

**Vorlesung : Energiespeichertechnologien- & Anwendungen**

**MB-Master | Kursnr.: 139030**

**Lecture: Energy Storage Technologies and Applications**

**Vortragender**

**Prof. Dr. Christian Doetsch**

Lehrstuhl »Cross Energy Systems«

c/o Fraunhofer UMSICHT  
+49 208 8598-1195

christian.doetsch@rub.de

**0. Einführung Teil a**

„Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute“

**0. Introduction part a**

"The electrical energy system in Germany today"

**Vorlesung #1a**

**| Lecture #1a**



Ministerium für  
Kultur und Wissenschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. [www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. All logos and explicitly marked elements used are excluded from this license. [www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)



## 1. The electrical energy system in Germany today

### Content ⇒ Learning objectives

- Composition of the electricity mix and the changes over the years, the installed capacity and the amount of electricity generated as well as the current full load hours  
⇒ Introduction of the students to the electrical energy generation system in Germany as well as the expansion and use of energy producers
- Fifteen-minute changes in the electricity grid, the reasons for this and the impact on the electricity market  
⇒ Basic understanding of the various producer groups and the interactions between generation and demand
- Export / import of electrical energy to / from neighboring countries  
⇒ Understanding of the various reasons that lead to export and import

## 1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

### Inhalt ⇒ Lernziele

- Zusammensetzung des Strommixes und die Veränderung über die Jahre, die installierte Leistung und erzeugte Strommenge sowie die aktuellen Volllaststunden  
⇒ Heranführung der Studierenden an das elektrische Energieerzeugungssystem in Deutschland sowie der Ausbau und Einsatz der Energieerzeuger
- Viertelstündliche Veränderungen im Stromnetz, der Gründe hierfür sowie der Einfluss auf den Strommarkt  
⇒ Grundverständnis der verschiedenen Erzeugergruppen und der Wechselwirkungen zwischen Erzeugung und Bedarf
- Export/Import von elektrischer Energie in/von Nachbarstaaten  
⇒ Verständnis für die verschiedenen Gründe, die zu Export und Import führen

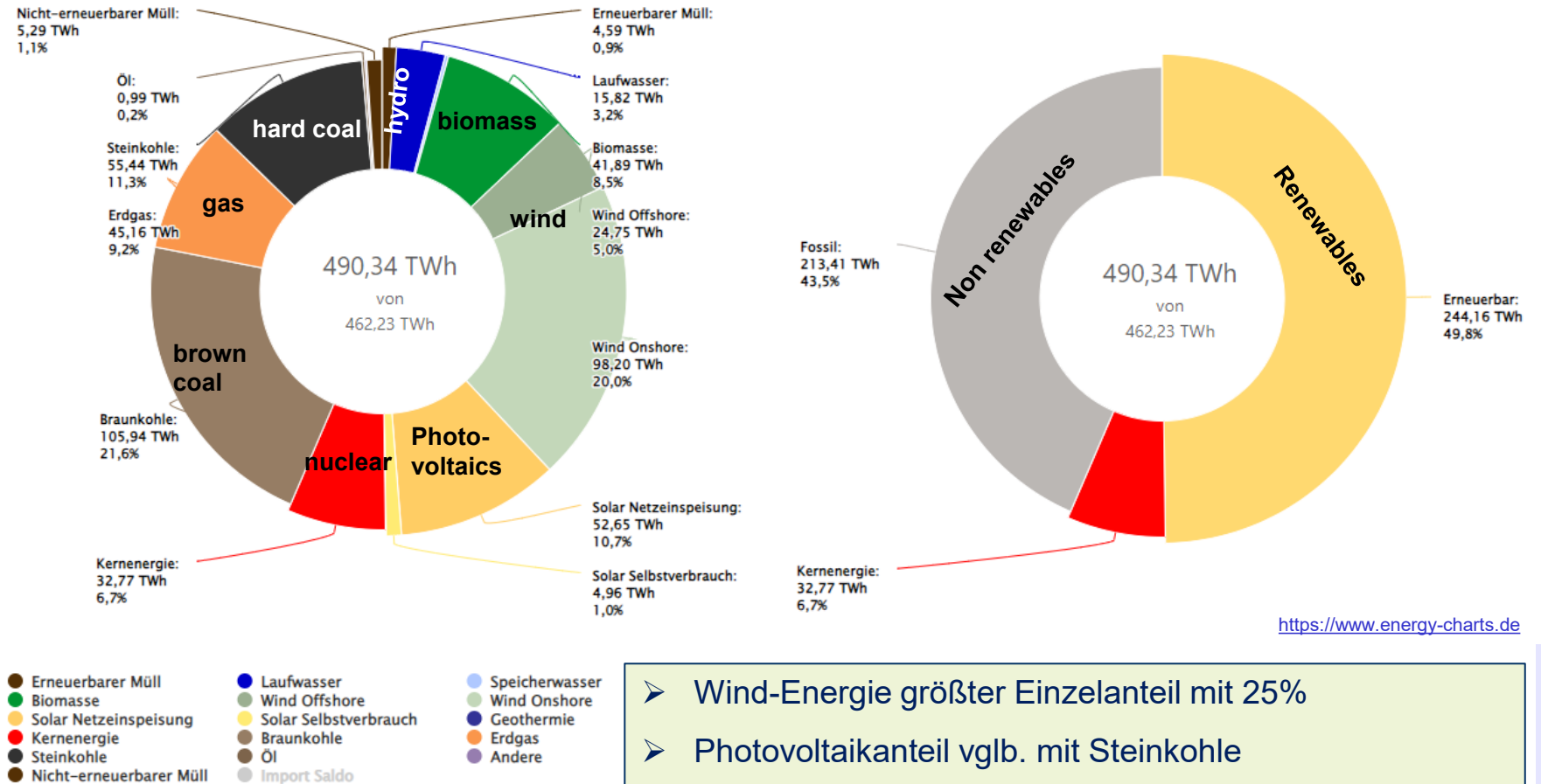
1. The electrical energy system in Germany today

1.1 German public power mix 2022

- Wind energy is the largest single share with 25%
- Photovoltaic share see with hard coal
- Share of renewables in electricity approx. 50% (2022) and rising

1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

1.1 Strommixes Nettostromerzeugung öffentliche Kraftwerke in DE, 2022



- Wind-Energie größter Einzelanteil mit 25%
- Photovoltaikanteil vglb. mit Steinkohle
- Anteil EE am Strom ca. 50% (2022) Tendenz steigend

Energy Storage | #1 Introduction

1. The electrical energy system in Germany today

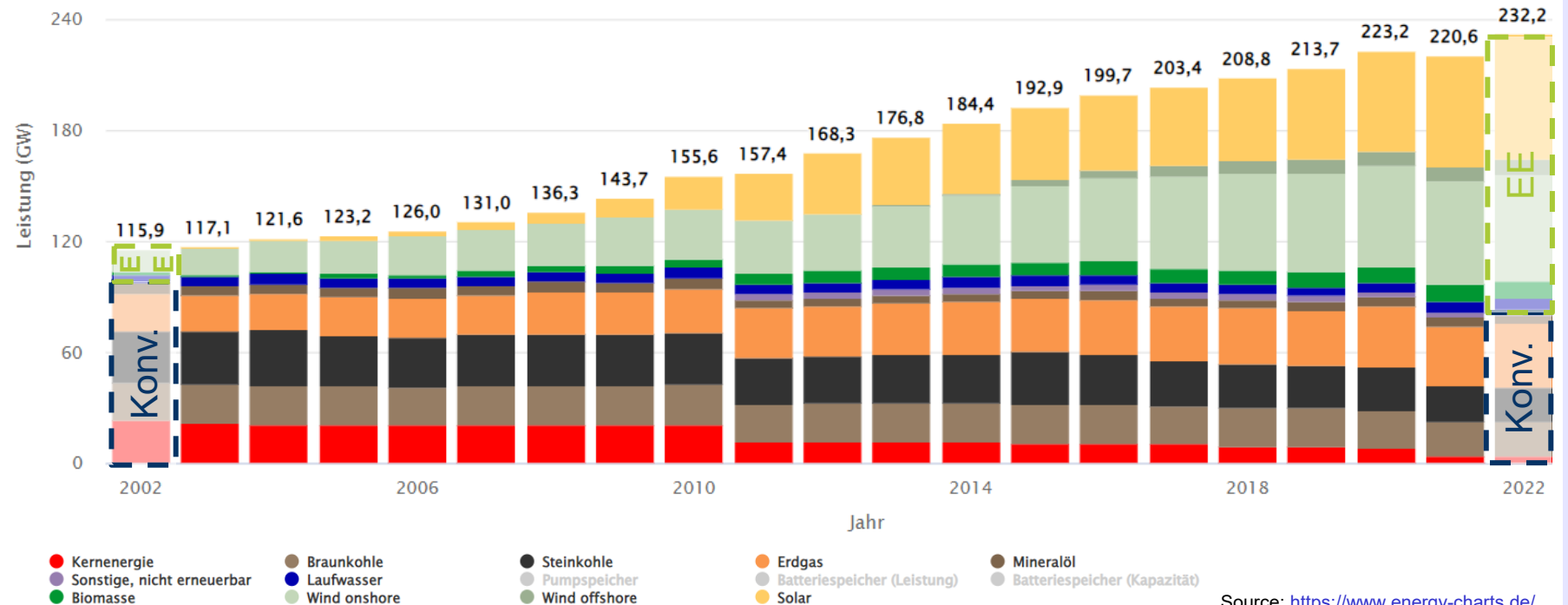
1.2 Installed generation capacity, In Germany from 2002 till 2022

- Before 2000, conventional energies covered the power demand (50-75 GW)
- Installed in 2022 approx. 2 times the capacity compared to before 2000
- Extension only with renewable energies (RE), with conventional dismantling

1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

1.2 Installierte Erzeugungskapazitäten Deutschland: Entwicklung 2002-2022

- Konventionelle Energie haben bis 2000 den Leistungsbedarf abgedeckt (50-75 GW)
- 2022 mehr als doppelte Leistung installiert gegenüber vor 2000
- Zubau nur bei Erneuerbaren Energien (EE), bei konventionellen Rückbau



Source: <https://www.energy-charts.de/>

Energy Storage | #1 Introduction

1. The electrical energy system in Germany today

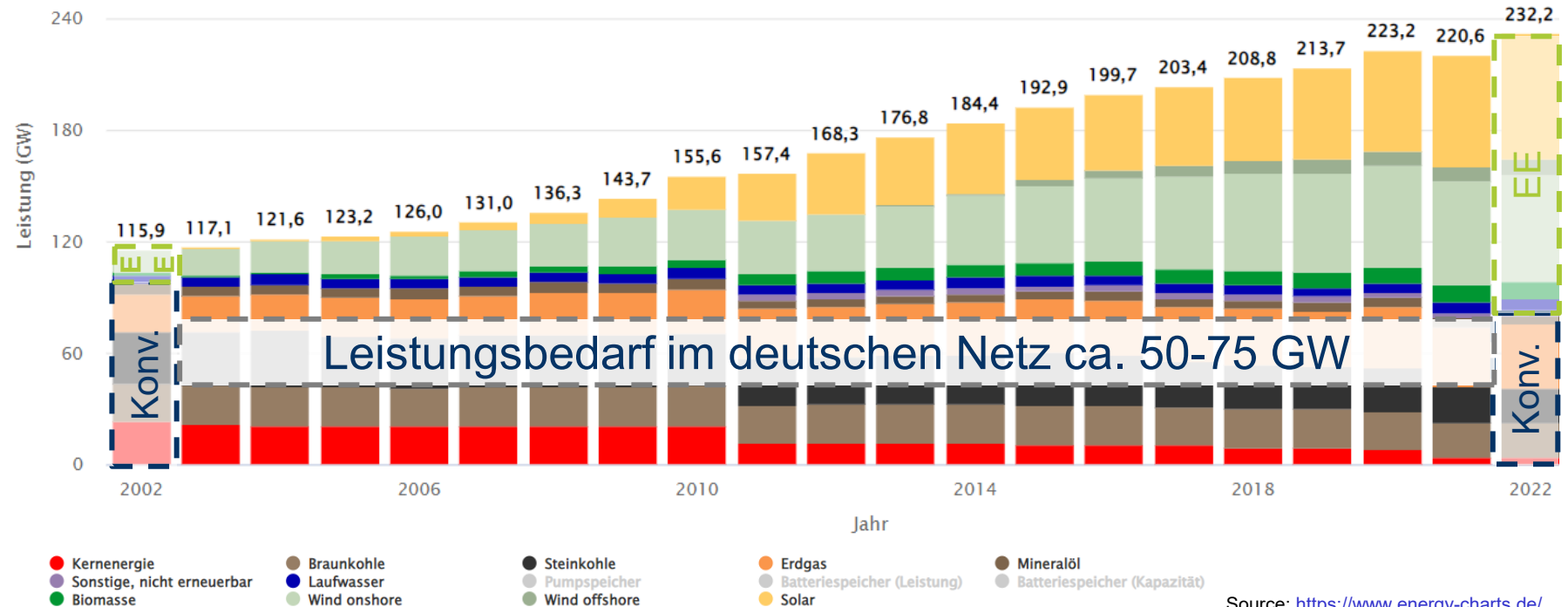
1.2 Installed generation capacity, In Germany from 2002 till 2022

- Before 2000, conventional energies covered the power demand
- Installed in 2020 approx. 3 times the capacity compared to before 2000
- Extension only with renewable energies (RE), with conventional dismantling
- The installed capacity exceeds the mean power requirement tripled
- Grid power demand Germany 50-75 GW

1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

1.2 Installierte Erzeugungskapazitäten Deutschland: Entwicklung 2002-2020

- Konventionelle Energie haben bis 2000 den Leistungsbedarf abgedeckt (50-75 GW)
- 2022 mehr als doppelte Leistung installiert gegenüber vor 2000
- Zubau nur bei Erneuerbaren Energien (EE), bei konventionellen Rückbau
- Ca. 4-fache Leistung gegenüber mittlerem Bedarf installiert



Source: <https://www.energy-charts.de/>

Energy Storage | #1 Introduction

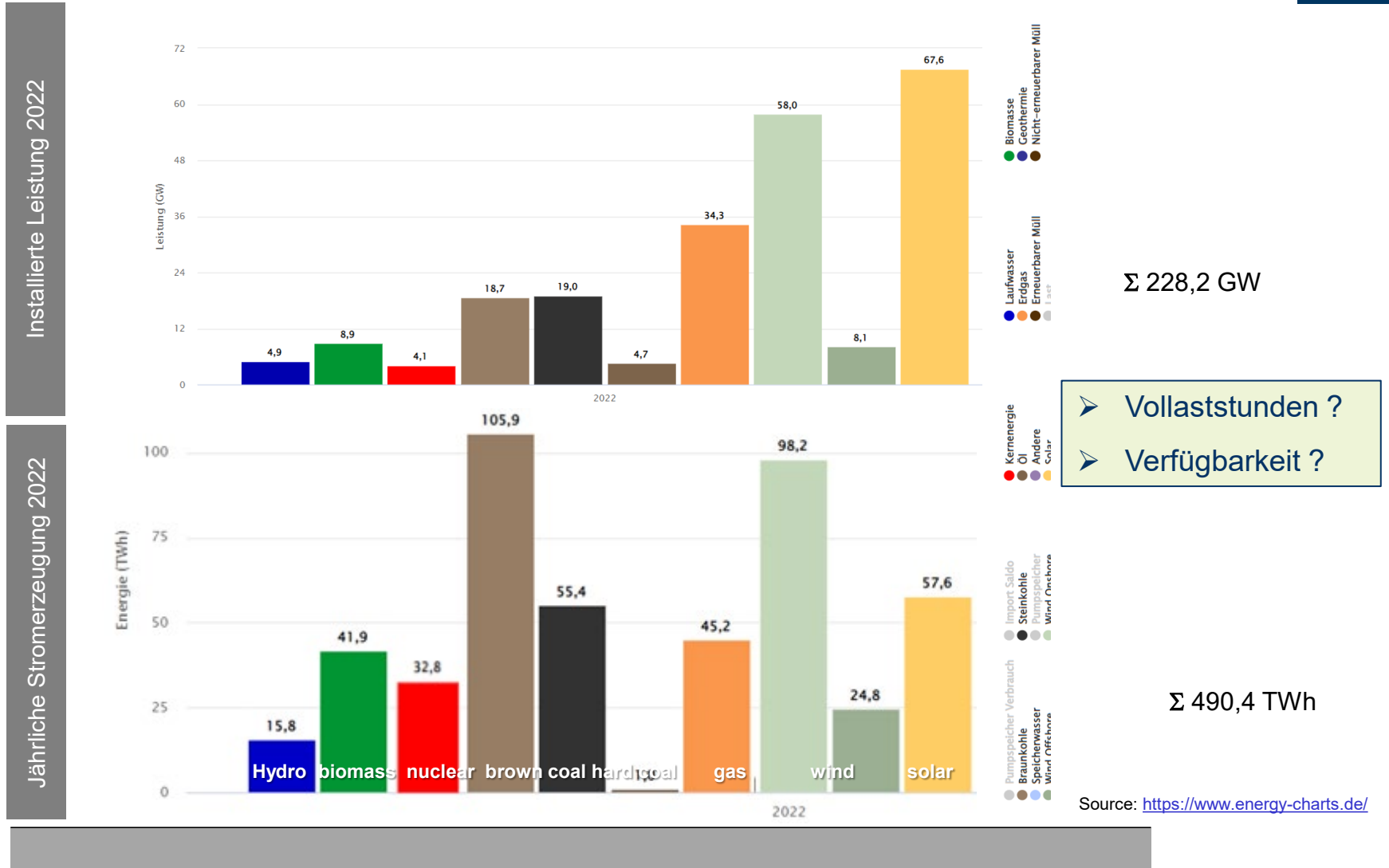
1. The electrical energy system in Germany today

1.3 Installed generation capacity, net electricity generation Germany 2022

- Installed capacity GW
- Electric Energy Generation TWh
- Full load hours ?
- Availability ?

