

„Brauchen wir für die Energiewende den schnellen Ausbau der Windenergie?“

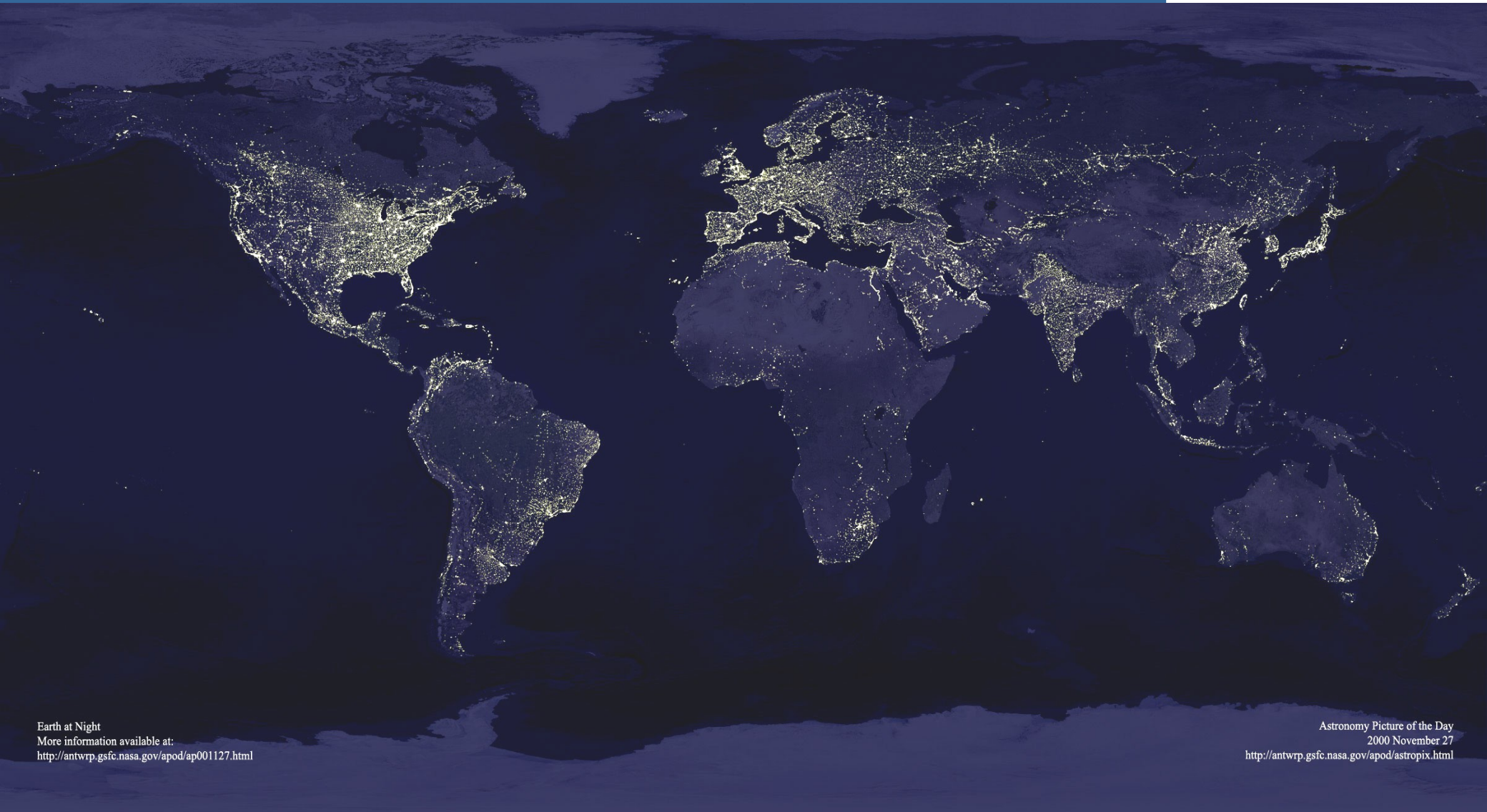
**Prof. Dr. Harald Weber
Dr.-Ing. Ibrahim Nassar
Dipl.-Ing. Christian Ziems**

Institut für Elektrische Energietechnik
Universität Rostock

16. Juni 2015
Hochschule Wismar

Elektrische Energie und die Verteilung des Reichtums

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

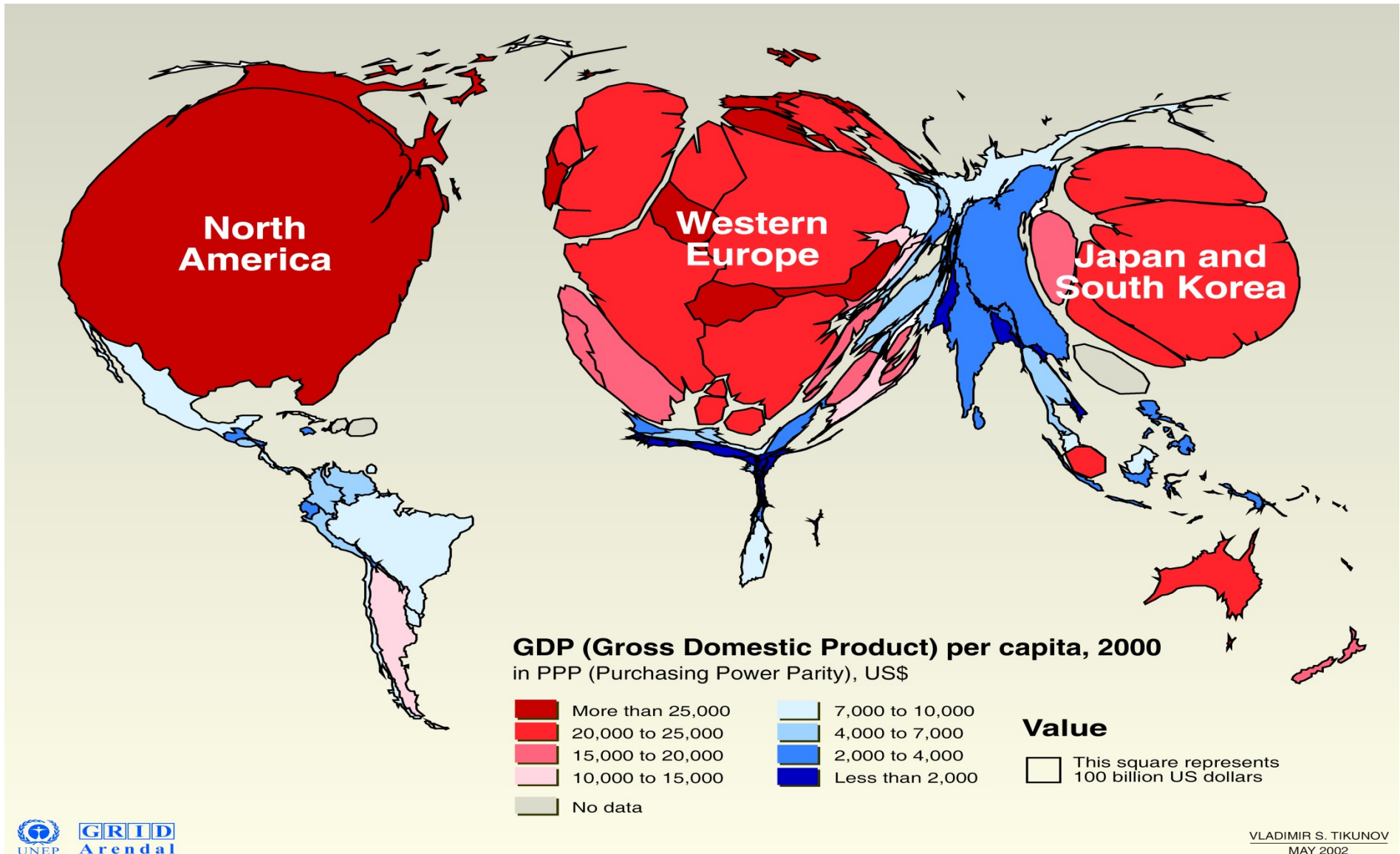


Earth at Night
More information available at:
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap001127.html>

Astronomy Picture of the Day
2000 November 27
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html>

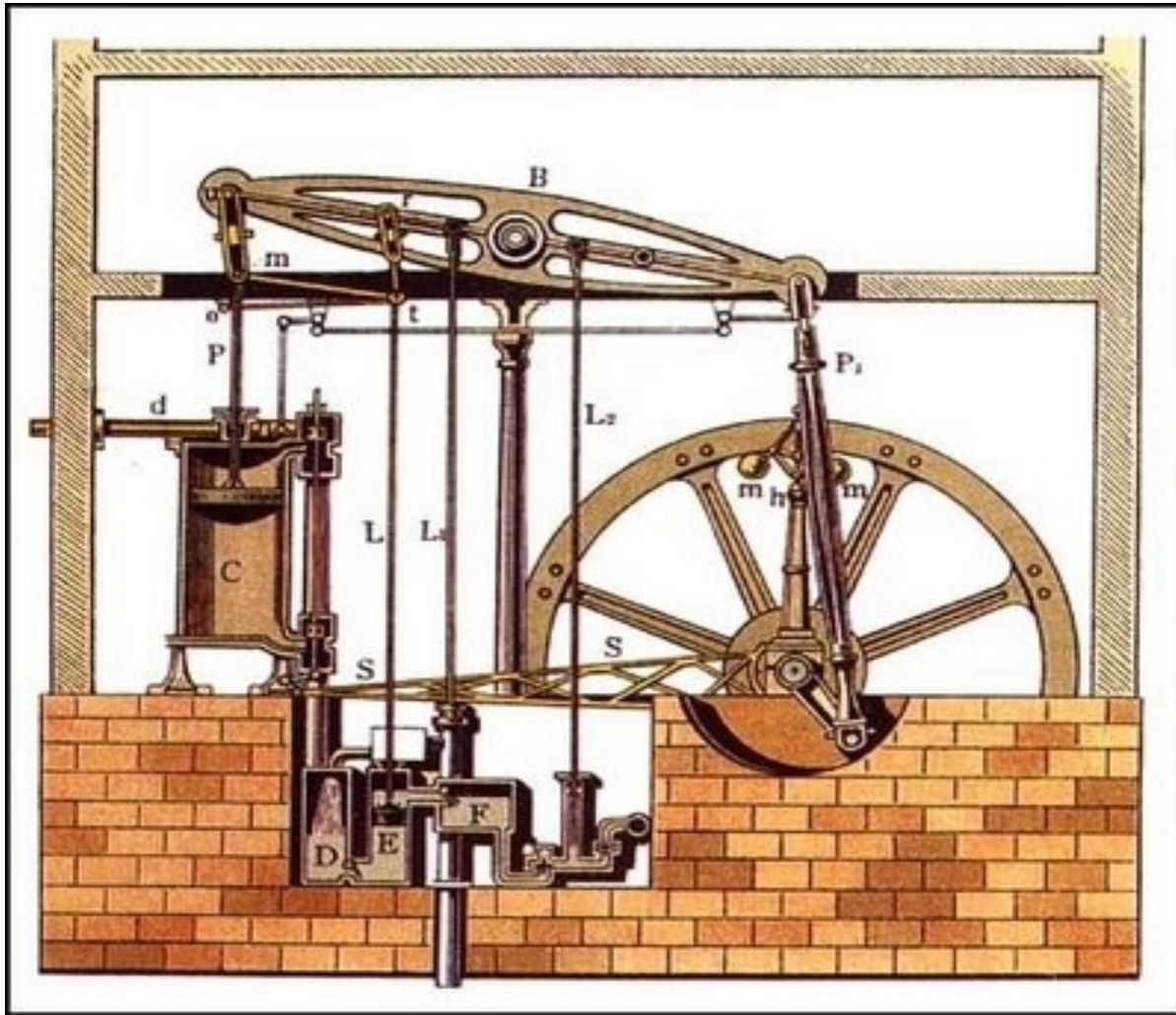
AN ALTERNATIVE VIEW OF THE WORLD

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

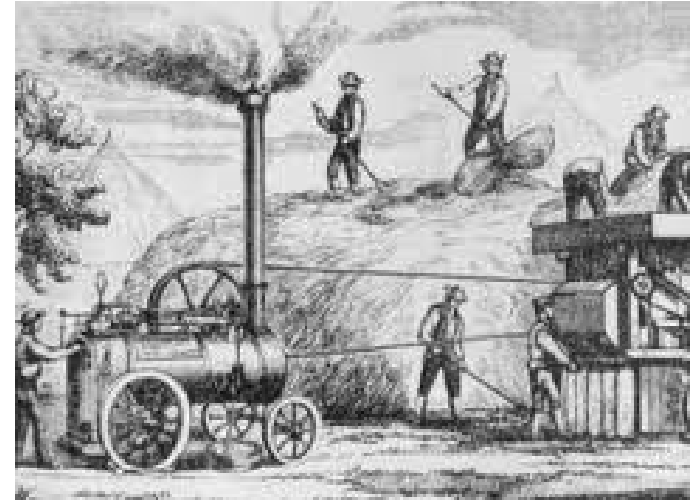


1769: James Watt und die Totalveränderung der Welt

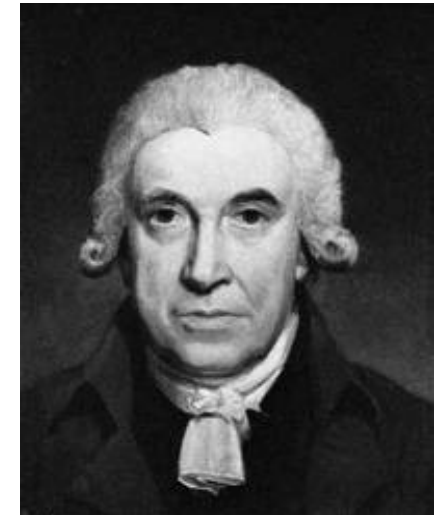
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



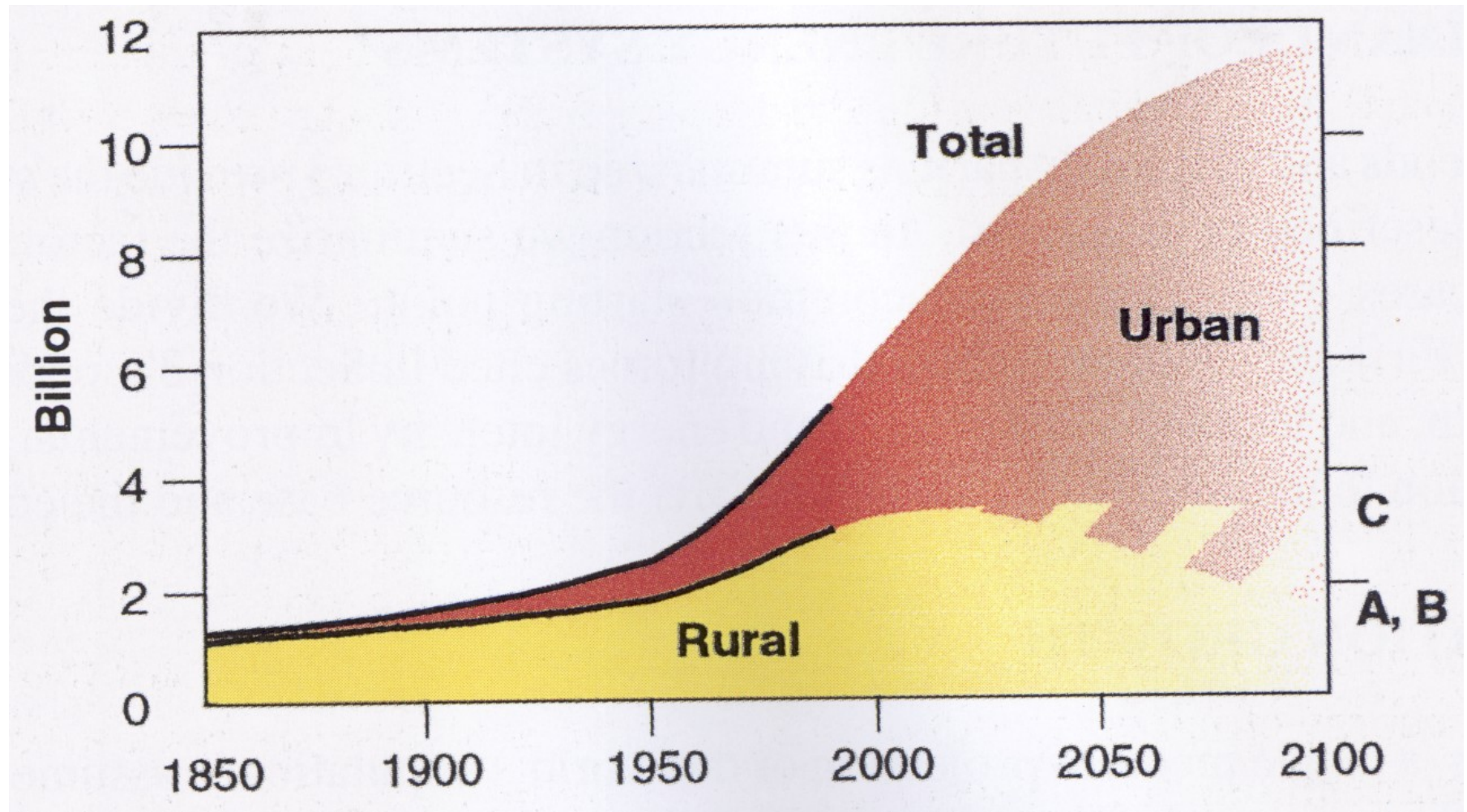
Dampfmaschine nach James Watt

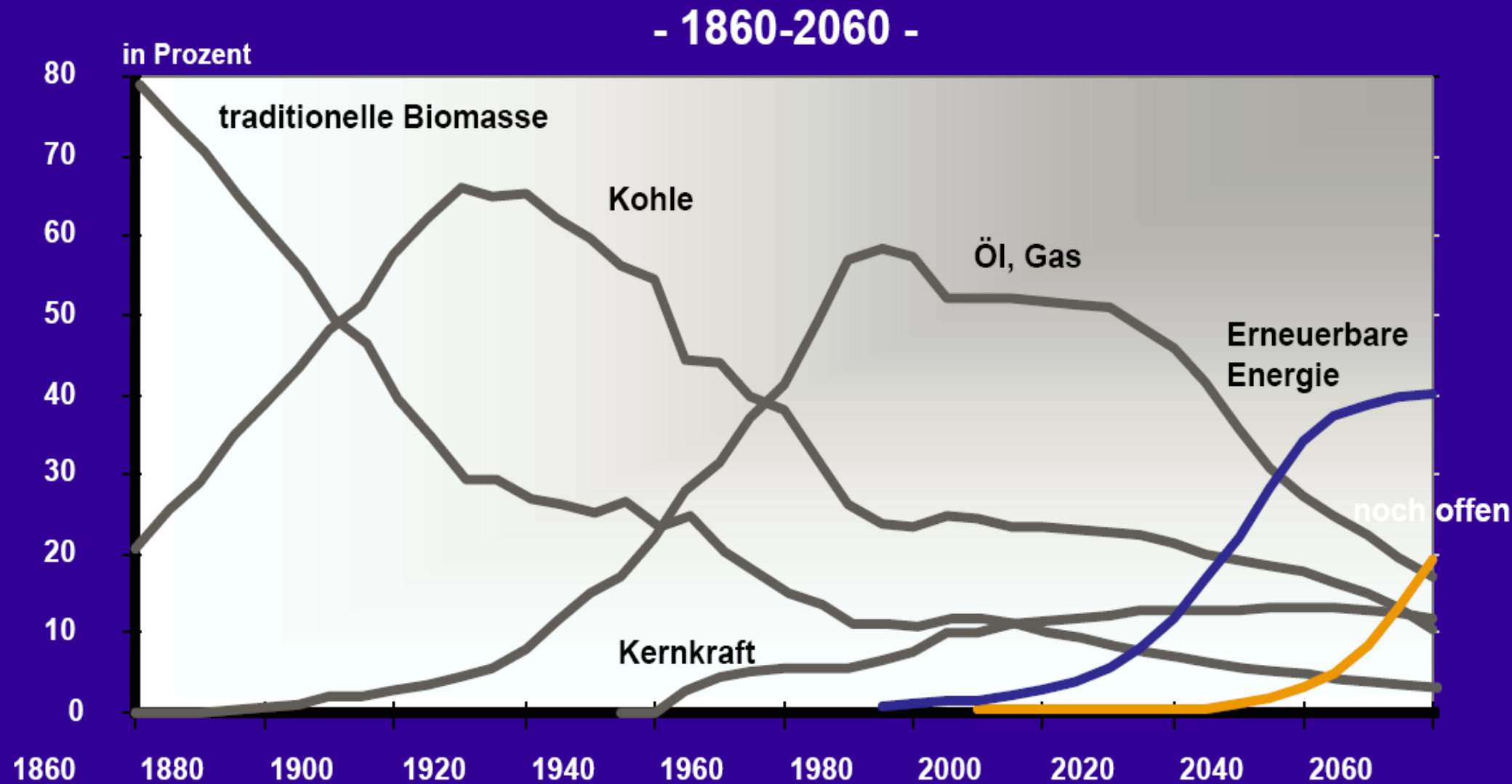


Arbeit durch Feuer: Dreschmaschine



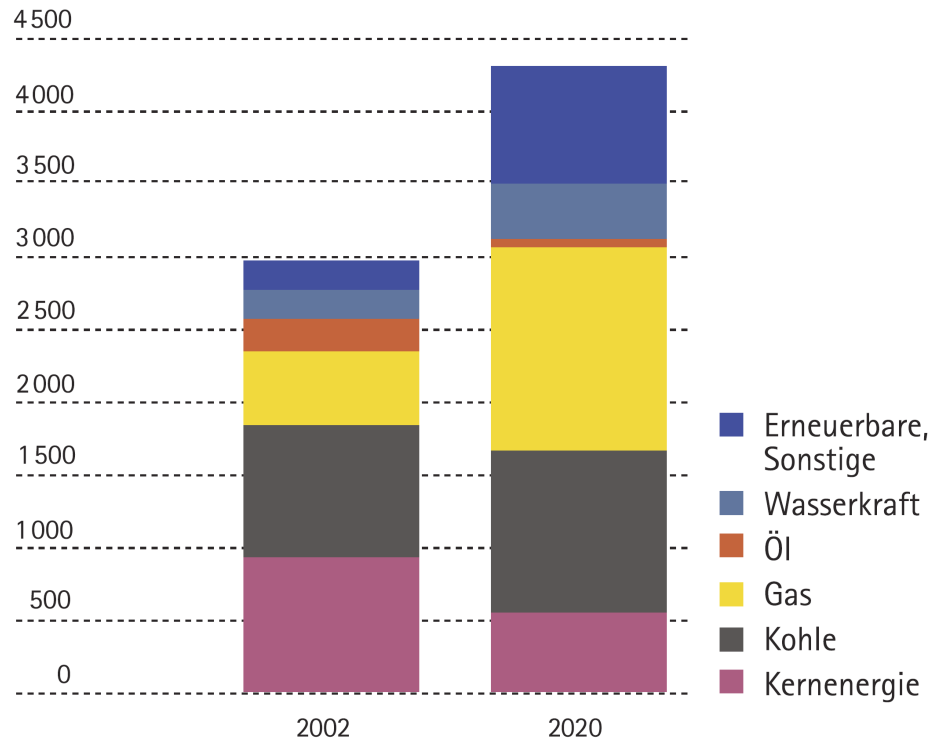
James Watt





Erwarteter Zuwachs der Stromerzeugung in 10⁹ kWh (TWh) - in der EU 25

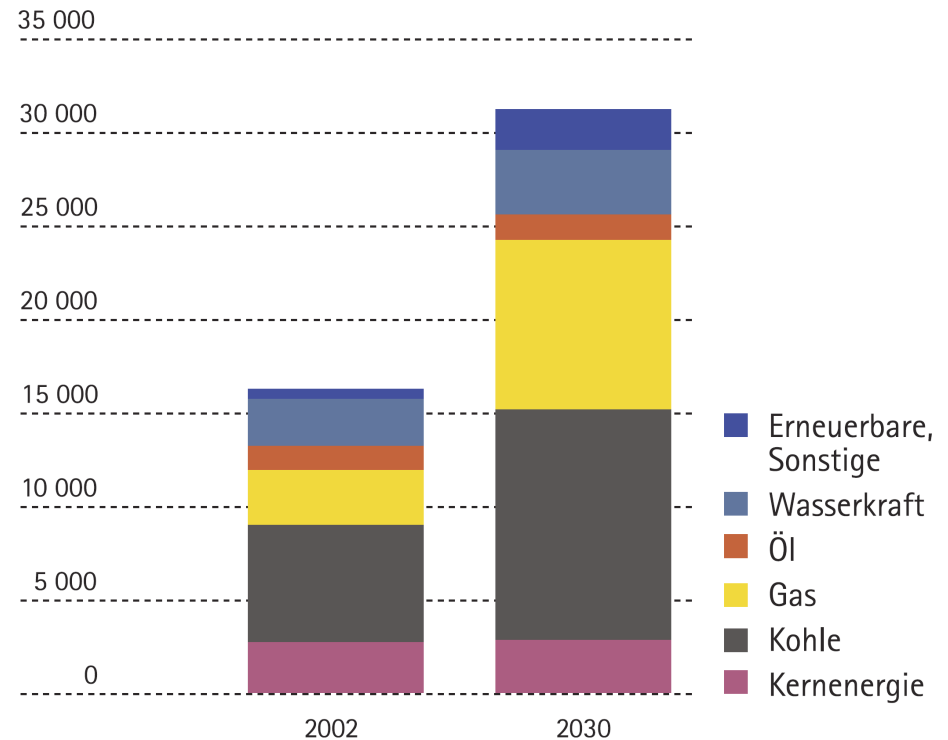
+ 52 %



Quelle: E.ON Ruhrgas/IEA

Erwarteter Zuwachs der Stromerzeugung in 10⁹ kWh (TWh) - weltweit

+ 97 %

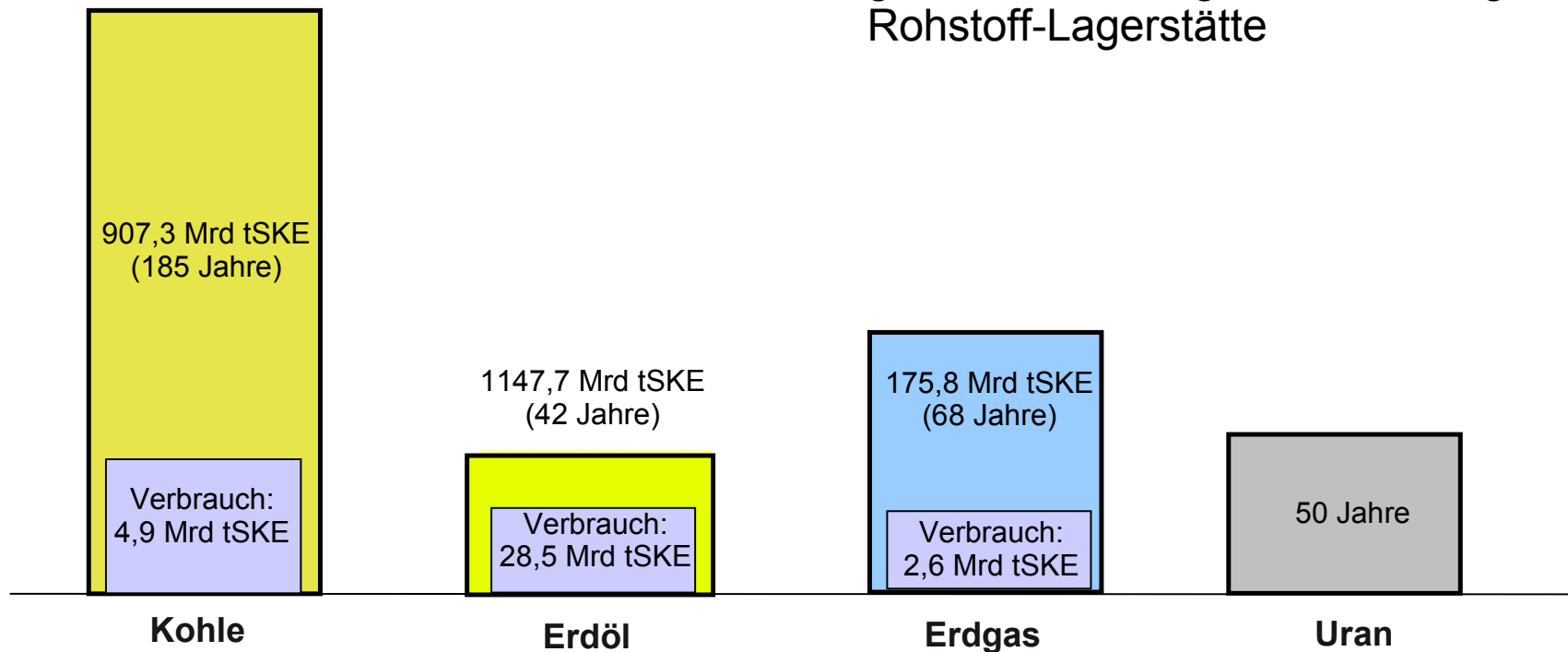


Quelle: E.ON Ruhrgas/IEA

Fossile Reserven sind endlich: Reichweiten Kohle, Öl und Gas

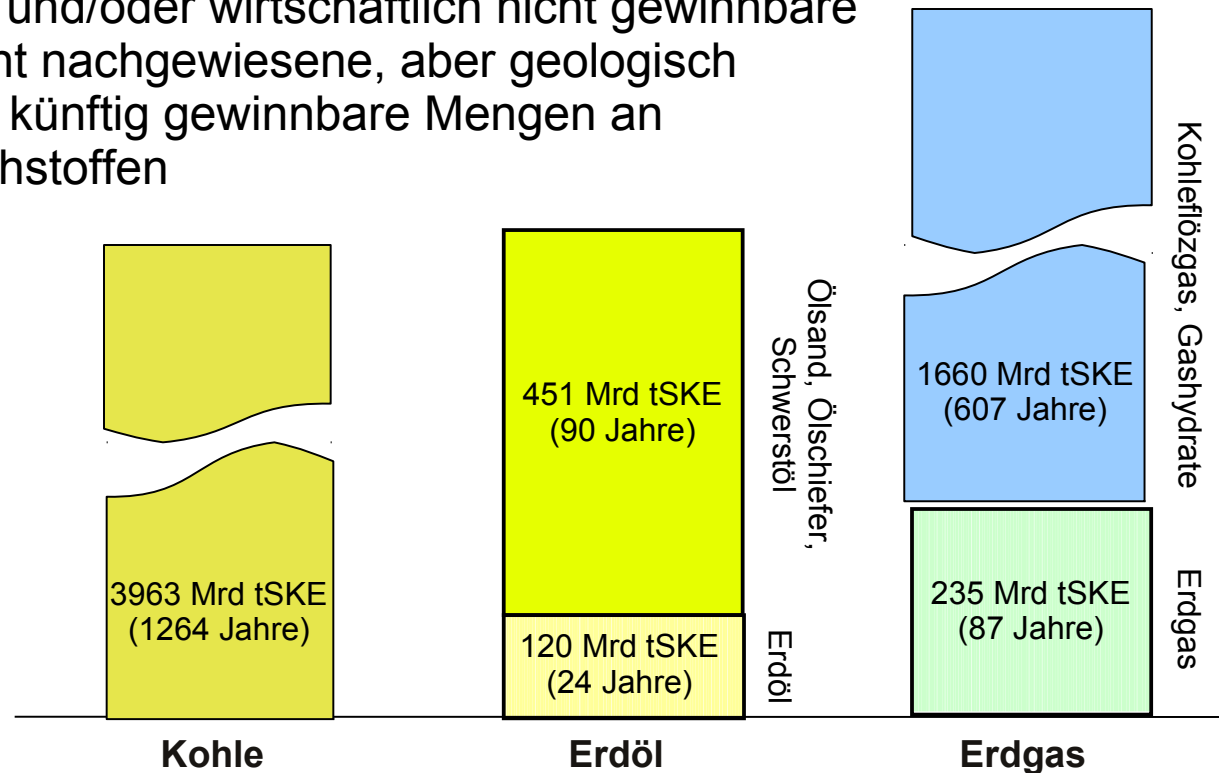
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

