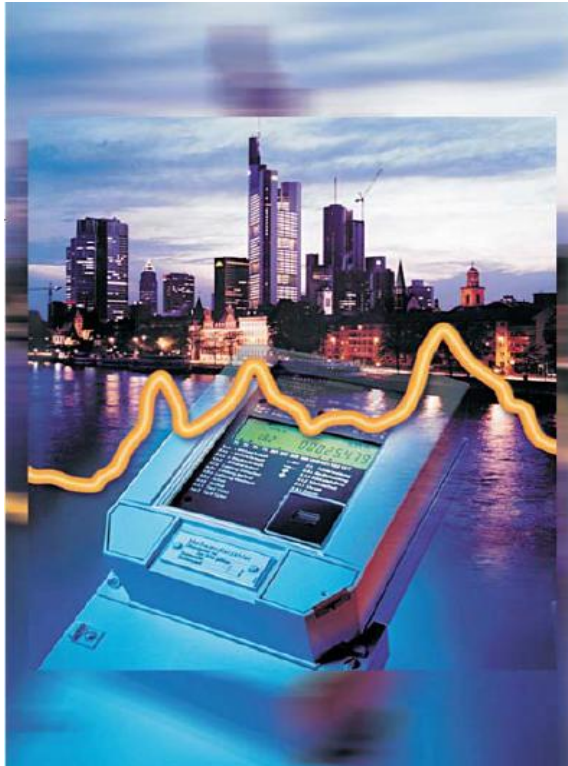


Der Zellulare Ansatz – Grundlage einer erfolgreichen, Regionen übergreifenden Energiewende

Prof. Dr. Rainer M. Speh



ETG: Internationale Plattform für die Energietechnik



ETG

Energietechnische
Gesellschaft im VDE

Die Ziele

- Interessenvertretung der elektrischen Energiewirtschaft
- Partner für Politik, Gesellschaft und Experten
- Katalysator zur Weiterentwicklung neuer Technologien
- Fachwissenvermittlung
- Nachwuchsförderung

Die Arbeitsgebiete

Elektrische Energieversorgung	Anwendung elektrischer Energie	Querschnittstechnologien
Zentrale u. dezentrale Erzeugung elektrischer Energie	Elektrische Maschinen und Antriebe, Mechatronik	Leistungselektronik
Übertragung und Verteilung elektrischer Energie	Bahnen mit elektrischen Antrieben	Werkstoffe, Isoliertechnik, Diagnostik
Energiewirtschaft		Kontaktverhalten und Schalten

Die Wege

- Wissenspool durch Fachleute, technisch-wissenschaftliche Studien und Reports
- Internationale und interdisziplinäre Zusammenarbeit von Industrie, Energieversorgung, Wissenschaft und Anwendung
- Tagungen, Workshops, Seminare, Round Tables, Fachvorträge
- Weiterbildung

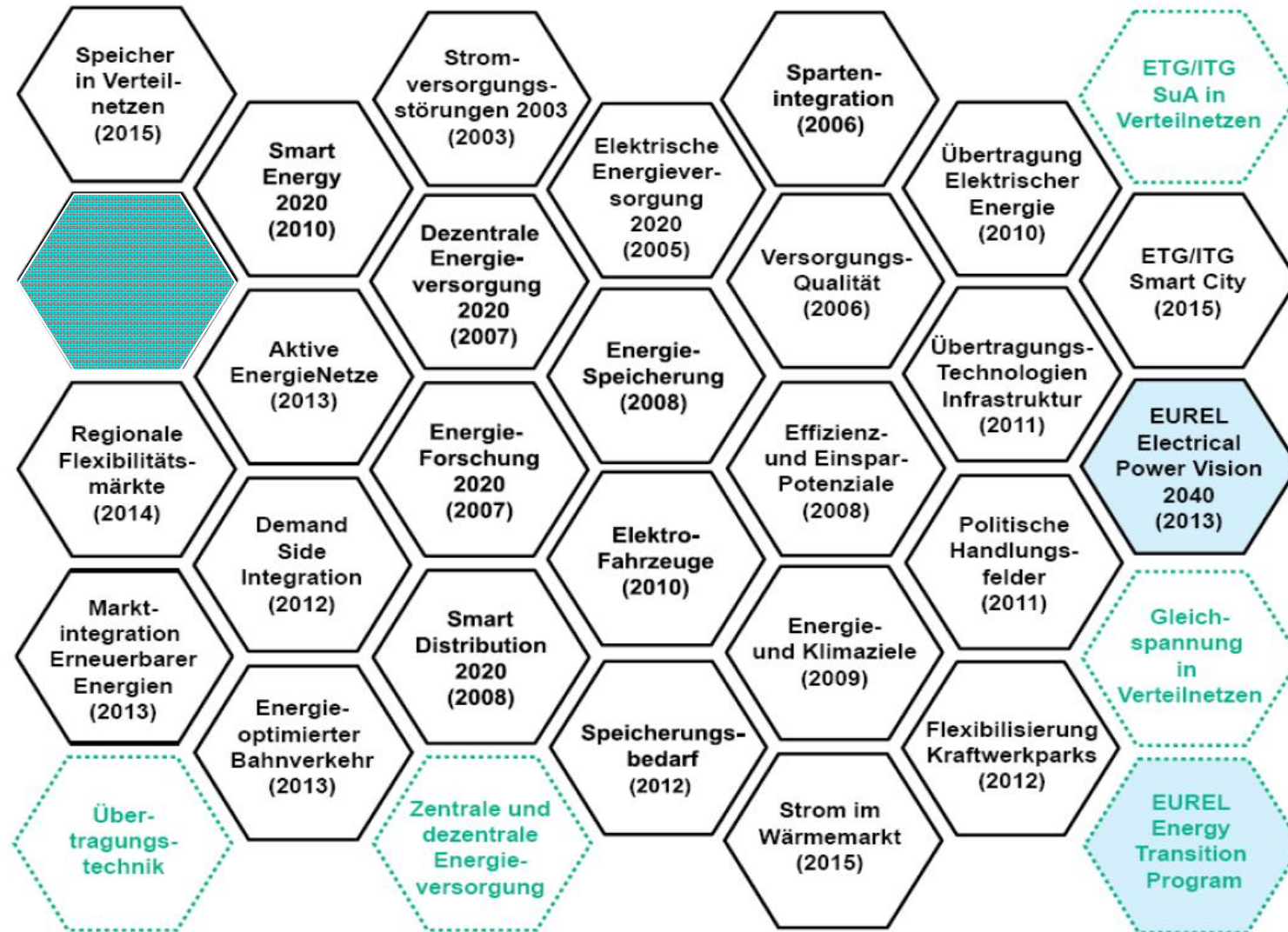
Internationale Kontakte

- EUREL
- CIGRE
- CIRED
- IEEE
- EPE

Die Zahlen

- Gegründet 1974
- 12.500 Mitglieder
- 300 ehrenamtliche Mitarbeiter

VDE|ETG Studien, Analysen, Positionspapiere



Zahlen in Klammern: Jahr der Veröffentlichung. Punktierte Kacheln: In Bearbeitung. Stand: Juli 2015. Bezug über: www.vde.com/etgstudien.

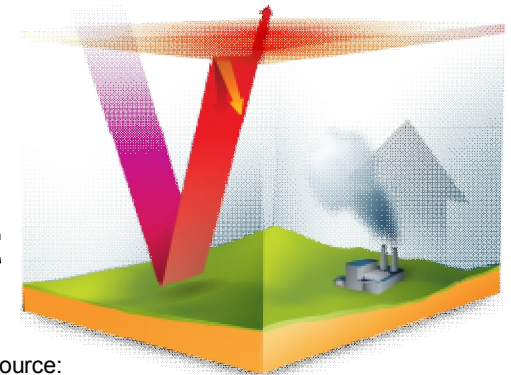
Just three reasons for a new energy system . . .



Source: User:Waugenberg

Political Frameworks

Climate change and environmental impact



Source:
Klima-Holz-Mensch.de

Scarcity of natural resources



Source: DPA

. . . but most important will be the climate change and the environmental impact

Important Boundary Conditions

The political framework in Germany . . .

The new Energy Age is known in Germany as Energy Transition or in German as “**Energiewende**”

Energy transition is the transition to a sustainable economy by the means of **renewable energy, energy efficiency and sustainable development**. The final goal is the abolishment of nuclear, coal and other non renewable energy sources.

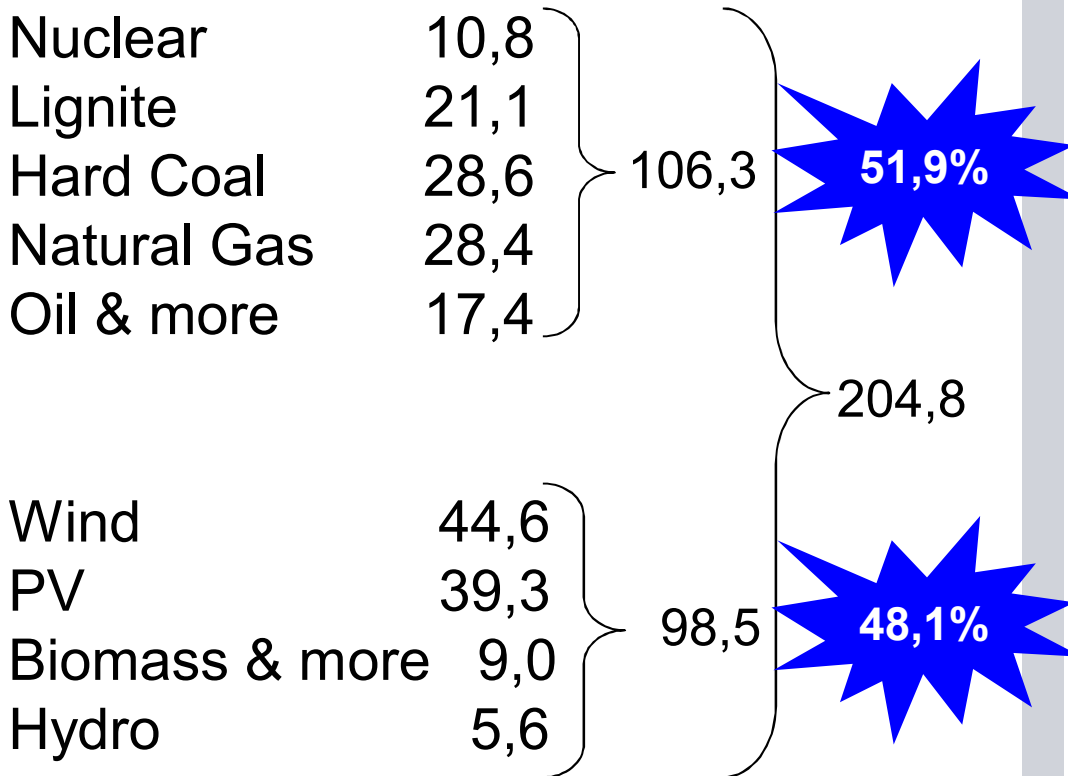
In detail, the **Goals for 2050** are as follows:

