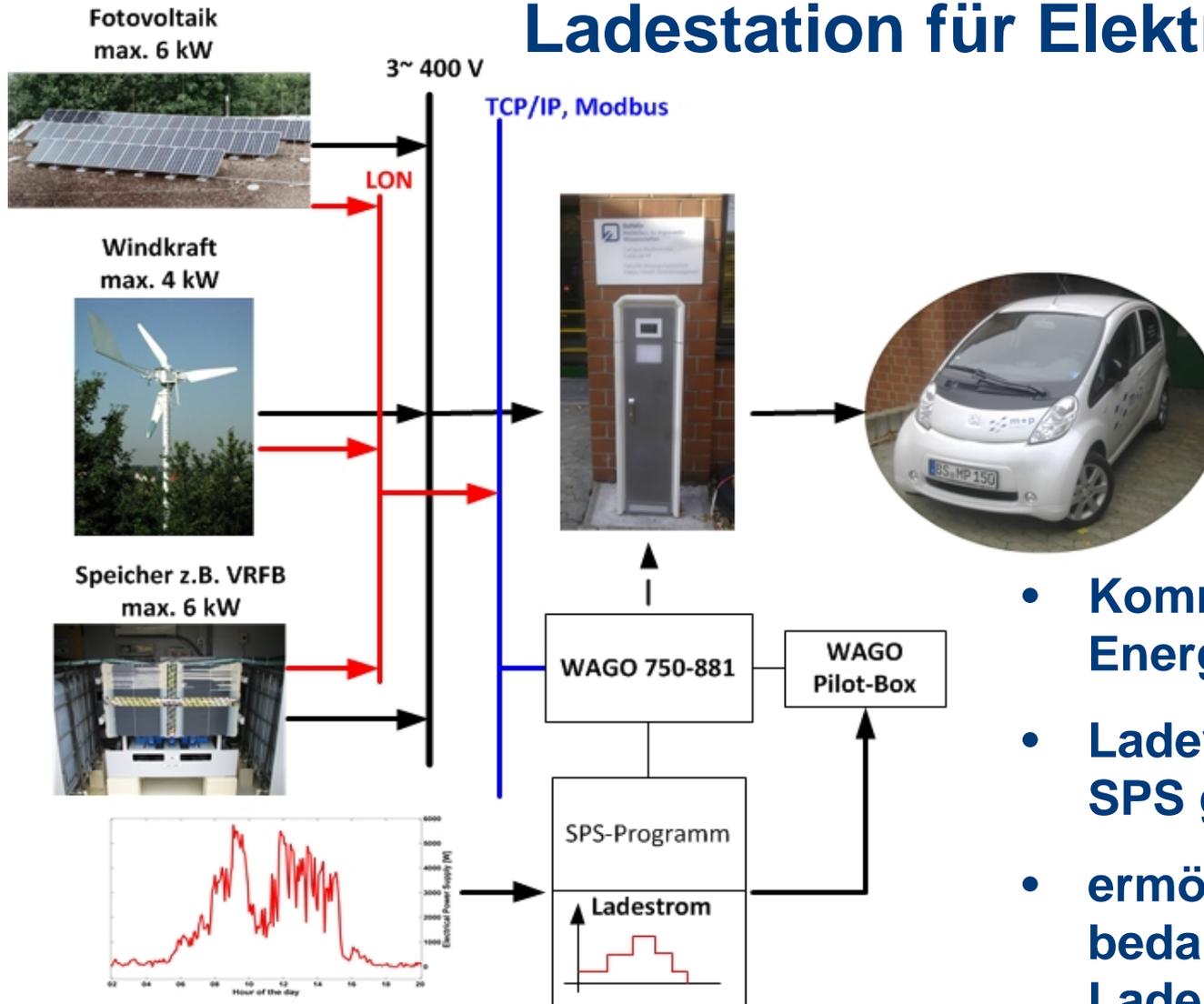


Versuchsfahrzeug City-EL
Studentische Projekte :
Mit regenerativem Wasserstoff und
Brennstoffzelle als „Range Extender“