Reserven: Zu heutigen Preisen und mit heutiger Technik wirtschaftlich gewinnbare Mengen einer Energie-Rohstoff-Lagerstätte



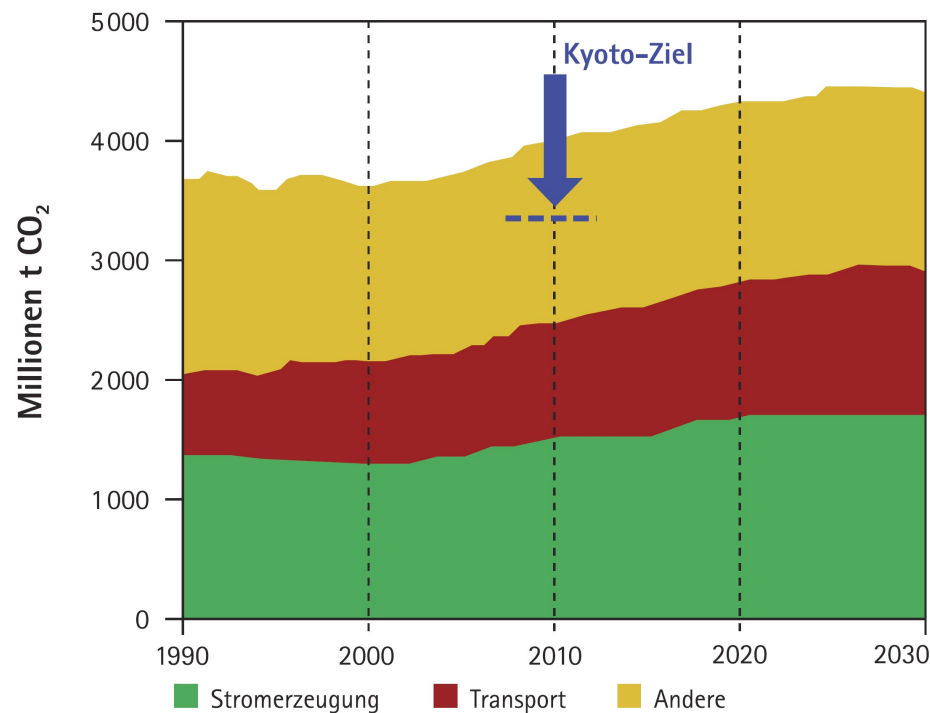
Fossile Ressourcen sind ebenfalls endlich: Reichweiten Kohle, Öl und Gas

Ressourcen: nachgewiesene, aber derzeit technisch und/oder wirtschaftlich nicht gewinnbare sowie nicht nachgewiesene, aber geologisch mögliche, künftig gewinnbare Mengen an Energierohstoffen



CO₂-Emissionen der EU 25

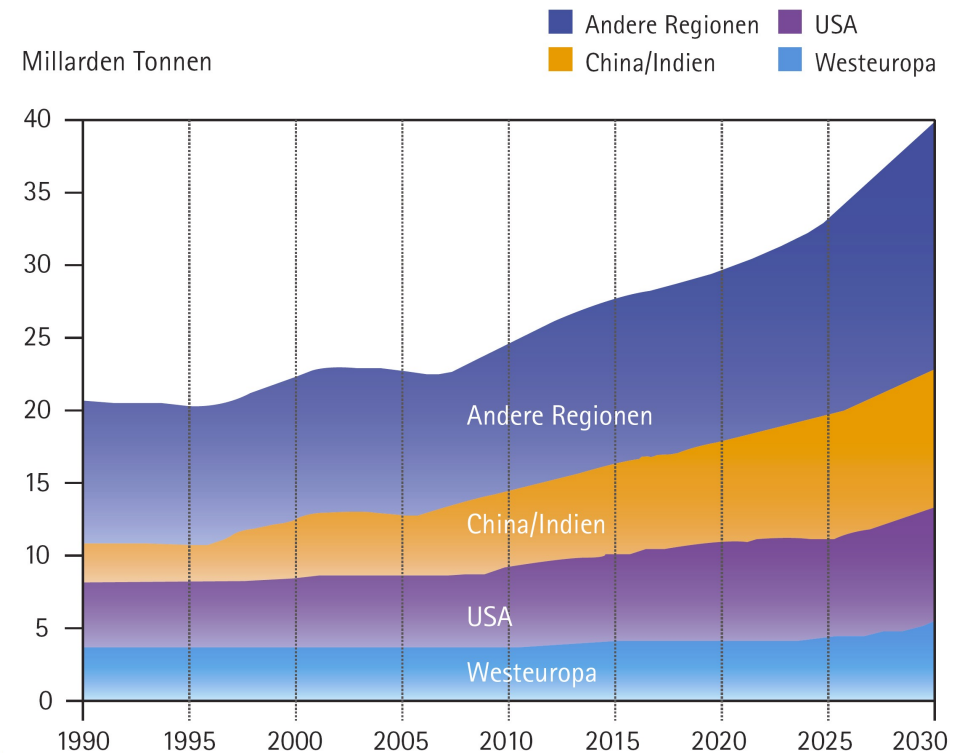
1990 bis 2030 nach Sektoren



Quelle: Energy Information Administration/International Energy Outlook 2004

Entwicklung der weltweiten CO₂-Emissionen

1990 bis 2030 nach Regionen



Quelle: Energy Information Administration/International Energy Outlook 2004

- Motivation:**
- Ersetzen fossiler Energieträger durch regenerative Energieträger
 - Massive Reduzierung des CO₂ Ausstoßes
 - Keine weitere Produktion radioaktiver Abfälle
 - Gefahr von Nuklearunfällen wie Fukushima 2011 ausschließen

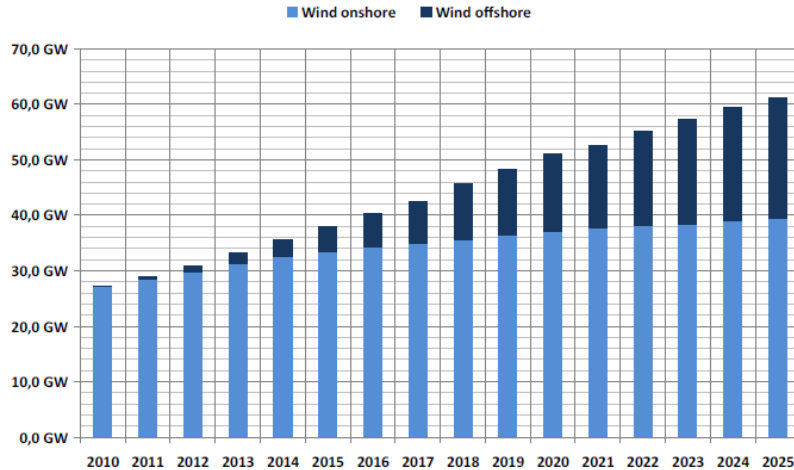
- Ziele:**
- CO₂ Ausstoß in Deutschland bis 2050 um 80% reduzieren
 - Kernenergieausstieg bis 2022
 - Erhöhung des Anteils der Erneuerbaren Energien von heute 18% auf 40% im Jahr 2020 und auf 80% bis 2050

- Herausforderungen:**
- Maximal mögliche direkte Nutzung von regenerativer Energie
 - Maximale Ausnutzung der bestehenden Potentiale
 - Wegen der Verluste nur so viel speichern wie notwendig
 - Probleme durch die Übertragung der Leistung über große Entfernungen
 - Balancierung der intermittierenden Einspeisung durch thermische Kraftwerke
 - Sicherstellen der Versorgungssicherheit und Systemstabilität

Entwicklungstrend von Windkraft- nutzung und Photovoltaik in Deutschland

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

Spitzenlast Deutschland: ca. 80 GW (konstant bleibend erwartet)
Erwartete installierte Leistung bis 2025

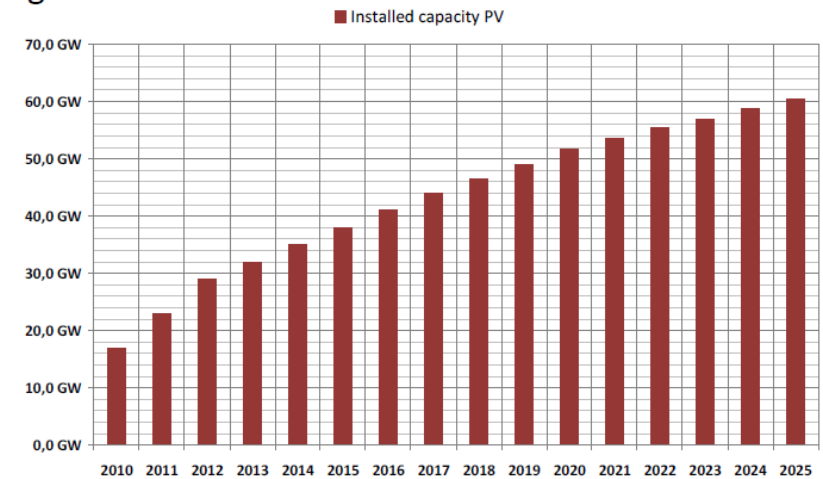


Installiert 2020:

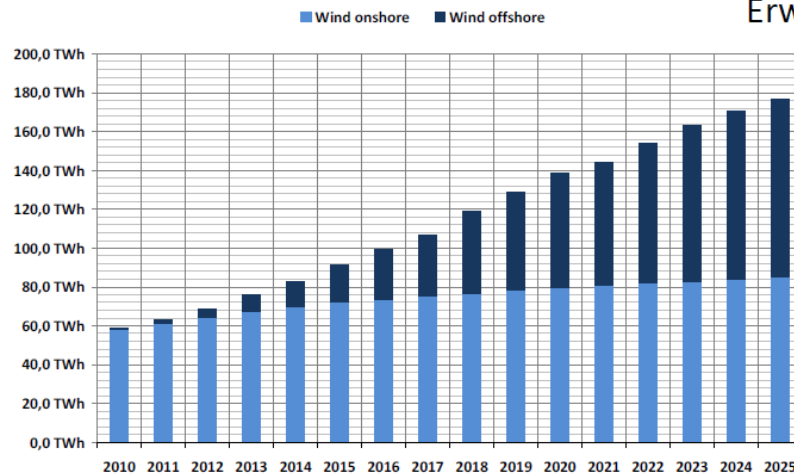
Wind PV

51,0 GW + 51,7 GW

Σ 102,7 GW



Stromverbrauch Deutschland 2011: app. 600 TWh (konstant bleibend erwartet)
Erwartete "erntbare" Arbeit bis 2025

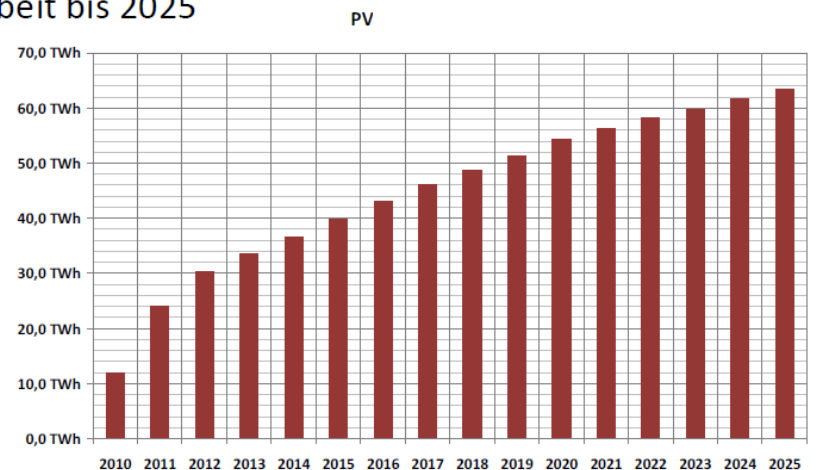


Ertrag 2020:

Wind PV

138,8 TWh + 54,2 TWh

Σ 193 TWh

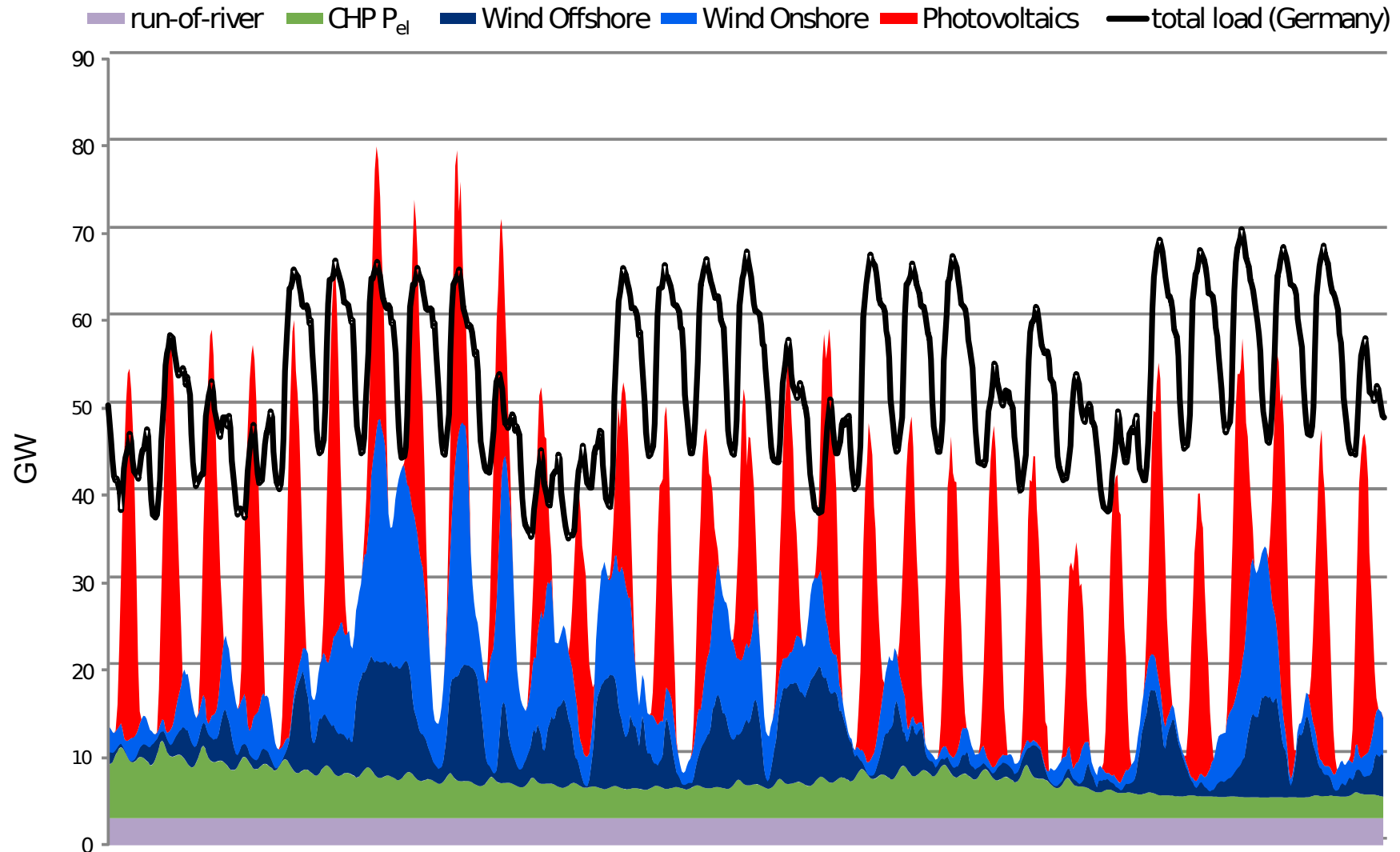


1. **Balancierungsstabilität:** Durch Gradientenanstieg und Prognosefehler wird die Bereitstellung der Balancierungsleistung durch geeignete konventionell Kraftwerke immer schwieriger was zur Inanspruchnahme der Sekundärregelung führt (Gefährlicher Regelleistungsmangel im Störfall).
2. **Spannungsstabilität:** Durch hohen Leistungstransport der Windkraftanlagen in Verbindung mit fehlenden Leitungs- und Kompensationskapazitäten erfolgt im Drehstromsystem ein starkes Spannungsgefälle von Nord nach Süd (Überlast- und Kollapsgefahr).
3. **Primärreglerstabilität** Wind- und Photovoltaik-Anlagen sind reine Arbeitserntemaschinen, sie stellen weder Schwungmasse noch Primärregelleistung zur Verfügung. Dadurch wird es zu wesentlich größeren und schwingenderen Frequenzabweichungen im Störfall kommen (Unterfrequenzproblem, Verschleiß in regelnden Kraftwerken sowie Reduktion der Frequenzstabilität).

Charakteristik der intermittierenden und anderer nicht-dispatchbarer Erzeugung

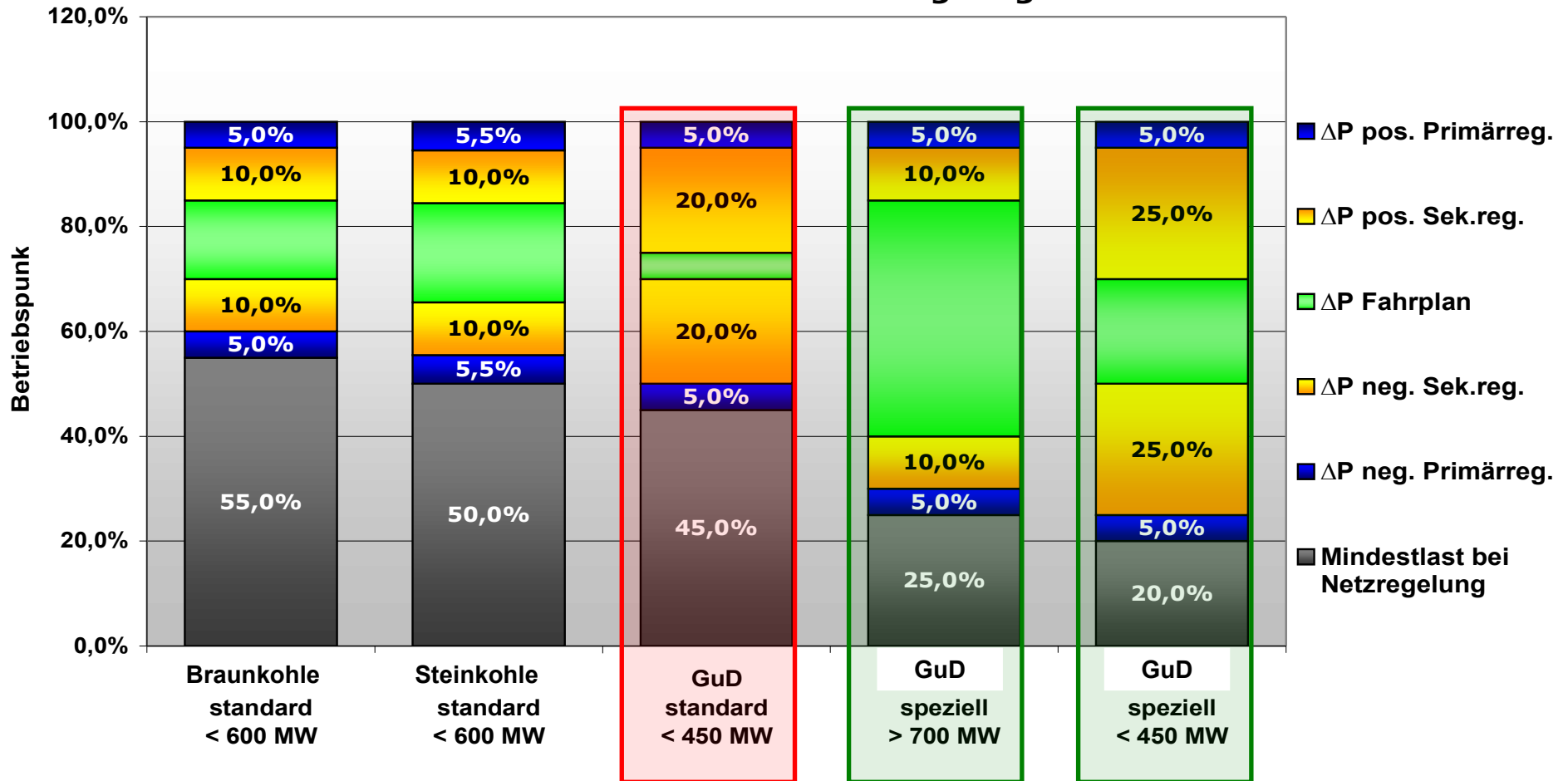
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

May 2020



Regelfähigkeiten und Teillastbetrieb bei konv. thermischen Kraftwerkstypen

Regelbereiche verschiedener KW-Typen
für Primär- und Sekundärregelung



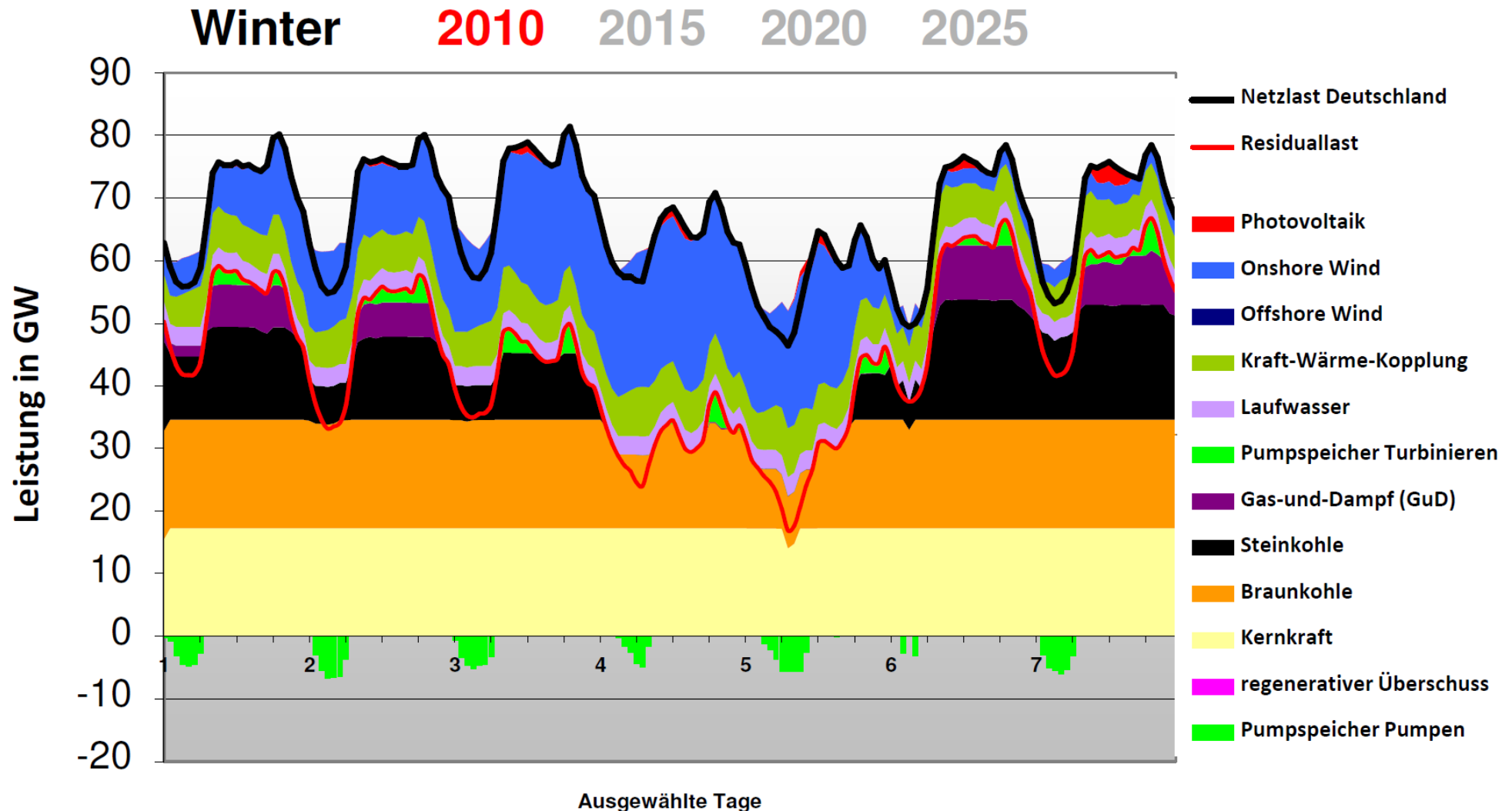
Mindestleistungen bei
Standard GuD-Anlagen sind nur bedingt
besser als bei Kohle