- reduction of greenhouses gases compared to 1990 by **80 - 95%**
- reduction of primary energy consumption compared to 2008 by **50%**
- reduction of electrical energy consumption compared to 2008 by **25%**
- share of renewable energy on total energy consumption = **60%**
- share of renewable energy resources for electricity = **80%**

Source: Energiekonzept der Bundesregierung Sep 28, 2010

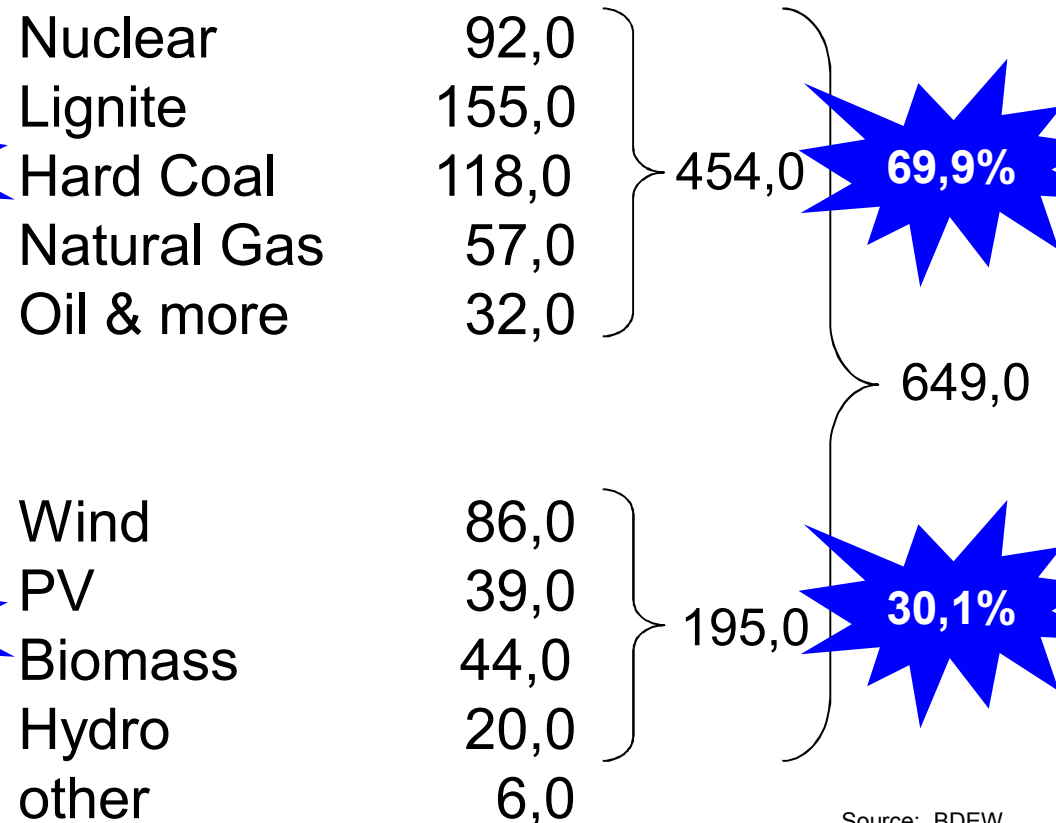
. . . and the situation in Germany end of 2015

Installed Capacity in GW



Source: BDEW

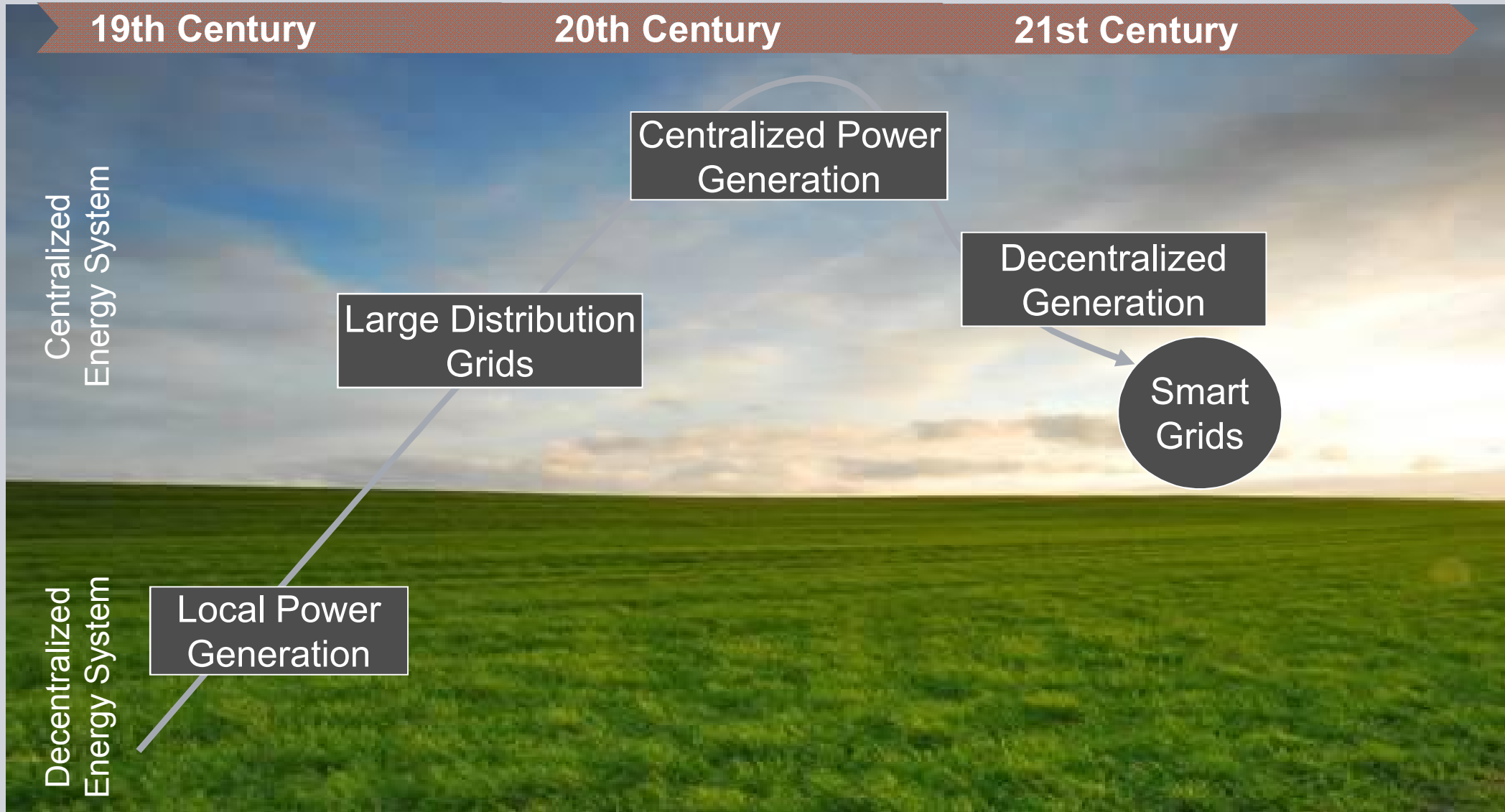
Generation in TWh (gross)



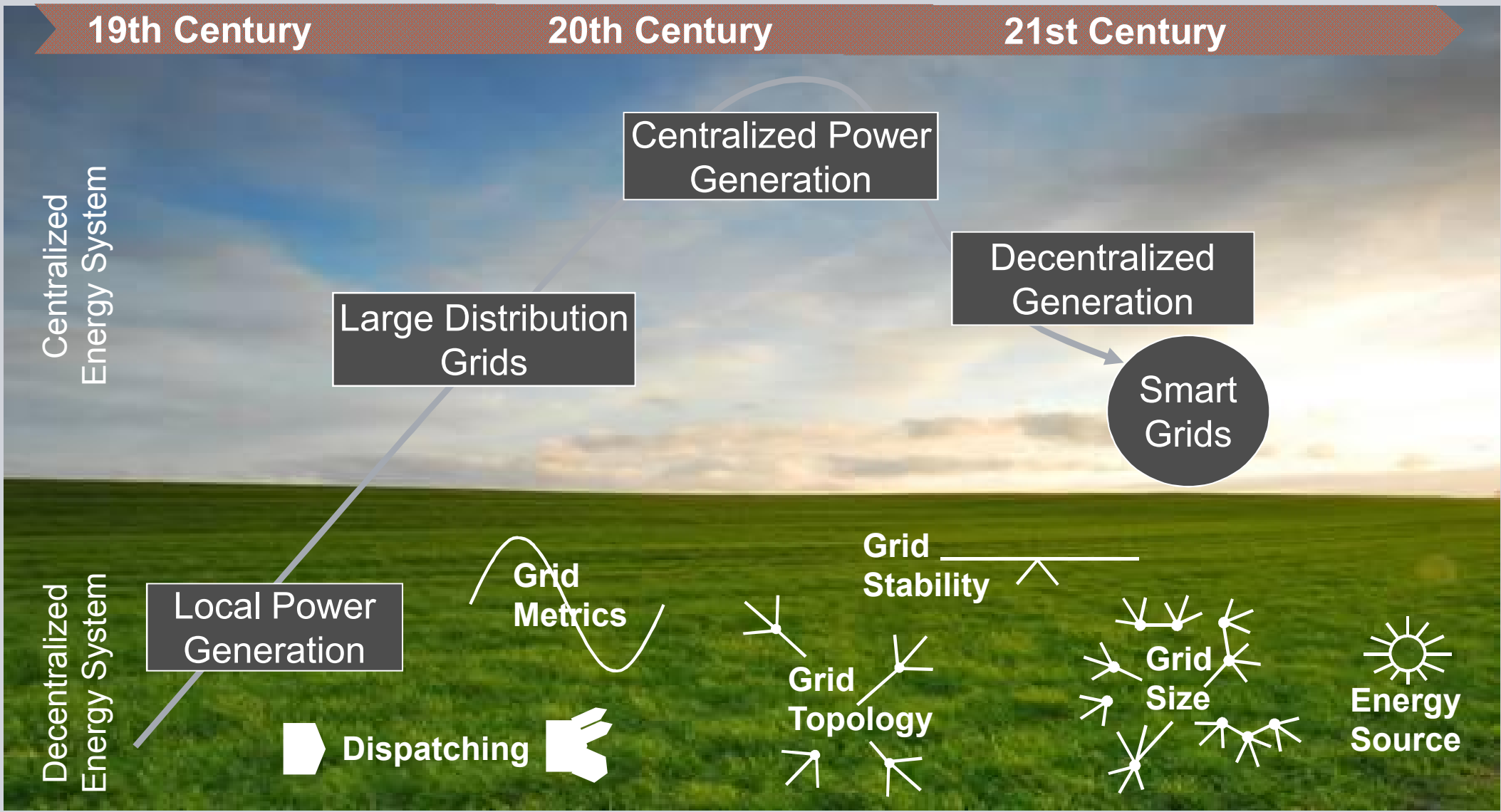
Source: BDEW

Renewable Energy Resources are contributing more than 30% to Generation in 2015

To shape the future needs knowledge about history - How did we get to the current system structure?