1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

1.3 Installierte Erzeugungskapazität, Nettostromerzeugung Deutschland 2022



➤ Vollaststunden ?  
➤ Verfügbarkeit ?

Energy Storage | #1 Introduction



1. The electrical energy system in Germany today

1.4 High Shares of RE

Generation peak 2023, DE: 98% renewable energies Hourly demand and generation on Sun June 4th, 2023: 12:00

Renewable energies: 53.2 GW EE (Bio.: 5.2; Hydro 2.6; Wind off./on. 2.3; Solar 43.0) Conventional power plants: 11.1 GW  
 Conventional power plants Energy demand: 54, 1 GW (approx. 18.8% more generation than demand)

Generation > Demand because

- must-run capacity
- short term not possible / not economical
- missing north-south compensation in DE
- Export at higher electricity prices abroad

1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

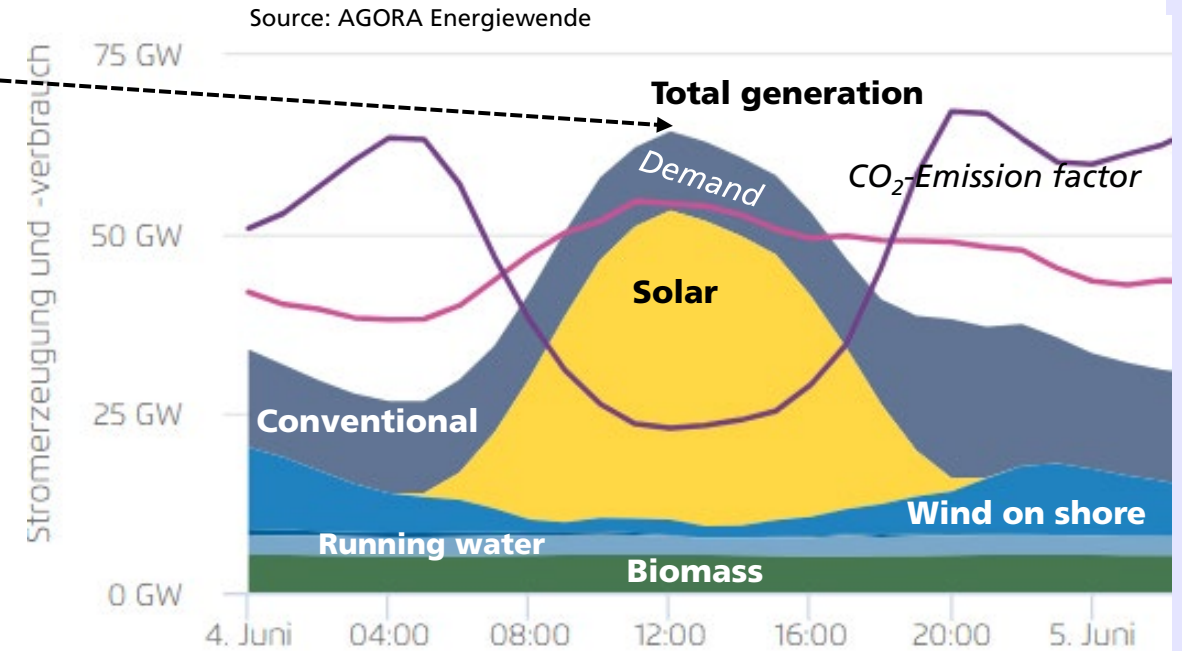
1.4 Hohe Anteile Erneuerbarer Energien

Erzeugungsspitze 2023, DE: 98% Erneuerbare Energien  
 Stündlicher Bedarf und Erzeugung am So 4. Juni, 2023: 12:00

**Erneuerbare Energien:** 53,2 GW EE (Bio.: 5,2; Hydro 2,6; Wind off./on. 2,3; Solar 43,0)  
**Konventionelle Kraftw.:** 11,1 GW Konventionelle Kraftwerke  
**Energiebedarf:** 54,1 GW (ca. 18,8% mehr Erzeugung als Bedarf)

**Erzeugung > Bedarf weil**

- must-run Kapazität
- kurzzeitiges Abregeln **technisch nicht möglich**
- kurzzeitiges Abregeln **nicht ökonomisch**
- fehlender Nord-Süd-Ausgleich in DE
- Export bei höheren Strompreisen im Ausland



Source: [www.agora-energiewende.de/service/agorameter](http://www.agora-energiewende.de/service/agorameter)

1. The electrical energy system in Germany today

1.5 High peaks of RE and spot prices

Generation peak 2023, DE: 98% renewable energies Hourly demand and generation on Sun June 4th, 2023: 12:00

53.2 GW RE

54.1 GW demand

- high proportion of renewable energies
- Demand OVER-coverage
- small difference between demand and renewable energy  
-> NEGATIVE electricity prices

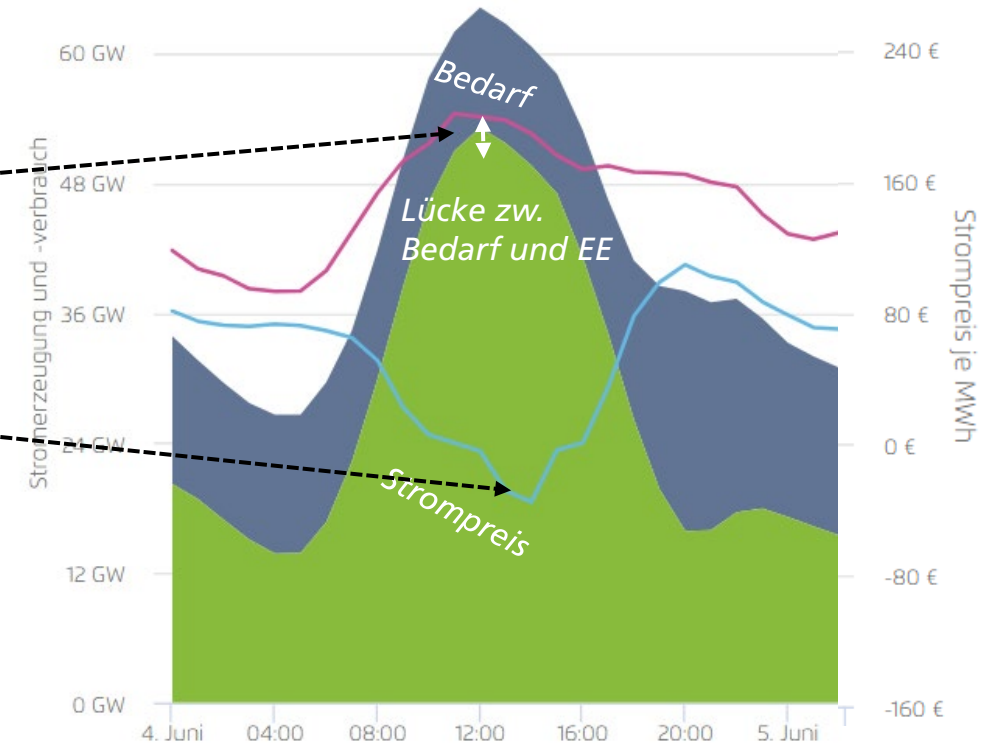
1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

1.5 Erzeugungsspitzen Erneuerbarer Energien und Spotpreise

Erzeugungsspitze 2023, DE: 98% Erneuerbare Energien  
Stündlicher Bedarf und Erzeugung am So 4. Juni, 2023: 12:00

53,2 GW EE  
54,1 GW Bedarf

- hoher Anteil EE
- Bedarfs-ÜBER-Deckung
- geringe Differenz zwischen Bedarf und Erneuerbarer Energie  
-> NEGATIVE Strompreise



Source: [www.agora-energiewende.de/service/agorameter](http://www.agora-energiewende.de/service/agorameter)



1. The electrical energy system in Germany today

1.6 Spot market prices, highs and lows in the course of 2019 [€ / MWh]

- Low spot market prices (blue/green) at low residual load
- Generation Peak: Summer noon
- Consumption Valley: at night and holidays (Christmas)

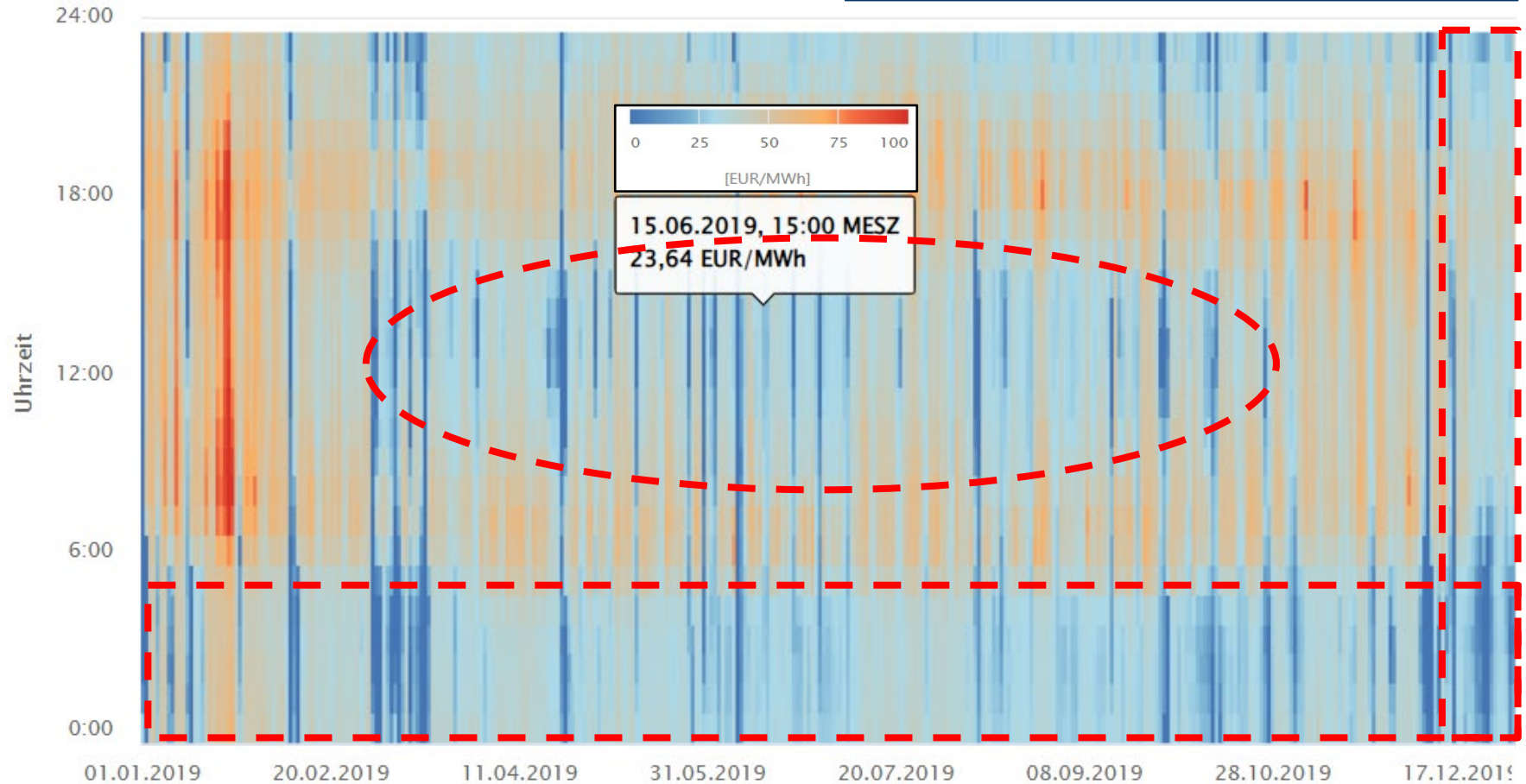
1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

1.6 Spotmarktpreise, Höchst- und Tiefstwerte im Jahresverlauf 2019 [€/MWh]

➤ geringe Spotmarktpreise (blau/grün), aufgrund geringer Residuallasten



➤ Erzeugungs-Peak: Sommer Mittagszeit  
➤ Verbrauchs-Tal: nachts und Feiertage



[https://www.energy-charts.info/charts/price\\_heatmaps/chart.htm?l=de&c=DE&year=2019&scaleMin=0&scaleMax=100](https://www.energy-charts.info/charts/price_heatmaps/chart.htm?l=de&c=DE&year=2019&scaleMin=0&scaleMax=100)