Für zukünftige EEG-
Anforderungen werden
spezielle KW-Typen benötigt

Verdrängung konv. Kraftwerke

Exemplarischer Kraftwerkseinsatz Winterwoche

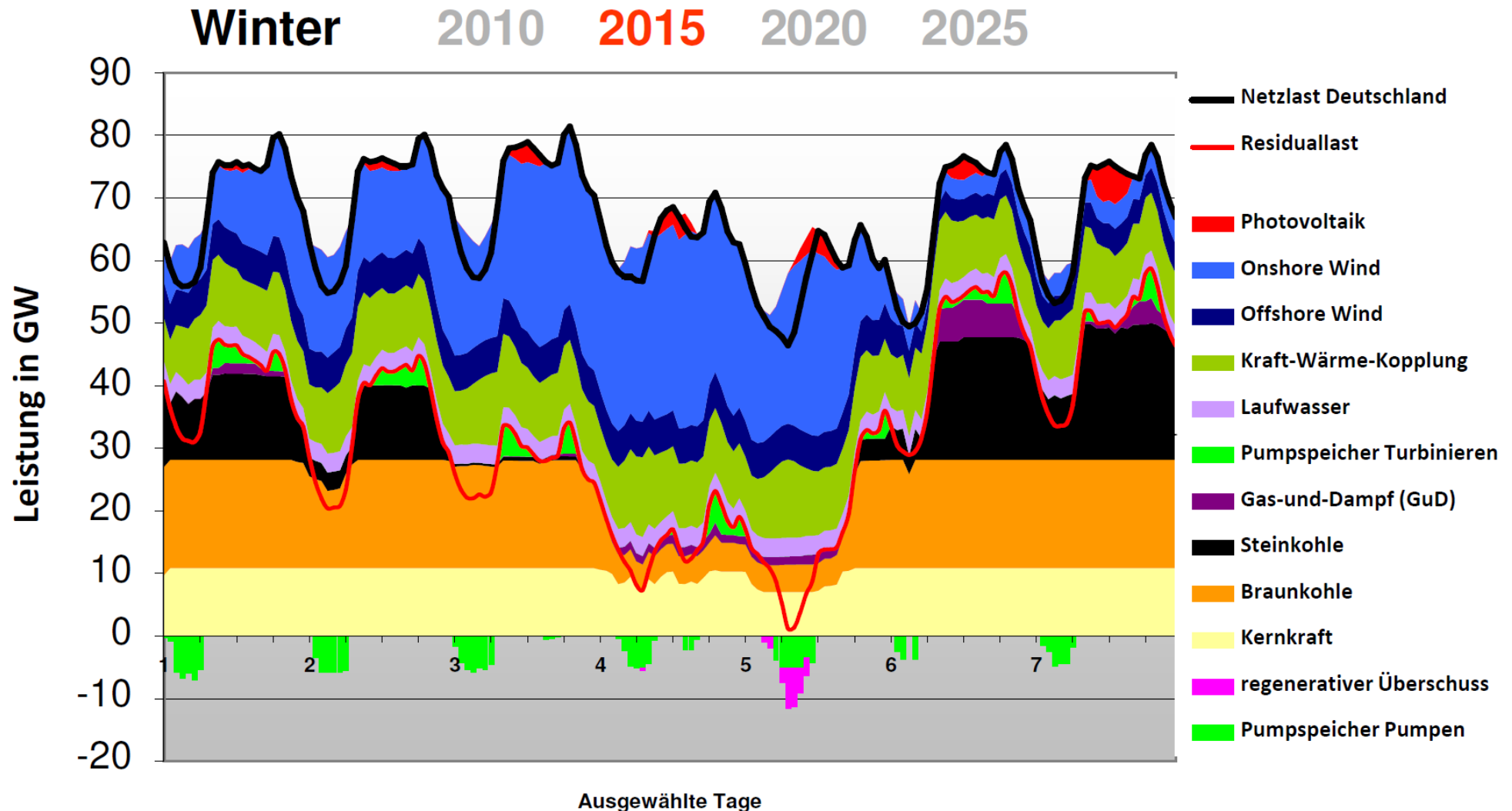
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Verdrängung konv. Kraftwerke

Exemplarischer Kraftwerkseinsatz Winterwoche

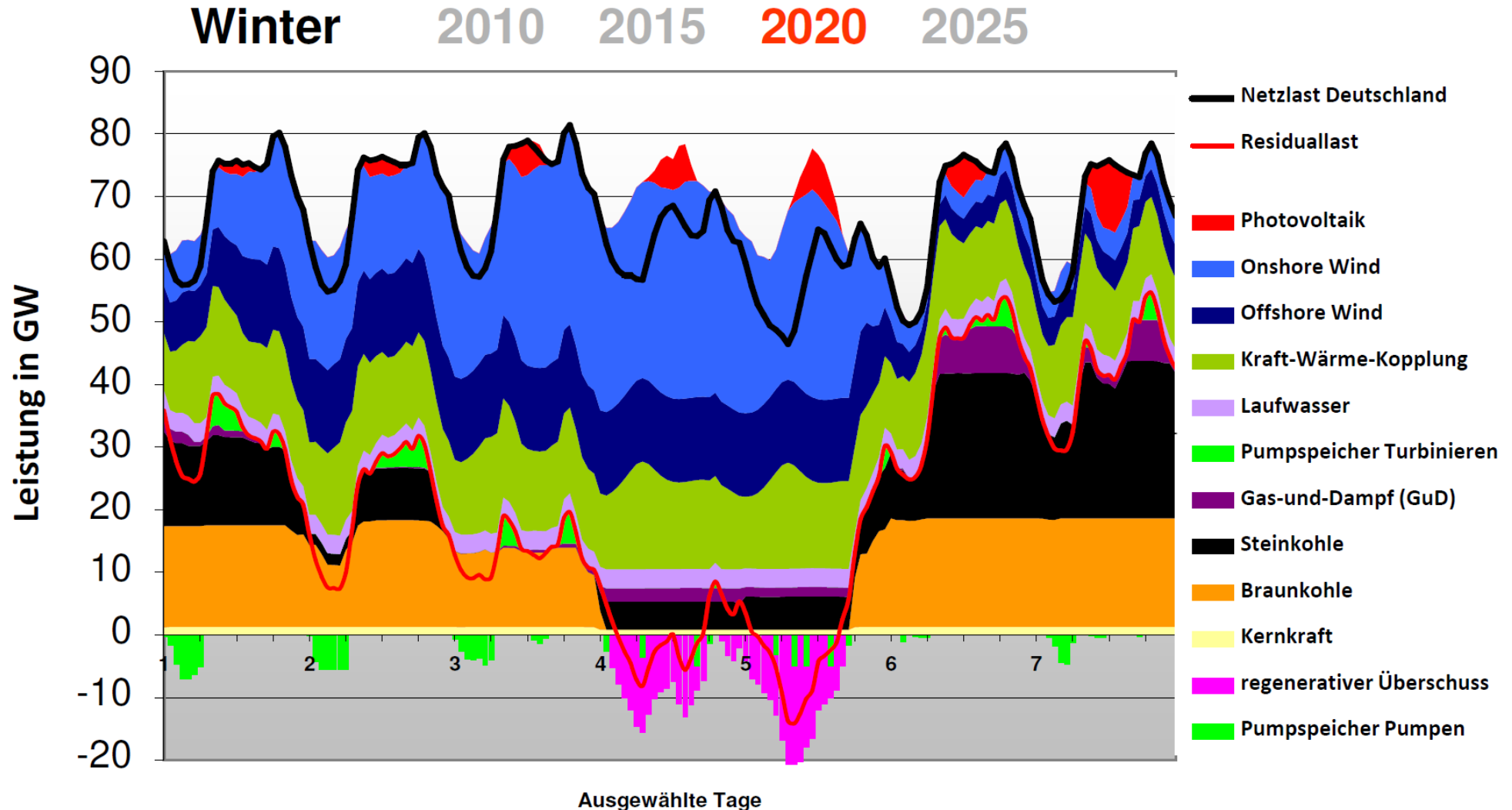
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Verdrängung konv. Kraftwerke

Exemplarischer Kraftwerkseinsatz Winterwoche

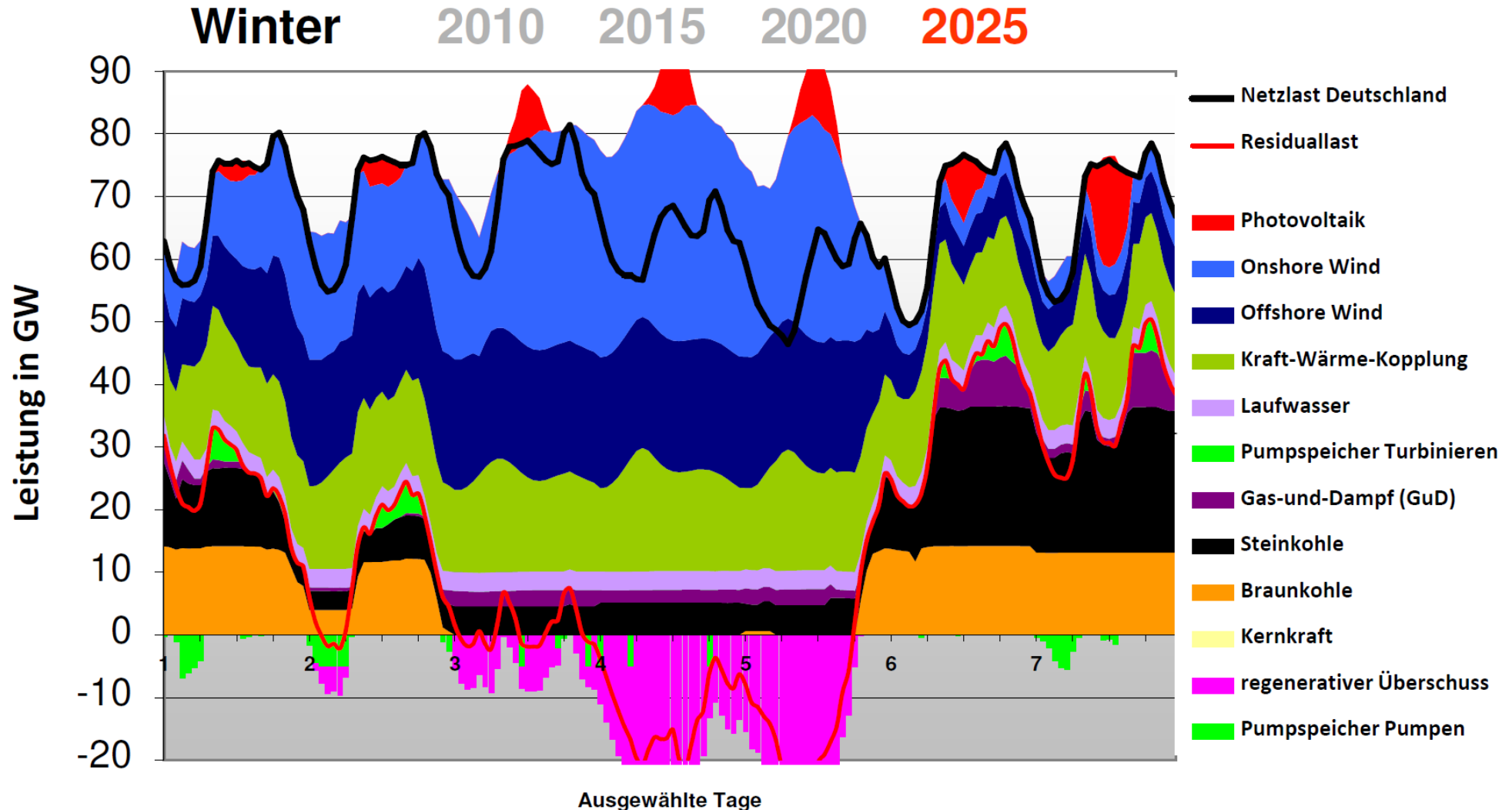
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Verdrängung konv. Kraftwerke

Exemplarischer Kraftwerkseinsatz Winterwoche

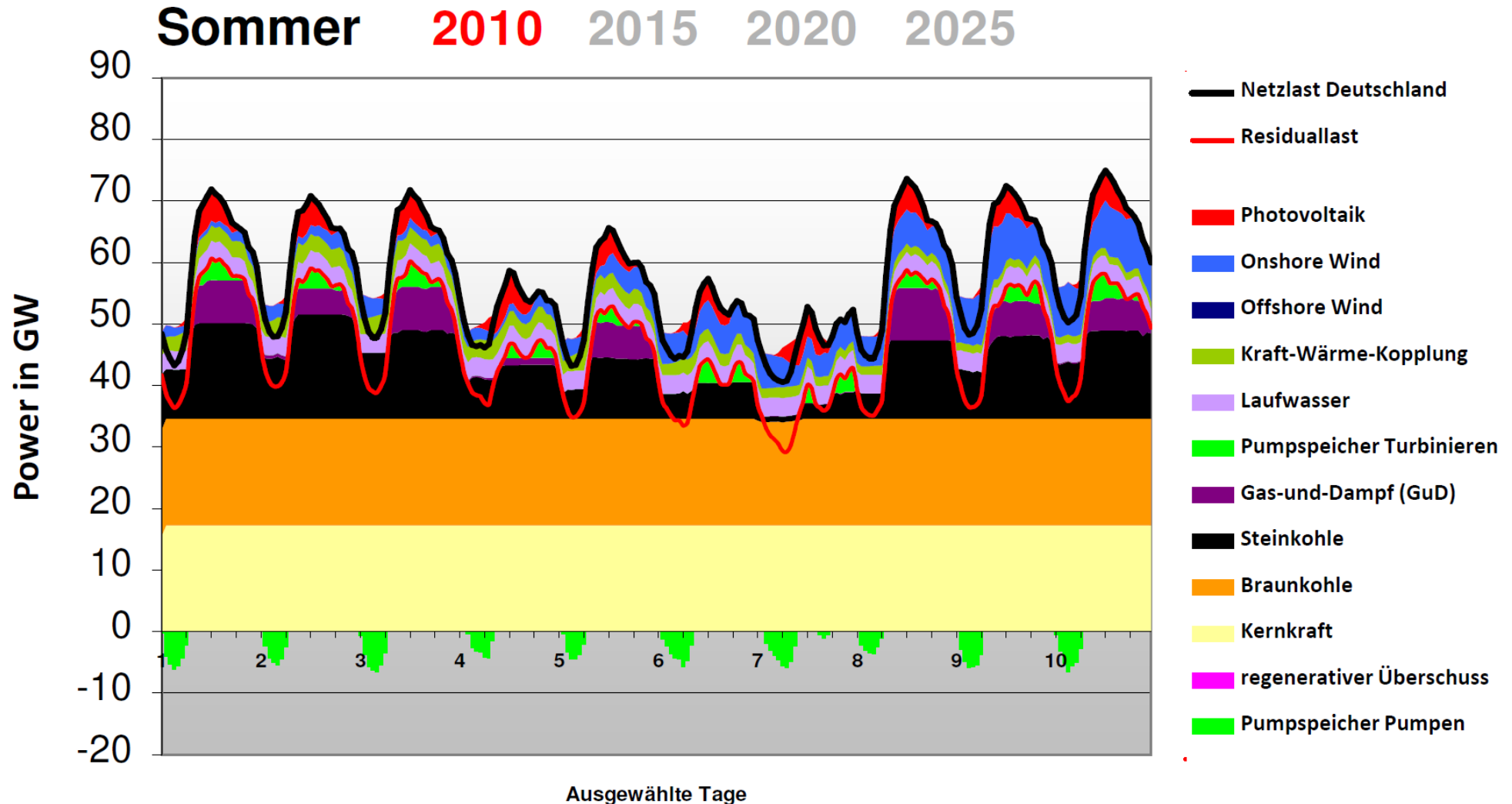
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Verdrängung konv. Kraftwerke

Exemplarischer Kraftwerkseinsatz Sommerwoche

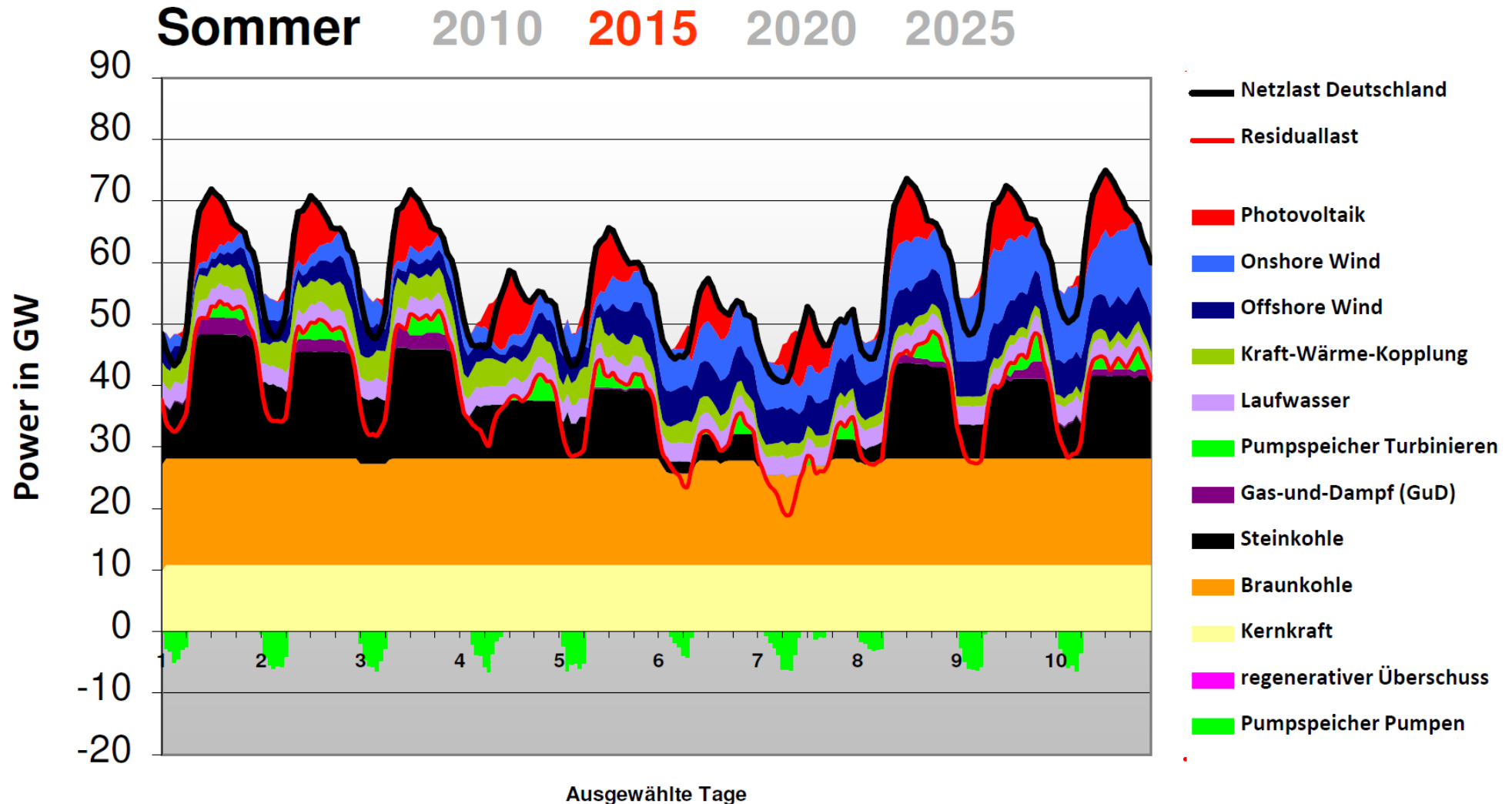
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Verdrängung konv. Kraftwerke

Exemplarischer Kraftwerkseinsatz Sommerwoche

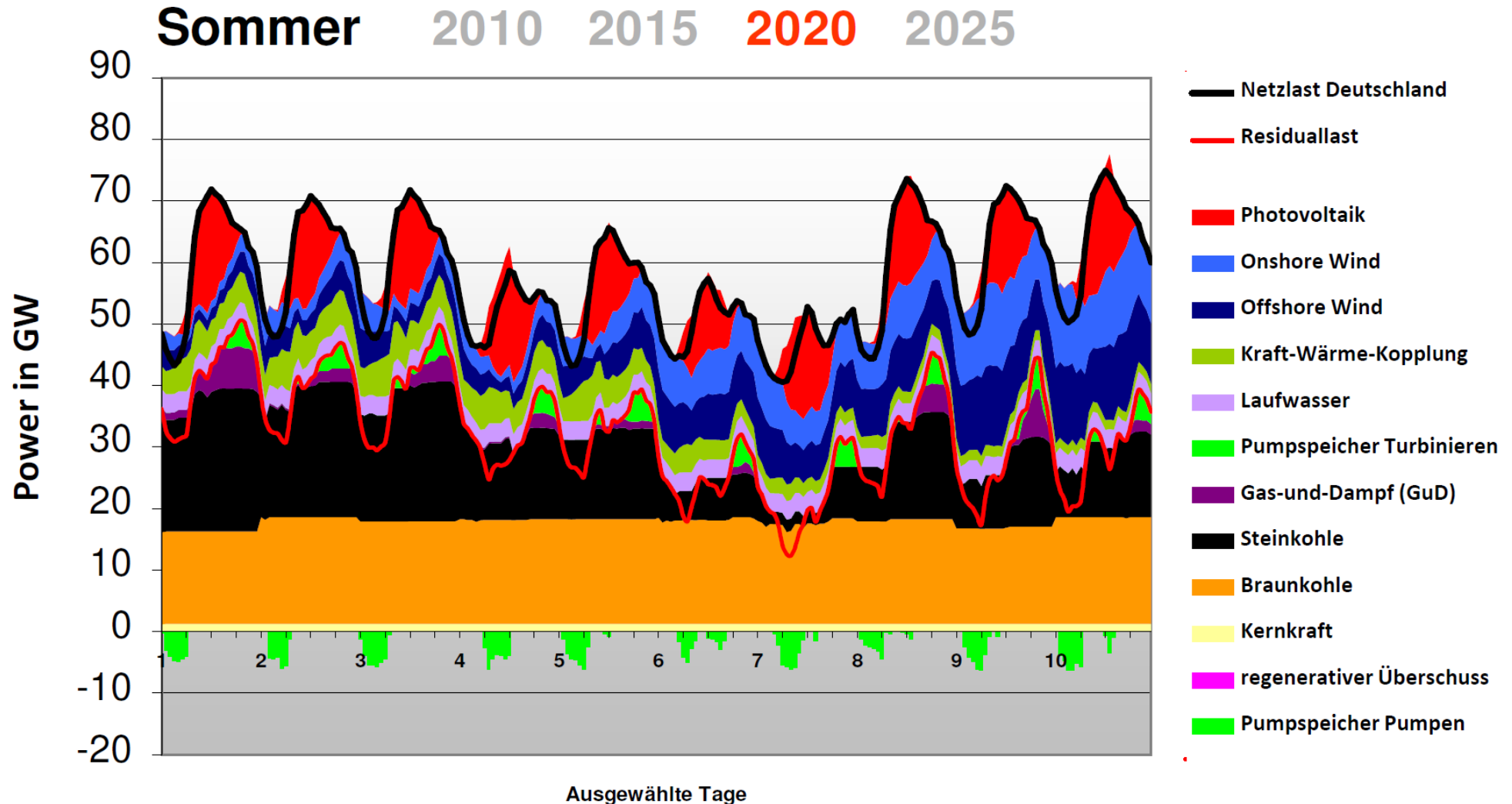
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Verdrängung konv. Kraftwerke

Exemplarischer Kraftwerkseinsatz Sommerwoche

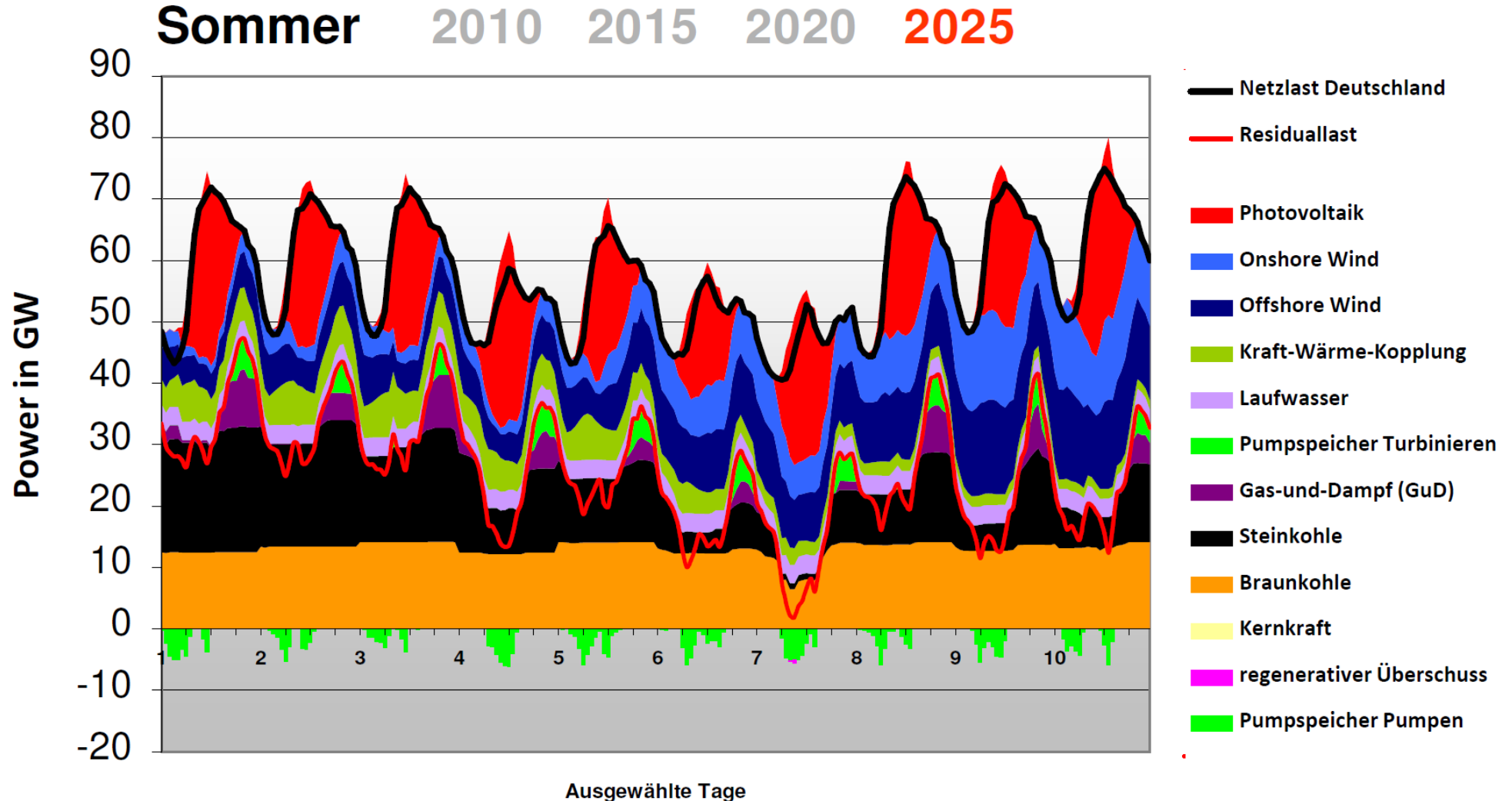
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Verdrängung konv. Kraftwerke

Exemplarischer Kraftwerkseinsatz Sommerwoche

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Regelfähigkeiten und Teillastbetrieb bei konv. thermischen Kraftwerkstypen: Forschung Uni Rostock

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

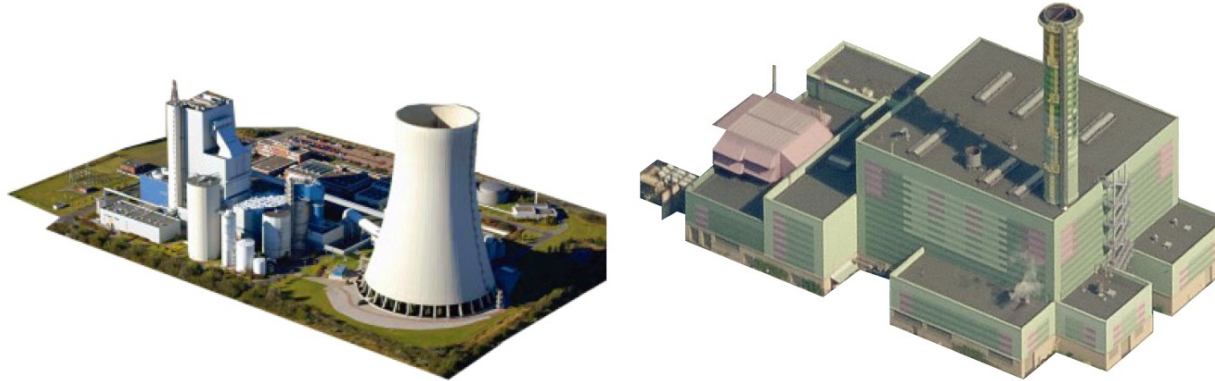


Abbildung 3.2: untersuchte Kraftwerke - Steinkohlekraftwerk Rostock (links) und GuD-Anlage Mainz Wiesbaden (rechts)