... and what will change in the future



A basic thought about the new Energy System



- ❑ Everybody agrees on a more **decentralized structure** of the new Energy System in terms of building blocks like generation resources, storage facilities and smart meter.
- ❑ But if operating principles are discussed, many people still think **more centralized** like huge numbers of loads being influenced by demand-side-integration systems.

To operate the new Energy System in a centralized manner might be wrong

Two basic design and operating principles for distributed control systems

The optimal structure of an automation system is achieved, when the structure of the monitored process is fully replicated.

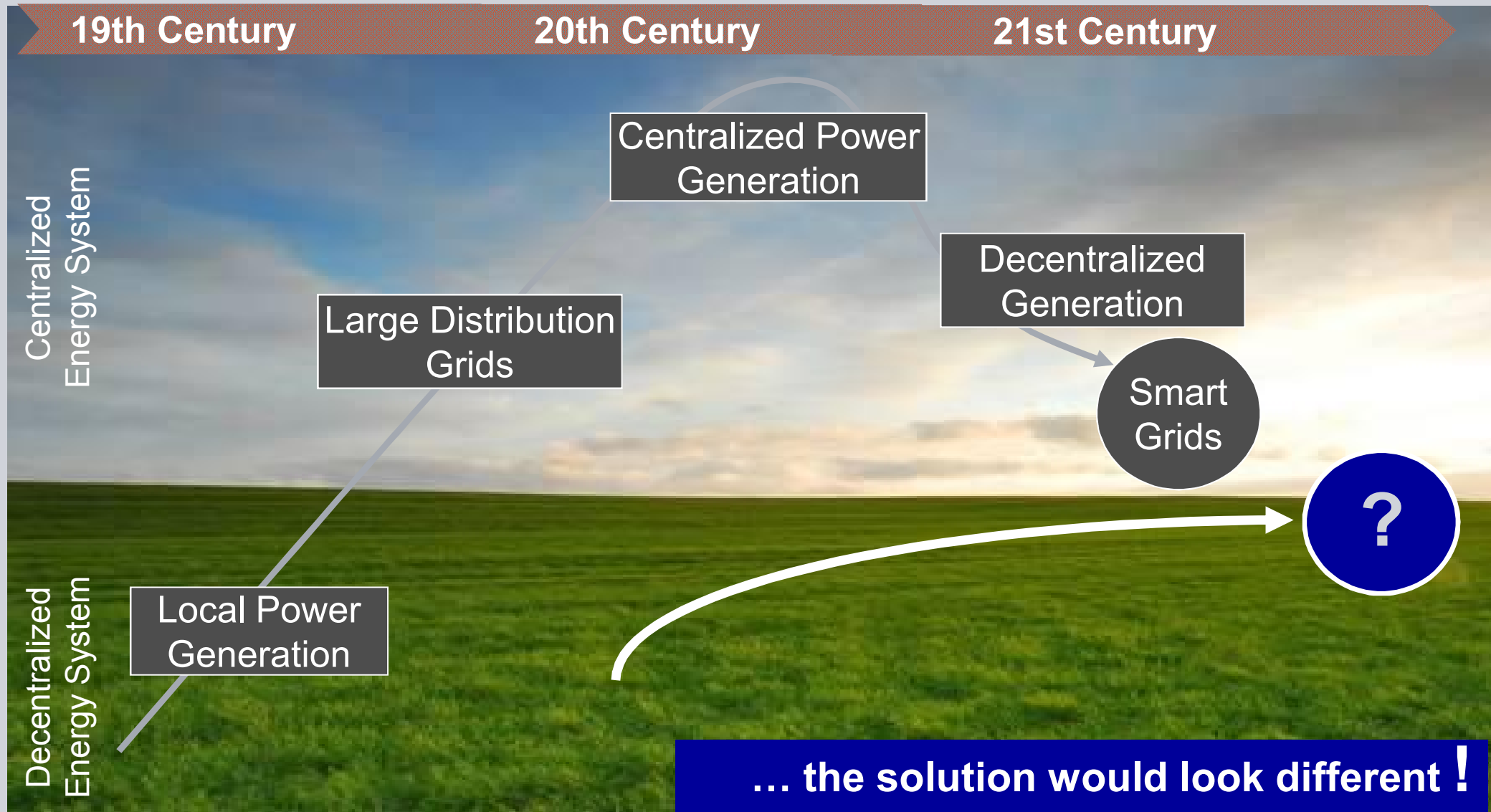
Any information should be processed in the automation layer, in which it is possible for the first time.

Source: Leit- und Schutztechnik in der Elektrischen Energietechnik
ESEM, TU Kaiserslautern, 2011 - 2015



Source: thebureauinvestigates.com

If we would start from scratch today and keep the two basic design principles in mind ...



Why would the solution of the future look different than today's one?



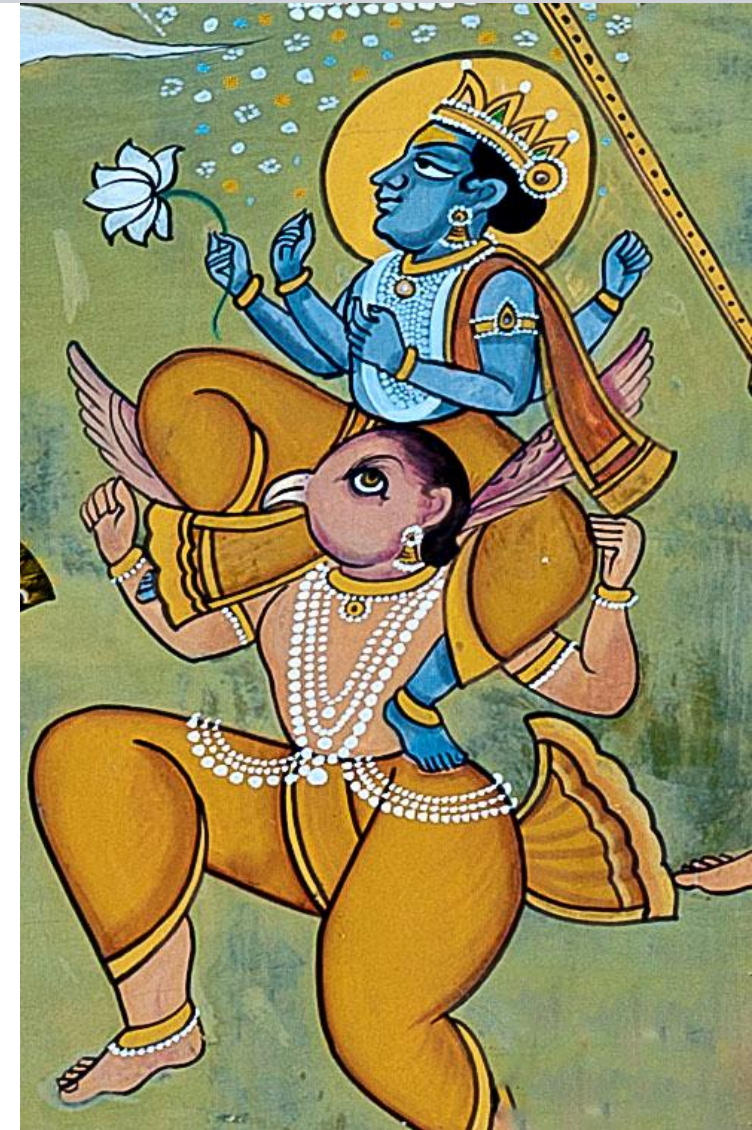
Compared to the 19th century
Werner von Siemens
would have a few but important
new things in his toolbox

- ❑ power electronics,
- ❑ broad-band data communication,
- ❑ distributed control systems and
- ❑ new methodologies for controls
like neural networks, fuzzy logic etc.