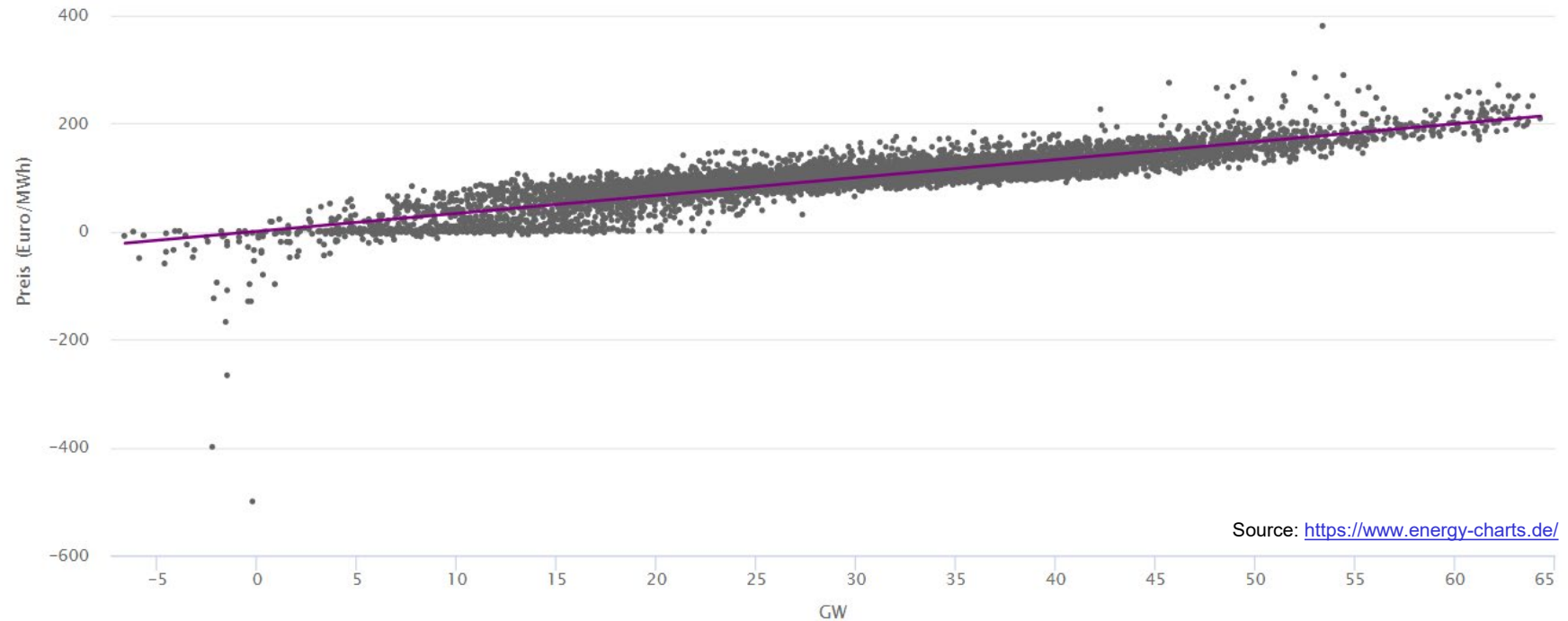
## 1. The electrical energy system in Germany today

### 1.7 Spot market prices, vs. residual power [€/MWh] in 2023

- The residual load and electricity price are obviously correlated
- Low residual loads sometimes lead to negative electricity prices
- High residual loads lead to extremely high electricity prices

## 1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

### 1.7 Spotmarktpreise, bezogen auf die residuale Last 2023 [€/MWh]



Energy-Charts.info - letztes Update: 16.10.2023, 18:46 MESZ

- Residuale Last (Differenz zwischen Bedarf und fluktuierender EE (Wind+PV)) und Strompreis sind offensichtlich korreliert
- Geringe Residuallasten führen teilweise zu negativen Strompreisen
- Hohe Residuallasten führen zu äußerst hohen Strompreisen

1. The electrical energy system in Germany today

1.8 Export/import electricity at generation 1<sup>st</sup> week of October 2023

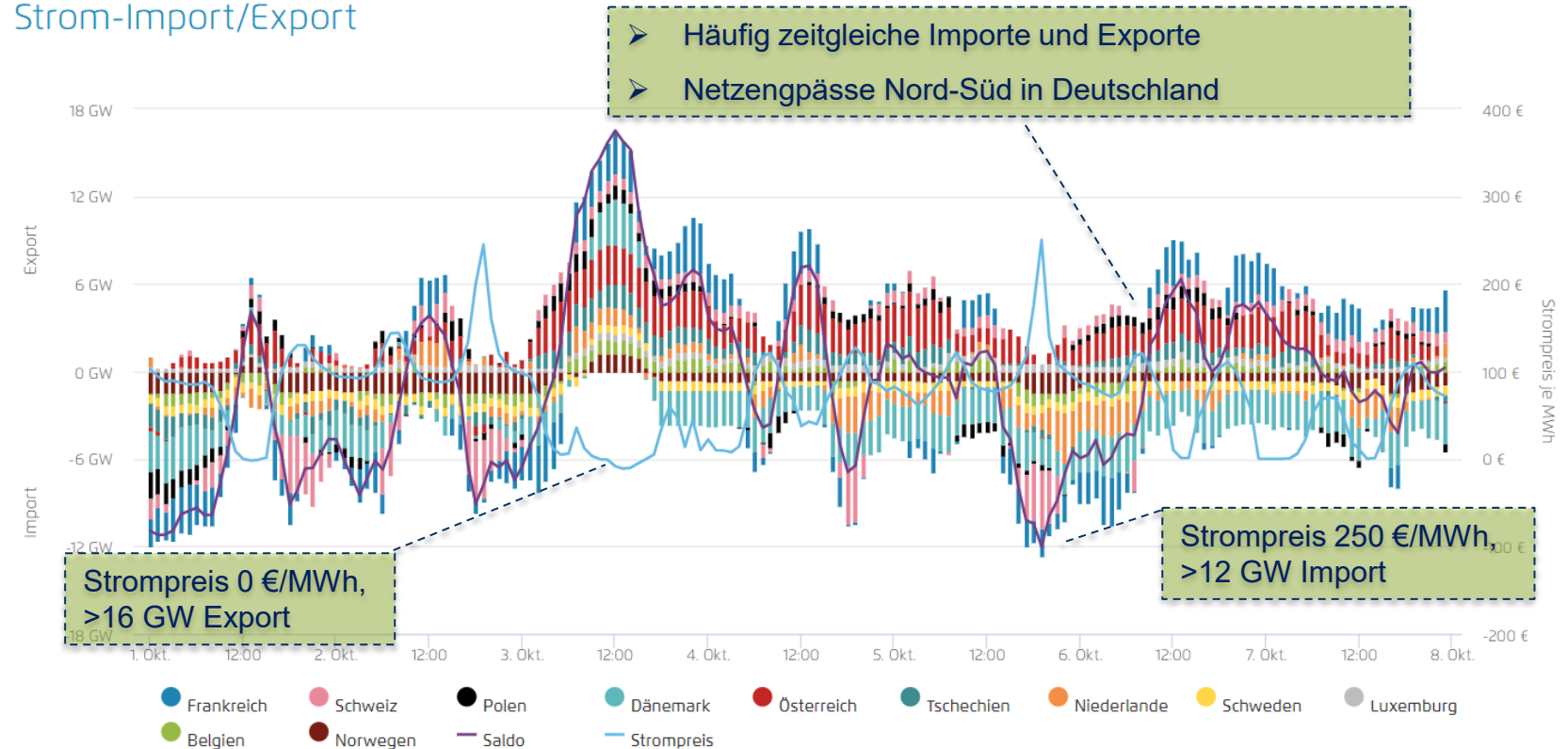
- Often simultaneous imports and exports
- Network bottlenecks north-south in Germany
- Export/Import with/to 11 countries (9 neighbor countries and with submarine cable to Sweden, Norway).
- Since November 2020, Germany has also been directly connected to Belgium for the first time, here by a direct current line "ALEGrO"

1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

1.8 Export/Import (bilanziell) Strom aus/nach Deutschland

am 1. – 8. Okt., 2023 (hoher Anteil EE am 3. Oktober, mittags, wenig EE 1. Okt. nachts)

Strom-Import/Export



➤ Export/Import zu 11 Länder (9 Nachbarstaaten\* sowie mit Seekabeln nach Schweden, Norwegen)

\* seit Nov. 2020 ist Deutschland auch erstmalig mit Belgien direkt verbunden, hier durch die Gleichstromleitung „ALEGrO“

[https://www.amprion.net/Presse/Presse-Detailseite\\_28160.html](https://www.amprion.net/Presse/Presse-Detailseite_28160.html)

Source: [www.agora-energiewende.de/service/agorameter](http://www.agora-energiewende.de/service/agorameter)

1. The electrical energy system in Germany today

1.9 Export / Import (balance sheet)  
Electricity to / from Germany

- Germany was the largest European electricity exporter in MONTH January 2019 (7.2 TWh). This was followed by Russia (1.4 TWh), the Czech Republic (1.2 TWh), France (1.1 TWh) and Sweden (1.1 TWh).
- In the whole YEAR of 2019, Germany exported around 70 TWh and imported 36 TWh, i.e. a balance of +34 TWh.
- The largest importers of German electricity were Switzerland and Austria (15 TWh each), followed by the Netherlands and Poland (10 TWh each). At the same time, Germany received approx. 15 TWh from France.

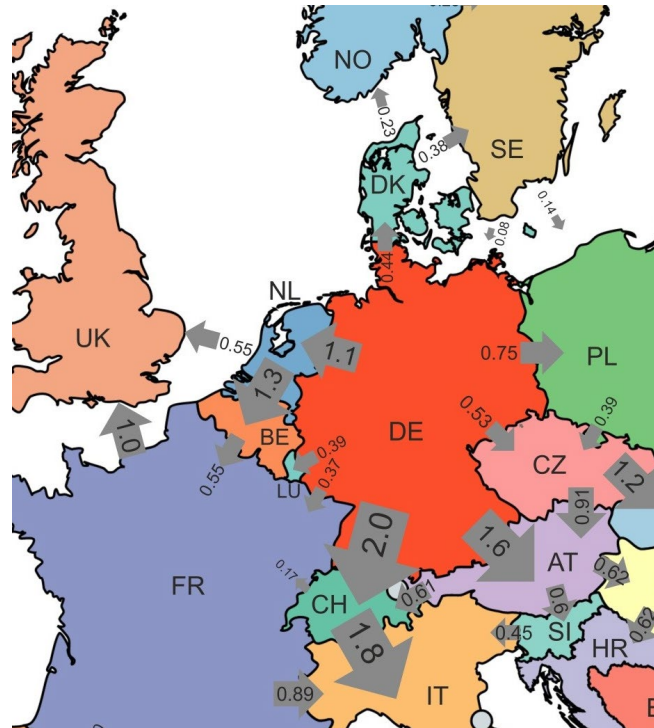
1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

1.9 Export/Import (bilanziell) Strom aus/nach Deutschland

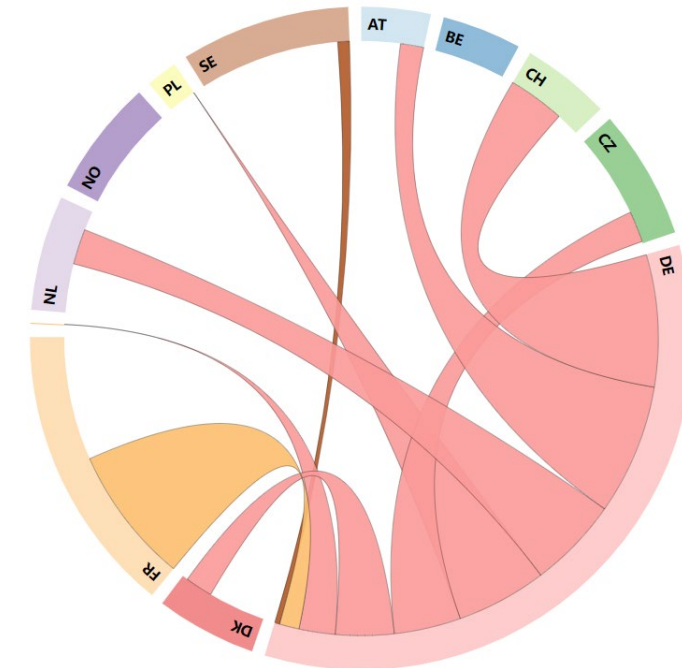
Deutschland war im MONAT Januar 2019 der größte europäische Stromexporteur (7,2 TWh). Danach folgten Russland (1,4 TWh), Tschechien (1,2 TWh), Frankreich (1,1 TWh) und Schweden (1,1 TWh).

Im ganzen JAHR 2019 hat Deutschland ca. 70 TWh exportiert und 36 TWh importiert, d.h. ein Saldo von +34 TWh.

Größte Importeure von deutschem Strom waren die Schweiz und Österreich (jeweils 15 TWh) gefolgt von den Niederlanden und Polen (jeweils 10 TWh). Deutschland hat zugleich ca. 15 TWh aus Frankreich bezogen.



Grenzüberschreitende physikalische Stromflüsse zwischen Deutschland und seinen Nachbarländern in 2019



[https://energy-charts.info/charts/import\\_export/chart.htm?l=de&c=DE&flow=exchange\\_germany](https://energy-charts.info/charts/import_export/chart.htm?l=de&c=DE&flow=exchange_germany)

Energy-Charts.info - letztes Update: 17.10.2022, 13:08 MESZ

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2019/energy-charts-januar-2019--neue-monatsrekorde-bei-stromerzeugung.html>



1. The electrical energy system in Germany today

1.9 Export / Import (balance sheet)  
Electricity to / from Germany

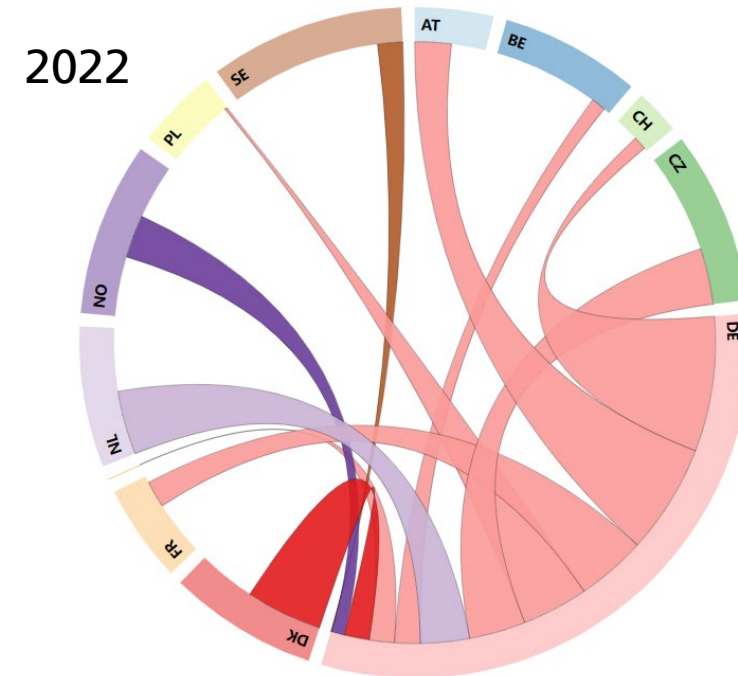
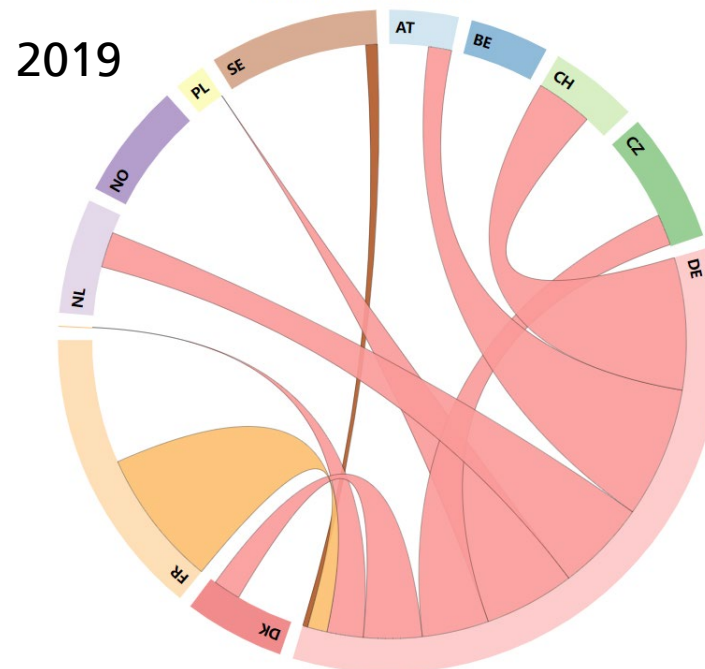
- In the whole YEAR 2022 (2019) Germany plans to export approx. 66 TWh (70 TWh) and to import 45 TWh (36 TWh), i.e. a balance of +21 TWh (+34 TWh). ⇒ Germany remains a major electricity exporter
- With regard to France, the balance has reversed. In 2019 Germany still imported 13 TWh on balance, but in 2022 Germany exported 13 TWh on balance (17.4 TWh export, 4.5 TWh import).
- On the other hand, imports from Norway (new connection), Denmark, Poland and Sweden have been added or increased significantly.