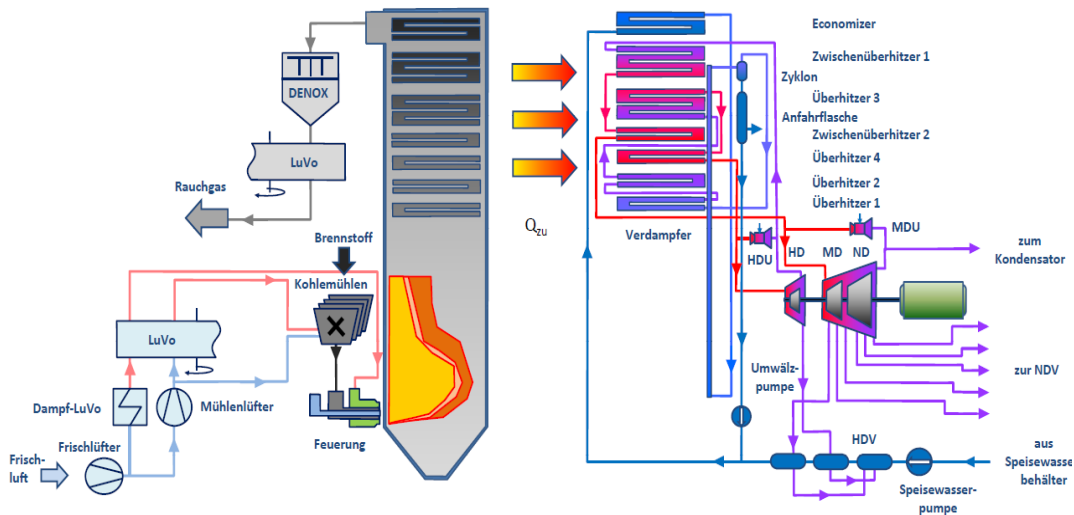


Abbildung 14.1: Struktur des Modells des Kraftwerks Rostock

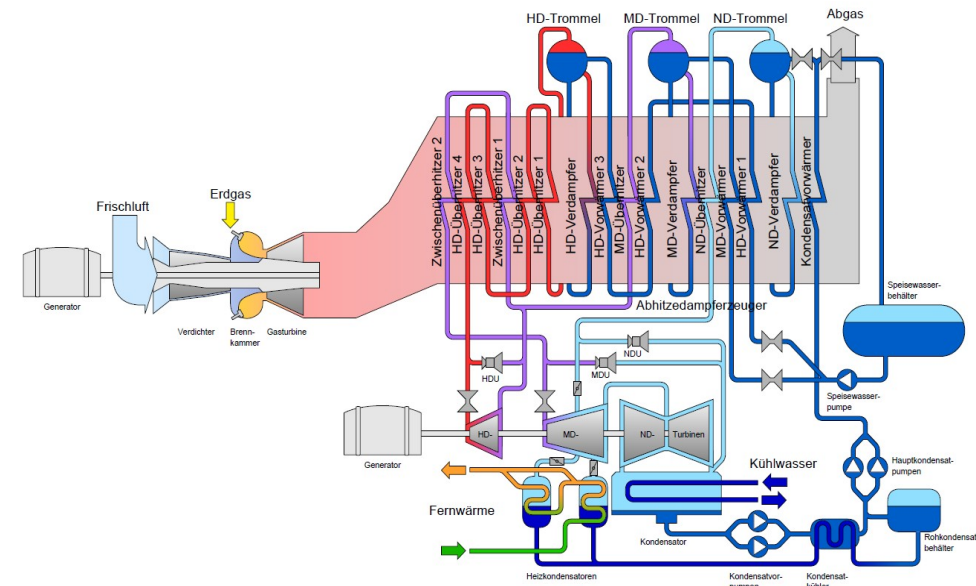


Abbildung 14.2: Struktur des Modells der kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage Mainz Wiesbaden

Neue Anforderungen an thermische Kraftwerke am Bsp. Steinkohle-KW

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

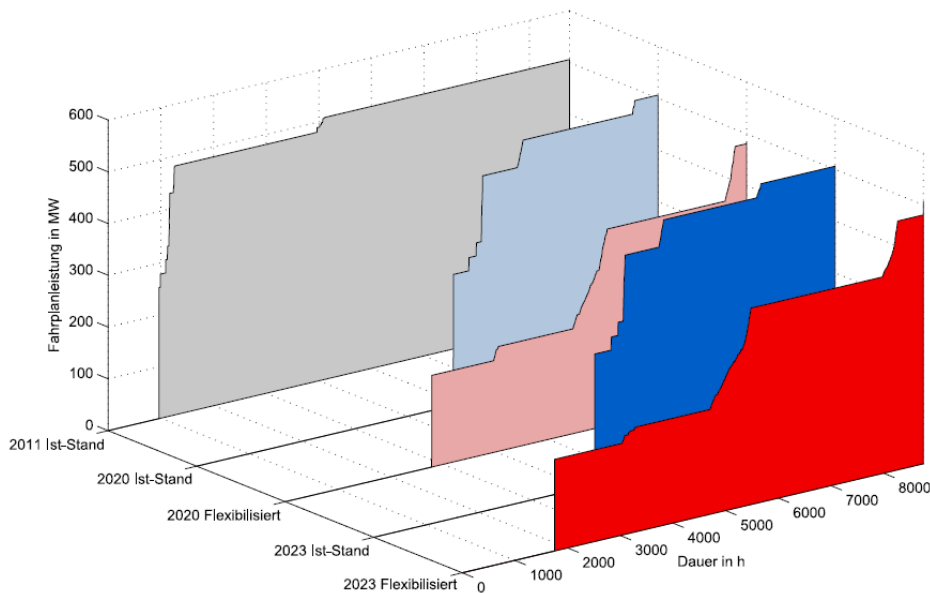
„Business-as-usual“ Szenario

- Kraftwerksflexibilität wird nicht erhöht, d.h. Mindestlast liegt bei 50 % und zulässige Laständerungsgeschwindigkeit bei 2 %/min
- Volllaststundenzahl der Jahre 2020 und 2023 halbieren sich im Vergleich zu 2011
- Erhöhte Anzahl an Anfahrten und Lastwechsel

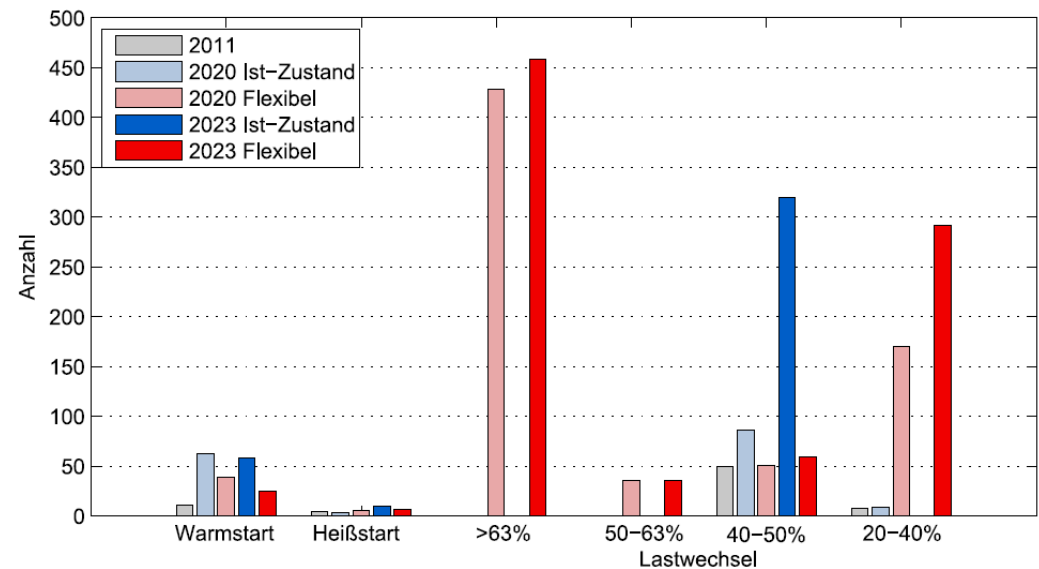
„Win-Win“ Szenario

- Kraftwerksflexibilität wird erhöht, d.h. Mindestlast wird auf 35 % abgesenkt und die zulässige Laständerungsgeschwindigkeit auf 4 %/min angehoben
- Verbesserte Integration der erneuerbaren Energien
- Kraftwerk wird vermehrt als Regelkraftwerk eingesetzt (4,5 mal höhere Bereitstellung von Primär- und Sekundärregelleistung im Vergleich zu 2011)
- Flexible Anlage vermeidet An- und Abfahrten
- Fahrweise weist hohe Dynamik auf, d.h. mehr und größere Lastwechsel

Jahresdauerlinie für Steinkohlekraftwerk Rostock

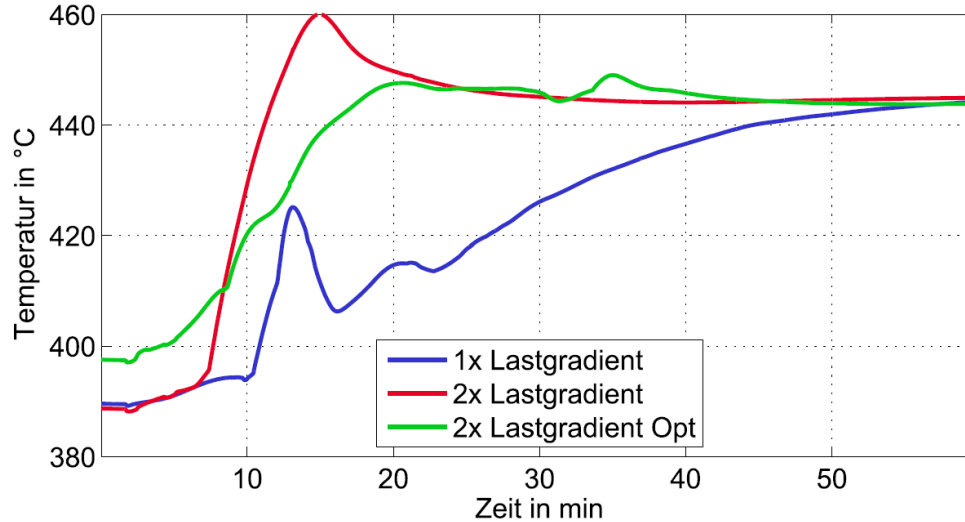


Dynamik des Kraftwerksbetriebs

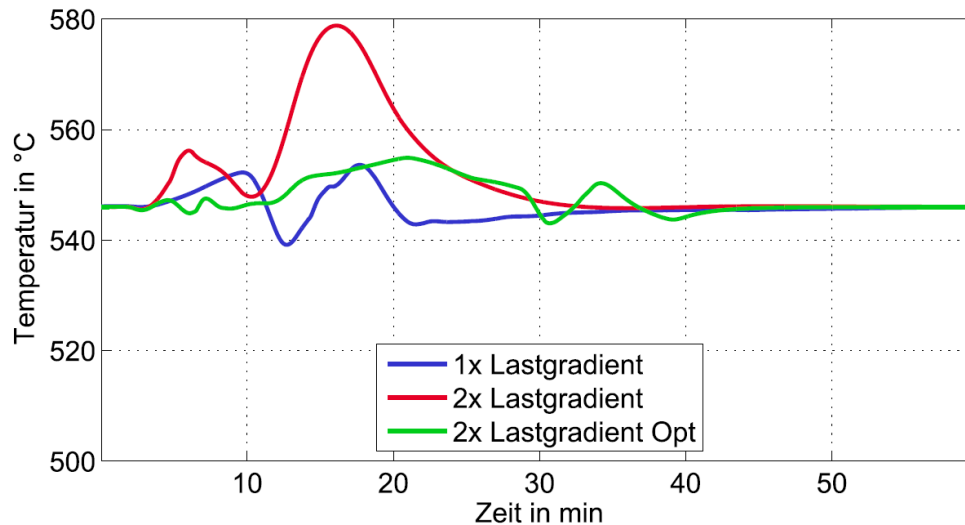


Regelgüte bei abgesenkter Mindestlast und doppelten Lastgradienten

Dampf Temperatur hinter Überhitzer 2



Dampf Temperatur hinter Überhitzer 4

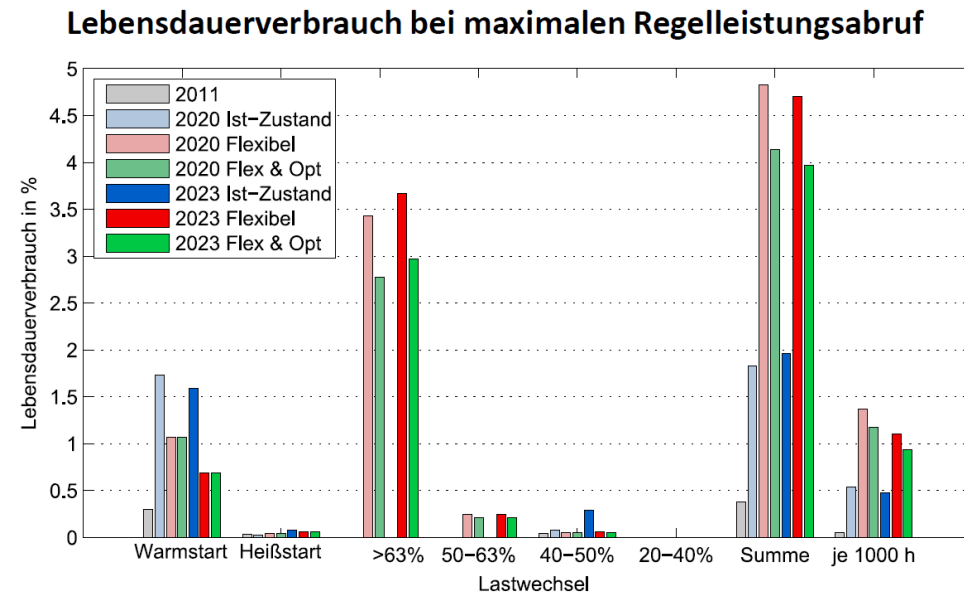


Dampf Temperatur während einer Lastaufnahme von 37 % Last auf Vollast

- Anstieg der Dampf Temperatur infolge der Lastpunktänderung und Dampfdruckerhöhung, auf Höhe des Sammlers des ÜH 2 von 40 bzw. 55 K
- Wünschenswert für eine schonenden Fahrweise ist ein möglichst gleichmäßiger Temperaturanstieg, um die thermischen Bauteilspannungen zu minimieren
- Infolge von Beheizungsungleichgewichten im Fall des nicht optimierten Kraftwerks große Temperaturgradienten zu erkennen
- Reduzierung des Überschwingens und Vergleichmäßigung der Anstiege im Fall des optimierten Kraftwerks durch eine verbesserte Vorsteuerung der Speisewassermenge
- Verbleiben der Dampfkühler im Regelbereich und Vermeidung von unzulässigen Überschreitungen der Frischdampf Temperatur

Lebensdauerverbrauch des zukünftigen Kraftwerksbetriebs

- großer Anteil der Warmstarts an der Gesamterschöpfung in allen Szenarien
- Flexibilisiertes Kraftwerk vermeidet Anfahrten durch Verbleiben am Netz in Phasen starker regenerativer Einspeisung
- Die Ermüdungen der Lastwechsel kleiner 50 % haben einen verschwindend geringen Anteil an der Gesamtlebensdauerverbrauch
- Die sehr großen Lastwechsel im Fall einer Flexibilisierung erzeugen merkliche Zusatzbelastungen (bei maximalen Regelleistung Abruf bis zu 76 % des Jahreslebensdauerverbrauchs)
- Reduzierung des Lebensdauerverbrauchs durch eine schonende Fahrweise ermöglicht durch eine optimierte Leittechnik um ca. 20 %



Bei vertretbaren Umrüstmaßnahmen besteht das Potential für die Erhöhung der Anlagenflexibilität von thermischen Kraftwerken.

Eine optimierte Leittechnik ist erforderlich um bei hoher Flexibilität einen schonenden Betrieb zu gewährleisten.

Folge einer zukünftig dynamischeren Fahrweise mit häufigeren Starts und größeren Lastwechseln ist ein rund 8-mal höherer Jahreslebensdauerverbrauchs trotz halbierten Vollaststunden.

Anforderungen an die therm. Kraftwerke

Übergang zu erneuerbaren Energien

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

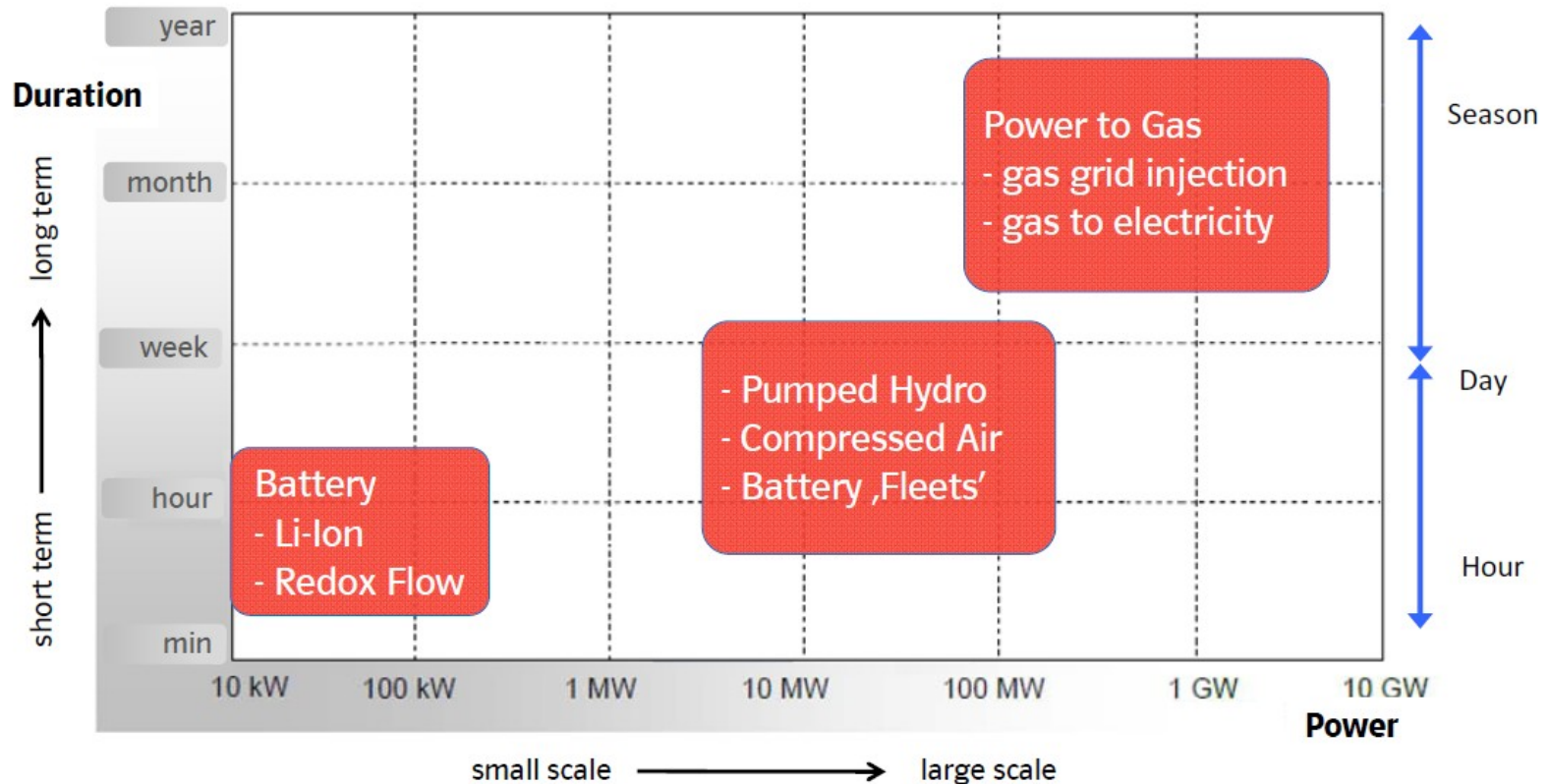
- Speicher:**
- **Großspeichertechnologien sind nicht vor 2025 zu erwarten**
 - z.B. chemische Speicher mit Methan (Speichermengen im TWh-Bereich)
 - **Chemische Speicher benötigen weiterhin thermische Kraftwerke**
 - Die Systemstabilität wird durch die Schwungmassen der therm. Kraftwerke gesichert
 - **Die Zukunft der elektrische Energieversorgung sind synthetische Brennstoffe in Kombination mit flexiblen thermischen Kraftwerken**

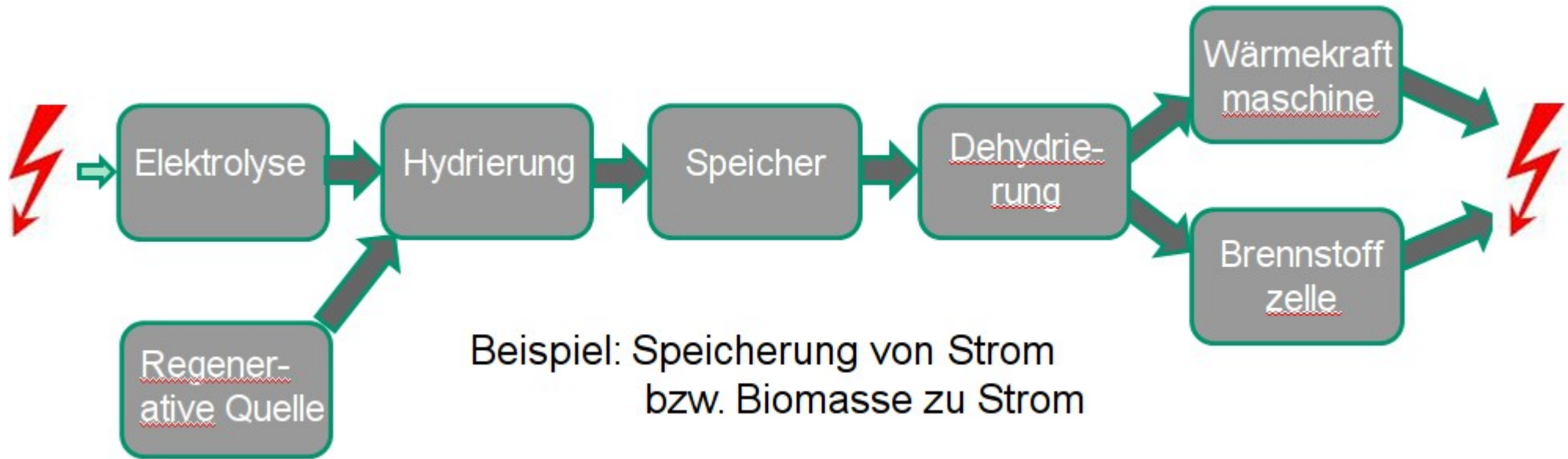
- Fragen:**
- **Wie kann man den Einfluss der intermittierenden Erzeugung genauer bewerten?**
 - Quantifizierung der Fahrplanänderungen ist notwendig
 - **Was bedeutet dies für die bestehenden Kraftwerke in Deutschland?**
 - Welche sind die hoch beanspruchten Bauteile?
 - Wie hoch ist der zusätzliche Verschleiß bei höherer Dynamik?
 - **Welche technischen Eigenschaften müssen neue thermische Kraftwerke haben?**
 - Welche Parameter haben entscheidenden Einfluss?
 - Wie kann man die Flexibilität der Anlagen erhöhen?

- Ansätze:**
- **Zusammenarbeit mit den Betreibern der Kraftwerke**
 - **Verwendung von Einsatzplanungsmodellen**
 - **Verwendung von thermodynamischen Modellen für einzelne Anlagen**



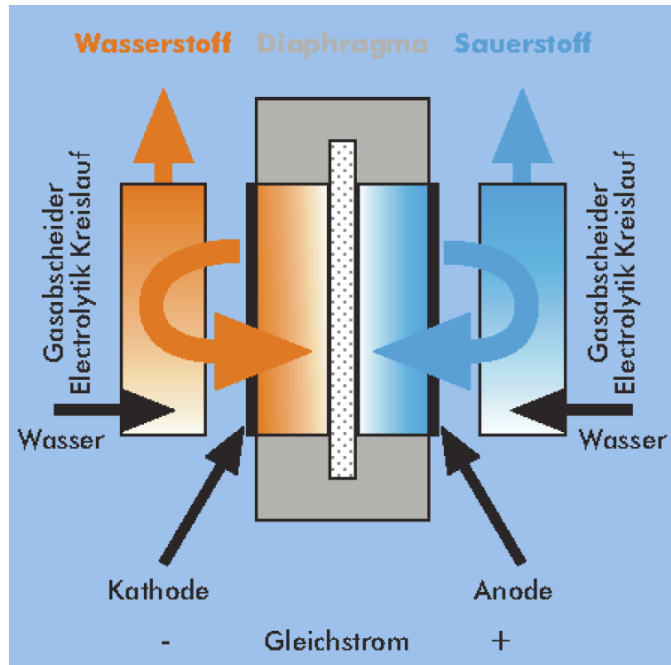
Different requirements for storage need different solutions (Power Capacity and Duration)





Ziel: Wasserstoff-Wirtschaft
sicher – ohne niedrige Temp./hohen Druck – ohne neue Infrastruktur

Problem: Wasserstoffturbine, Forschung am DLR, Köln-Porz



Schema der alkalischen Wasserelektrolyse

Norsk Hydro Electrolyseur Unit: 1 MW, ca. $220 \text{ m}^3 \text{ H}_2 / \text{h}$, $\eta > 0.85$

Leistung großtechnischer Anlagen:

$$\frac{33\,000 \text{ m}^3 \text{ H}_2 / \text{h}}{150 \text{ MW}} = 0.22 \text{ m}^3 \text{ H}_2 / \text{kWh}$$

Quelle: Prof. Leonhard, Universität Braunschweig,
Landesinitiative Zukunftsenergien NRW

Die Reaktion wird durch folgende Reaktionsgleichung beschrieben:



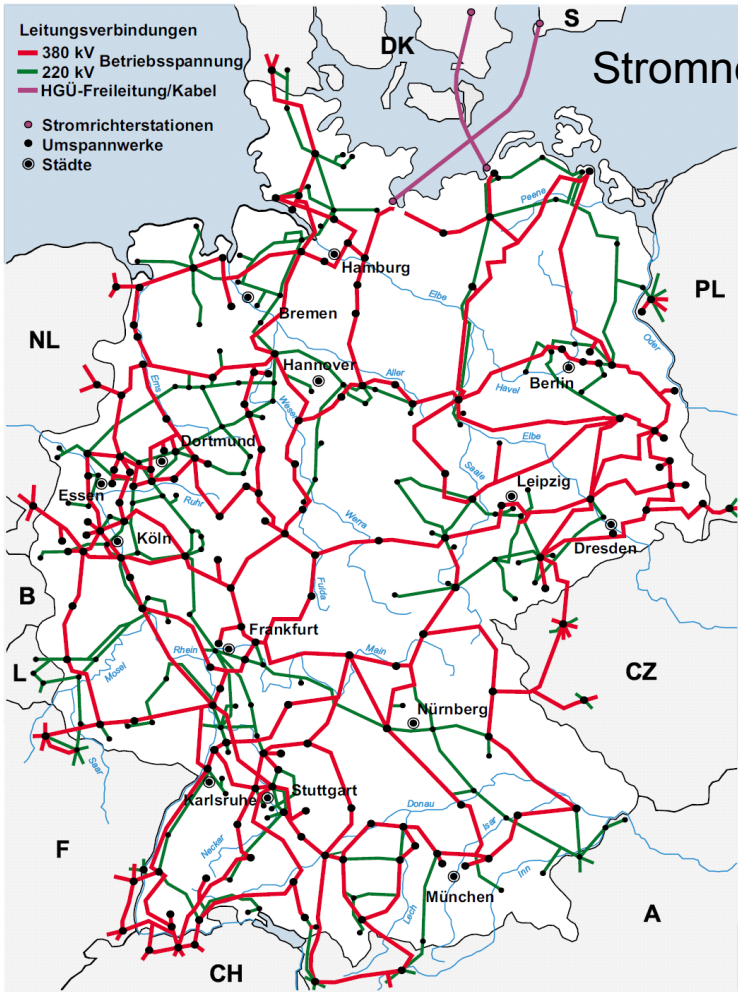
Bei erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck läuft die Reaktion unter Verwendung eines Nickel-Katalysators ab.

Ein Teil des eingesetzten Wasserstoffs wird jedoch bereits bei der Sabatierreaktion exotherm zu Wasser „verbrannt“.

- ➔ Die Reaktion ist stark exotherm. Diese Exothermie kann aber kaum genutzt werden.
- ➔ Der erhaltene Brennwert ist geringer als der eingesetzte Brennwert.