... and he might consider hybrid solutions as well

Today's Mantras for Electrical Grid Design and Control

- ❑ Precise 50/60Hz frequency for grid control and timing
- ❑ Strict AC voltage band level for grid control and for the consumers
- ❑ Importance of power quality in the grid, e.g. harmonics, flicker, etc.
- ❑ Non-use of DC on a broader scale
- ❑ Reliability depends on grid availability
- ❑ Grid stability based on inertia provided by centralized power plants in a meshed grid



The new Paradigm

A different Way of Dispatching



**Balance
Power Generation
and Consumption
on the possible lowest
voltage level *)**

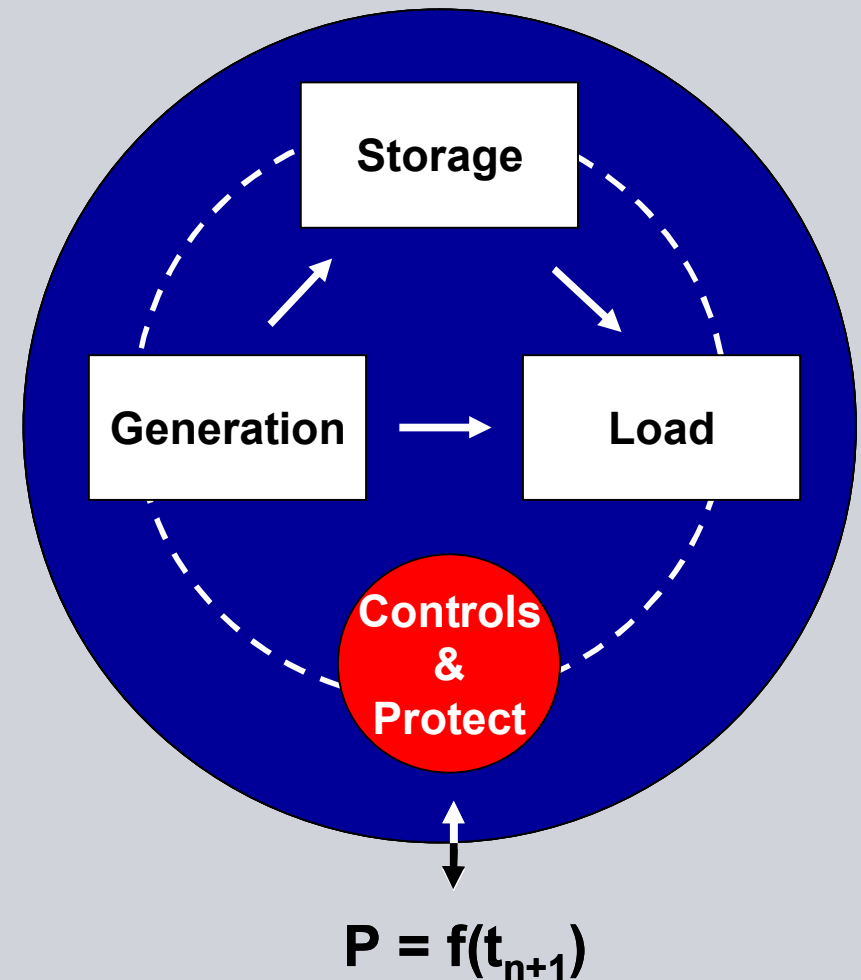
*) this approach is also known as the micro grid principle but used here in a different context

Thus, fulfilling the requirements of the second principle

The basic Design Principle

A cellular structure on all levels acc. to the first principle

- ❑ The shown cellular concepts is used on all levels
- ❑ Each cell can comprise generation resources, storage capabilities and loads
- ❑ But also cells comprising a single component like generation or storage are possible
- ❑ From outside, the whole cell is handled like a single entity
- ❑ For dispatching purposes only one figure will be provided to the dispatcher, i.e. the residual power in the next dispatching period
- ❑ As this figure comes with a sign, a generation as well as a load behavior is possible



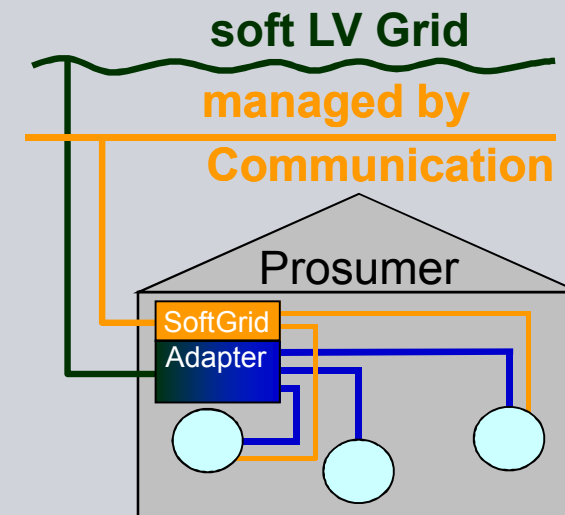
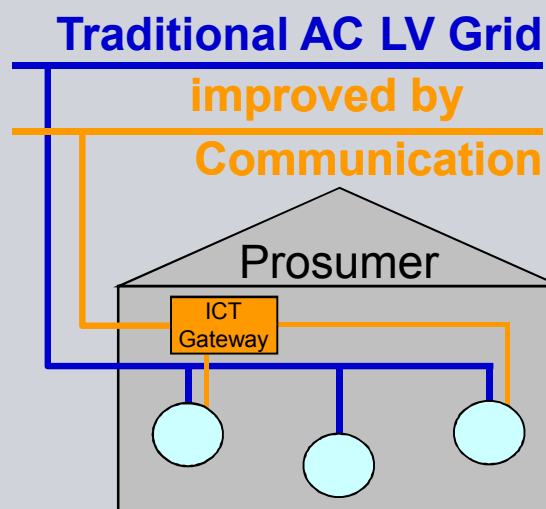
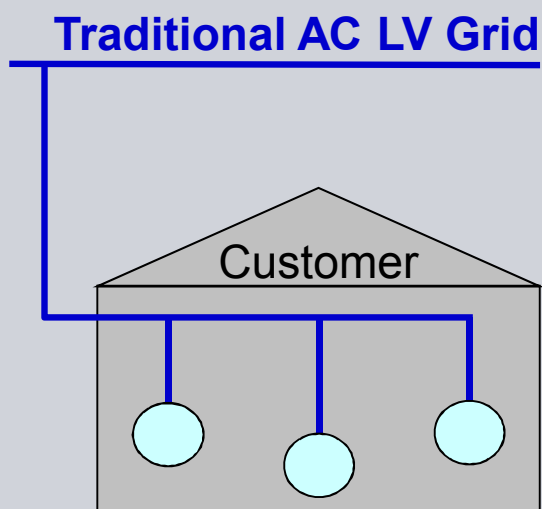
Residential Approach

Decoupling the Prosumer Nodes from the Low-Voltage Grid

Legacy

Smart Grid

SoftGrid



Source: Siemens AG

**An important step towards a soft low-voltage grid
with relaxed grid mantras**

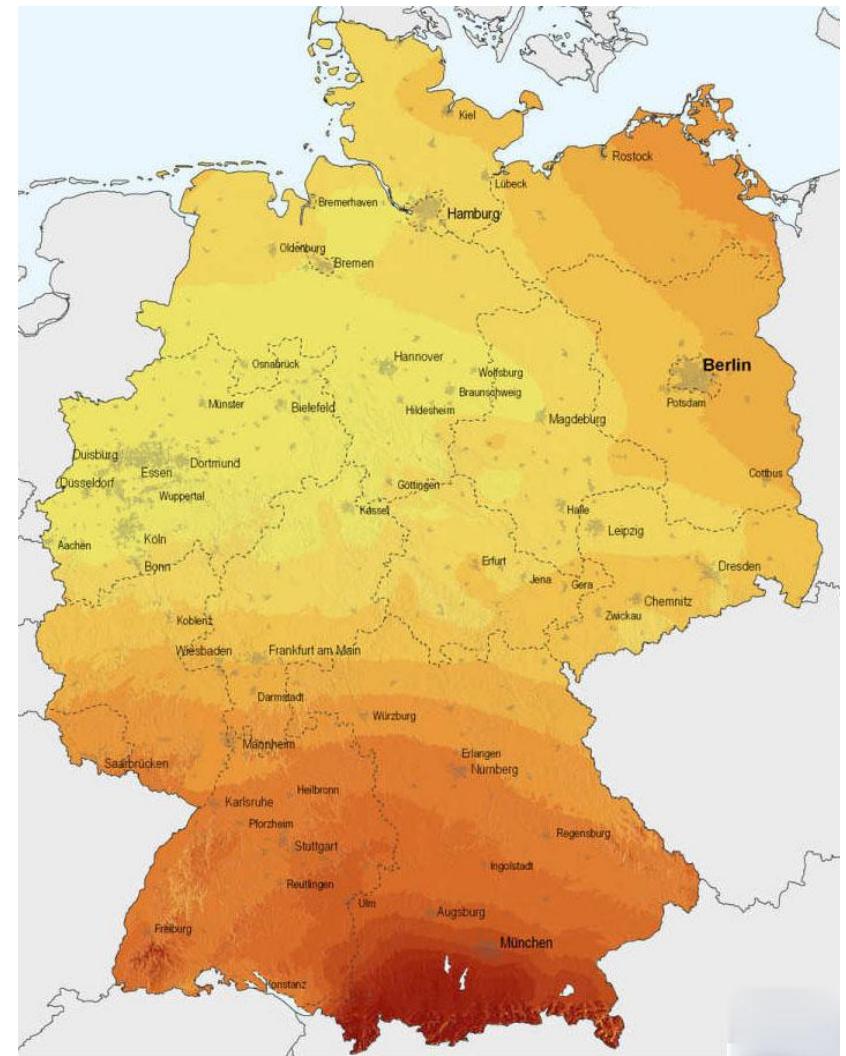
Enabling Technologies

Photovoltaic (PV)



- ❑ efficiency of PV modules up to 24%; CPV modules up to 40%
- ❑ production: 700 – 1100 kWh / kWp & a
- ❑ space requirement: 8-9 m² / kWp
- ❑ total asset cost: 1100 – 1700 € / kWp
- ❑ installed capacity by end 2015: 39,3 GW

all figures except efficiency are related to Germany as of 2015



Source: re.jrc.ec.europa.eu/pvgis

Enabling Technologies

Small-scale and medium-scale storage



Source: APC



- ❑ **Storage** capabilities will be key to manage the new energy system
- ❑ Keeping the cellular structure in mind, the smallest cell would be a private home
- ❑ Depending on the storage utilization a small 30 -50 kWh device or a medium **500 kWh** device would be feasible