1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

1.9 Export/Import (bilanziell) Strom aus/nach Deutschland 2019 vs. 2022

- Im ganzen JAHR 2022 (2019) hat Deutschland ca. 73 TWh (70 TWh) zu exportieren und 45 TWh (36 TWh) zu importieren, d.h. ein Saldo von +28 TWh (+34 TWh). ⇒ Deutschland bleibt großer Strom-Exporteur
- Bezogen auf Frankreich hat sich die Bilanz umgekehrt. 2019 hat Deutschland noch 13 TWh bilanziell importiert, in 2022 exportiert Deutschland dagegen bilanziell 5,4 TWh (8,8 TWh Export, 3,4 TWh Import).
- Dagegen sind Import aus Norwegen (neue Verbindung), Dänemark, Polen und Schweden hinzugekommen bzw. wurde deutlich gesteigert.

Grenzüberschreitende physikalische Stromflüsse zwischen Deutschland und seinen Nachbarländern in 2019



Energy-Charts.info - letztes Update: 17.10.2022, 13:08 MESZ

[https://www.energy-charts.info/charts/import\\_export/chart.htm?l=de&c=DE&year=2022&flow=physical\\_flows\\_de](https://www.energy-charts.info/charts/import_export/chart.htm?l=de&c=DE&year=2022&flow=physical_flows_de)

## 1. The electrical energy system in Germany today

### 1.10 Summary / Take aways

1. The share of renewables (TWh) in the German electricity mix (2019, 46%) continues to rise (especially wind and PV), the fossil share is falling and the share of nuclear power will drop to zero by the end of 2022.
2. The installed power (GW) exceeds the average power requirement in Germany by twice the amount with a slight decrease in power conv. Energies.
3. High installed capacities do not automatically correspond to high amounts of energy, since generators are not operated 8760 hours / a for technical or economic reasons.
4. With a high proportion of renewables, up to 90% of the quarter-hourly power requirement is covered by renewables.
5. The residual load (power demand minus RE power) is correlated with the electricity price, i.e. if there is a high proportion of RE, this decreases.
6. Germany is a relevant electricity exporter, but there is also a temporary regional import, also because the electricity cannot be sufficiently transported from north to south due to network bottlenecks.

## 1. Das elektrische Energiesystem in Deutschland heute

### 1.10 Kurzzusammenfassung / „Take aways“

1. Der Anteil EE (TWh) im deutschen Strommix (2022, 50%) steigt weiterhin an (vor allem Wind und PV), die fossilen Anteile sinken und der Atomstromanteil wird nach 2023 auf Null sinken.
2. Die installierte Leistung (GW) übersteigt den mittleren Leistungsbedarf in Deutschland um das Dreifache bei zugleich leicht sinkender Leistung konv. Energien.
3. Hohe installierte Leistungen entsprechen nicht automatisch hohen Energiemengen, da Erzeuger aus technischen bzw. ökonomischen Gründen nicht 8760 Std/a betrieben werden.
4. Bei hohem Anteil EE wird bis zu 98% des stündlichen Leistungsbedarf durch EE abgedeckt.
5. Die Residuallast (Leistungsbedarf minus EE-Leistung) ist mit dem Strompreis korreliert, d.h. bei hohem Anteil EE sinkt dieser.
6. Deutschland ist ein relevanter Stromexporteur, trotzdem findet temporär auch immer wieder ein Import regional statt, auch weil der Strom durch Netzengpässe nicht ausreichend von Nord nach Süd transportiert werden kann.



**Prof. Dr. Christian Doetsch**

Lehrstuhl »Cross Energy Systems«

c/o Fraunhofer UMSICHT  
+49 208 8598-1195

christian.doetsch@rub.de

QR-Code: Business Card



# ORCA.nrw

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM

RUB

Hochschule  
Bonn-Rhein-Sieg

Hochschule Düsseldorf  
University of Applied Sciences  
HSD

ISEA

Stromrichter-  
technik und  
Elektrische  
Antriebe

RWTH AACHEN  
UNIVERSITY

FH AACHEN  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ein Kooperationsvorhaben empfohlen durch die:



INNOVATION DURCH KOOPERATION

Gefördert durch:

Ministry of Culture and Science  
of the State of  
North Rhine-Westphalia



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.  
All logos and explicitly marked elements used are excluded from this license. [www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)

**Vorlesung : Energiespeichertechnologien- & Anwendungen**

**MB-Master | Kursnr.: 139030**

**Lecture: Energy Storage Technologies and Applications**

**Vortragender**

**Prof. Dr. Christian Doetsch**

Lehrstuhl »Cross Energy Systems«

c/o Fraunhofer UMSICHT  
+49 208 8598-1195

christian.doetsch@rub.de

**0. Einführung Teil b**

„Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems“

**0. Introduction part b**

„The future development of the German energy system“

**Vorlesung #1b**

**| Lecture #1b**



Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz. Ausgenommen von der Lizenz sind die verwendeten Logos sowie alle anders gekennzeichneten Elemente. [www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. All logos and explicitly marked elements used are excluded from this license. [www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)



## 2. The future development of the German energy system

### Content ⇒ Learning objectives

- Future development of the electricity market, renewable energies and their increasing share as well as their costs  
⇒ Understanding whether goals can be reached, the composition of the future electricity system
- Changes in the installed capacity in the German electricity system that the energy transition brings with it and what that means in an international comparison  
⇒ Record the size and complexity of the change, also in contrast to other European countries.
- Electricity shortage and electricity “surplus” due to the expansion of renewable energies  
⇒ Quantification of the effects and understanding which solution strategies of a technical nature exist
- Energy storage as energy balancing options compared to other options  
⇒ Characterization of the various options and their possible uses

## 2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

### Inhalt ⇒ Lernziele

- Zukünftige Entwicklung des Strommarktes, der Erneuerbaren Energien und ihr steigender Anteil sowie ihre Kosten  
⇒ Verständnis ob der Erreichbarkeit von Zielen, der Zusammensetzung des zukünftigen Stromsystems
- Änderungen in der installierten Leistung im deutschen Stromsystem, die die Energiewende mit sich bringt und was das im internationalen Vergleich bedeutet  
⇒ Größe und Komplexität der Veränderung erfassen, auch im Unterschied zu anderen europäischen Ländern.
- Strommangel und Strom“überschuss“ durch den Ausbau Erneuerbarer Energien  
⇒ Quantifizierung der Effekte und Verständnis welche Lösungsstrategien technischer Art existieren
- Energiespeicher als Energieausgleichsoptionen im Vergleich zu anderen Optionen  
⇒ Charakterisierung der verschiedenen Optionen und ihre Einsatzmöglichkeiten

2. Future Development

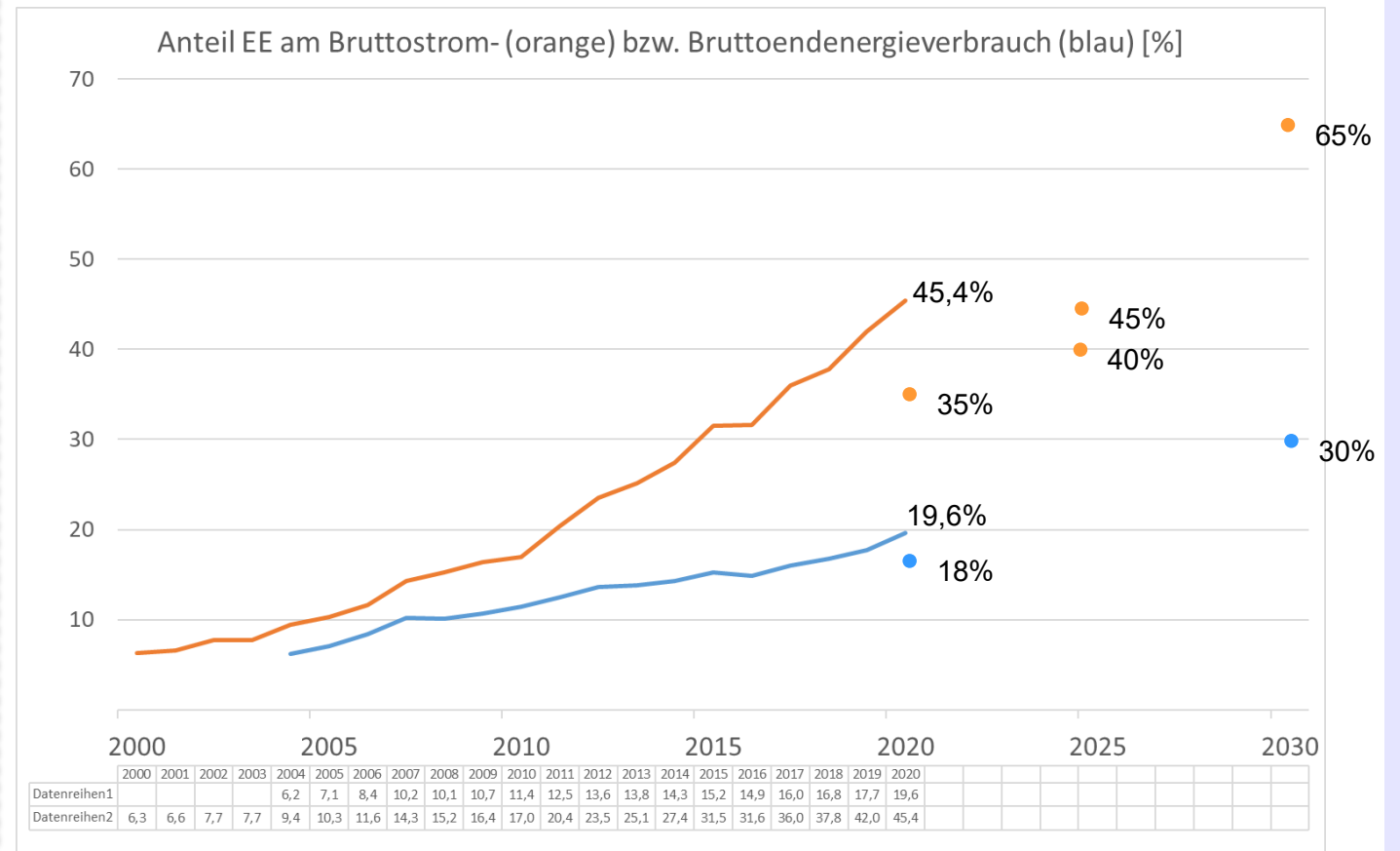
2.1 Planned development of the share of renewable energies in Germany

- Expansion of renewable energies in the electrical system up to 65% by 2030
- Currently over 45% and thus better than planned
- Share of the total energy requirement, however, especially in the target corridor

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.1 Geplante Entwicklung des Anteils Erneuerbarer Energien in Deutschland

- Ausbau der Erneuerbaren Energien im elektrischen System bis auf 65% bis 2030
- Aktuell schon über 45% und damit besser als geplant
- Anteil am Gesamtenergiebedarf im Zielkorridor



[https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2020-excel.xlsx;jsessionid=3261FDA31BF79B15D1D42BBB3AF81357?\\_\\_blob=publicationFile&v=27](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2020-excel.xlsx;jsessionid=3261FDA31BF79B15D1D42BBB3AF81357?__blob=publicationFile&v=27)

2. Future Development

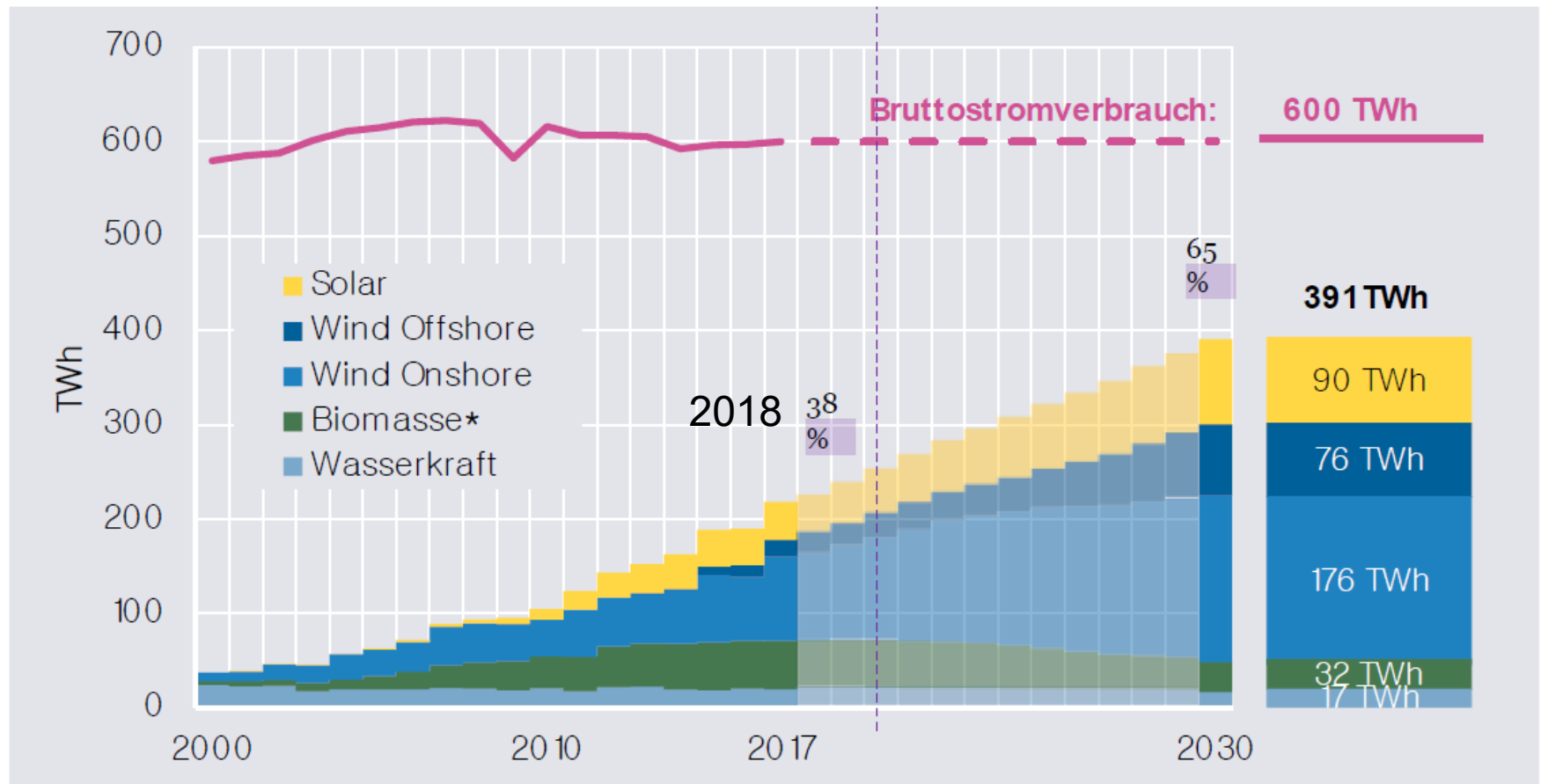
2.2 Forecast expansion of the various renewable energies in Germany

- Strong increase in off-shore wind, moderate increase in on-shore wind and PV
- Stagnation or slight decline in biomass

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.2 Prognostizierter Ausbau der verschiedenen Erneuerbarer Energien in DE

- Starker Anstieg off-shore Wind, moderater Anstieg on-shore Wind und PV
- Stagnation bzw. leichter Rückgang bei Biomasse