Mögliche Abhilfemaßnahme: LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) zur reinen Wasserstoffspeicherung:

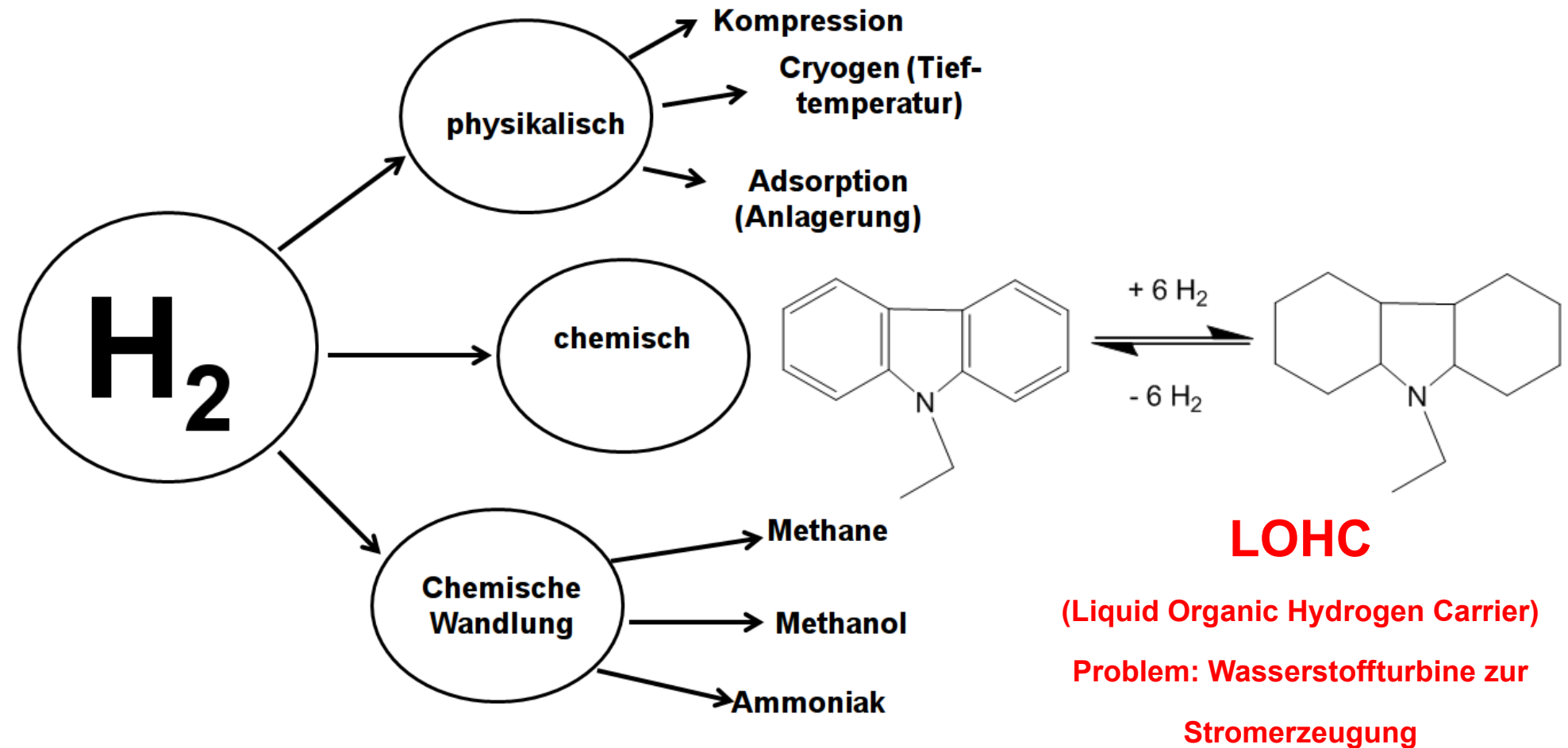
Bei LOHC wird soviel Brennwert erhalten, wie eingesetzt wird.



Deutsches Verbundnetz
18.300 km 380-kV-Stromkreise
21.400 km 220-kV-Stromkreise

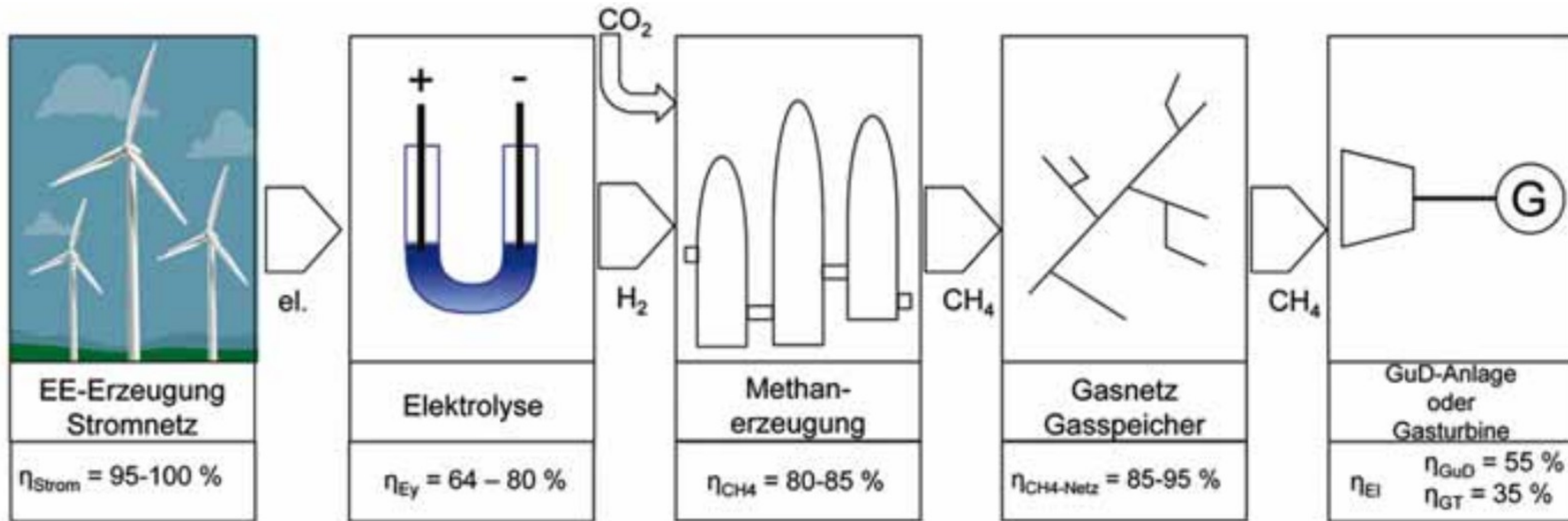
Stand: 01.01.2001
Quelle: DVG und VNG

Quelle: GIE | Stand: 1. April 2011



Langzeitspeicherung von EE-Strom über Elektrolyse, synthetisches Methan und Rückverstromung

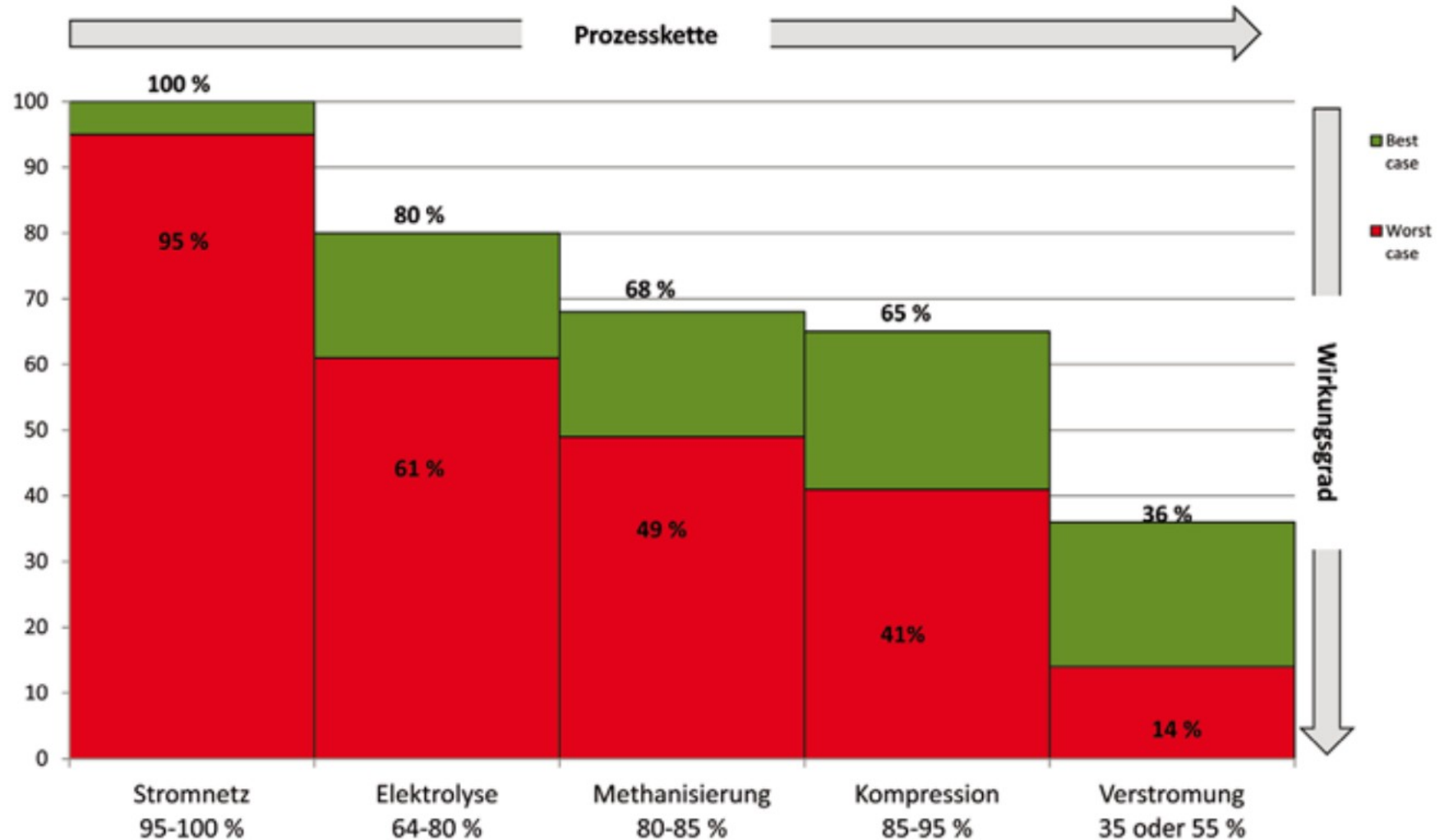
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



$$\eta_{\text{Ges}} = \eta_{\text{Strom}} \times \eta_{\text{Ey}} \times \eta_{\text{CH}_4} \times \eta_{\text{CH}_4\text{-Netz}} \times \eta_{\text{EI}}$$

Der Wirkungsgrad von „Windgas“ wird maßgeblich durch die Effizienz der Prozessschritte bestimmt

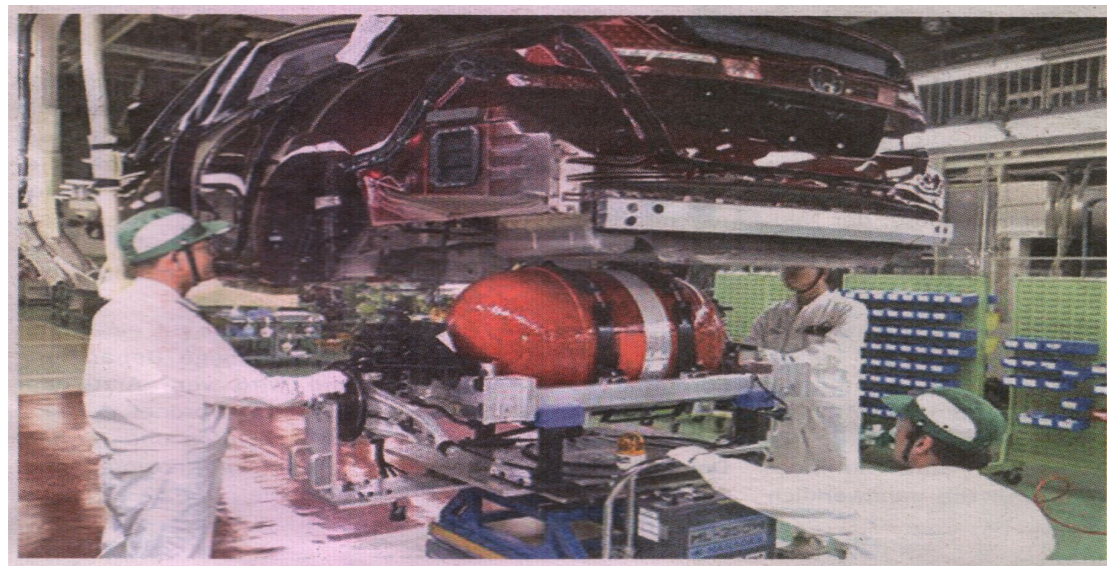
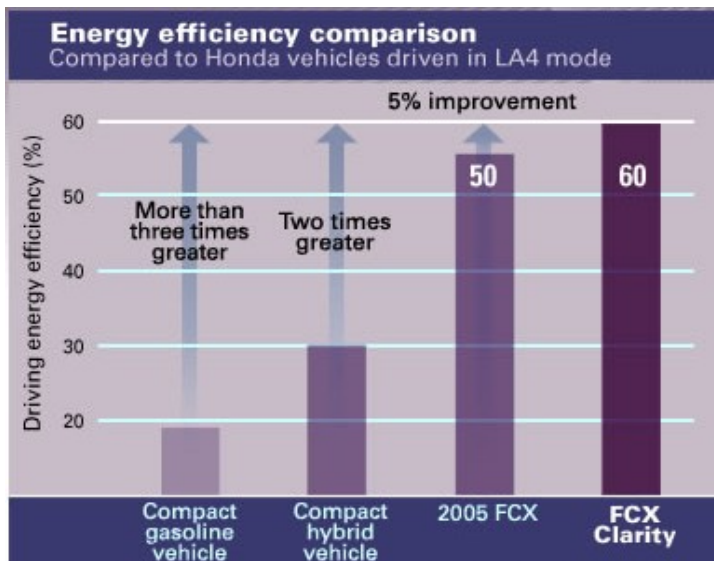
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Erstes Serien-Wasserstoff-Auto: Honda Clarity

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

- Honda V Flow Brennstoffzelle
- Lithium-Ionen-Batterie
- 100-kW-Elektromotor
- 4 kg Wasserstoff bei 350 bar
- Reichweite 450 km



Serienmodell einer stationären Erdgas (Methan)- / Wasserstoff-Brennstoffzelle

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

- Hauptaufgabe: Wärmeherzeugung.
- Stromproduktion erfolgt wärmegeführt.
- Wärmeherzeugung im Haus darf kurzfristig schwanken.
- Daher im Verbund mit weiteren Anlagen als virtuelles Kraftwerk für Regelaufgaben im Verbundnetz einsetzbar.
- Problem: Netzregelaufgaben im Sommer.



Unsere Vision

- KWK in jeden Keller!
- Energiekosten sparen
- Voller Komfort und gleichzeitig Umwelt schützen
- Heute mit Erdgas, morgen mit regenerativem Wasserstoff

Photovoltaik

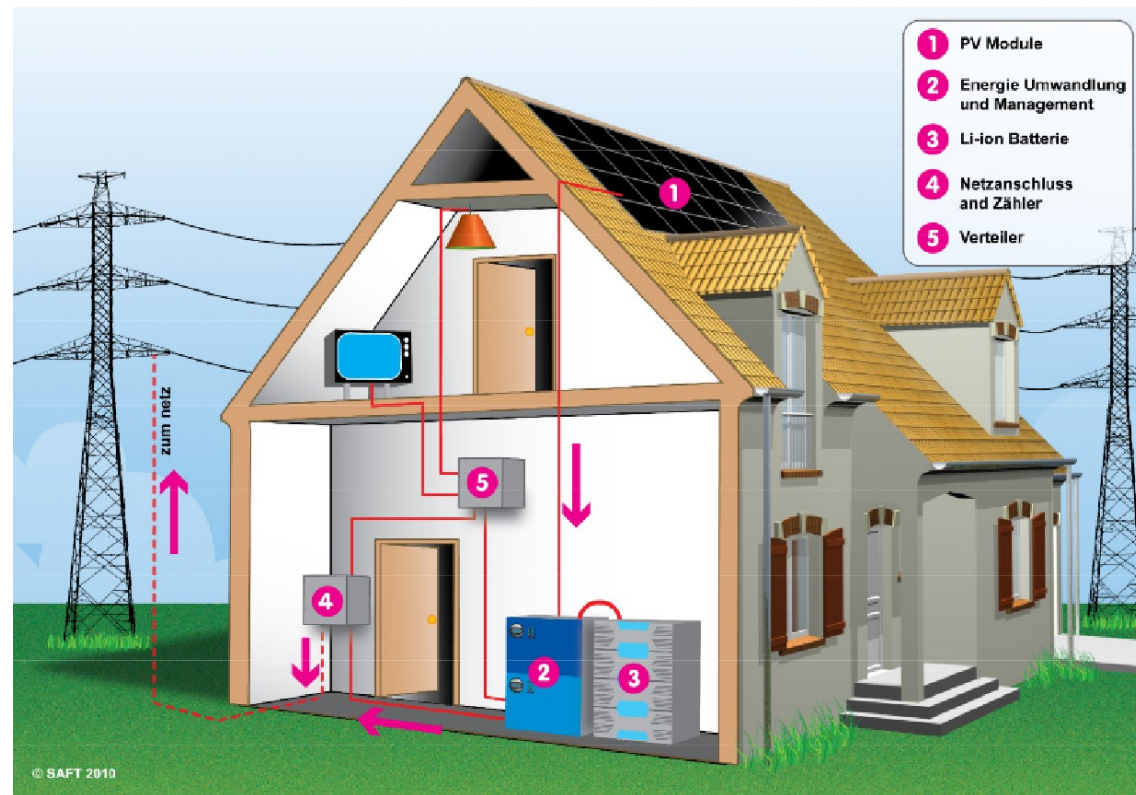


+

Lithium-Ionen-Batterie



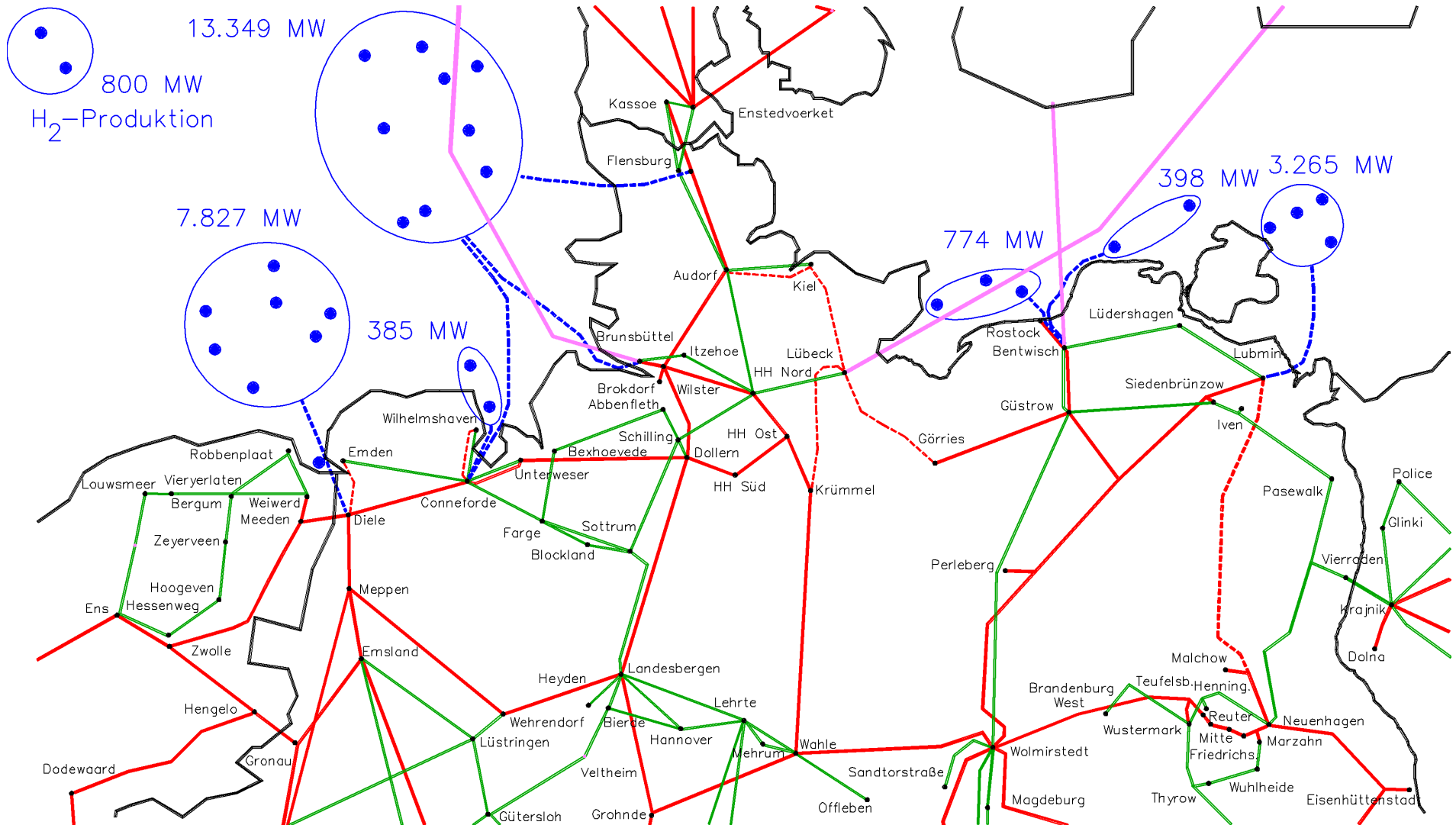
Sonnenstromspeicherung (Smart Grid)
(Äquivalent zur solarthermischen Wärmespeicherung)



Quelle: Saft-Batteries, Spiegel online

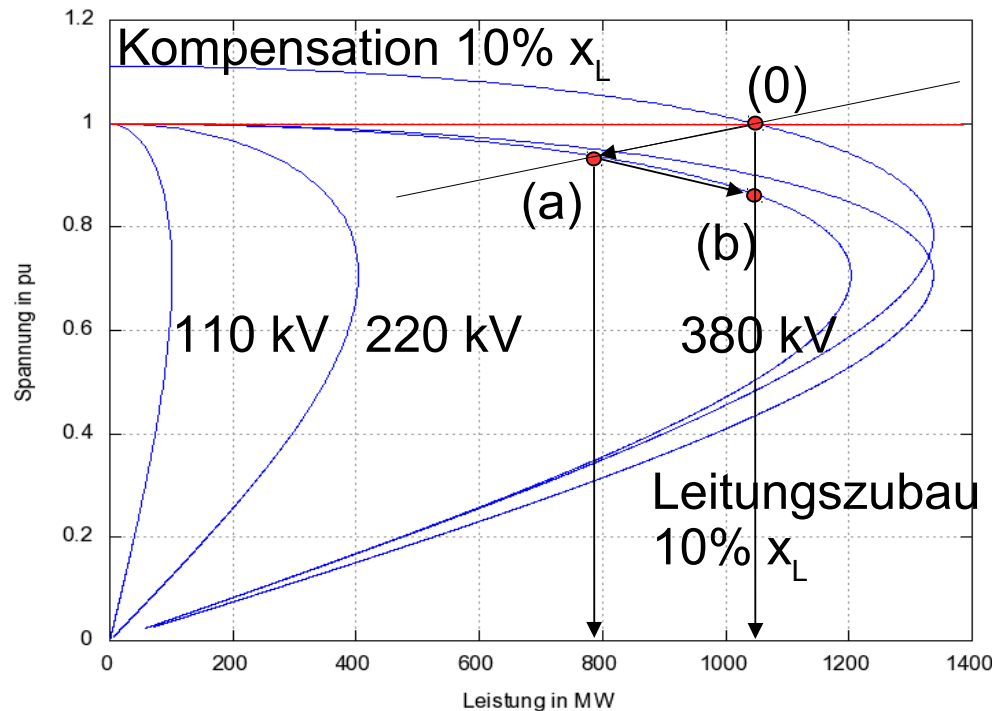
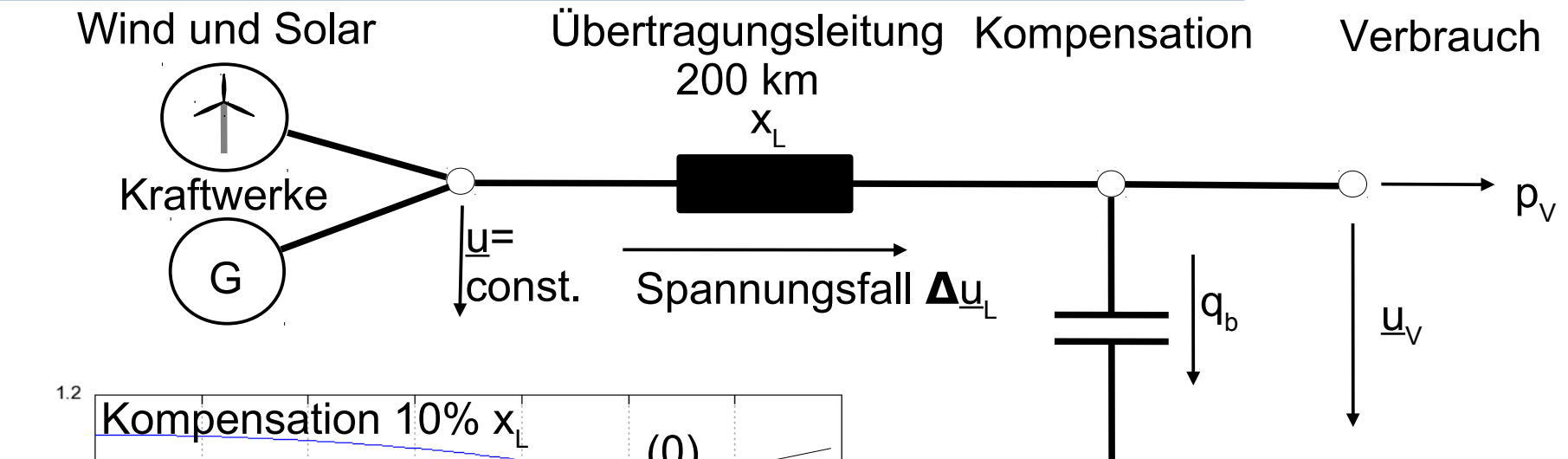
Geplanter Ausbau der Offshore-Installationen bis in das Jahr 2030

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



Grenzen des Leistungstransports in der Elektrischen Energieversorgung: Übertragungsfähigkeit

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

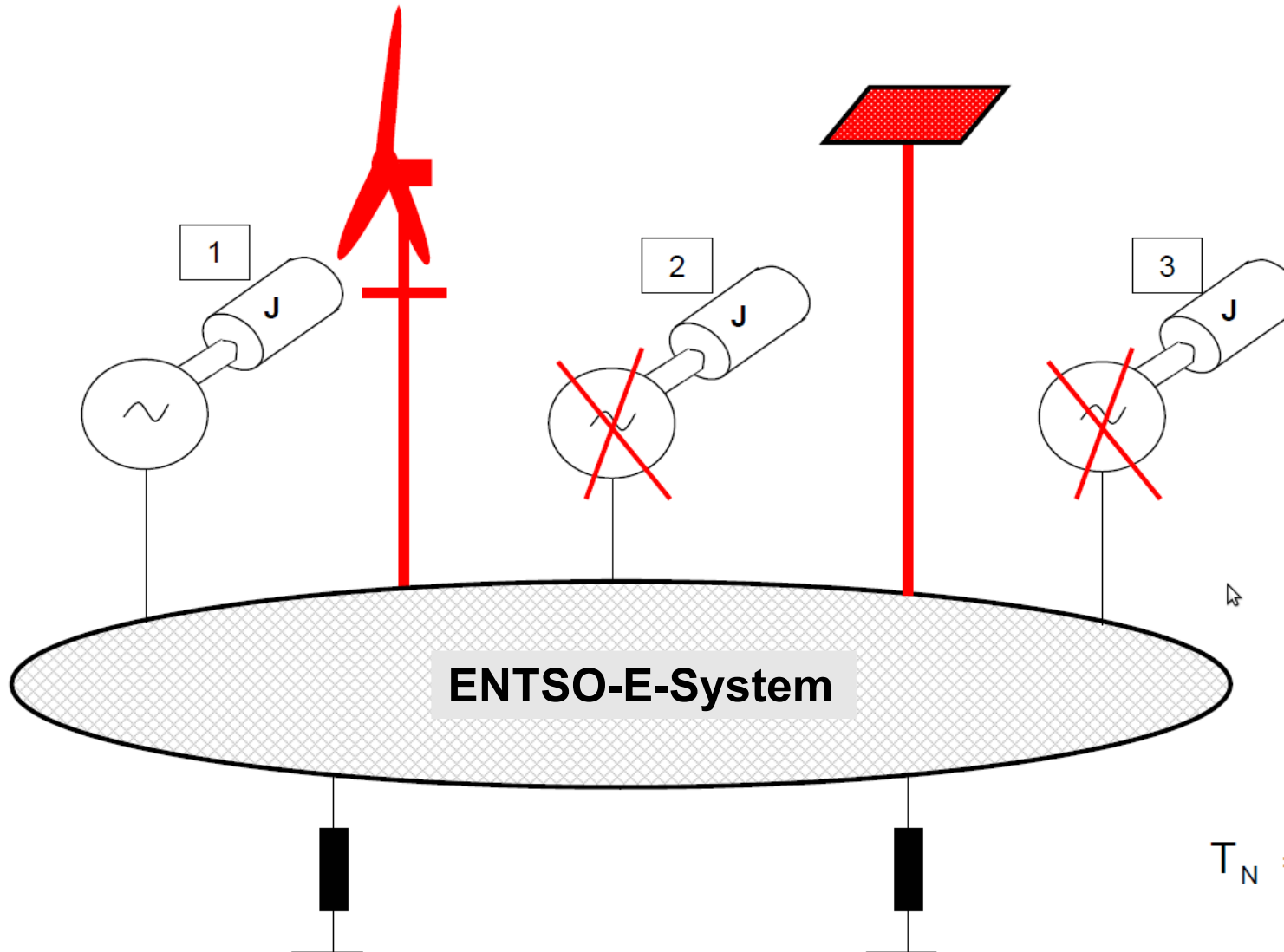


1. Leistungstransport ist begrenzt
2. Spannungsniveau erhöht
Leistungstransport
3. Geregelte Verbraucher erzeugen
Spannungsinstabilität
4. Kompensation notwendig
5. Netzausbau notwendig