Necessary Improvements

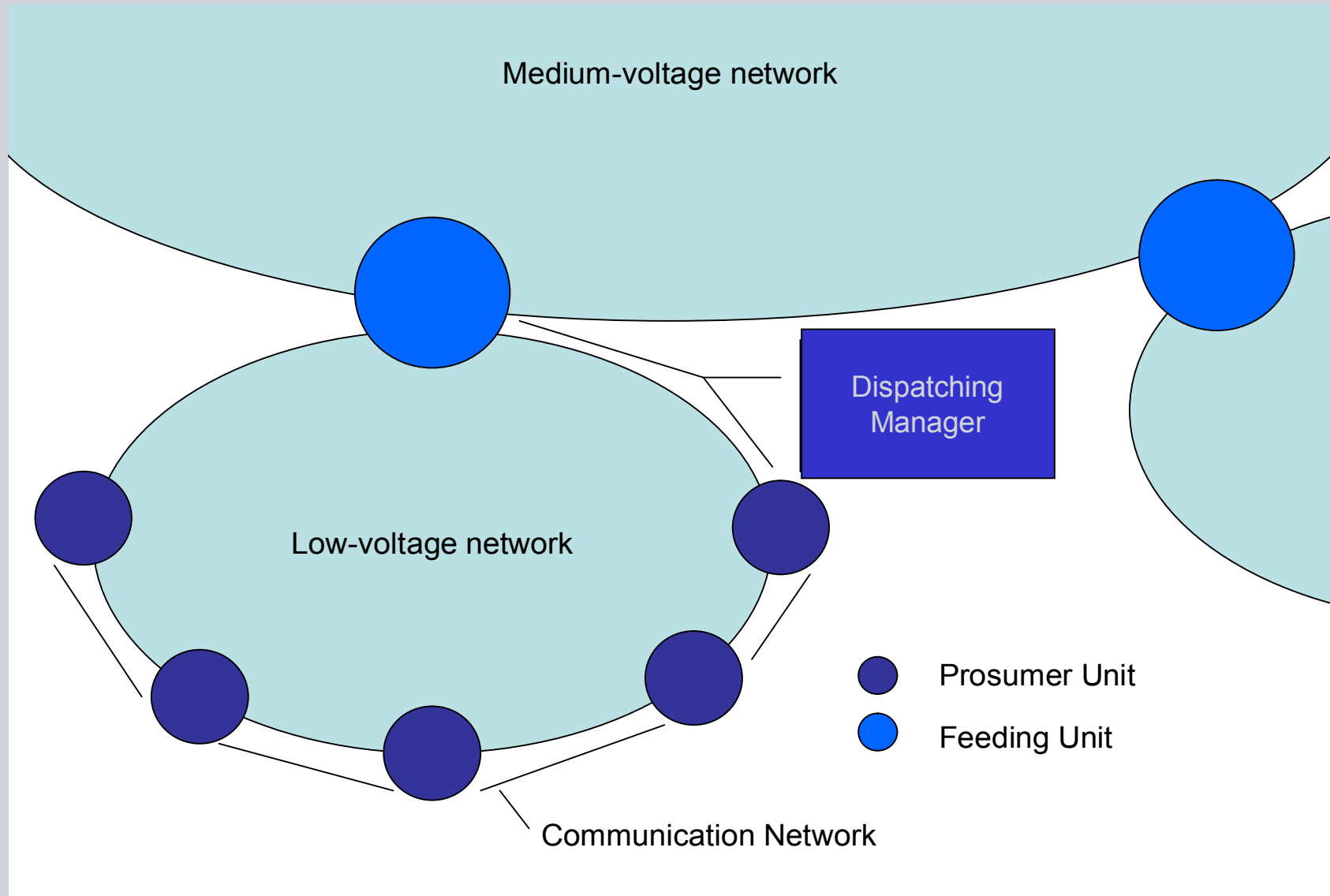


- ❑ As batteries are a feasible solution for small storage facilities only, a new technology has to be developed

- ❑ Electrical power consumption of a family of four in Germany is ~ 4000 kWh per year
- ❑ To bridge a gap of some days, the small storage facility would be used
- ❑ To become energy autarkic, i.e. to bridge the winter time, the medium storage has to be considered

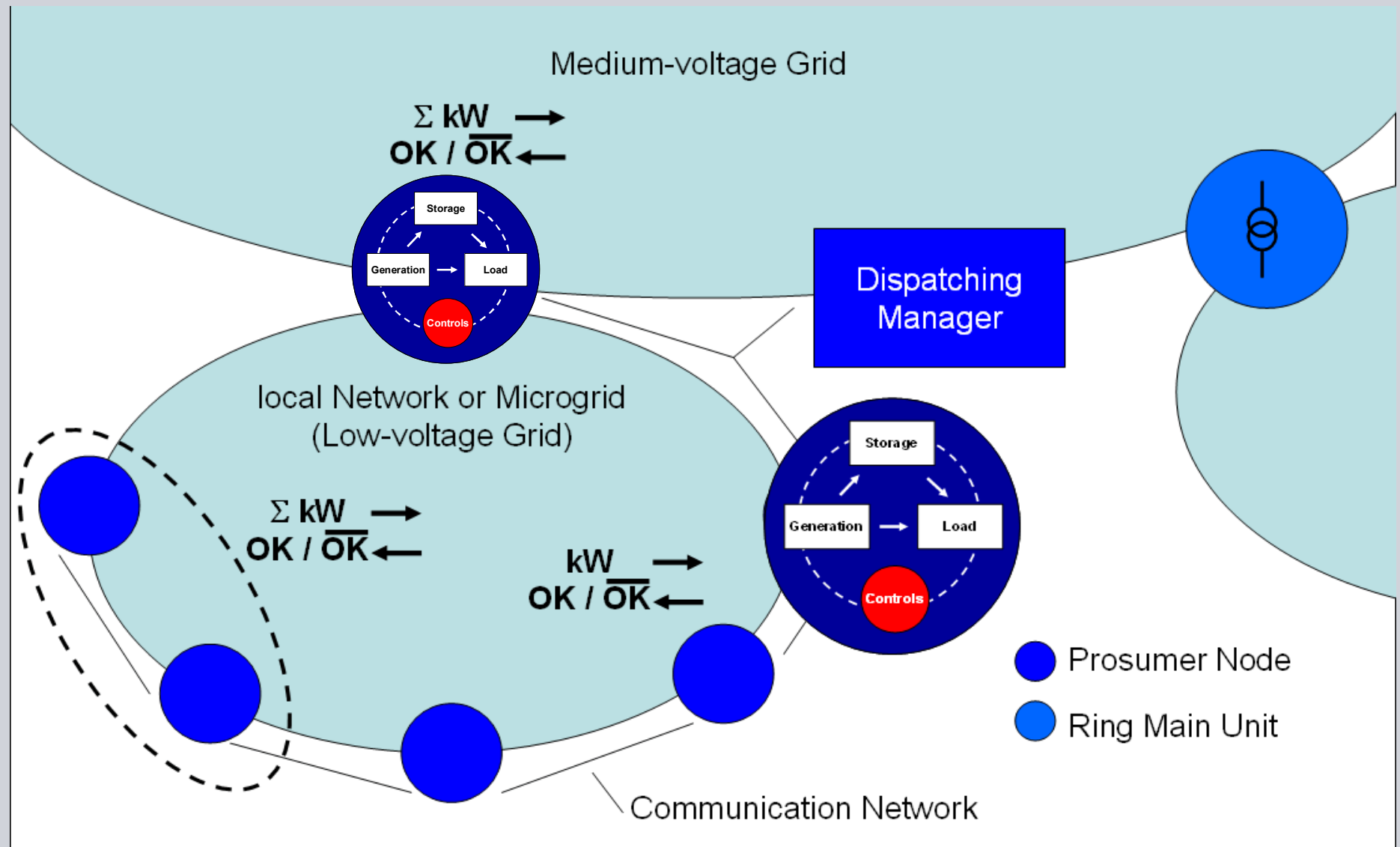
Low-voltage and Medium-voltage Approach

System structure



Low-voltage and Medium-voltage Approach

Dispatching principle



The cellular multi-modal Concept

At least, two different approaches have to be considered

The bottom-up approach



- ❑ in principle, balancing of generation & load is possible
- ❑ applicable in residential areas as well as for small & medium enterprises
- ❑ could solve ~ 50% of the total electrical energy demand in industrialized and even more in emerging countries

The top-down approach



- ❑ balancing of generation & load is almost impossible due to high load density and less space for renewables
- ❑ applicable in urban and industrial areas
- ❑ gas grid will be the supplying source to provide the residual power

Why concepts for urban and high-load areas differ



Different Requirements

- ❑ Higher density of population
- ❑ Less opportunities to install renewable generation resources
- ❑ Higher load density
- ❑ Mission-critical consumers with
- ❑ increased demand on availability

More Choices for Implementation

- ❑ Industrial customers with huge potential for load shifting
- ❑ eCars commuting daily into the city and acting as moveable batteries
- ❑ Many public facilities



Do we really need major improvements of the electrical grid?

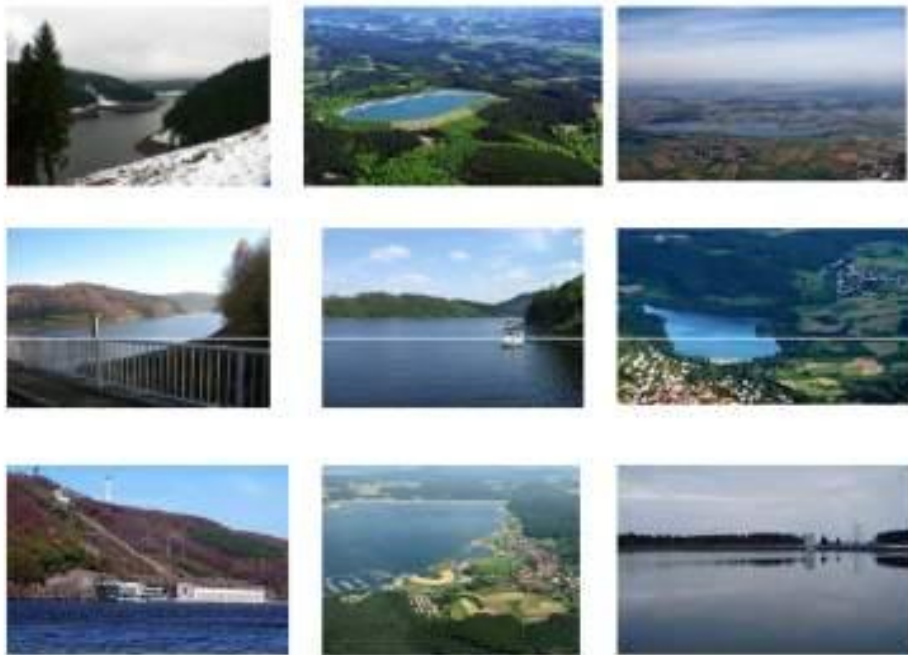


- ❑ In order to transport the electrical energy produced mainly by off-shore wind parks in the north of Germany to the main load areas, the grid has to be improved by means of High-Voltage Direct-Current (HVDC) links
- ❑ But due to the volatile generation characteristics of renewable energy resources, the main problem remains
- ❑ Not the improvement by new links, but the availability of storage capabilities is key, the manage the grid of the future

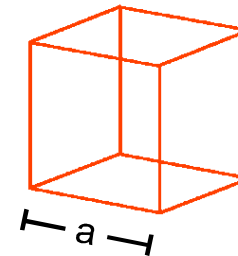
Yes, but the main problem remains unsolved, the problem to store energy

How can we store electrical power on a large scale?