Source: AGORA Energiewende, 2019

Energy Storage | #1 Introduction

2. Future Development

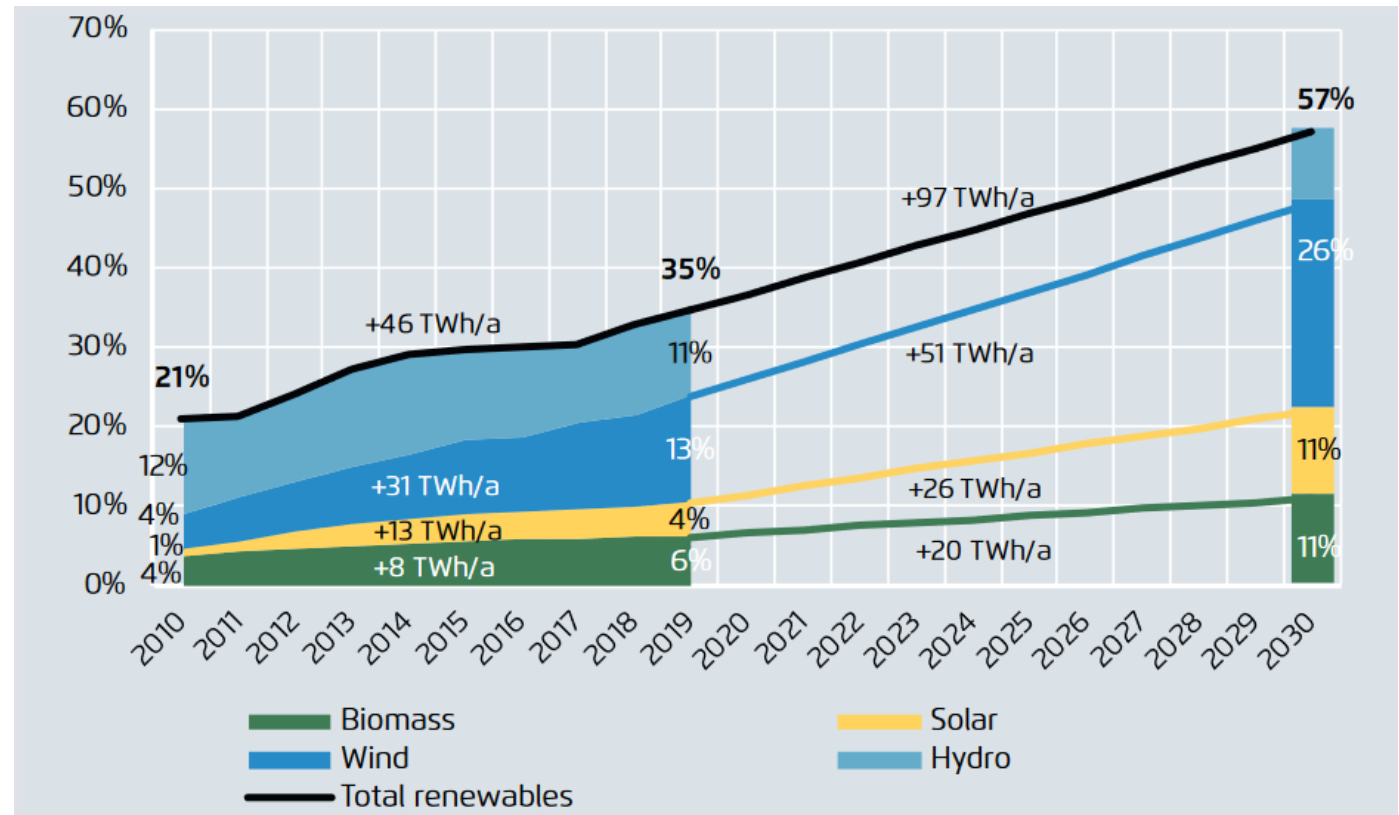
2.3 Projection shares of renewable energies in Europe by 2030

- By 2030, 57% of renewable energies should be in the European power grid
- In 2010 the share was just 20%
- Accordingly, conventional, fossil-fuel power plants are being pushed out of the market

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.3 Projektion Anteile Erneuerbarer Energien in Europa bis 2030

- Bis 2030 soll 57% Erneuerbare Energien im europäischen Stromnetz sein
- 2010 betrug der Anteil gerade einmal 20%
- Entsprechend werden konventionelle, fossile Kraftwerke aus dem Markt gedrängt



Source: [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Jahresauswertung\\_EU\\_2019/172\\_A-EW\\_EU-Annual-Report-2019\\_Web.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Jahresauswertung_EU_2019/172_A-EW_EU-Annual-Report-2019_Web.pdf)



2. Future development

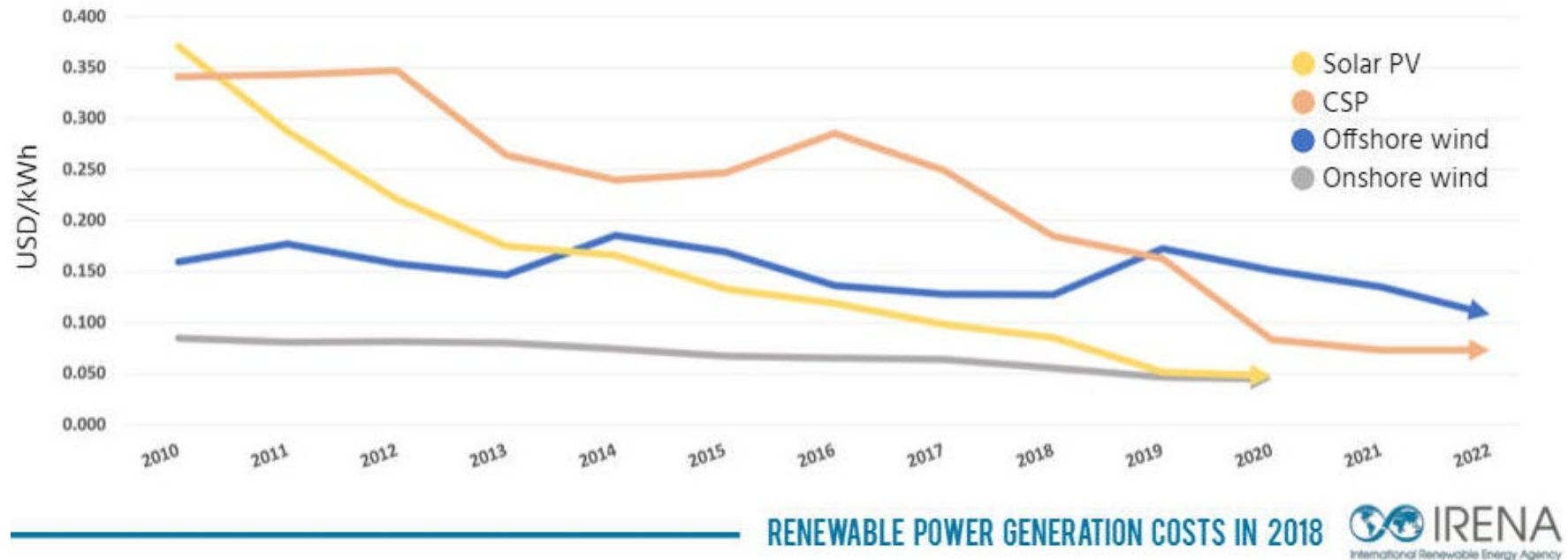
2.4 Average prices (LCOE, auctions) worldwide for EE

- Strong economies of scale in wind, PV and CSP (concentrated solar power)
- Energy costs at approx. 5 euro cents / kWh (Germany 2020 large-scale PV systems approx. 5.9 cents / kWh)
- This means that wind (on-shore) and PV are cheaper than the cheapest fossil alternative

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.4 Durchschnittliche Preise (LCOE\* und Auktionen) weltweit für EE

- Starke Kostendegression bei Wind, PV und CSP (concentrated solar power)
- Energiekosten bei ca. 5 €-Cent/kWh (Deutschland 2020 PV-Großanlagen ca. 5,9 ct/kWh)
- Damit sind Wind (on-shore) und PV günstiger als die günstigste fossile Alternative



Quelle: <https://energy.economictimes.indiatimes.com/news/renewable/infographic-cost-of-onshore-wind-solar-pv-by-2020/69562912>

\*LCOE: Levelized Cost of Energy (Mittlere Gesamtenergiekosten pro kWh)

2. Future development

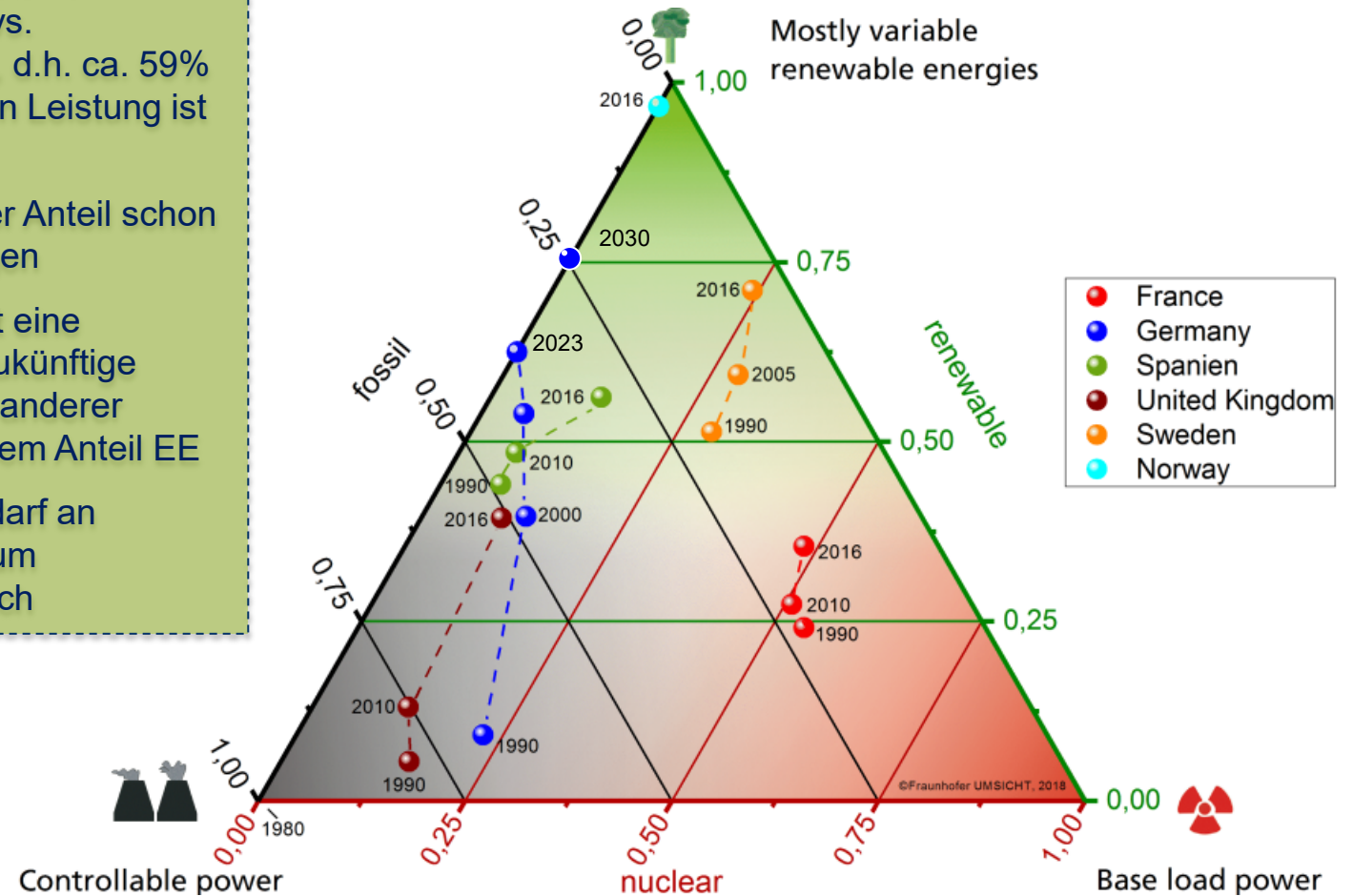
2.5 Share of renewable energies, fossil energies, nuclear power in the EU

- In 2019 there are 123.0 GW of RE installed vs. 85.9 GW conv., i.e. approx. 59% of all installed capacity is regenerative
- In 2030 the proportion will be around 75%
- Germany is a case study for future developments in other countries with a high share of RE
- Increasing need for measures to balance energy

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.5 Leistungsanteile Erneuerbare Energien, fossile Energien, Kernkraft in der EU

- In 2019 sind installiert 123,0 GW EE vs. 85,9 GW konv., d.h. ca. 59% aller installierten Leistung ist regenerativ
- In 2030 wird der Anteil schon ca. 75% betragen
- Deutschland ist eine Fallstudie für zukünftige Entwicklungen anderer Länder mit hohem Anteil EE
- Steigender Bedarf an Maßnahmen zum Energieausgleich



2. Future development

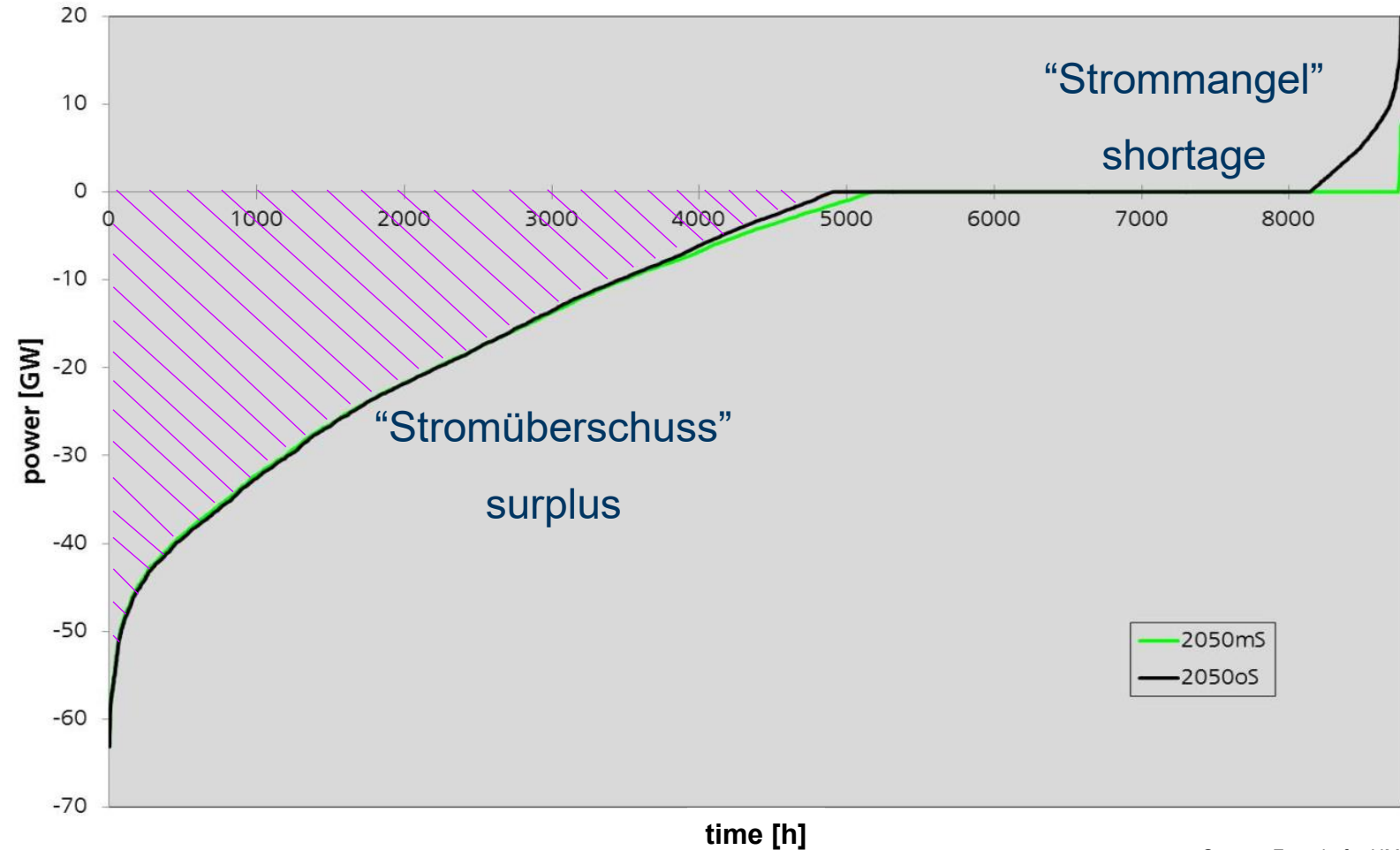
2.6 Ordered annual duration line: Electric energy system Germany 2050 (scenario)