- (0): Ursprüngliche Leistungsanforderung
 (a): Leistungsreduktion durch Verbraucher-Spannungsabhängigkeit
 (b): Leistungserhöhung durch geregelte Verbraucherspannung

Entwicklung der Anlaufzeitkonstanten T_N im europäischen Verbundnetz

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



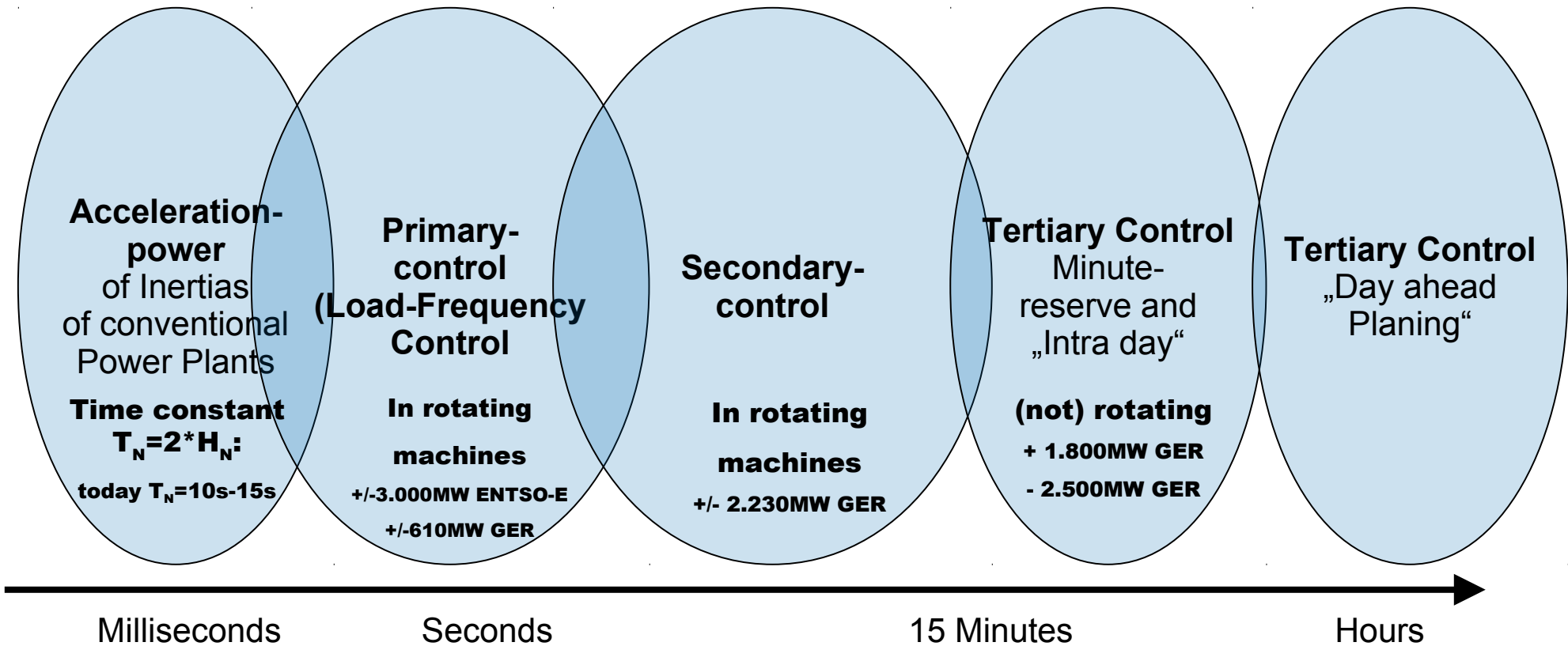
New World

$$T_{G_i} = \frac{J_i * \Omega_N^2}{P_{G_i}}$$

Old World

Network

$$T_N = \frac{\sum_{i=1}^n T_{G_i} * P_{G_i}}{P_N}$$



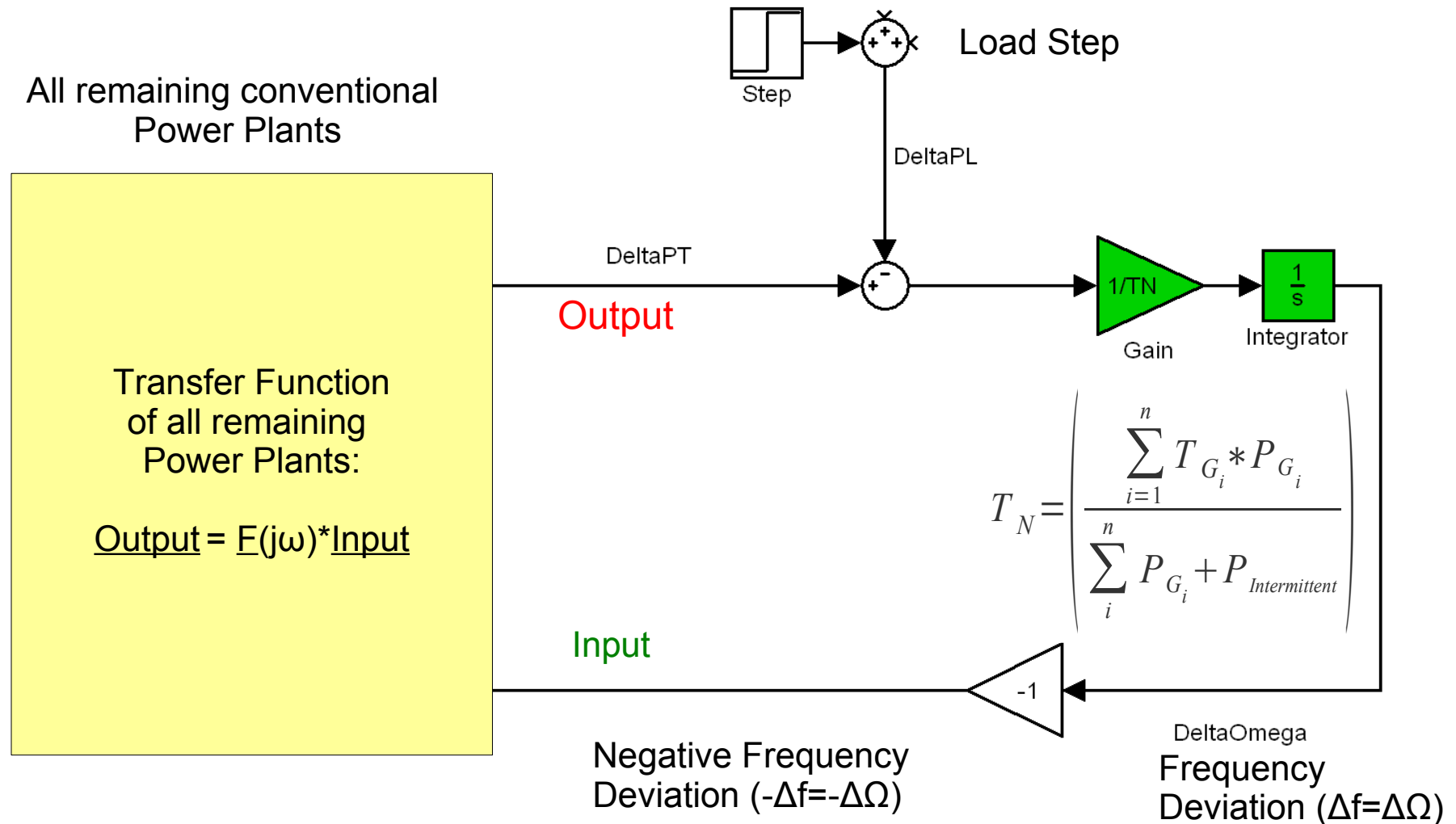
$$H_N = \frac{1}{2} \cdot T_N = \frac{1}{2} \cdot \frac{J \cdot \Omega_N^2}{P_N}$$

Time frame

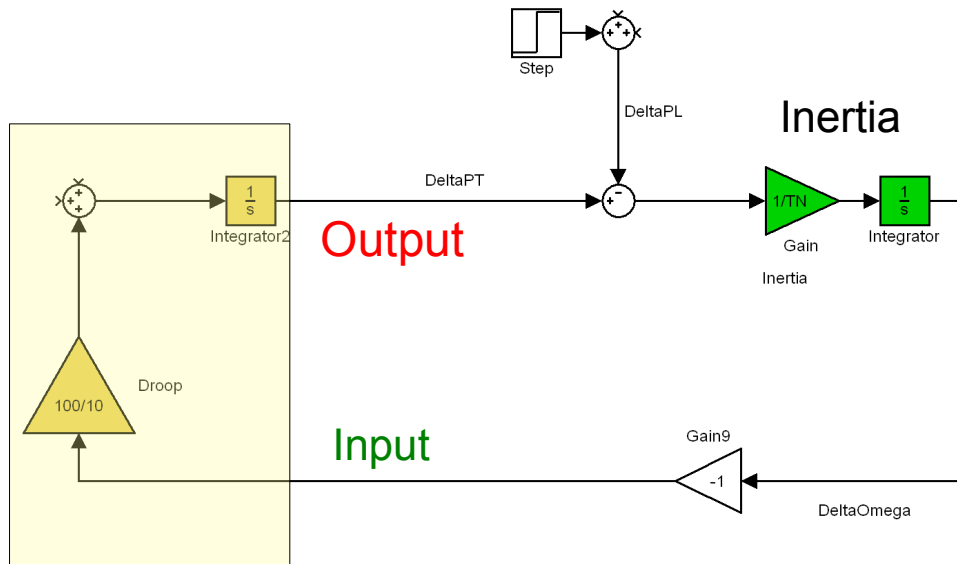
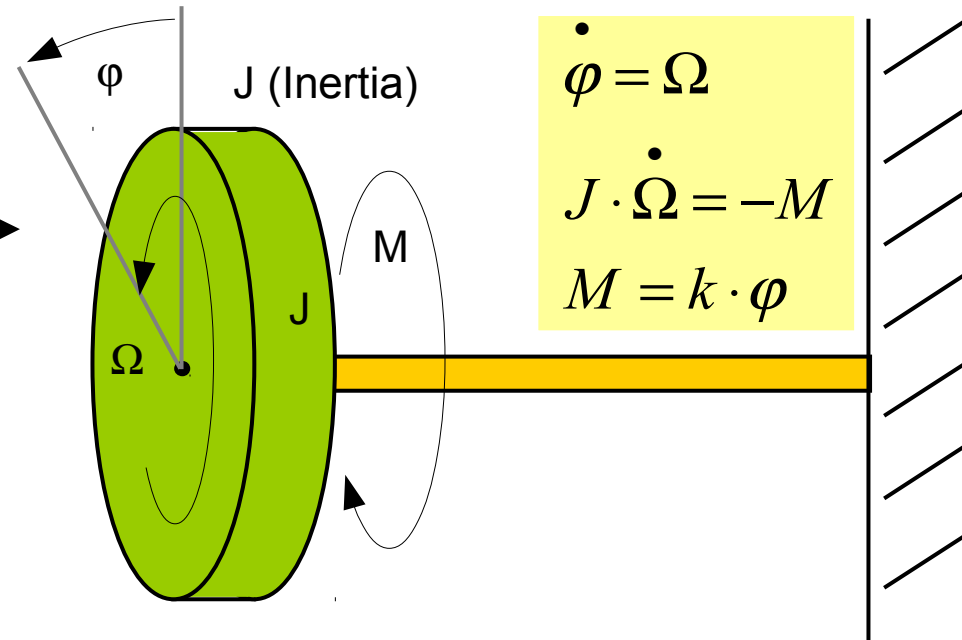
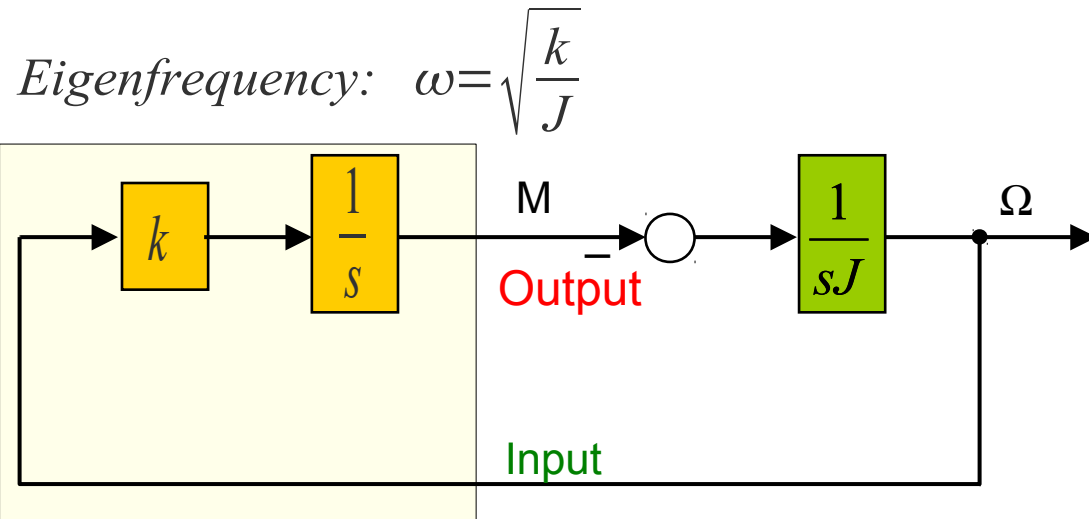
Structure of Primary Control of Entso-E-System (only deviations from working point)

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

The Time Constant T_N of the System inertia decreases when Intermittent Power increases



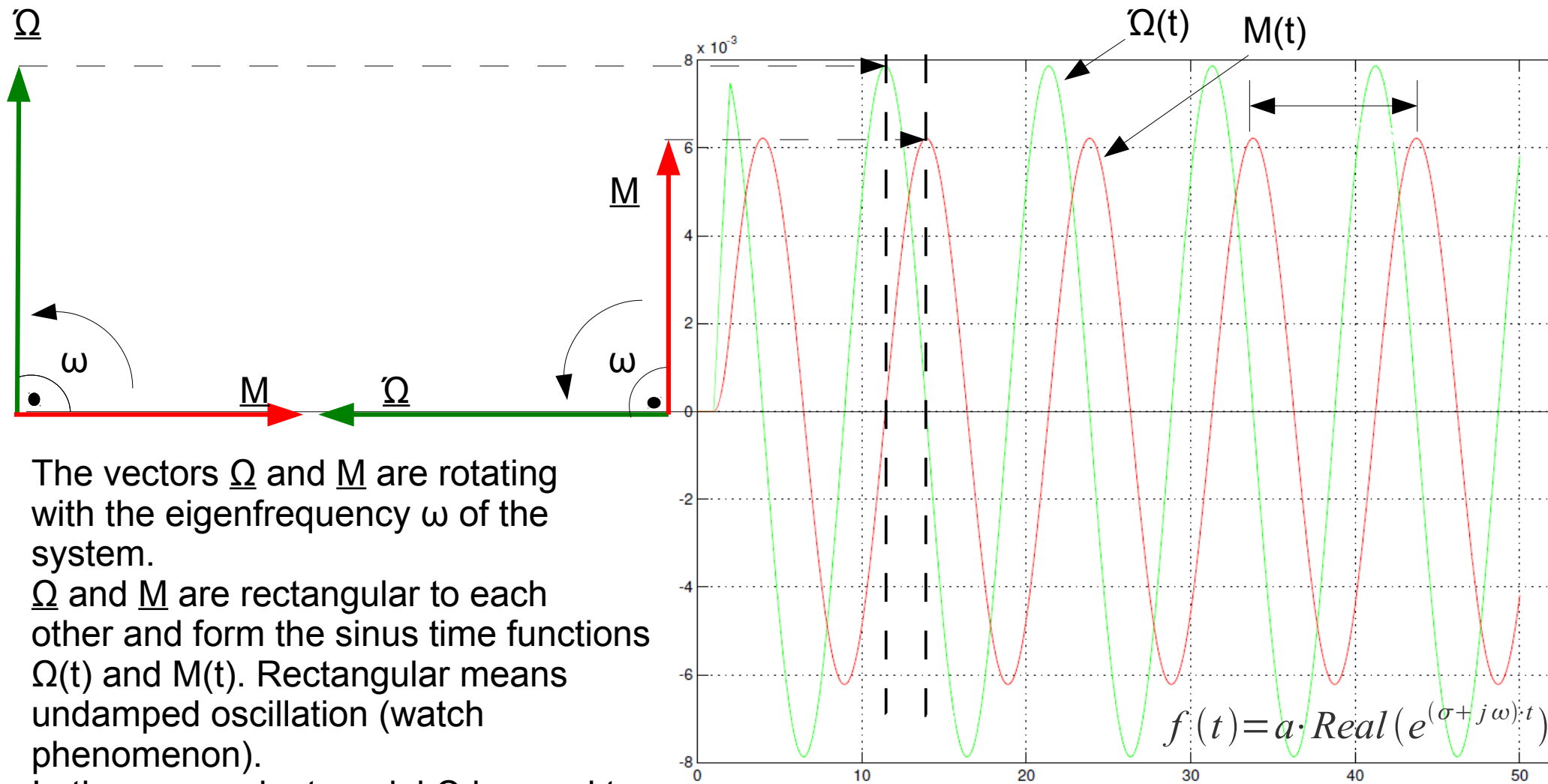
Spring-Mass-Analogon of Primary Control System



The Spring-Mass-Model is equivalent to a primary control system with a pure integral frequency controller (Secondary control in island mode).
 If the inertia J (or T_N) decreases, the eigenfrequency ω increases, the system will oscillate faster.

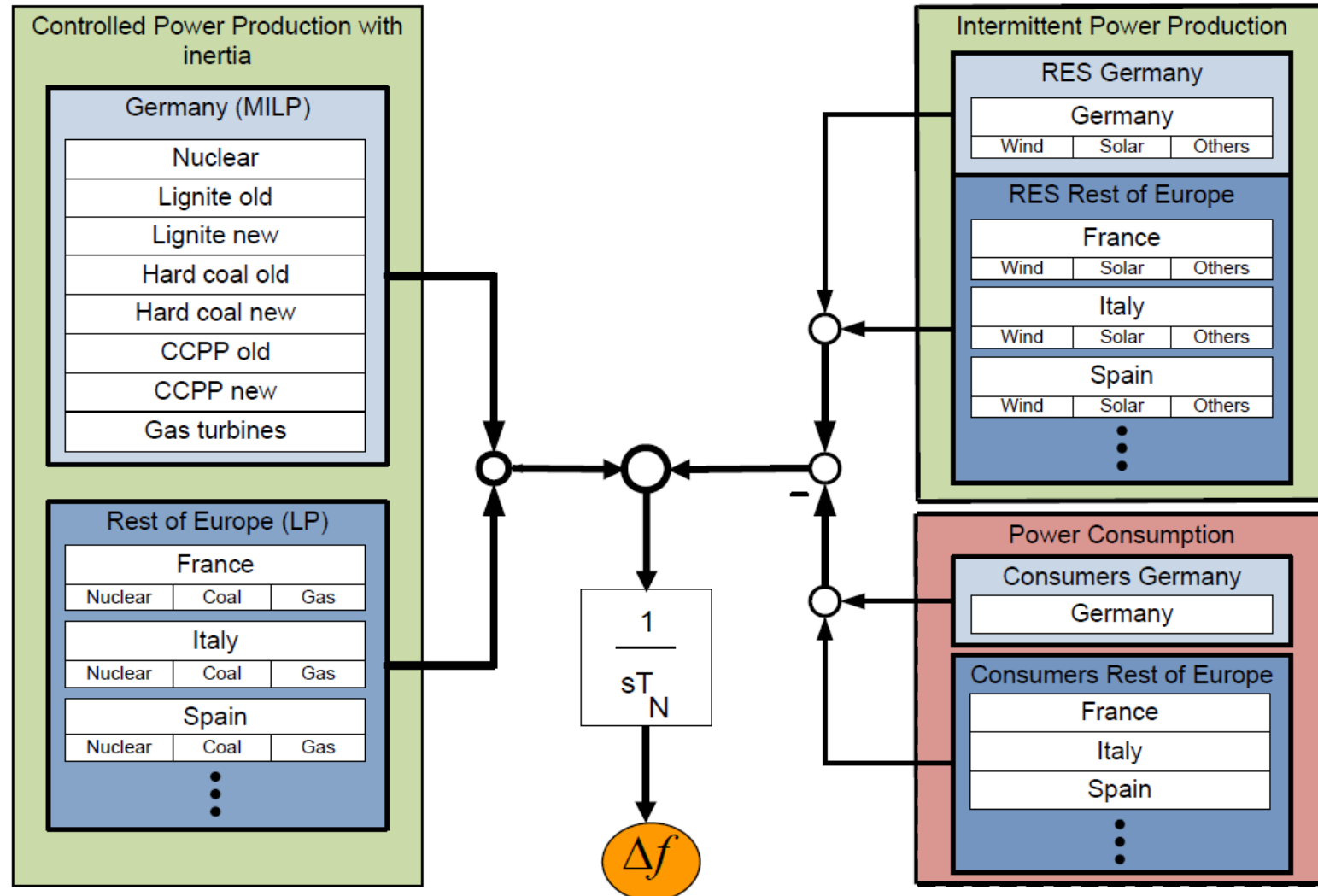
Spring-Mass-Analogen of Primary Control System, $T_N = 25$ s, $\omega = 2\pi/T = 0,63$ 1/s

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



The vectors $\underline{\Omega}$ and $\underline{M}$ are rotating with the eigenfrequency ω of the system.
 $\underline{\Omega}$ and $\underline{M}$ are rectangular to each other and form the sinus time functions $\Omega(t)$ and $M(t)$. Rectangular means undamped oscillation (watch phenomenon).
 In the power plant model Ω is equal to $-\Delta\Omega$ and M is equal to P_T .

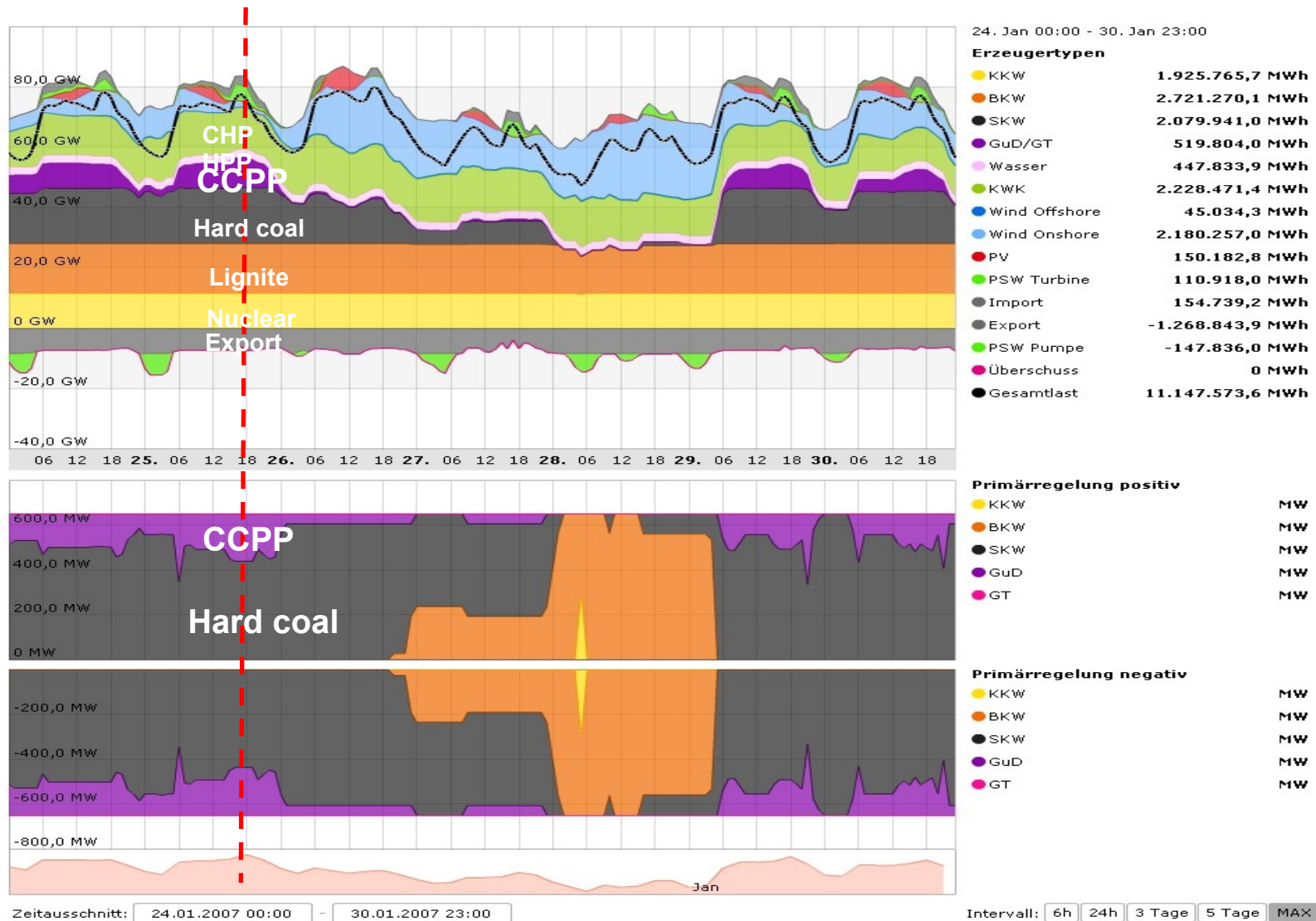
Power Balance in the Total Electrical Network



Fall 1: Winter 2011 (0% Wind und PV)

$T_N = 10,6 \text{ s}$

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



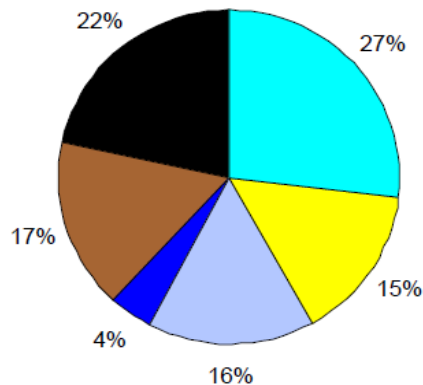
Fall 1: Winter 2011 (0% Wind und PV)

$T_N = 10,6 \text{ s}$

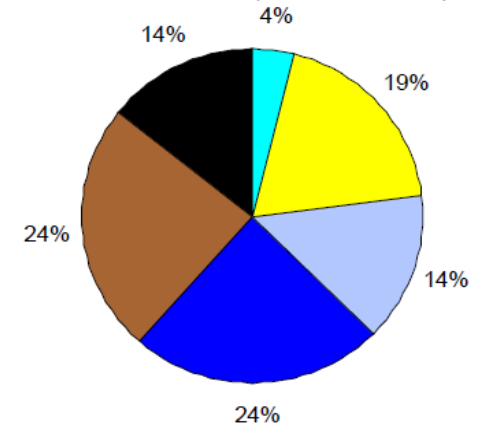
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

- The total amount of primary control reserve in Germany system is between 650 and 700 MW
- The total amount of primary control reserve in EU system is 3000 M
- In this scenario no intermittent renewable power is in operation (0 % wind & photovoltaic (PV))

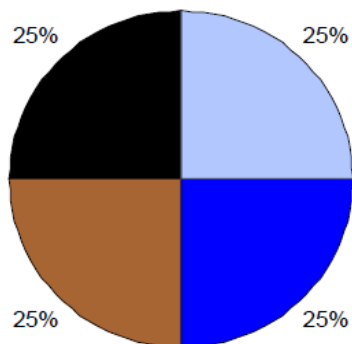
1st scenario in Germany (0 % Wind & PV)



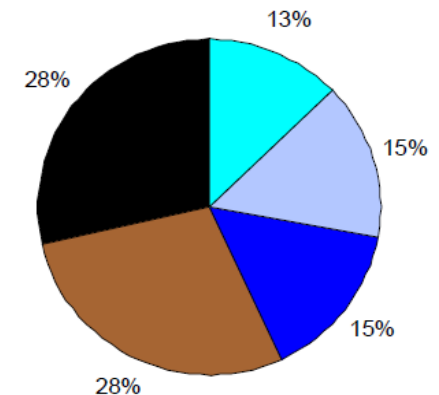
1st scenario in EU (0 % Wind & PV)