40 GWh – The pumped-hydro storage capacity of Germany



The equivalent edge length “a” for fuel storage



16 m	Diesel
20 m	Methanol
18 m	Ethanol
166 m	Methan, 1 bar
230 m	H₂, 1 bar
40 m	H₂, 200 bar*
96 m	Lead-acid battery

*) w/o container

Source: Siemens AG

Only chemical storage allows effective energy storage

The Gas Grid

The preferred partner for renewable energy resources *)



- ❑ Total length of the gas grid: 443.000 km; thereof 141.000 km low-pressure, 181.000 km medium-pressure and 119.000 km high-pressure
- ❑ Grand total of yearly transport: ~1000 TWh
- ❑ 47 underground storage facilities with a total capacity of > 200 TWh equivalent to >20% of yearly consumption; latest studies claim even more than 500 TWh
- ❑ Transport capability of a single transport gas pipeline: ~70 GW_{th} in comparison to a state-of-the-art HVDC link: ~ 4 GW)

*) all figures refer to Germany as of 2011

The Gas Grid provides huge transport and storage capacities

Zielsetzung der Taskforce

Wie sieht eine moderne Energieversorgung aus, wenn man unter Beachtung der neuen Anforderungen, aber auch unter Verwendung richtungsweisender Technologien die Struktur völlig neu konzipieren könnte?

Potenziale von Technologien zur Energiewandlung und -speicherung

Lokale Versorgung
Zellularer Ansatz mit Speichern

Überregionaler Energieausgleich
Transport & Speicherung

Verknüpfung

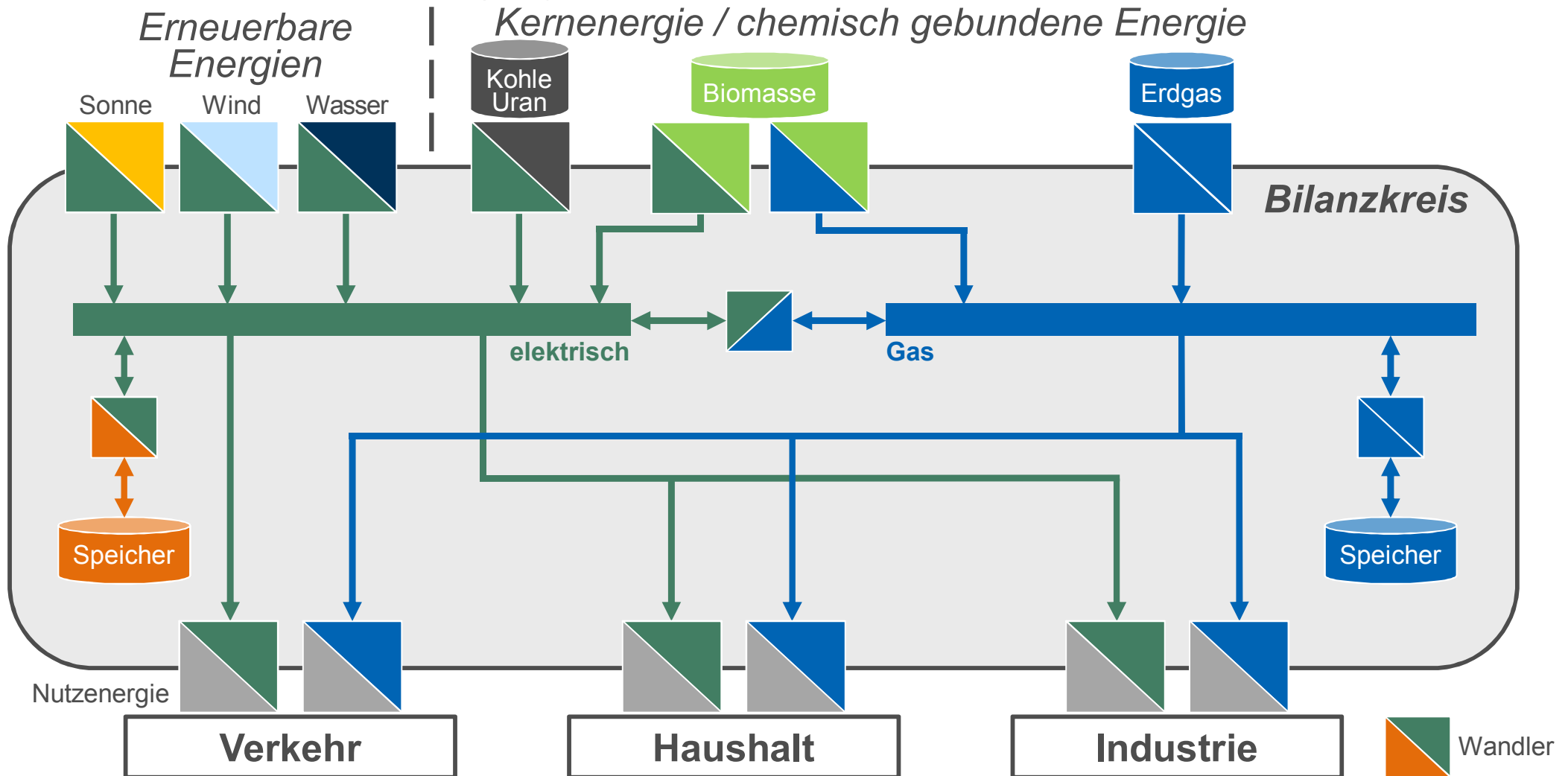
Zukünftige Energiesysteme für eine regenerative Energieversorgung

Inhalt

- Technologiesteckbriefe
 - Wandler und Speicher im Energiesystem
 - Charakterisierung
 - Beispiele
- Zellularer Ansatz
 - Idee
 - Übersicht Energiezellen
 - Vorgehensweise am Beispiel der Energiezelle (EZ) Haushalt
 - Ergebnisse
- Energetische Betrachtungen
 - Annahmen für Verbrauch: Endenergiebedarf nach Anwendungsbereichen
 - Annahmen für Erzeugung: Installierte Leistung, Volllaststunden und Ertragspotenziale
- Überregionaler Energieausgleich
 - Methodik
 - Annahmen
 - Ergebnisse: Energieausgleich und Übertragungskorridore
- Zusammenfassung

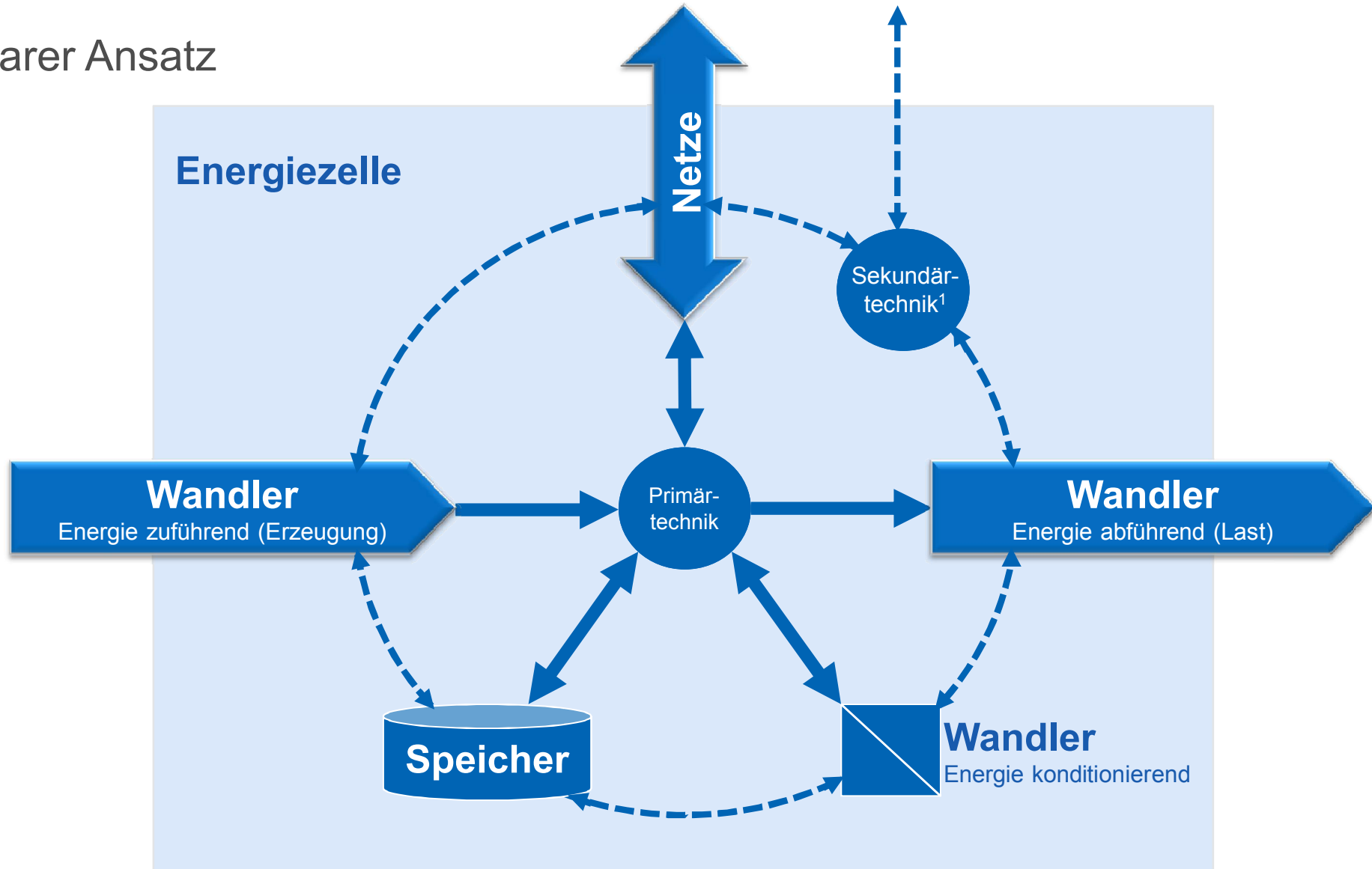
Technologiesteckbriefe

Wandler und Speicher im Energiesystem



Zellularer Ansatz

Idee



Ziel: Ausgleich von Erzeugung und Last auf der niedrigsten möglichen Ebene

Zellularer Ansatz

Übersicht Energiezellen

Haushalt

- Typen von Energiezellen
 - Einfamilienhäuser
 - Reihenhäuser
 - Mehrfamilienhäuser
 - Blockbebauung
 - Hochhäuser