- Electricity surplus exceeds in power and energy the shortage many times over

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.6 Geordnete Jahresdauerlinie: Stromsystem Deutschland in 2050 (Szenario)

➤ Stromüberschuss übersteigt in Leistung und Arbeit den Strommangel um ein Vielfaches



Source: Fraunhofer UMSICHT

2. Future development

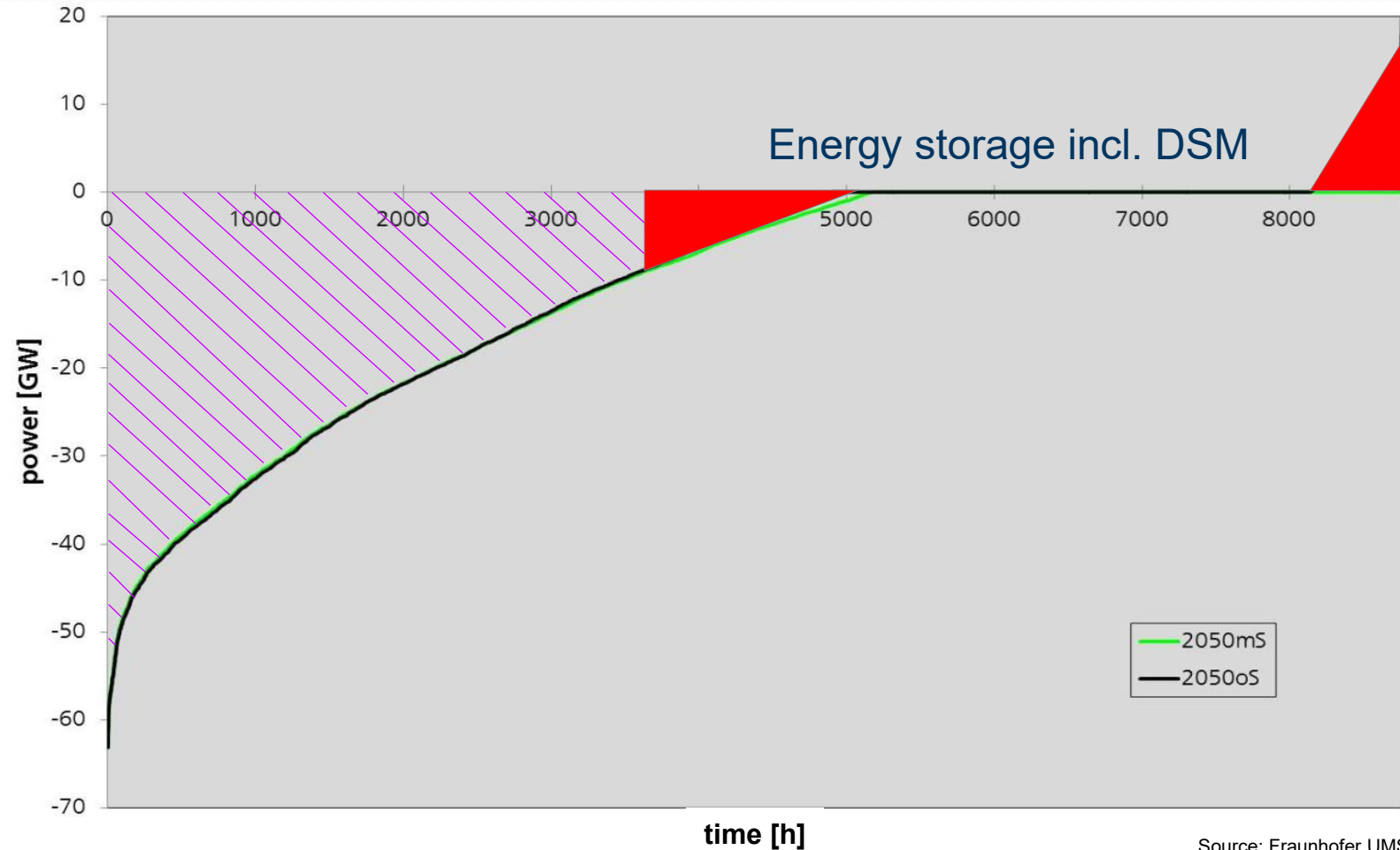
2.6 Ordered annual duration line: Electric energy system Germany 2050 (scenario)

- Energy storage (including Demand Side Management) makes it possible to compensate for electricity shortages, but only a small proportion of the surplus is needed for this

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.6 Geordnete Jahresdauerlinie: Stromsystem Deutschland in 2050 (Szenario)

➤ Energiespeicher (inkl. Demand Side Management) ermöglichen Strommangel auszugleichen, jedoch ist hierfür nur ein geringer Anteil des Überschusses vonnöten



Source: Fraunhofer UMSICHT

2. Future development

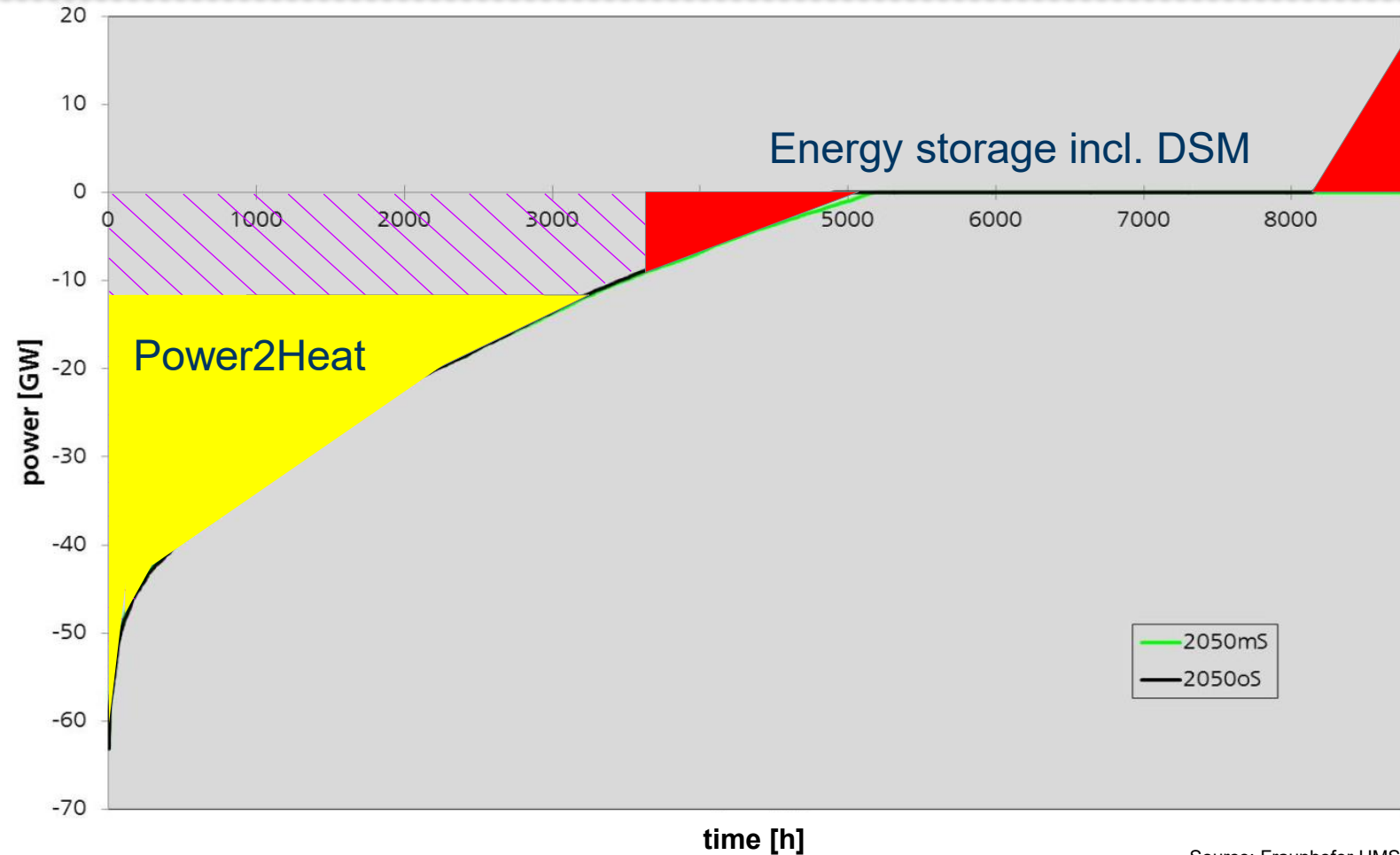
2.6 Ordered annual duration line: Electric energy system Germany 2050 (scenario)

- High load peaks and low full load hours require Power-to-X technologies with low investment costs: Power2Heat (direct heating, heat pump)

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.6 Geordnete Jahresdauerlinie: Stromsystem Deutschland in 2050 (Szenario)

➤ Hohe Lastspitzen und geringe Volllaststunden erfordern Power-to-X Technologien mit geringen Investitionskosten: Power2Heat (Direktheizung, Wärmepumpe)



Source: Fraunhofer UMSICHT

Energy Storage | #1 Introduction

2. Future development

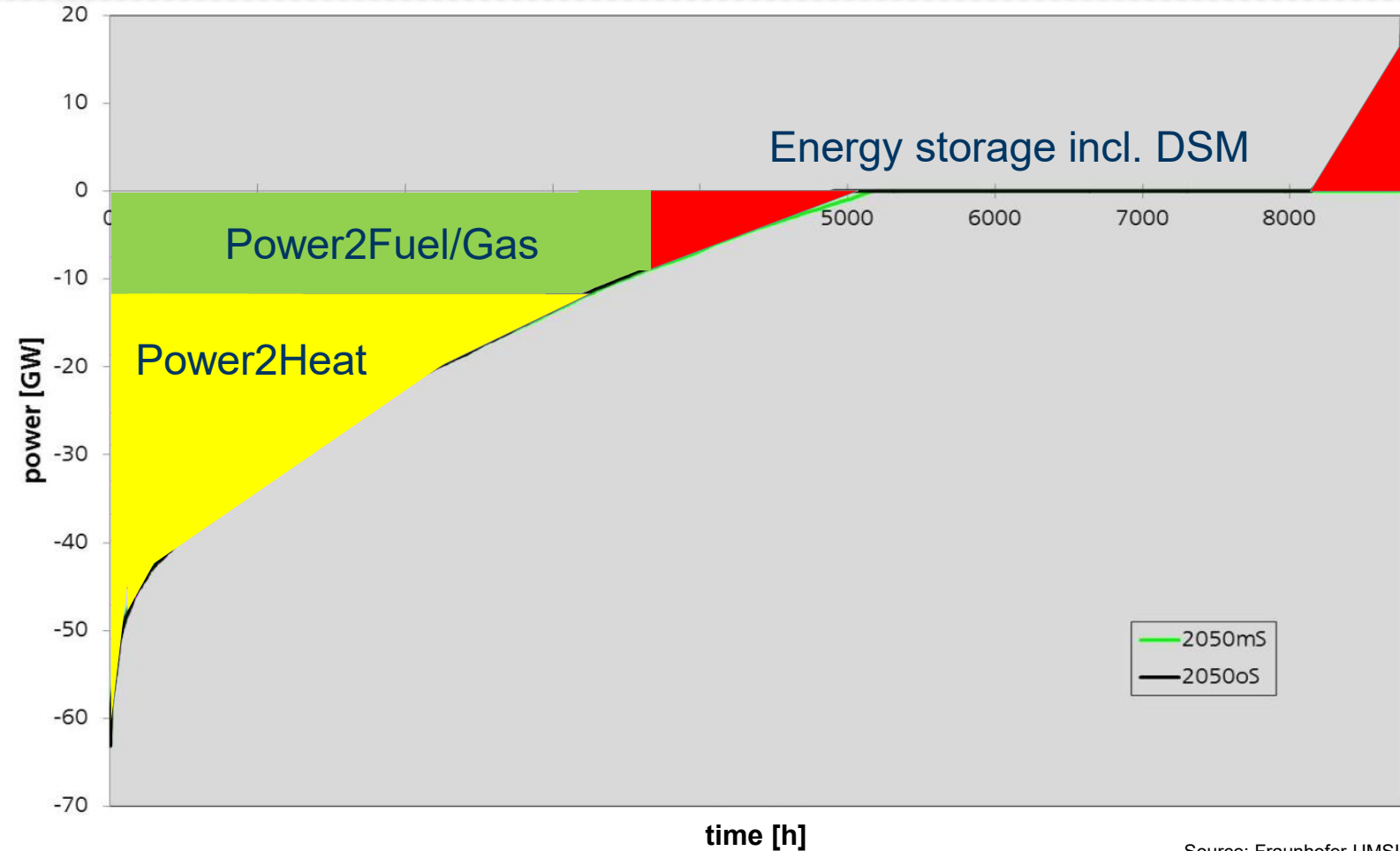
2.6 Ordered annual duration line: Electric energy system Germany 2050 (scenario)

- Low load peaks and higher full load hours enable higher-end Power-to-X technologies: Power2Fuel / Gas (Electrolysis Hydrogen, Liquid Fuels)

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.6 Geordnete Jahresdauerlinie: Stromsystem Deutschland in 2050 (Szenario)

➤ Geringe Lastspitzen und höhere Volllaststunden ermöglichen höherwertige Power-to-X Technologien: Power2Fuel/Gas (Elektrolyse-Wasserstoff, Flüssige Treibstoffe)



Source: Fraunhofer UMSICHT



2. Future development

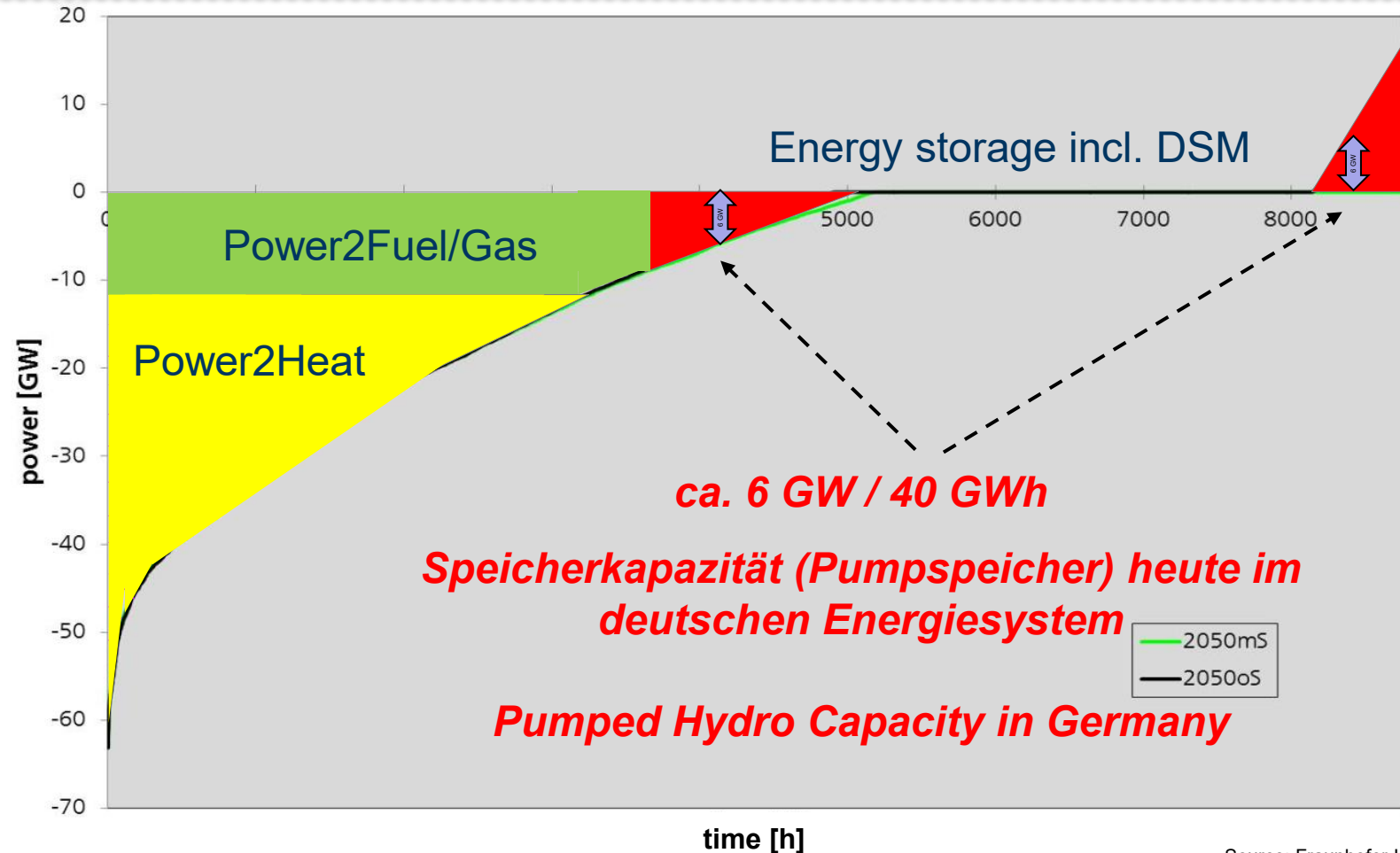
2.6 Ordered annual duration line: Electric energy system Germany 2050 (scenario)

- Existing energy storage (mainly pumped hydro storage; 6 GW) can only cover the storage demand to a fraction.