Primary reserve in Germany



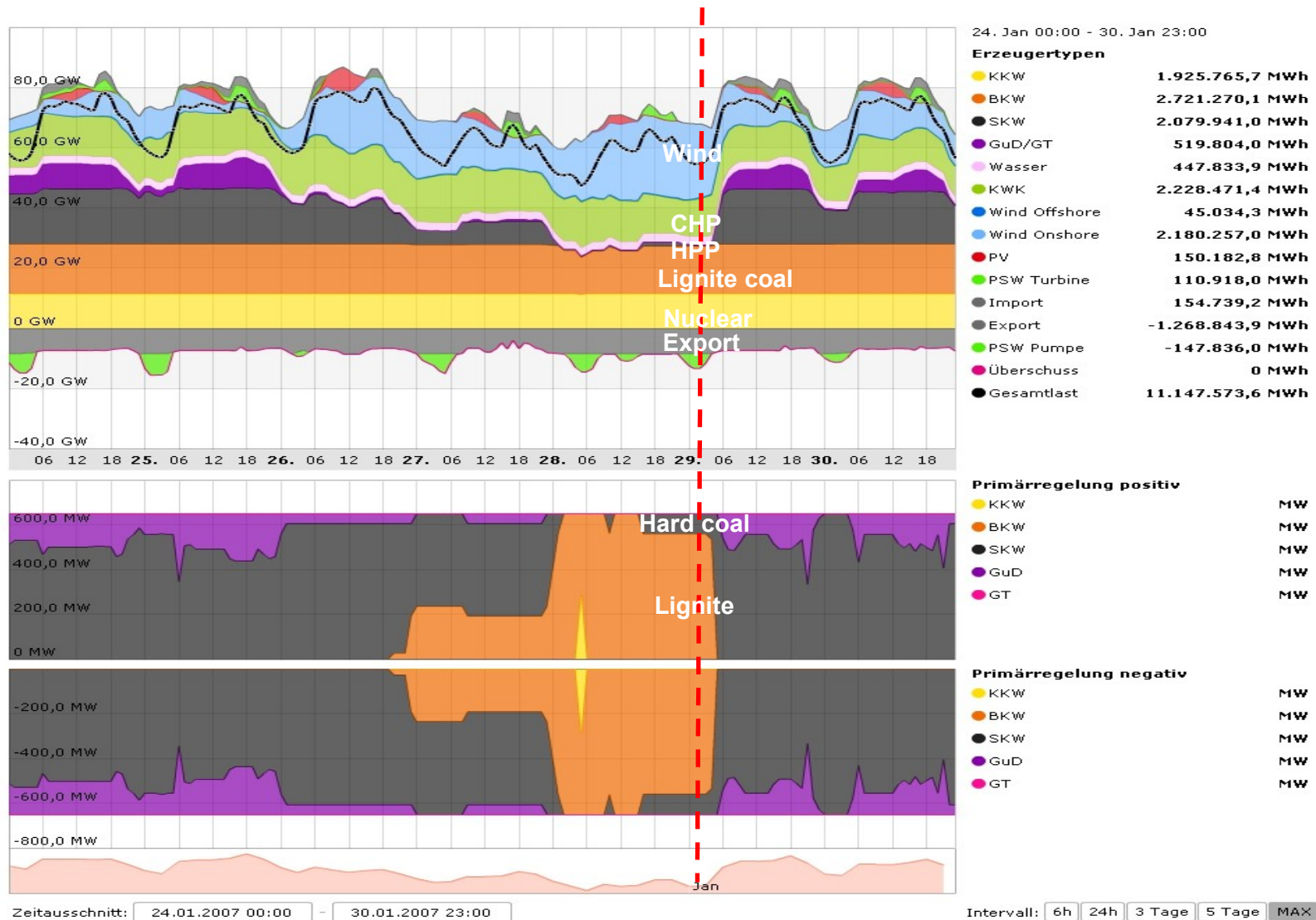
Primary reserve in EU



Fall 2: Winter 2011 (47% Wind und PV)

$T_N = 5,7 \text{ s}$

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

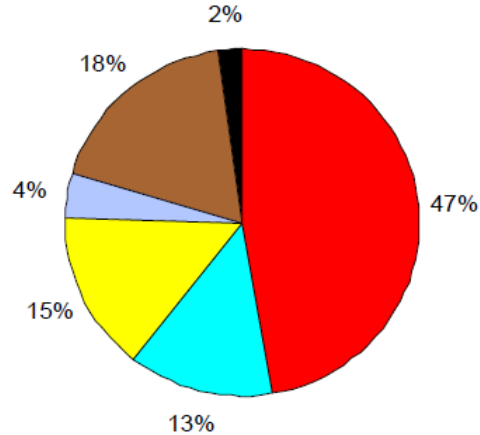


Fall 2: Winter 2011 (47% Wind und PV)

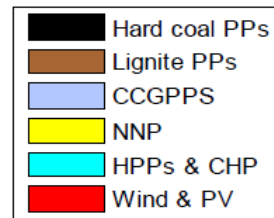
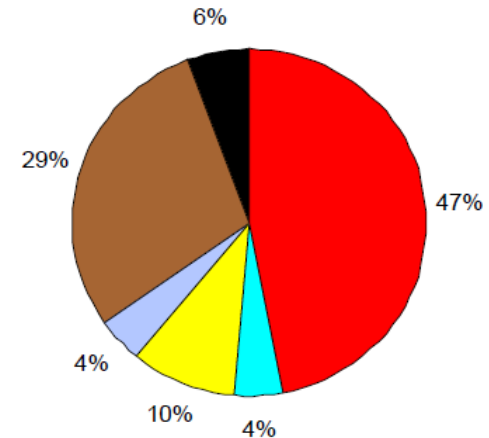
$$T_N = 5,7 \text{ s}$$

- In this scenario the gas power plants and some of the hard coal power plants are shut down and replaced by wind and photovoltaic (47%)

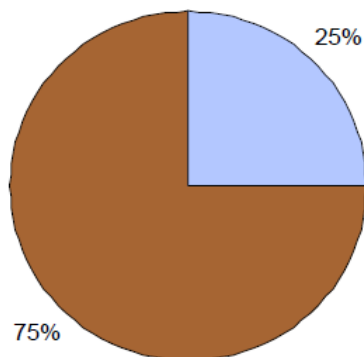
2nd scenario in Germany (47 % Wind & PV)



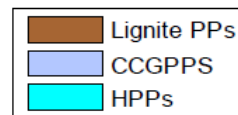
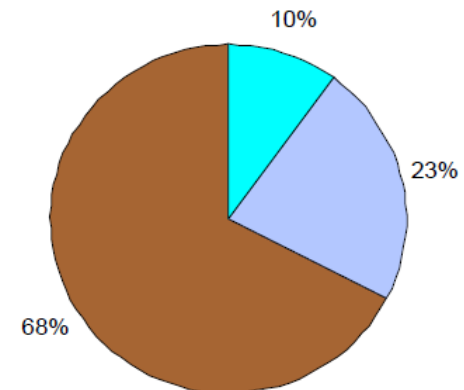
2nd scenario in EU (47 % Wind & PV)



Primary reserve in Germany



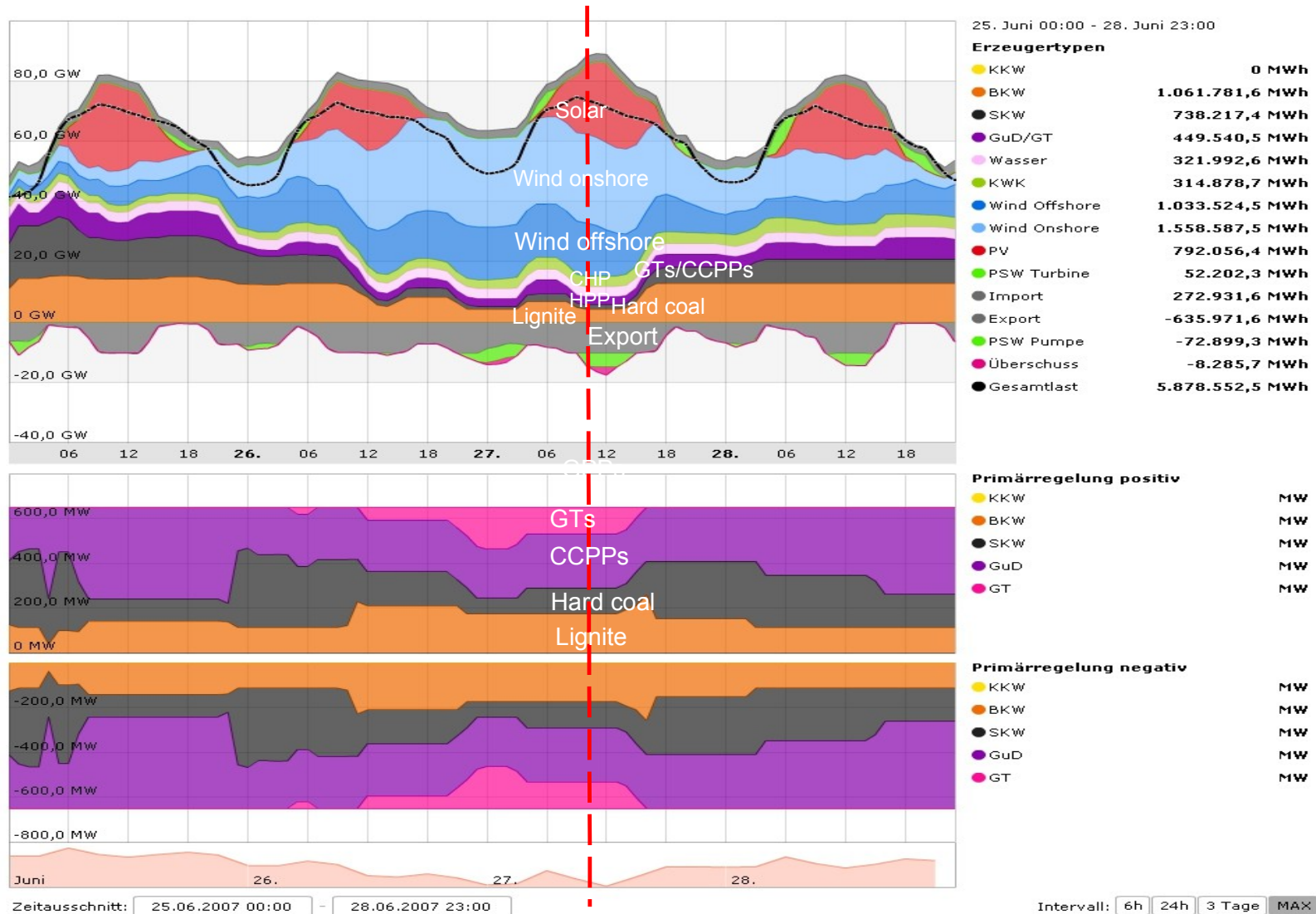
Primary reserve in EU



Fall 3: Sommer 2023 (81% Wind und PV)

$T_N = 2,1 \text{ s}$

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



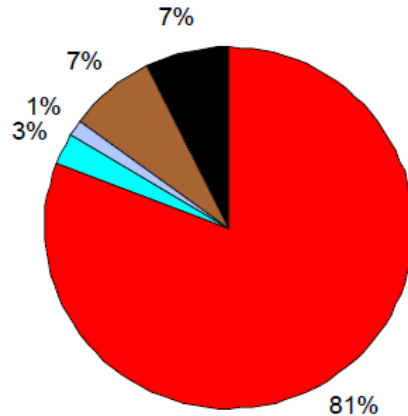
Fall 3: Sommer 2023 (81% Wind und PV)

$T_N = 2,1 \text{ s}$

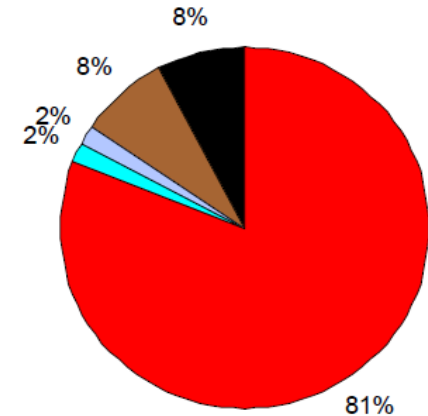
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

- In this scenario the gas and nuclear power plants are shut down and replaced by wind and photovoltaic (81%)

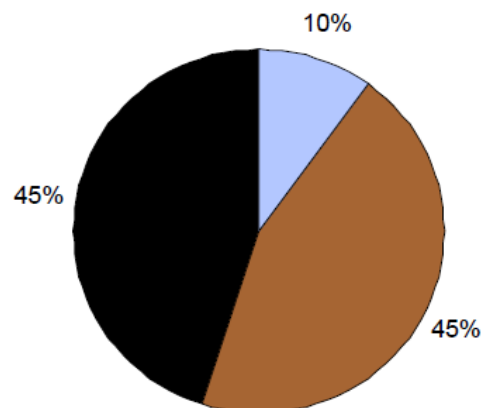
3rd scenario in Germany (81 % Wind & PV)



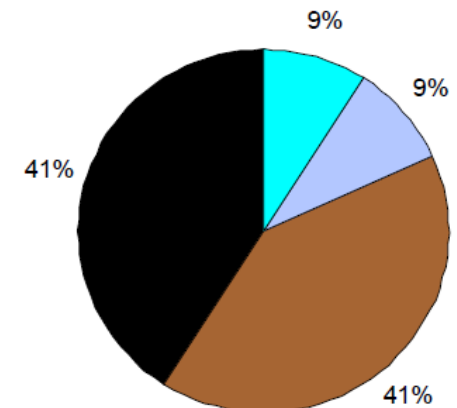
3rd scenario in EU (81 % Wind & PV)

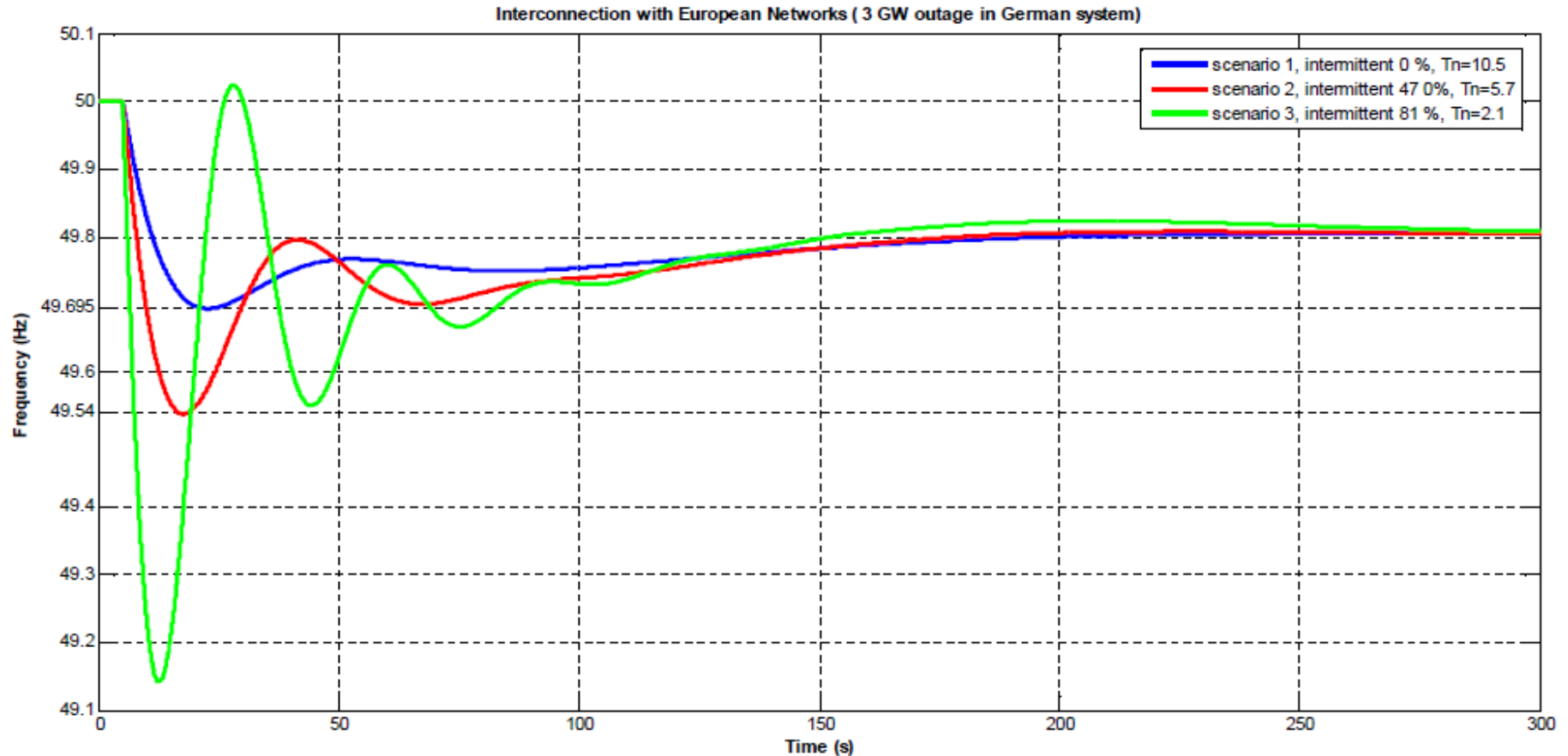


Primary reserve in Germany



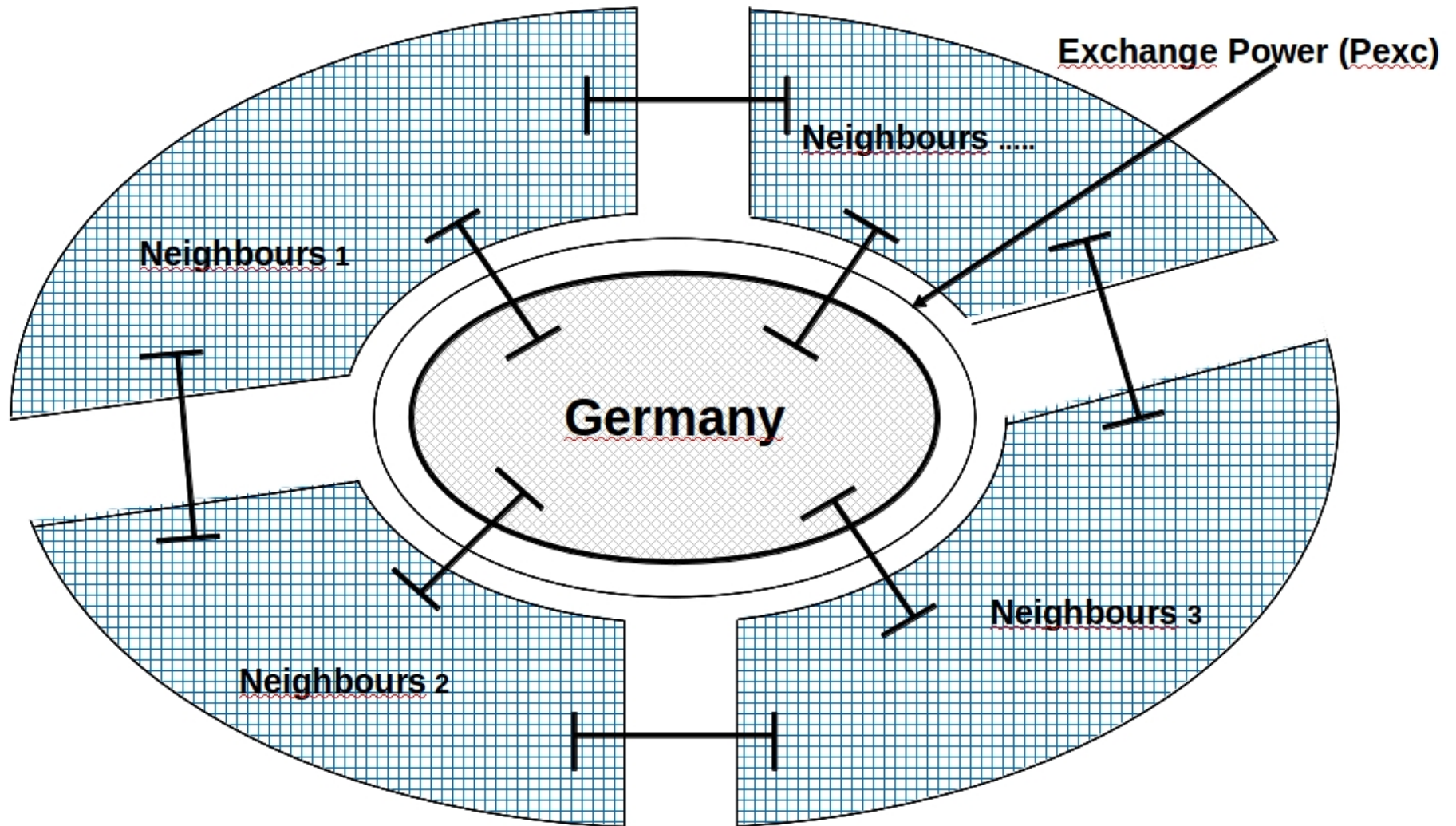
Primary reserve in EU

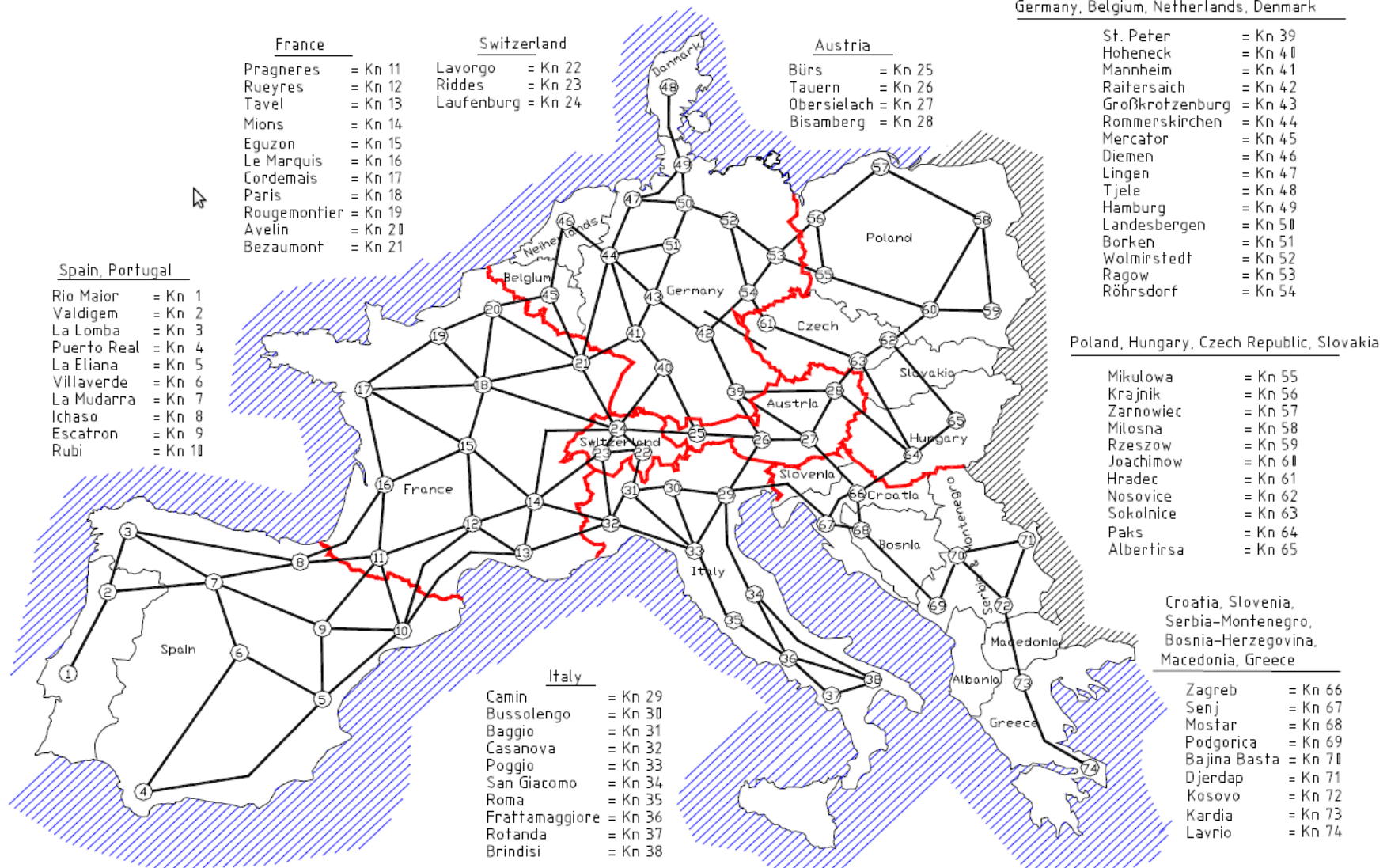




The frequency of interconnected model

- For scenario 3, the gas and nuclear power plants are shut down and replaced by intermittent renewable energy to increase to 81 %, and T_N recalculated to 2.1s.
- As a result, the frequency deviation decreased to less than – 800 mHz with more oscillation. That means some of the protection devices will operate.

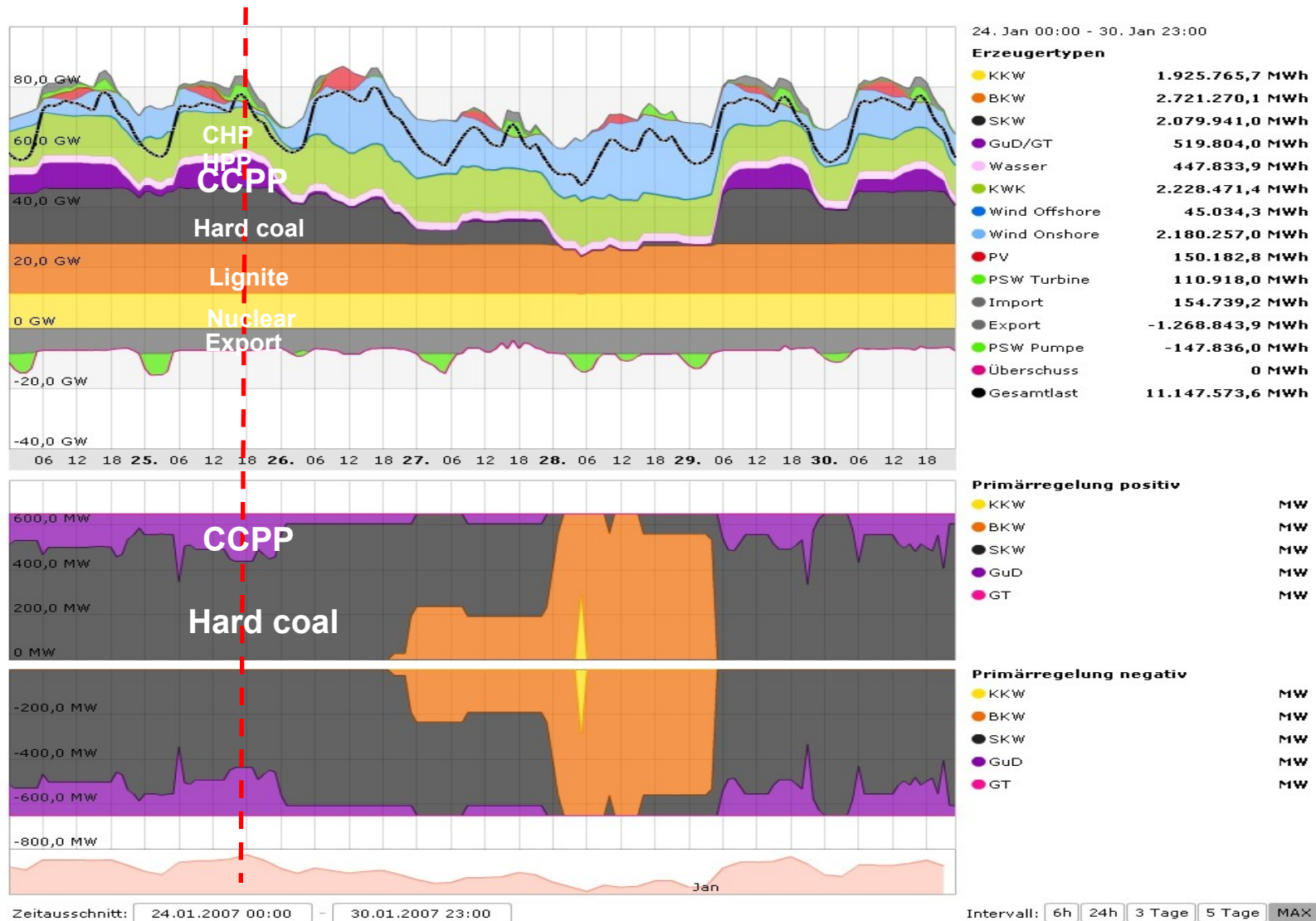




Fall 1: Winter 2011 (0% Wind und PV)

$T_N = 10 \text{ s}$

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



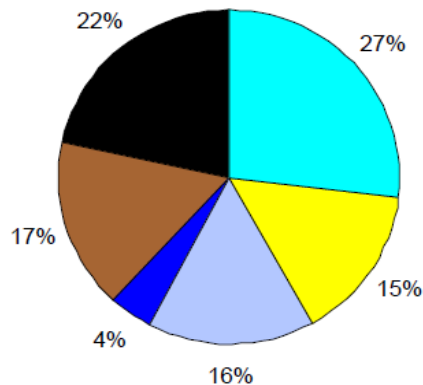
Fall 1: Winter 2011 (0% Wind und PV)

$T_N = 10,6 \text{ s}$

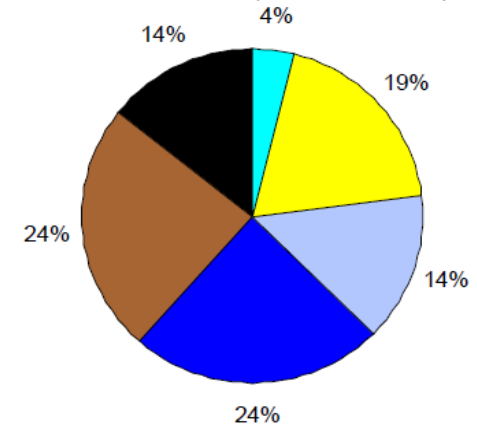
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