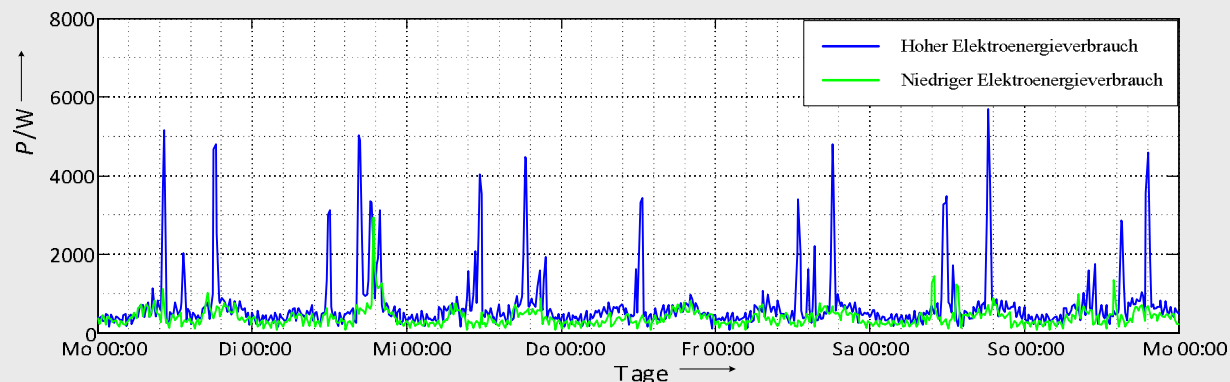
Gewerbe-Handel-Dienstleistungen

- Typen von Energiezellen
 - Gewerbeunternehmen
 - Handel (z.B. Supermarkt)

Industrie

- Typen von Energiezellen
 - kleine Industriebetrieb
 - Industriegebiet
 - Industriepark

Energetische Simulation für ein Jahr



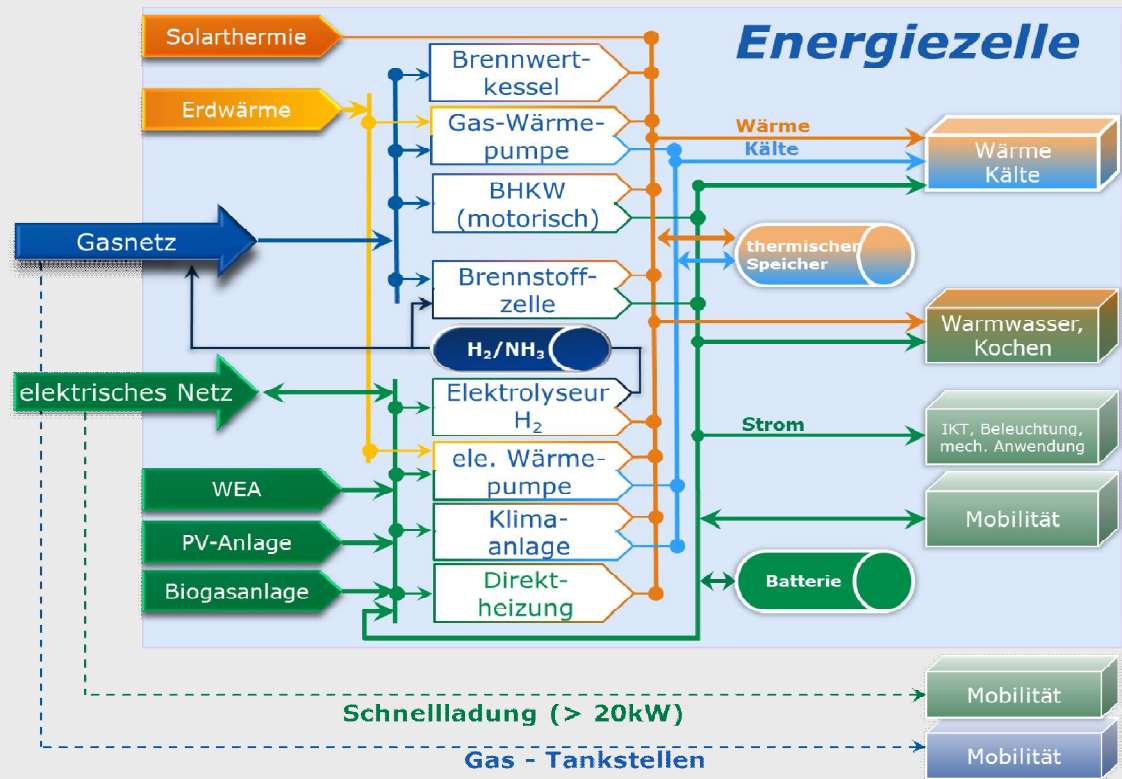
Bilanzielle Betrachtungen

- sehr individuelle Anforderungen verschiedener Industrien an Energie
- keine allgemeingültigen Aussagen möglich
- umfangreiches Portfolio an einsetzbaren Technologien

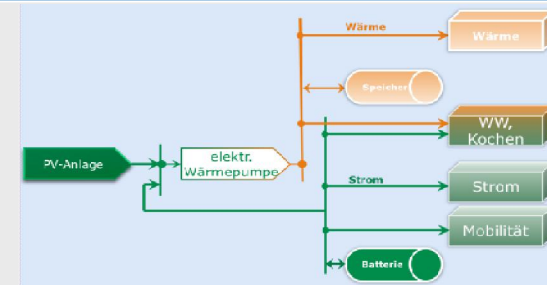
Zellularer Ansatz

Vorgehensweise am Beispiel der Energiezelle (EZ) Haushalt

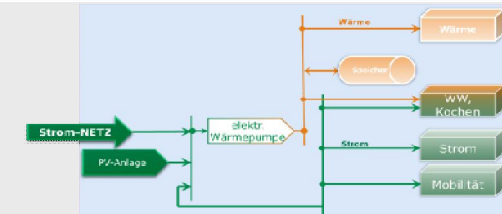
Energiezellen Voll-Ausstattung



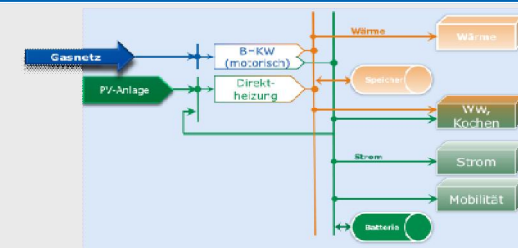
Autarke EZ



EZ mit elektrischem Netzanschluss



EZ mit Gasanschluss



Zellularer Ansatz

Ergebnisse

Haushalt

- **Autarke EZ**
 - Autarkie nur bei Einfamilienhäusern und Reihenhäusern möglich
 - Reduzierte Versorgungssicherheit bei keinem Netzanschluss
- **EZ mit elektr. Netzanschluss**
 - Erhöhung der Anforderungen durch Elektromobilität, Wärmepumpen, EE-Anlagen
 - netzdienliches Lastmanagement kann Netze entlasten
- **EZ mit Gasnetzanschluss**
 - Rückspeisefähigkeit
 - flexible Gaszusammensetzung

Gewerbe-Handel-Dienstleistungen

- **Autarke EZ**
 - Autarkie kaum möglich
- **EZ mit elektr. Netzanschluss**
 - Erhöhung der Anforderungen durch Elektromobilität, Wärmepumpen, EE-Anlagen
- **EZ mit Gasnetzanschluss**
 - Rückspeisefähigkeit
 - flexible Gaszusammensetzung

Industrie

- **Autarke EZ**
 - Autarkie nicht möglich
- **EZ mit Netzanschlüssen**
 - Verfügen über mehrere Netz-Anschlüsse
 - benötigen immer eine externe Energiezufuhr

Ergebnisse zeigen Erfordernisse für überregionalen Energieausgleich

Überregionaler Energieausgleich

Annahmen

Allgemeine Annahmen

- Betrachtungszeitraum: 1 Jahr – es wird nur die Energie bilanziert
- Betrachtungsbereich: Deutschland aufgeteilt in 16 Regionen
- 700 TWh/a elektrische Energie aus erneuerbaren Energieträgern
- Keine Aussagen zu Energieformen oder Energieübertragungssystemen bzw. Leistungsanforderungen

Ansatz A

- Weiterschreibung des EE-Zubaus an PV-Anlagen und Onshore WEA
- Skalierung von PV und Onshore WEA anhand der Verteilung der Anlagen in 2011
- Massiver Zubau an Offshore WEA (225 TWh/a)
 - Nordsee: 40 GW
 - Ostsee: 10 GW

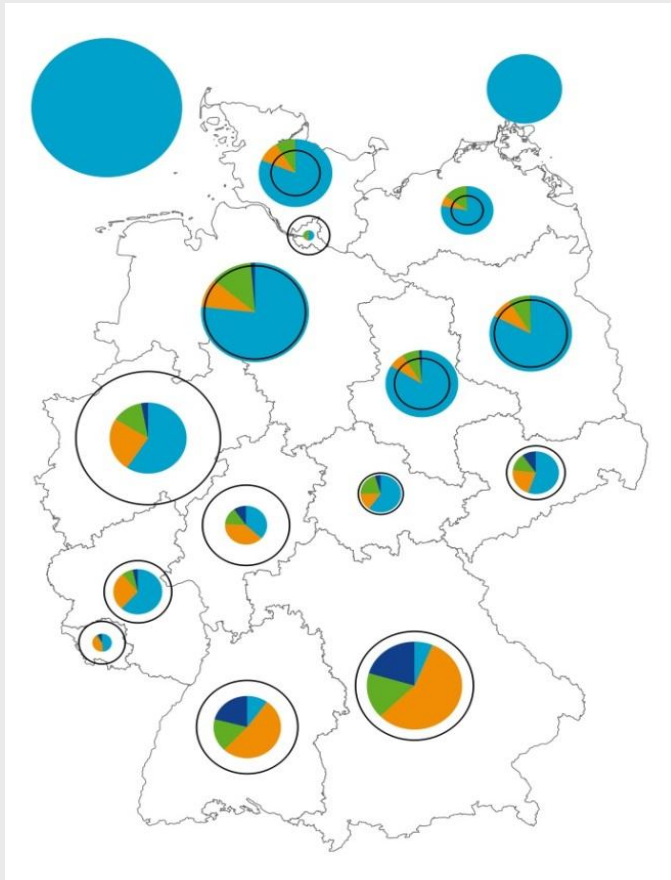
Ansatz B

- Verbrauchernaher EE-Zubau an PV-Anlagen und Onshore WEA
- Zubau von PV-Anlagen und Onshore WEA anhand der potenziell nutzbaren Flächen
- Moderater Zubau an Offshore WEA (56,25 TWh/a)
 - Nordsee: 10 GW
 - Ostsee: 2,5 GW