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.6 Geordnete Jahresdauerlinie: Stromsystem Deutschland in 2050 (Szenario)

➤ Bisherige Speicher (hauptsächlich Pumpspeicher;  $\Sigma$ : 6 GW) können den Speicherbedarf nur zu einem Bruchteil abdecken.



Source: Fraunhofer UMSICHT

2. Future development

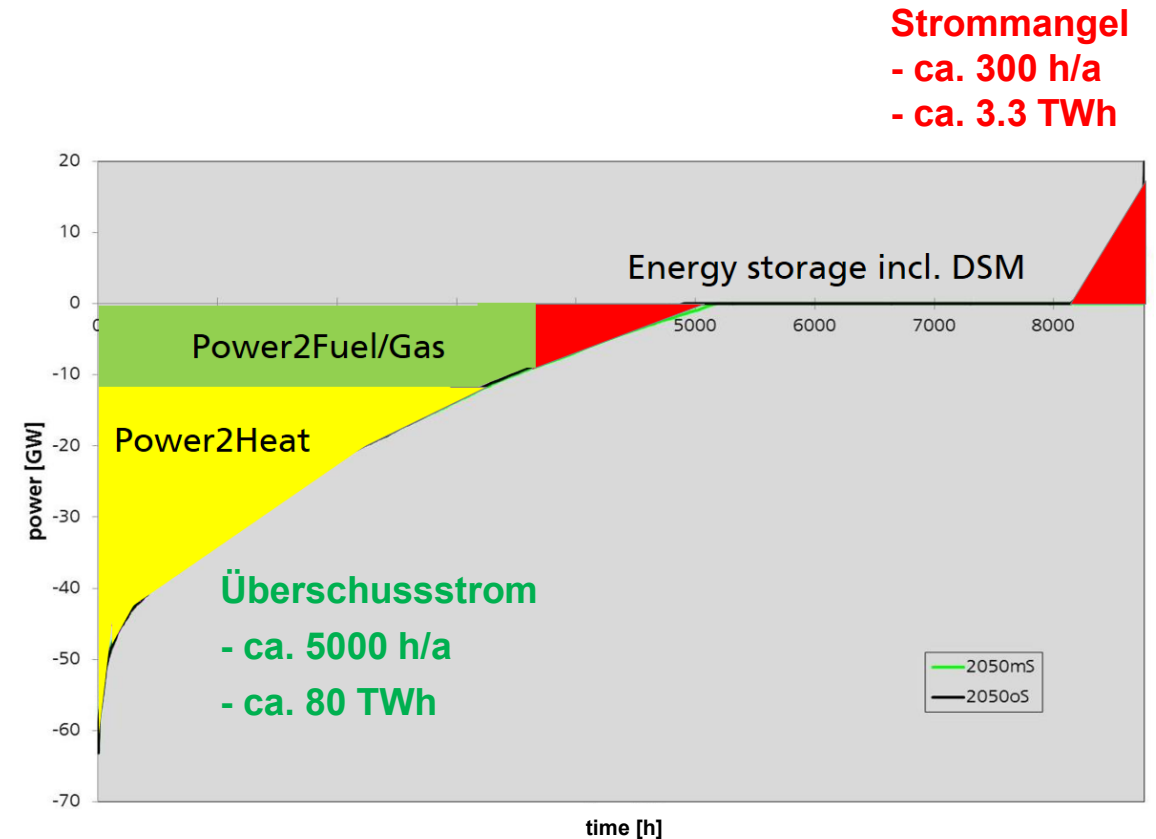
2.6 Ordered annual duration line: Electric energy system Germany 2050 (scenario)

- In the long term, there will be an extremely high "surplus" of electrical energy of 80 TWh (2050)
- This should be used by sector coupling in the heating or transport sector (heat pumps, electric cars)
- At the same time, up to 3.3 TWh of power shortages must be compensated with up to 18 GW of power
- Electrical energy storage and other compensation measures are necessary here

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.6 Geordnete Jahresdauerlinie: Stromsystem Deutschland in 2050 (Szenario)

- Langfristig entsteht ein extrem hoher „Überschuss“ an elektrischer Energie von 80 TWh (2050)
- Diese sollte durch Sektorkopplung im Wärme- oder Verkehrssektor genutzt werden (Wärmepumpen, Elektroauto)
- Zugleich müssen bis zu 3,3 TWh Strommangel ausgeglichen werden mit bis zu 18 GW Leistung
- Hier sind elektrische Energiespeicher und andere Ausgleichsmaßnahmen notwendig



2. Future development

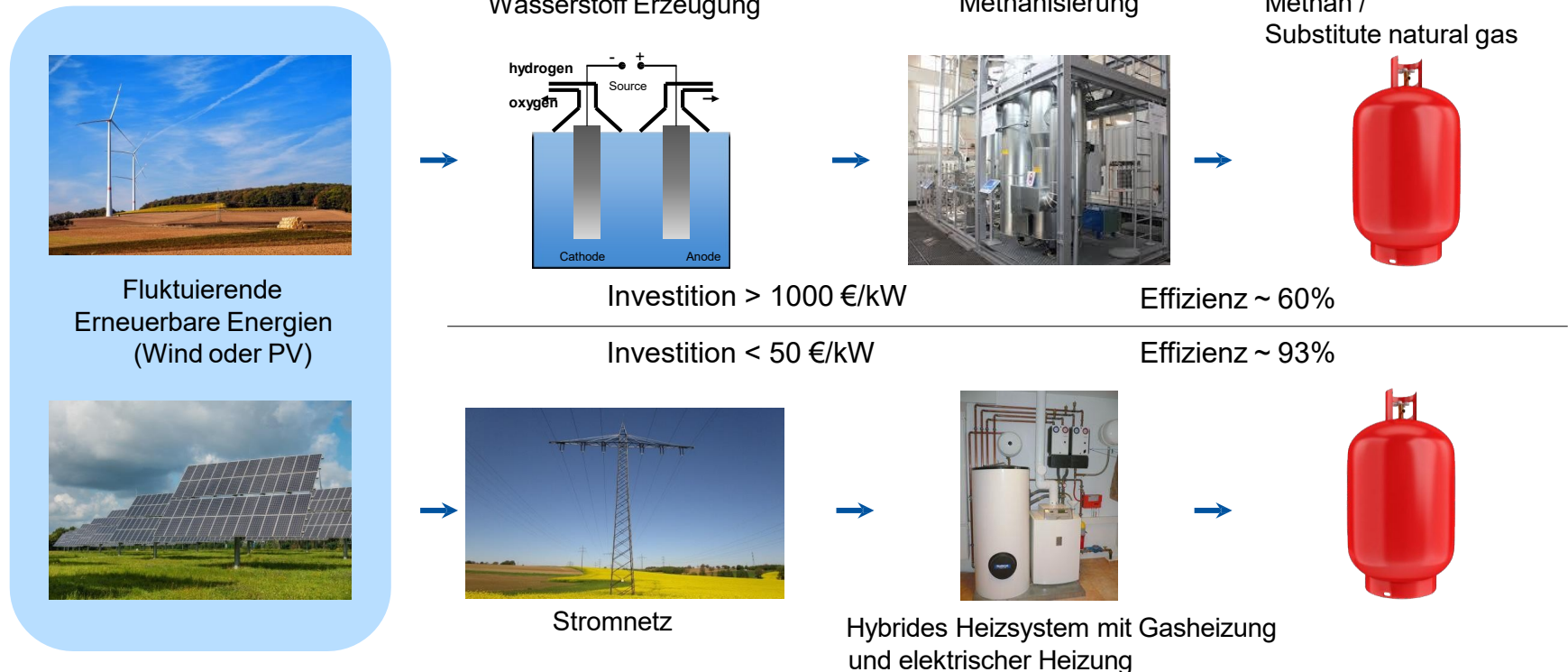
Excursus: Why Power2Heat can also be Power2Gas ...

- The direct generation of methane (Power2Gas) is less efficient and associated with high costs
- AVOIDING the consumption of methane has the same balance sheet as the production of methane and can be realized with high efficiency and low costs (Power2Heat) AS LONG as natural gas is still used to a large extent in the heating system.

## 2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

Exkurs: Warum Power2Heat auch Power2Gas sein kann...

- Die direkte Erzeugung von Methan (Power2Gas) ist von geringerer Effizienz und mit hohen Kosten verbunden
- Die VERMEIDUNG des Verbrauchs von Methan ist bilanziell dasselbe wie die Erzeugung von Methan und kann mit hoher Effizienz und geringen Kosten (Power2Heat) realisiert werden, SOLANGE noch Erdgas im Wärmesystem in hohem Maße genutzt wird.



2. Future Development

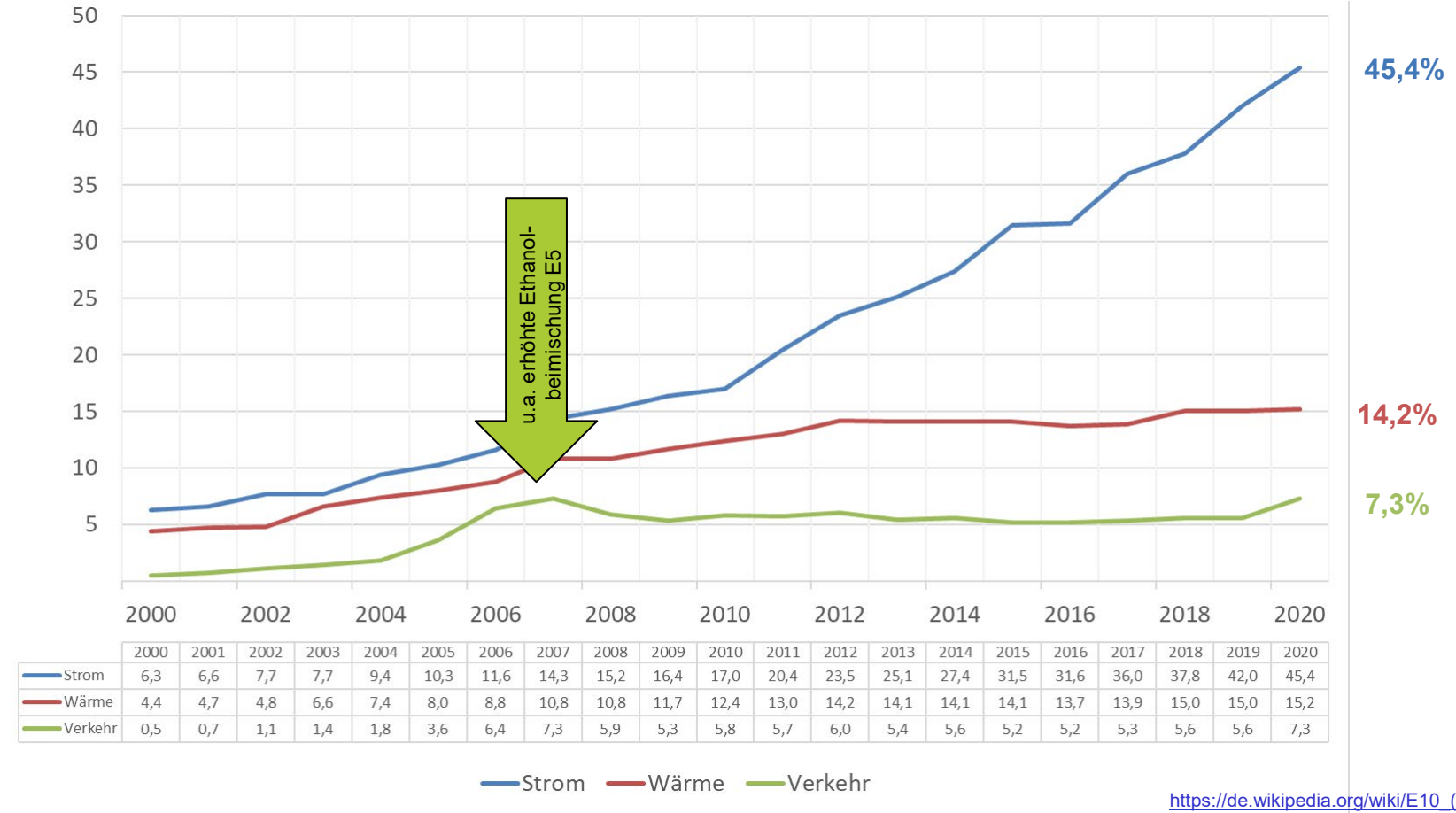
2.7 Share and its development of RES in the electricity, heating and transport sectors

- In the heating market and the transport sector there is still great potential for integrating renewable energies from the electricity sector

2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

2.7 Anteil [%] und Entwicklung von EE im Strom-, Wärme-, und Verkehrssektor

➤ Im Wärmemarkt und Verkehrssektor sind noch hohe Potenziale zur Integration Erneuerbarer Energien aus dem Stromsektor



[https://de.wikipedia.org/wiki/E10\\_\(Kraftstoff\)](https://de.wikipedia.org/wiki/E10_(Kraftstoff))

[https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2020-excel.xlsx;jsessionid=3261FDA31BF79B15D1D42BBB3AF81357?\\_blob=publicationFile&v=27](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2020-excel.xlsx;jsessionid=3261FDA31BF79B15D1D42BBB3AF81357?_blob=publicationFile&v=27)