Wolfenbüttel

Ladestation für Elektrofahrzeuge

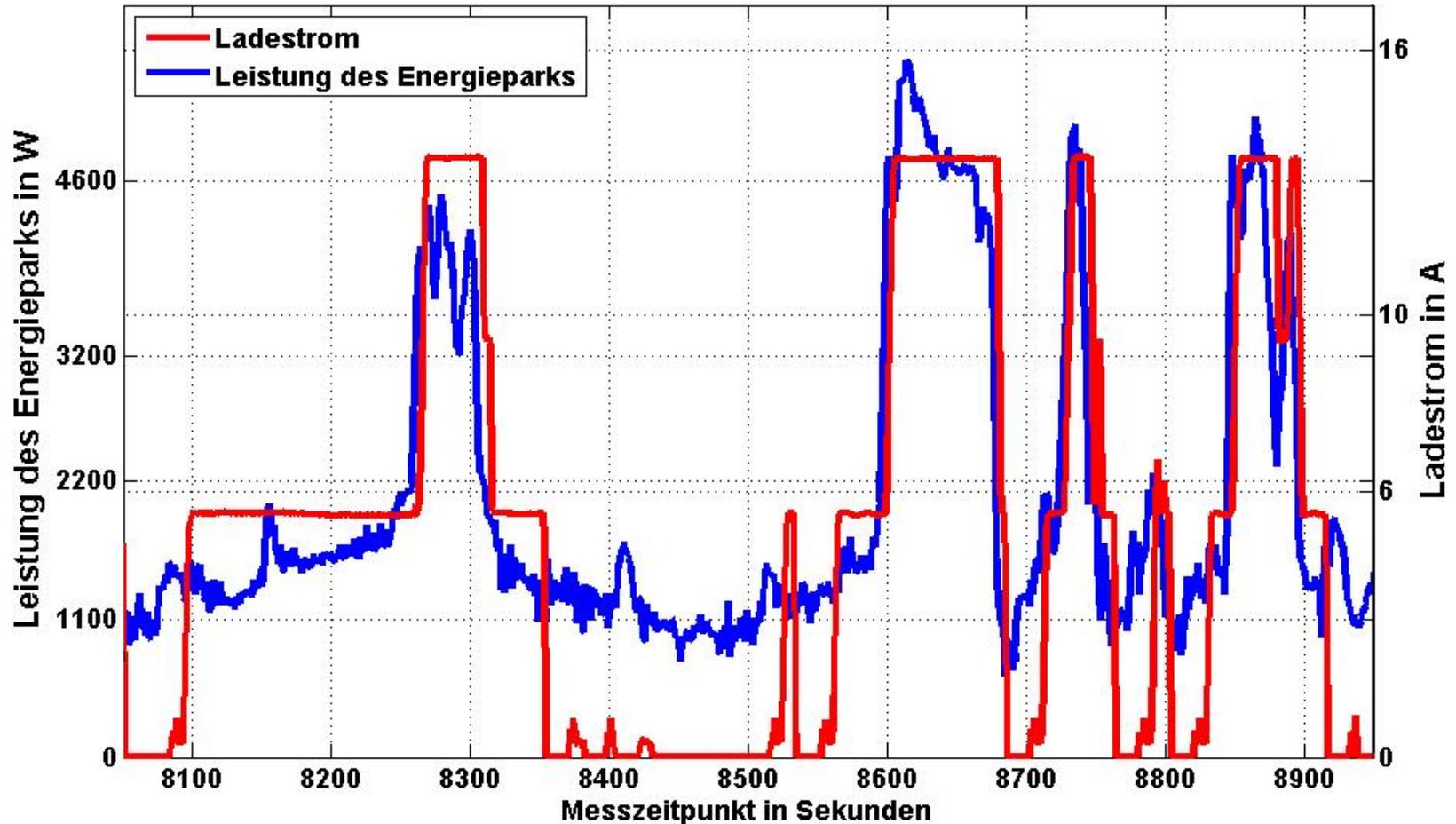


- Kommunikation mit Energiepark umgesetzt,
- Ladevorgang kann über SPS gesteuert werden,
- ermöglicht ein bedarfsgerechtes Laden.