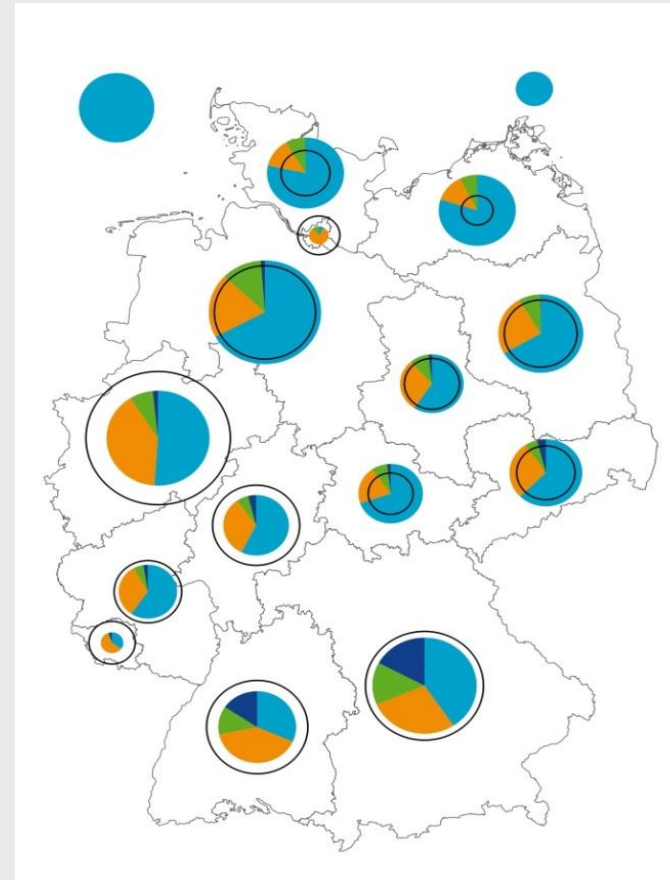
Überregionaler Energieausgleich

Ergebnisse – Energieausgleich

Ansatz A



Ansatz B

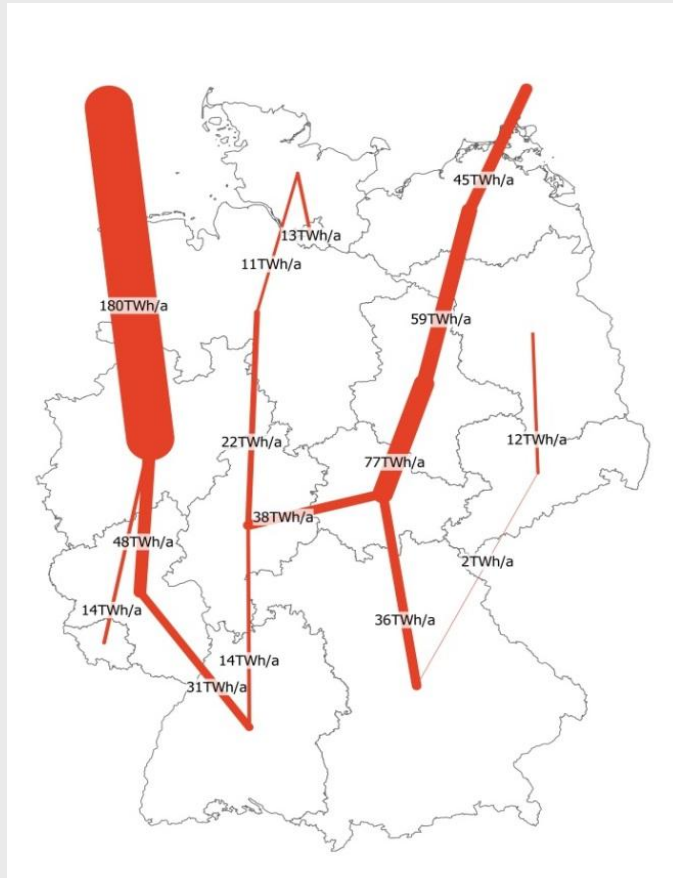


Hellblau: Wind. Orange: Photovoltaik. Grün: Biomasse. Dunkelblau: Wasserkraft. Kreislinie: Energiebedarf.

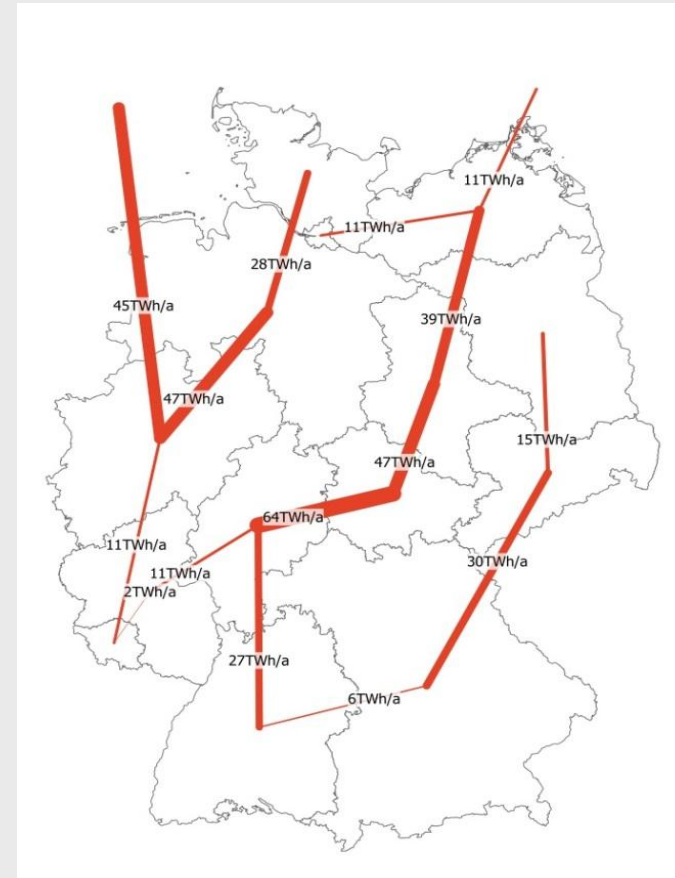
Überregionaler Energieausgleich

Ergebnisse – Übertragungskorridore

Ansatz A



Ansatz B



Zusammenfassung

Schlussfolgerungen – Der Zellulare Ansatz ...

- Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung
- Technische Innovation und Motor für eine elektrische Energieversorgung aus erneuerbaren Energieträgern
- Förderung der Konvergenz zwischen Energieträgern
- Basis für eine nachhaltige Akzeptanz der Energiewende
- Motor für wirtschaftliches Wachstum und neue Marktmodelle
- Ermöglicht die Reduzierung der Energieübertragung



Handlungsempfehlungen

Zusammenfassung

Handlungsempfehlungen

1. Entwicklungspläne für zukünftige Energienetze in allen Ebenen müssen sämtliche Energiearten wie Strom, Gas, Wärme etc. berücksichtigen.
2. Die Entwicklung von Speichertechnologien in einem großen Energiespektrum muss weiter unterstützt werden, um die Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem voranzubringen.
3. Die Entwicklung von Technologien zur effizienten Wandlung muss gefördert werden, um die Vorteile verschiedener Energieformen zu nutzen.
4. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um bei einer Umsetzung des Zellularen Ansatzes inklusive der Entscheidungsfreiheiten auf Zellebene Fragen der Verantwortung für Planung und Betrieb des Gesamtsystems zu klären.
5. Vorgeschlagen werden Felderprobungen zur Machbarkeit des Zellularen Ansatzes.



Projektskizze Zellulare, multimodale Energienetze

VDE

DVGW

KISTERS

BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

bbh

BECKER BUTTNER HELD

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

DVGW

DBI GUT
Gas- und Umwelttechnik GmbH



Ernst Moritz Arndt
Universität Greifswald

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Cellular multi-modal Energy Systems

Major project objectives



Technical aspects

- ❑ robust and manageable
- ❑ usable for all kind of energies
- ❑ backward compatible

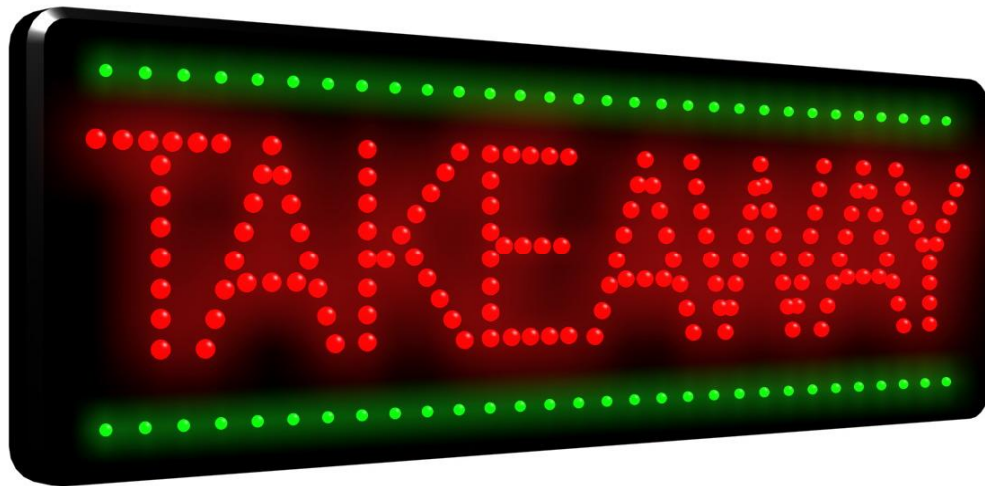
Economical aspects

- ❑ simple and traceable
- ❑ affordable & fair
- ❑ transparent market design



Regulatory aspects

- ❑ chance for a completely new & much simpler layout
- ❑ supports trend to personal responsibility
- ❑ confidentiality by design



- ❑ The **new energy system** being based on $\geq 80\%$ renewable resources is the **biggest change** in history of electrical systems
- ❑ Thus, it requires completely new **design and operating principles**
- ❑ Balancing generation and load on the **lowest possible level** is the new paradigm
- ❑ A **cellular concept** through all levels will implement this
- ❑ **Storage of electricity** utilizing hybrid solutions with gas on all levels from small to big scales is the **key technology**
- ❑ Further **hybrid designs** like AC & DC and Energy & ICT are important as well

The new Energy Age – Questions & Answers