- The total amount of primary control reserve in Germany system is between 650 and 700 MW
- The total amount of primary control reserve in EU system is 3000 M
- In this scenario no intermittent renewable power is in operation (0 % wind & photovoltaic (PV))

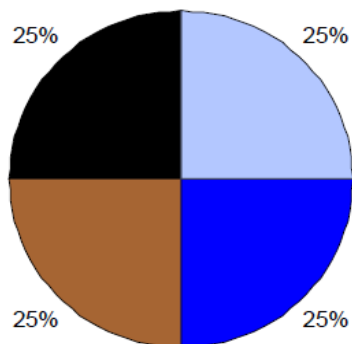
1st scenario in Germany (0 % Wind & PV)



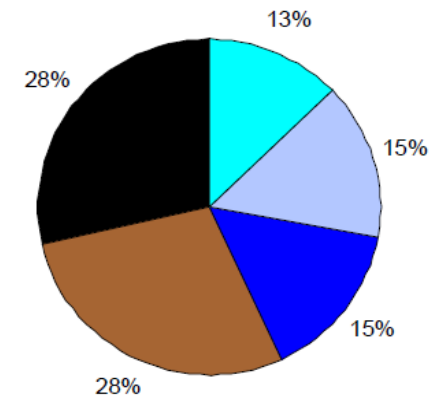
1st scenario in EU (0 % Wind & PV)

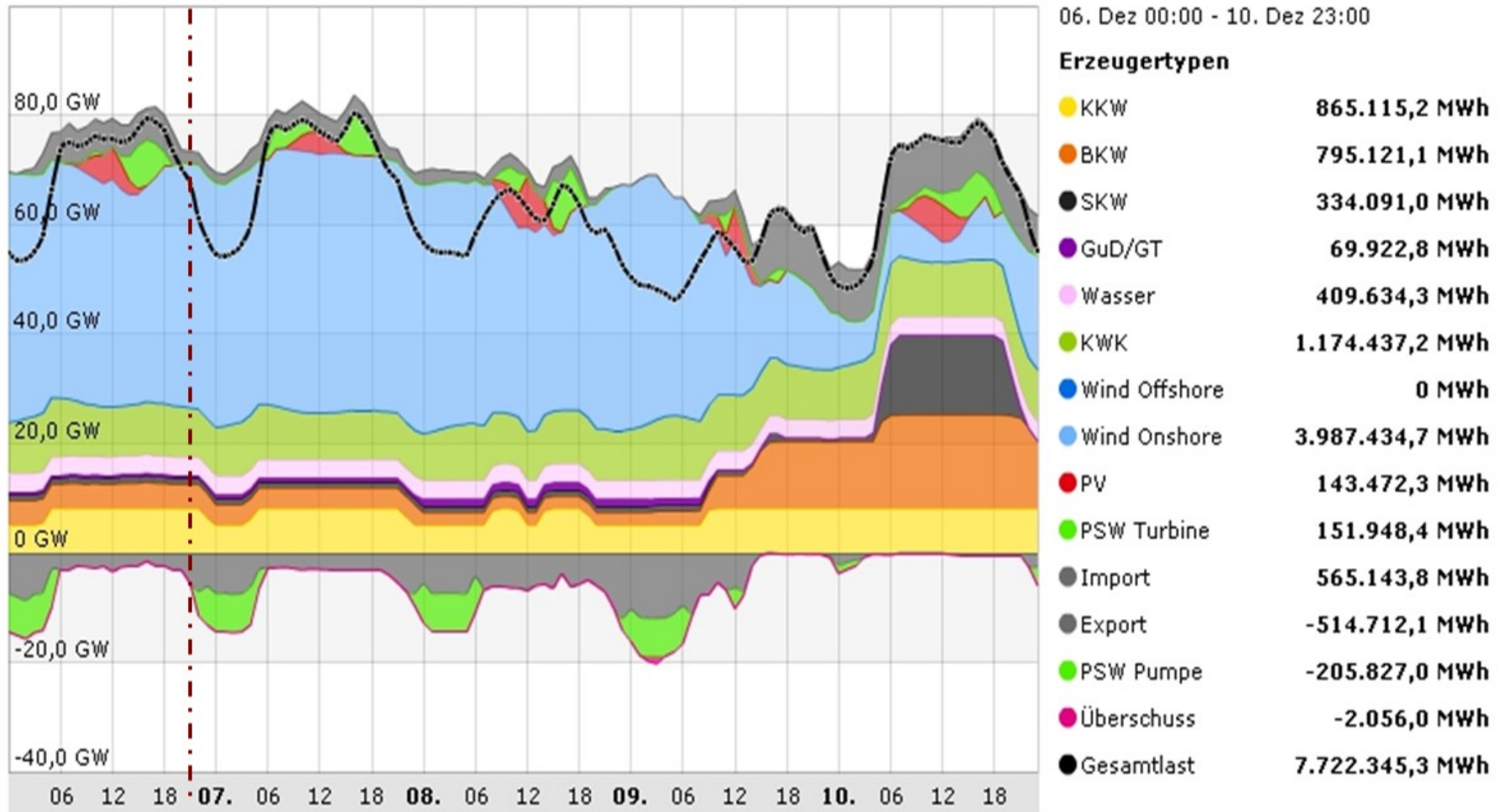


Primary reserve in Germany

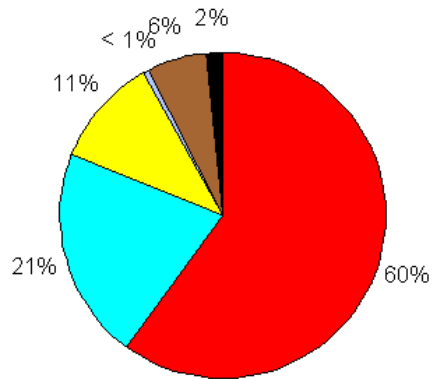


Primary reserve in EU

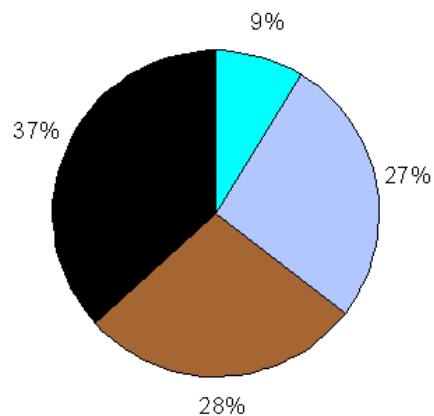
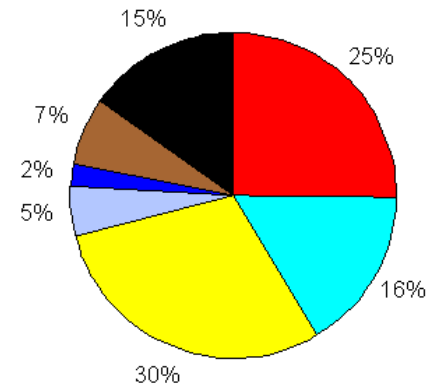
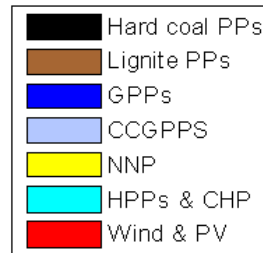




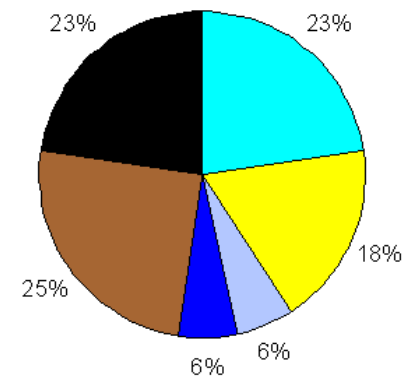
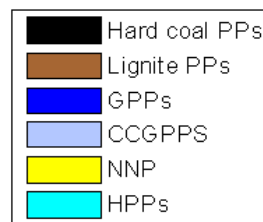
Deutschland: 60% regenerative Einspeisung
EU: 25% regenerative Einspeisung



2nd Scenario of Winter 2020, 3rd Case



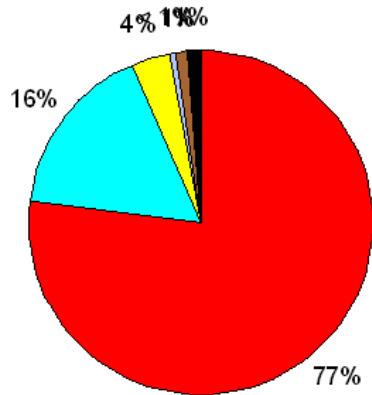
Primary reserve in Germany



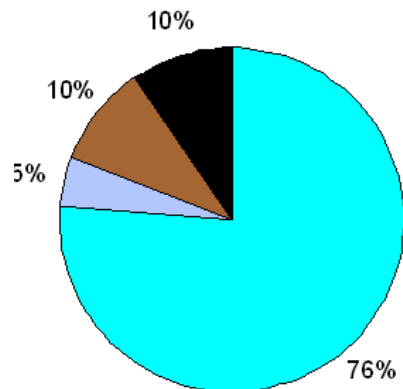
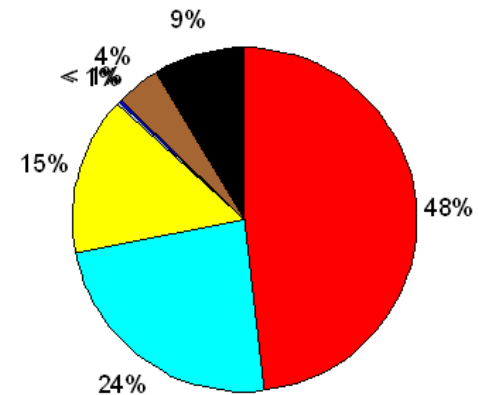
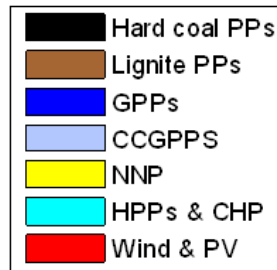
Primary reserve in EU

Deutschland: 77% regenerative Einspeisung

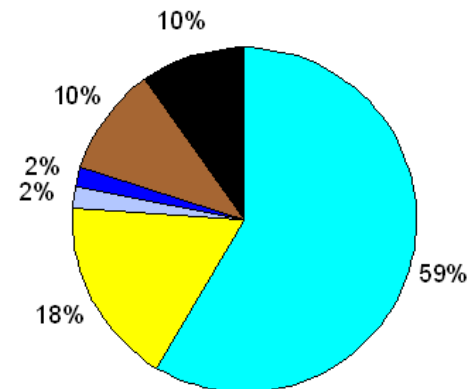
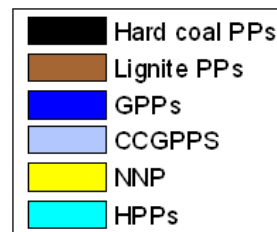
EU: 48% regenerative Einspeisung, Primärregelung vermehrt aus Wasserkraft



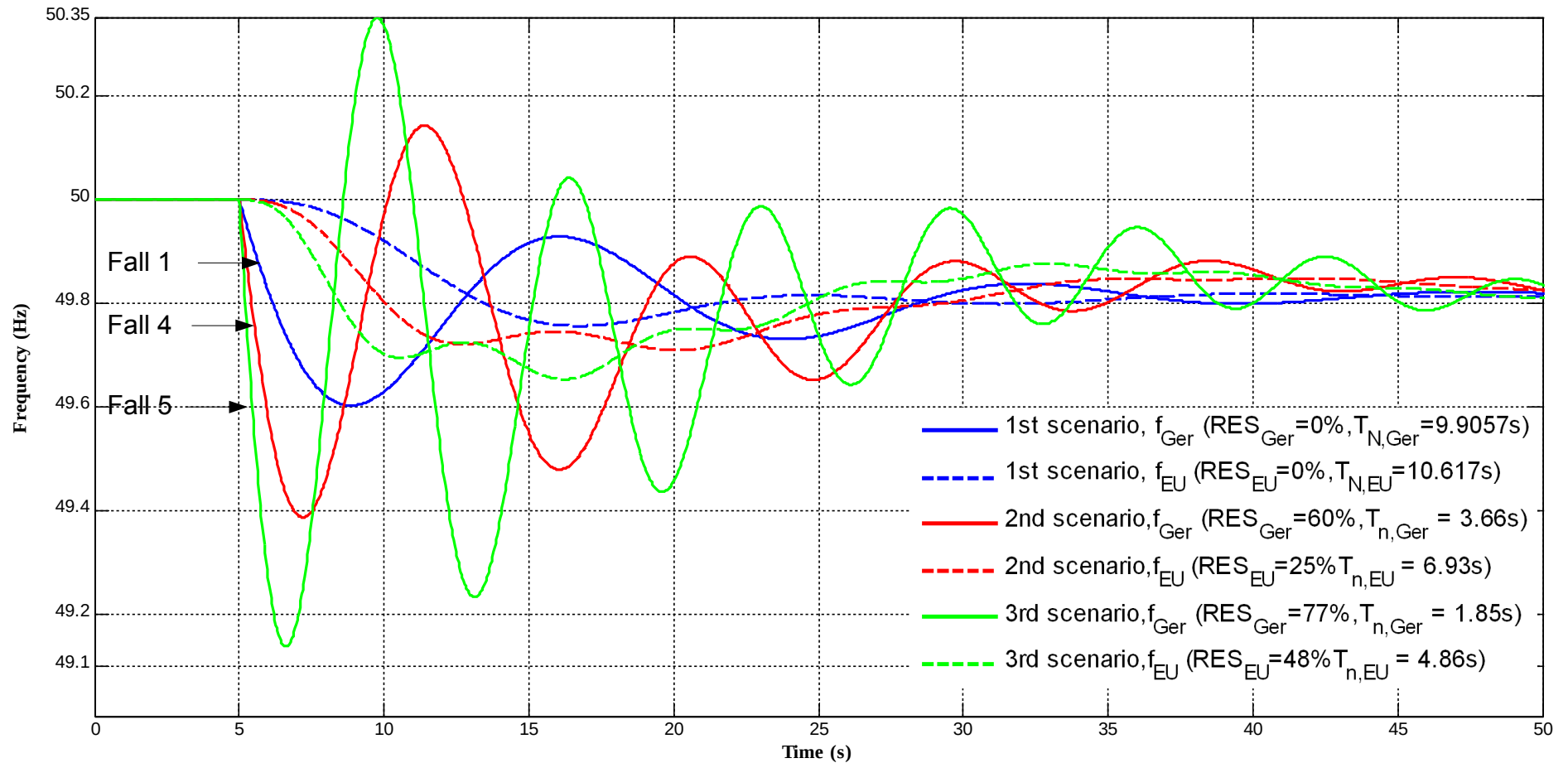
3rd Scenario of Winter 2020, 3rd Case

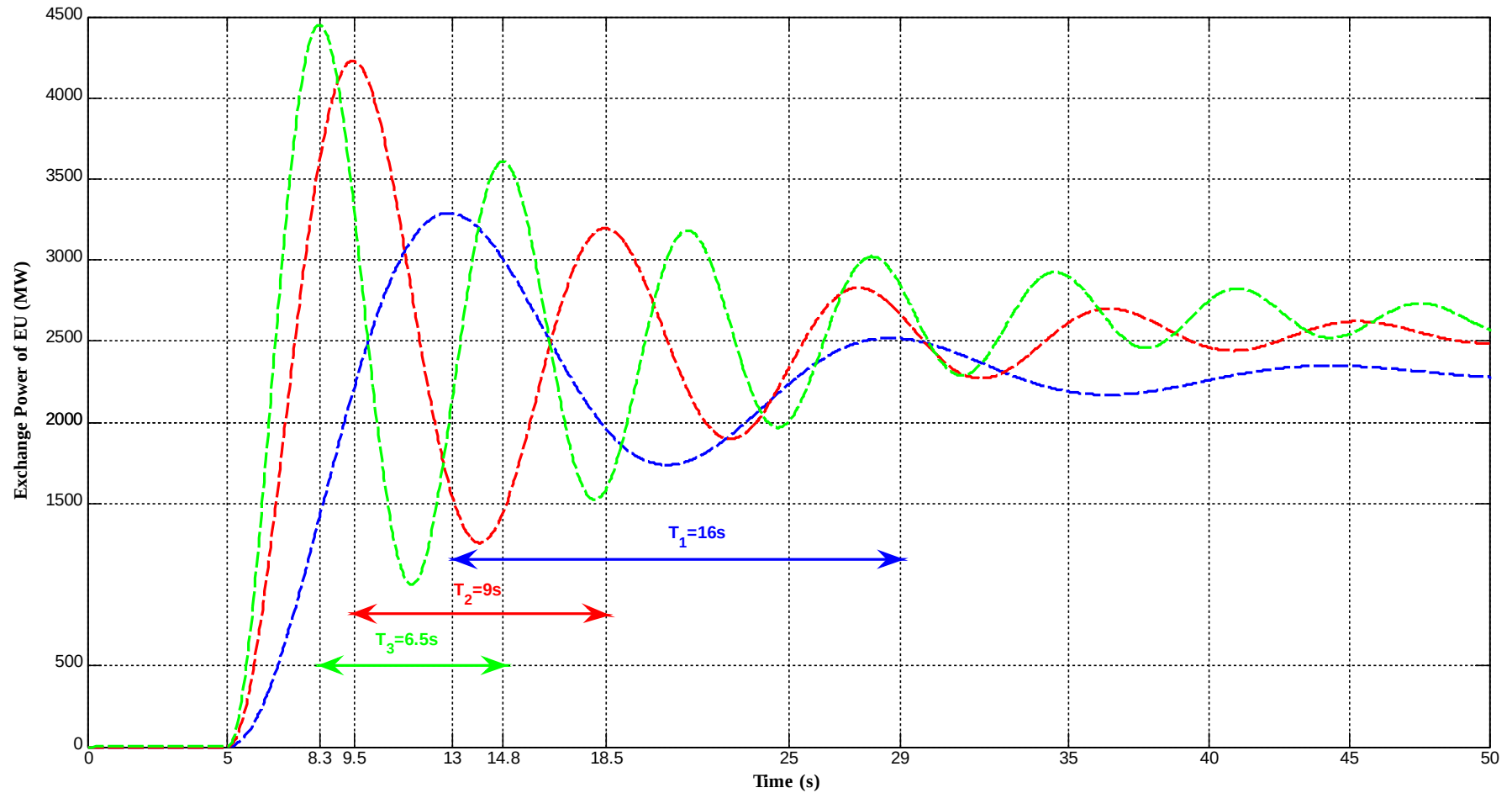


Primary reserve in Germany



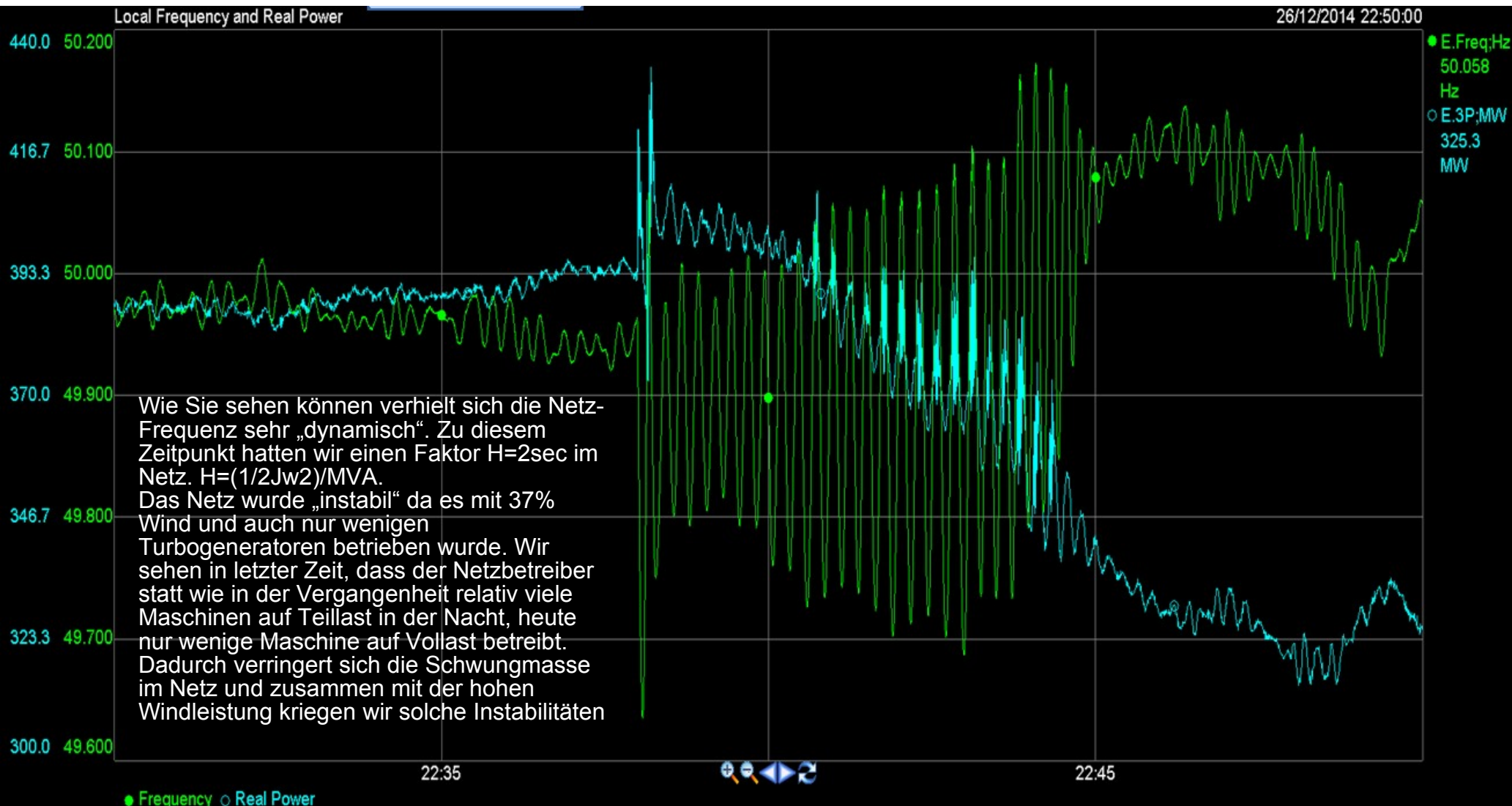
Primary reserve in EU





26. Dezember 2014: Netzin stabilität in Irland 35% Erzeugung aus Windkraft

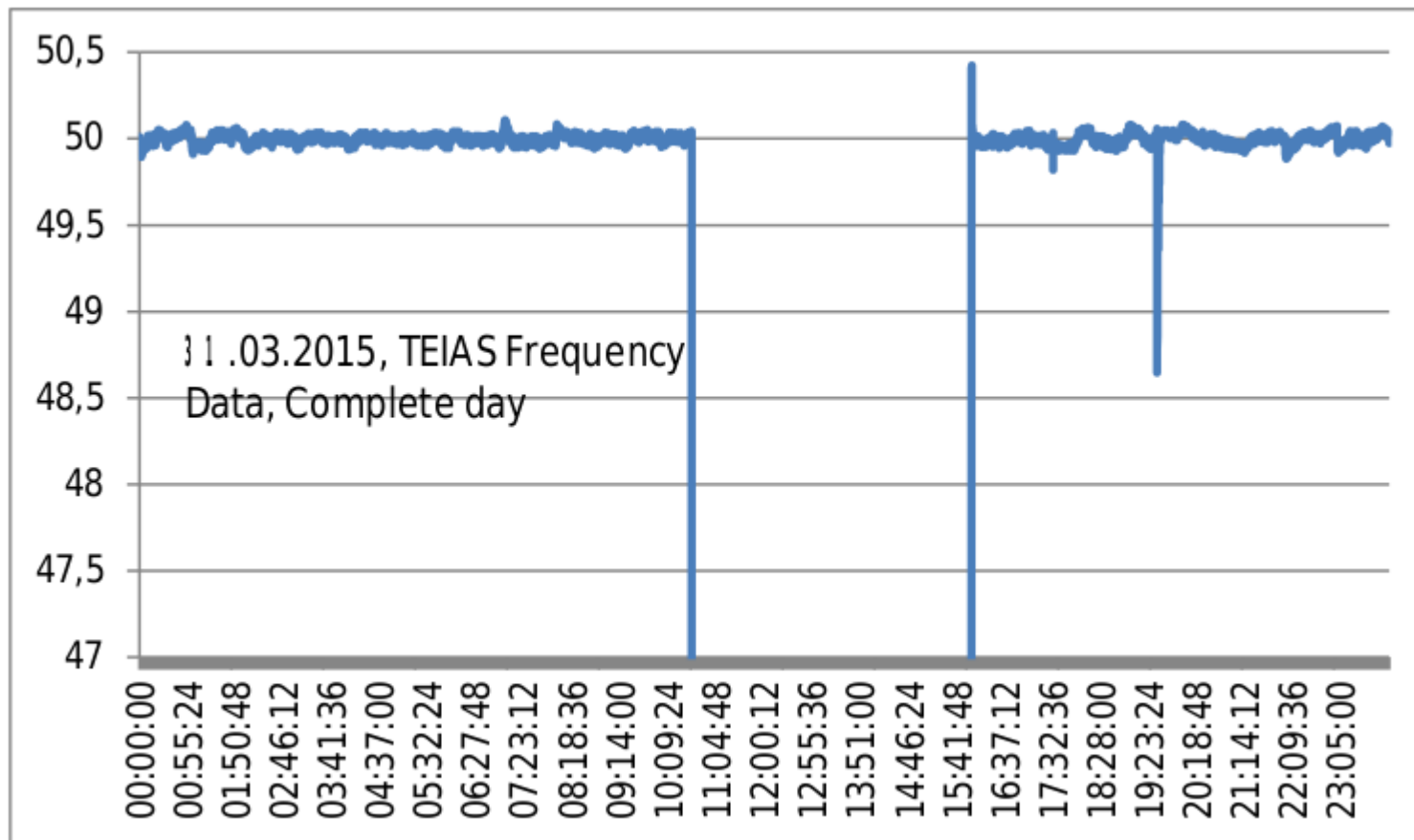
Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber



31. März 2015: Totalblackout in der Türkei Zehn Stunden bis Vollversorgung

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

As learnt more I see that there were two more thermal power plants that went online within last year (Atlas Energy 1200 MW and Erzin 900 MW) at Southern Turkey. So actually it was TEIAS's first spring that they were trying to manage high hydro generation at Southeast (and also North east) together with those two new thermal power plants that were online. In the past, "load flow" was at dispatch people's head without any stability concern and now as the system grows up I believe people can not "solve" the system in detail in their heads so TEIAS should begin to be more "mathematical" in daily operation and also for long-term planning studies and also manage the market dynamics.



Kurzfristig bis 2025: Optimierung von bestehenden Kraftwerken

- Untersuchung der Lebensdauerreduzierung in Folge stark zunehmender intermittierenden Erzeugung aus Wind und Sonne und Umbau der Kraftwerke
- Vermehrte Bereitstellung von Systemdienstleistungen
- Entwurf neuer Kraftwerkskonzepte für die regenerative Zukunft

Mittelfristig bis 2050:

Geschlossener CO₂-neutraler Kreislauf-Betrieb konventioneller Kraftwerke durch regenerative synthetische Brennstoffe möglich

Vorteil: Sichere Systemstabilität durch ausgereifte Technologie

Langfristig: Notwendigkeit der unverminderten Forschung in der Fusionstechnologie

Vorteil: Sichere, starke und „unendliche“ Energiequelle für dann mehr als 10 Mrd. Menschen auf der Erde

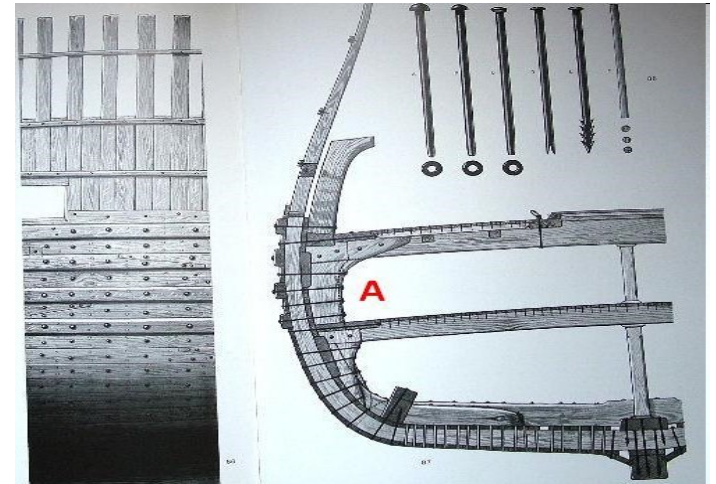
Der Untergang der Vasa 1628 oder Die Folgen nicht umgesetzter Einsichten

Universität Rostock
Prof. Dr. H. Weber

Das Schiff:



Der Fehler:



Der Weg:



Das Ende:



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!