Wolfenbüttel

Ladevorgang Peugeot iOn: „FlexChar“-Modus



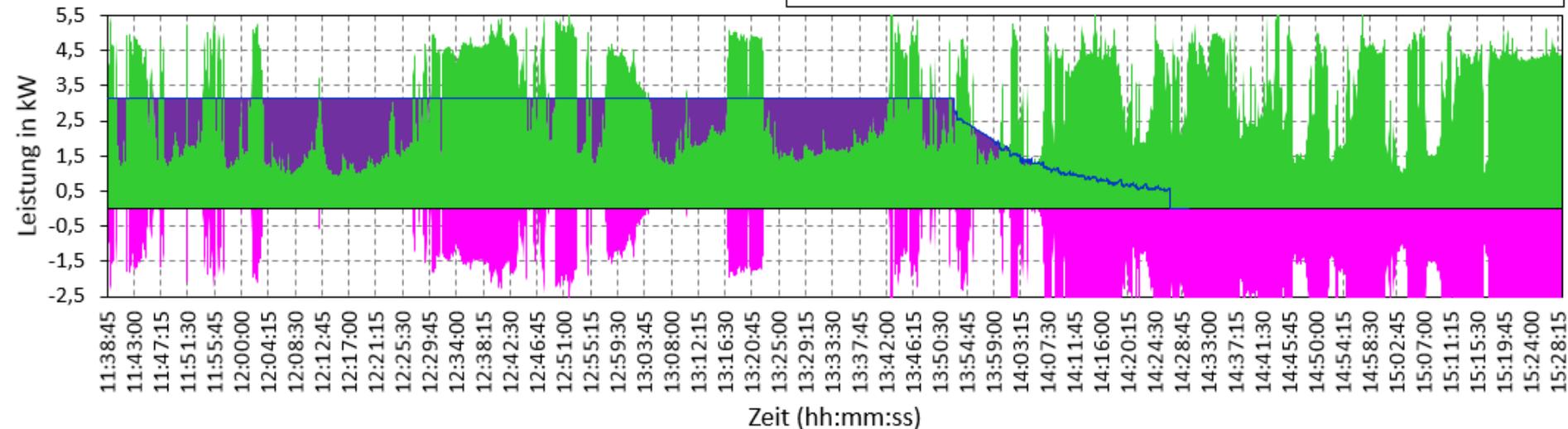
Flexible Steuerung der Ladeleistung nach regenerativ vorhandenem Angebot



Wolfenbüttel

Simulation 1: Zeitverlauf der regenerativ erzeugten Leistung, Ladeleistung und des Netzbezuges

regenerativ erzeugte Leistung Netzbezug (berechnet)
Netzbezug (berechnet) Ladeleistung



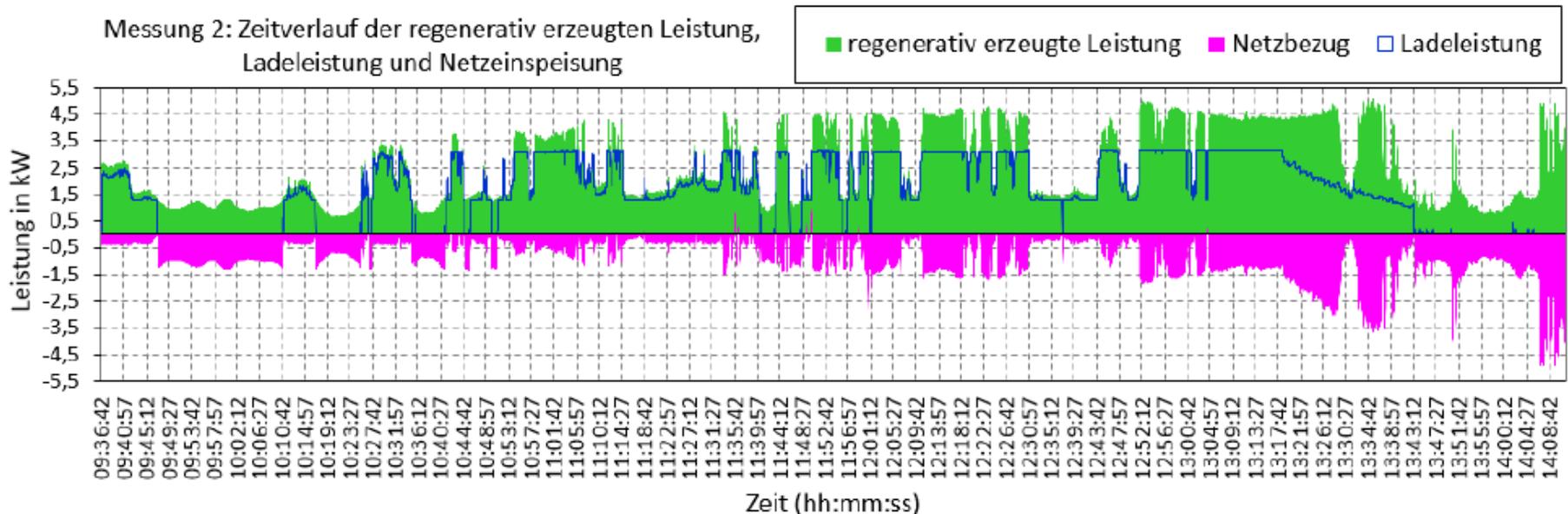
Ungeregelter Betrieb → **Ladeleistung unabhängig vom regenerativen Angebot, rel. wenig grüner Strom**