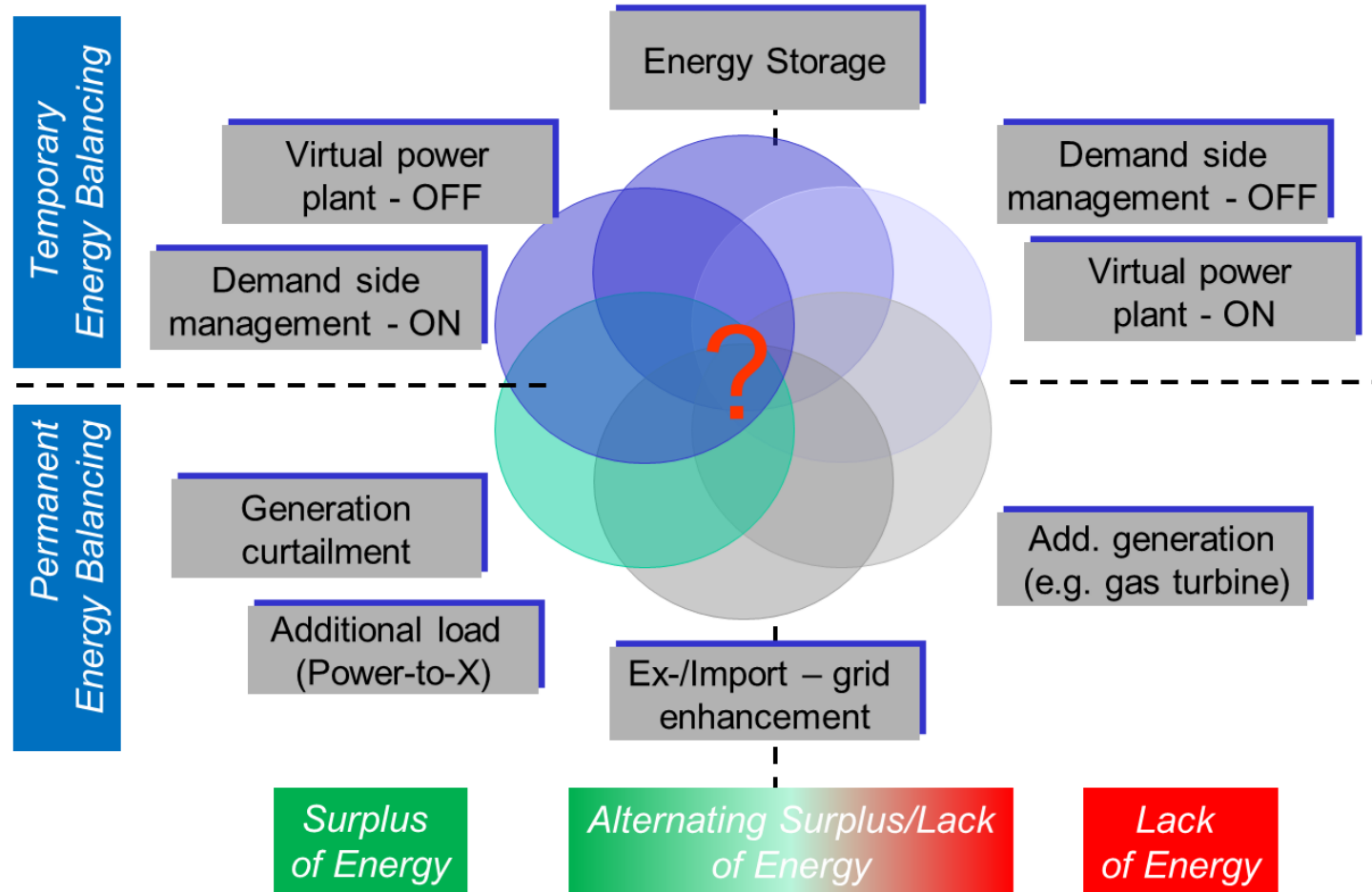
2. Future development  
2.8 Options of temporal, spatial, permanent energy balancing

Differentiation of measures according to temporary / permanent or surplus / shortage

## 2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

### 2.8 Optionen des zeitlichen, räumlichen, permanenten „Energy Balancings“

➤ Unterscheidung der Maßnahmen nach temporär/permanent bzw. Überschuss/Mangel



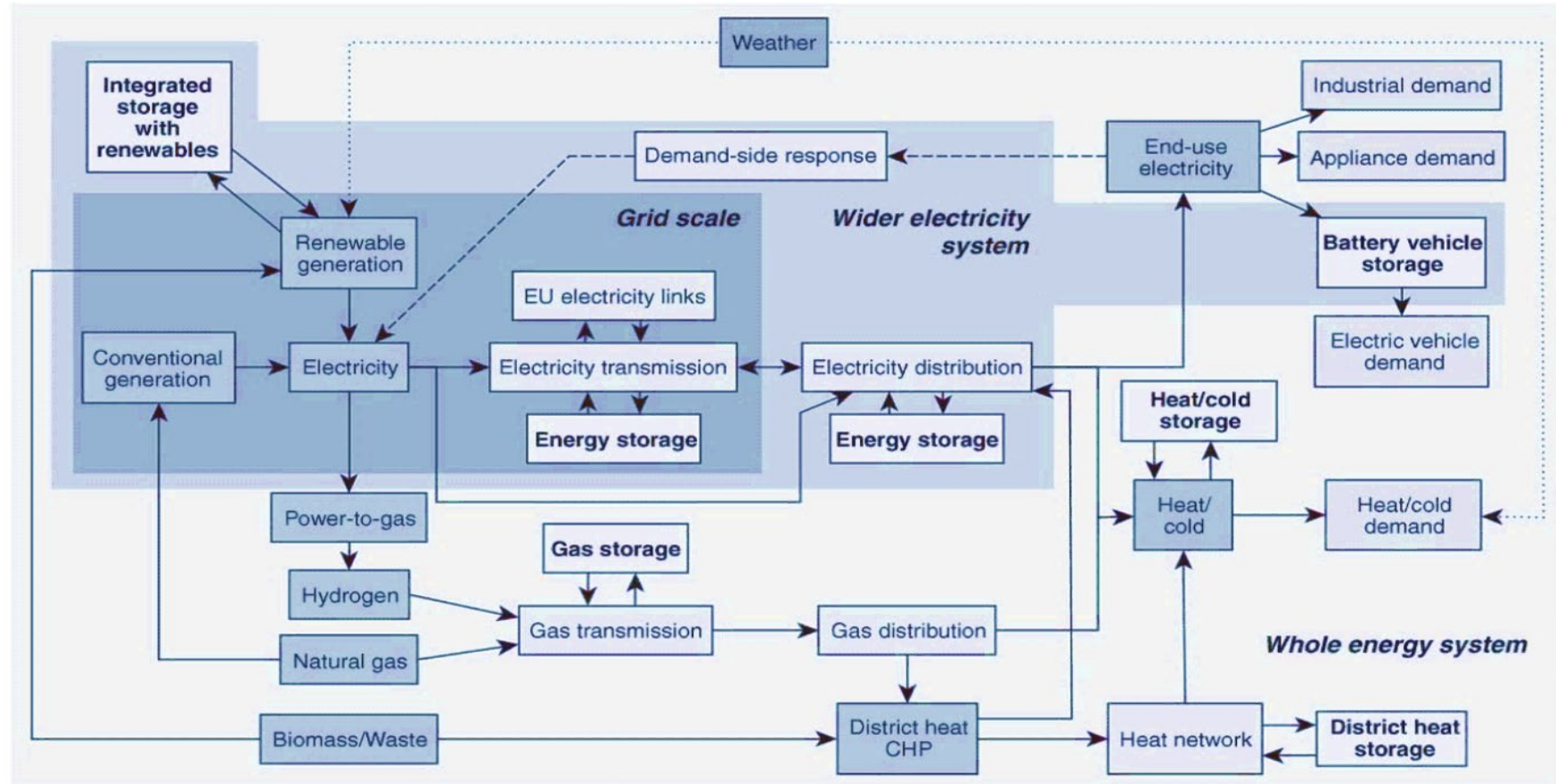
Source: Fraunhofer UMSICHT



2. Future development  
 2.9 Potential role of energy storages in a  
 "low carbon energy system"

## 2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

### 2.9 Potenzielle Rolle von Energiespeichern im „Low Carbon Energy System“



Source: Paul E. Dodds\*, Seamus D. Garvey: «The Role of Energy Storage in Low-Carbon Energy Systems» in Storing Energy. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803440-8.00001-4> Copyright © 2016 Elsevier Inc. All rights reserved.

Energy Storage | #1 Introduction



2. Future development

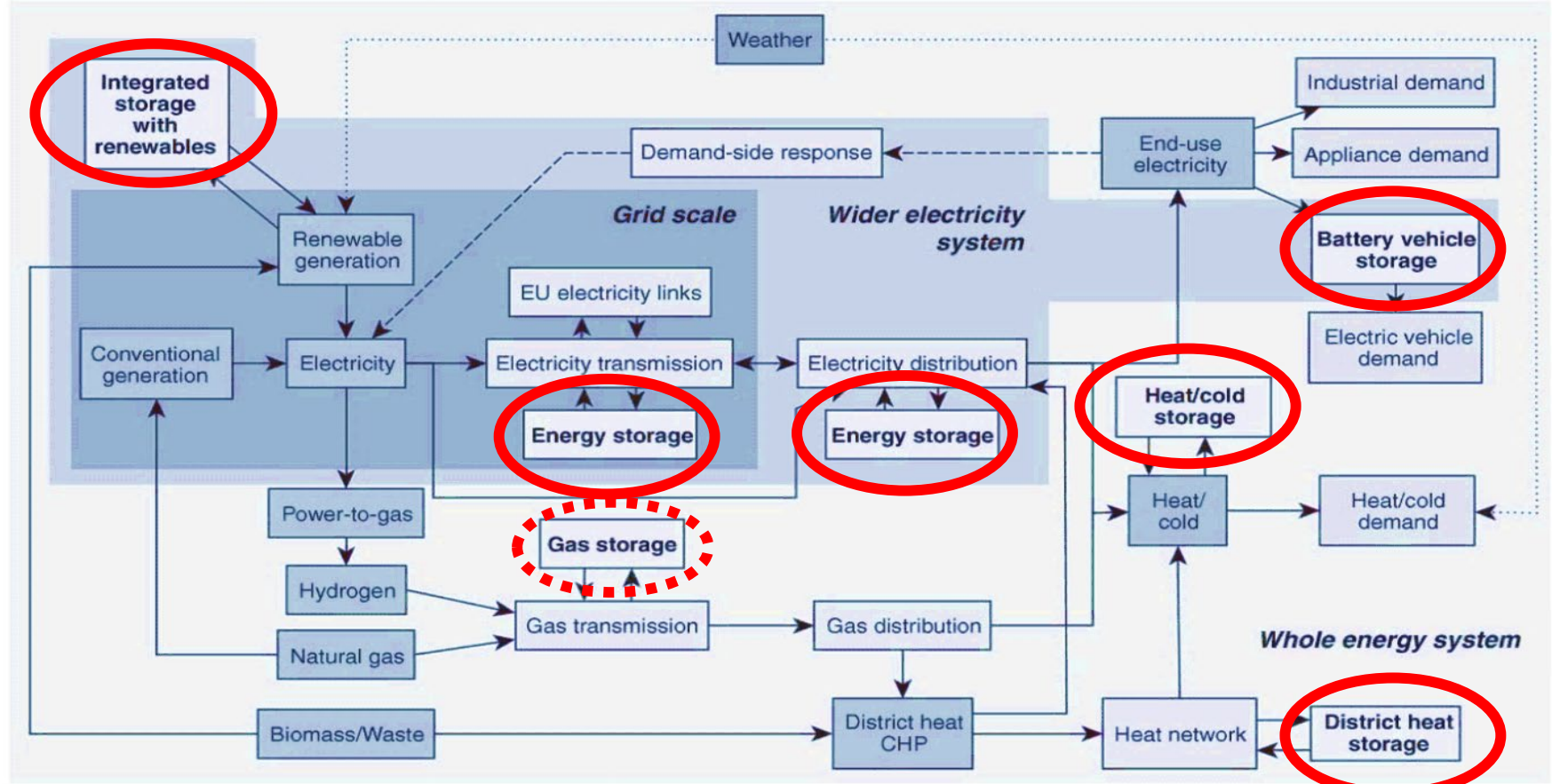
2.9 Potential role of energy storages in a "low carbon energy system"

Energy storage devices can store chemical, thermal, electrical energy, both centrally and in the network or locally

## 2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems

### 2.9 Potenzielle Rolle von Energiespeichern im „Low Carbon Energy System“

➤ Energiespeicher können chemische, thermische, elektrische Energie speichern, sowohl zentral, als auch im Netz oder dezentral



Source: Paul E. Dodds\*, Seamus D. Garvey: «The Role of Energy Storage in Low-Carbon Energy Systems» in Storing Energy. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803440-8.00001-4> Copyright © 2016 Elsevier Inc. All rights reserved.

**2. Future development****2.10 Summary / Take aways**

1. The share of RE in the electricity mix should be 65% in 2030 and - in contrast to the share of total energy demand (2019: 17%, target 2030: 30%) - is currently more than fulfilled.
2. The addition takes place with PV, wind and especially wind offshore. Hydropower is stagnating and biomass is even expected to decline slightly.
3. The energy supply costs are now competitive worldwide (and also in Germany) or even cheaper than conventional. Energy sources.
4. In no other EU country does the energy system change as quickly to RE as in Germany, i.e. the challenges come here first.
5. With a high degree of EE, there is less a power shortage, which can be compensated for by storage, but more often a "surplus" that has to be used sensibly (Power2X).
6. The heating / transport sector in Germany has comparatively low shares of RE (14.5% and 5.6%) and the growth dynamic is also low.
7. Energy storage is - among other solutions - only one energy compensation option that is available on the market.
8. Energy storage systems can be installed as thermal, material or electrical storage systems at generators, in the network, in the distribution network or at the consumer.

**2. Die zukünftige Entwicklung des deutschen Energiesystems****2.10 Kurzzusammenfassung / „Take aways“**

1. Der Anteil EE (TWh) im deutschen Strommix soll 2030: 65% betragen und ist – im Gegensatz zum Anteil am Gesamtenergiebedarf (2019: 17%, Ziel 2030: 30%) – aktuell über erfüllt.
2. Der Zubau findet bei PV, Wind und vor allem Wind off-shore statt. Wasserkraft stagniert und Biomasse ist voraussichtlich sogar leicht rückläufig.
3. Die Energiebereitstellungskosten (€/kWh) sind weltweit (und auch in Deutschland) inzwischen konkurrenzfähig bzw. sogar günstiger als konv. Energiequellen.
4. Das Energiesystem ändert sich in keinem anderen EU Land ähnlich schnell zu EE wie in Deutschland, d.h. die Herausforderungen treten hier zuerst auf.
5. Bei hohem Ausbaugraden EE tritt immer weniger ein Strommangel auf, der bspw. durch Speicher ausgeglichen werden wird, sondern immer häufiger auch ein „Überschuss“ auf, der sinnvoll genutzt werden muss (Power2X).
6. Der Wärme- und Verkehrssektor in Deutschland hat vglw. geringe Anteile EE (14,5% bzw. 5,6%) und auch die Wachstumsdynamik ist gering ausgeprägt.
7. Energiespeicher sind – neben anderen Lösungen – nur eine Energieausgleichsoption, die am Markt verfügbar ist.
8. Energiespeicher können sowohl als thermische, stoffliche oder elektrische Speicher bei Erzeugern, im Netz, im Verteilnetz oder auch beim Verbraucher installiert werden.

**Prof. Dr. Christian Doetsch**

Lehrstuhl »Cross Energy Systems«

c/o Fraunhofer UMSICHT  
+49 208 8598-1195

christian.doetsch@rub.de

QR-Code: Business Card



# ORCA.nrw

Technology  
Arts Sciences  
TH Köln

RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM

RUB

Hochschule  
Bonn-Rhein-Sieg

Hochschule Düsseldorf  
University of Applied Sciences  
HSD

ISEA

Stromrichter-  
technik und  
Elektrische  
Antriebe

RWTH AACHEN  
UNIVERSITY

FH AACHEN  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ein Kooperationsvorhaben empfohlen durch die:



INNOVATION DURCH KOOPERATION

Gefördert durch:

Ministry of Culture and Science  
of the State of  
North Rhine-Westphalia



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.  
All logos and explicitly marked elements used are excluded from this license. [www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0](http://www.creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0)