Bachelorarbeit Sören Hujer, Okt. 2016:

Echtzeitdaten geführtes Lademanagement zur Maximierung des regenerativen Energieanteils in der Elektromobilität



Wolfenbüttel



geregelter Betrieb → **Anpassung der Ladeleistung an das Angebot regenerativer Leistung**
Optimierung des grünen Stromanteils

Bachelorarbeit Sören Hujer, Okt. 2016:

Echtzeitdaten geführtes Lademanagement zur Maximierung des regenerativen Energieanteils in der Elektromobilität



Elektromobilität mit regenerativer Energie

- Elektromobilität und regenerative Energie
 - einige Fakten und Zahlen
- CEMO
- Eigene Forschungsarbeiten
 - Das „Gebäude der Zukunft“, ein Smart Home im Smart Grid?
 - regenerativer Energiepark mit E-Mobilität
 - Stromspeichertechnologien
 - Management regenerativer Energien
 - Management des Gesamtsystems
- Zusammenfassung und Ausblick



Elektromobilität mit regenerativer Energie

- Elektromobilität und regenerative Energie
 - einige Fakten und Zahlen
- CEMO
- Eigene Forschungsarbeiten
 - Das „Gebäude der Zukunft“, ein Smart Home im Smart Grid?
 - regenerativer Energiepark mit E-Mobilität
 - Stromspeichertechnologien
 - Management regenerativer Energien
 - Management des Gesamtsystems
- Zusammenfassung und Ausblick



Zusammenfassung und Ausblick

- Elektrofahrzeuge sind am Einsatzort emissions- und somit schadstofffrei.
- Der Betrieb ist unabhängig vom Primärenergieträger und sie können einen Beitrag zur CO₂-Reduzierung leisten.
- Wird die elektrische Energie für Elektrofahrzeuge aus regenerativer Energie wie Sonne und Wind erzeugt, so ist der Betrieb CO₂-frei und somit klimafreundlich.
- Durch ein intelligentes Management der regenerativen Energieerzeugung im Zusammenwirken mit anderen Energieerzeugern, Verbrauchern und Energiespeichern (Smart Grid) ist eine optimale - CO₂-arme - Energieversorgung der Elektrofahrzeuge und anderer Verbraucher möglich.



Zusammenfassung und Ausblick

- Regenerativer Energiepark an der Ostfalia bietet mit modularer Struktur viele Möglichkeiten zur Untersuchung aktueller Fragestellungen, wie etwa Inselnetzbetrieb, Kopplung ans Verbundnetz, Speicherkonzepte, verschiedene Kommunikationsstrukturen, die essentiell für den Ausbau der Elektromobilität sind.
- laufende Forschungsarbeiten mit dem Anlagenpark:
 - dynamische Tests im Zusammenwirken verschiedener Stromspeichertechnologien (Batteriespeicher, Elektrolyseur, SuperCaps, Redox-Flow...),
 - ganzheitliche energetische Betrachtung angestrebt, einschließlich Nutzung der erzeugten Abwärme als Nutzwärme für Gebäude,
 - Einbindung von Ladestationen für Elektrofahrzeuge mit regenerativer erzeugter Energie.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!