Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

KlimaKompetenz-Camp IX – Stadtentwicklung

(Energiespeicherung & Smart Grid)

Dr.-Ing. Saman Amanpour

Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg

9. Mai 2023

AGENDA

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

1. Begrüßung und Einführung
2. Energieversorgung & Nachhaltigkeit
3. Energiespeicherung und Lastenausgleich
4. Smart Grids & Intelligente Stromnetze
5. Elektromobilität & V2G-Technologie

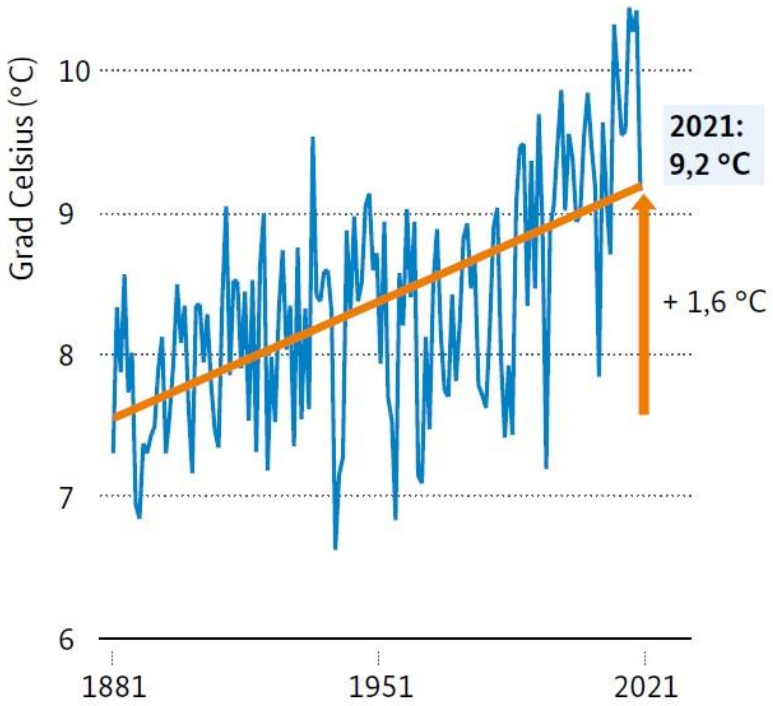
Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg

1. Begrüßung und Einführung

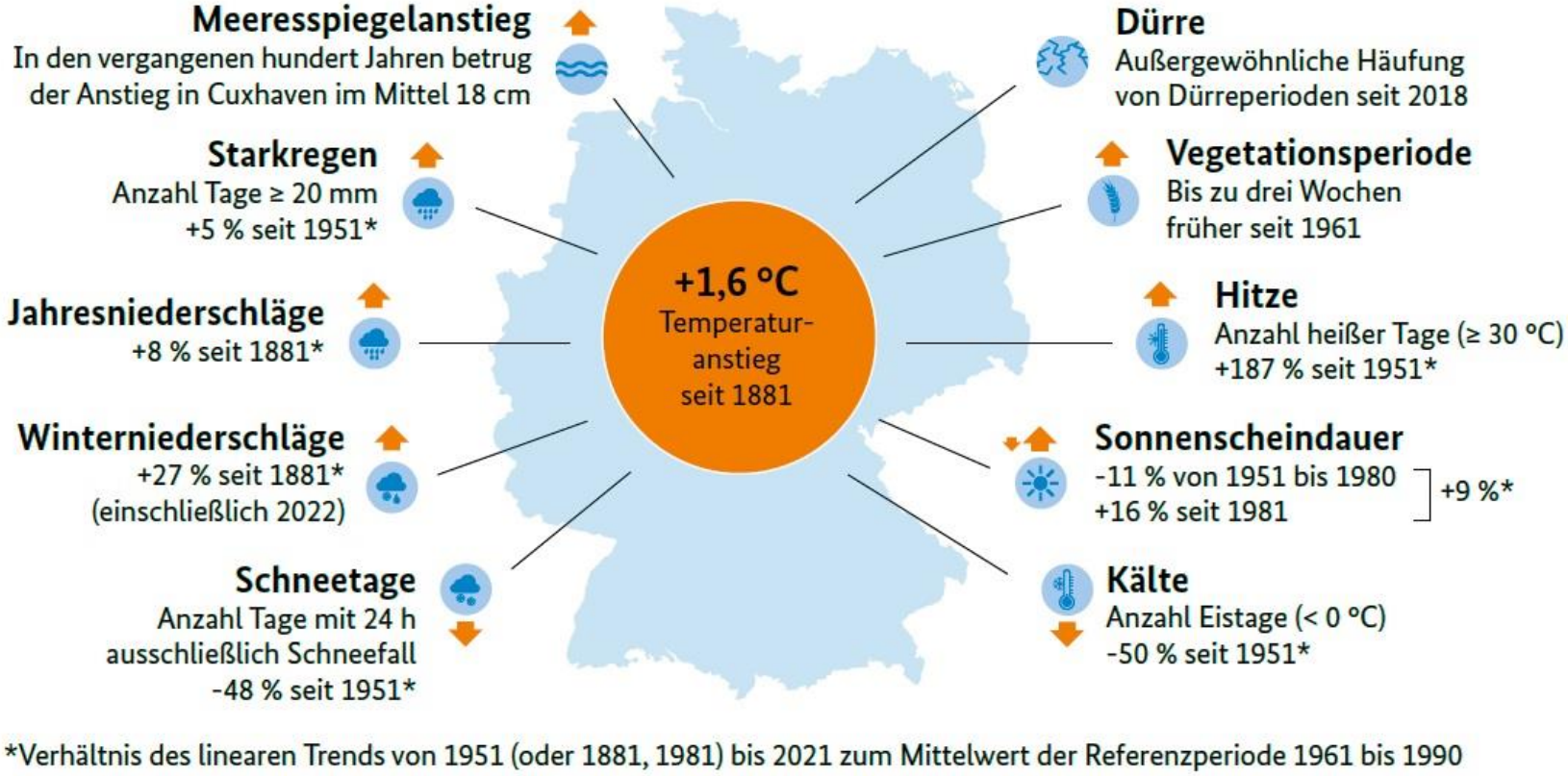
9. Mai 2023

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Jahresdurchschnittstemperatur und Klimafolgen in Deutschland



Quelle: DWD 2022

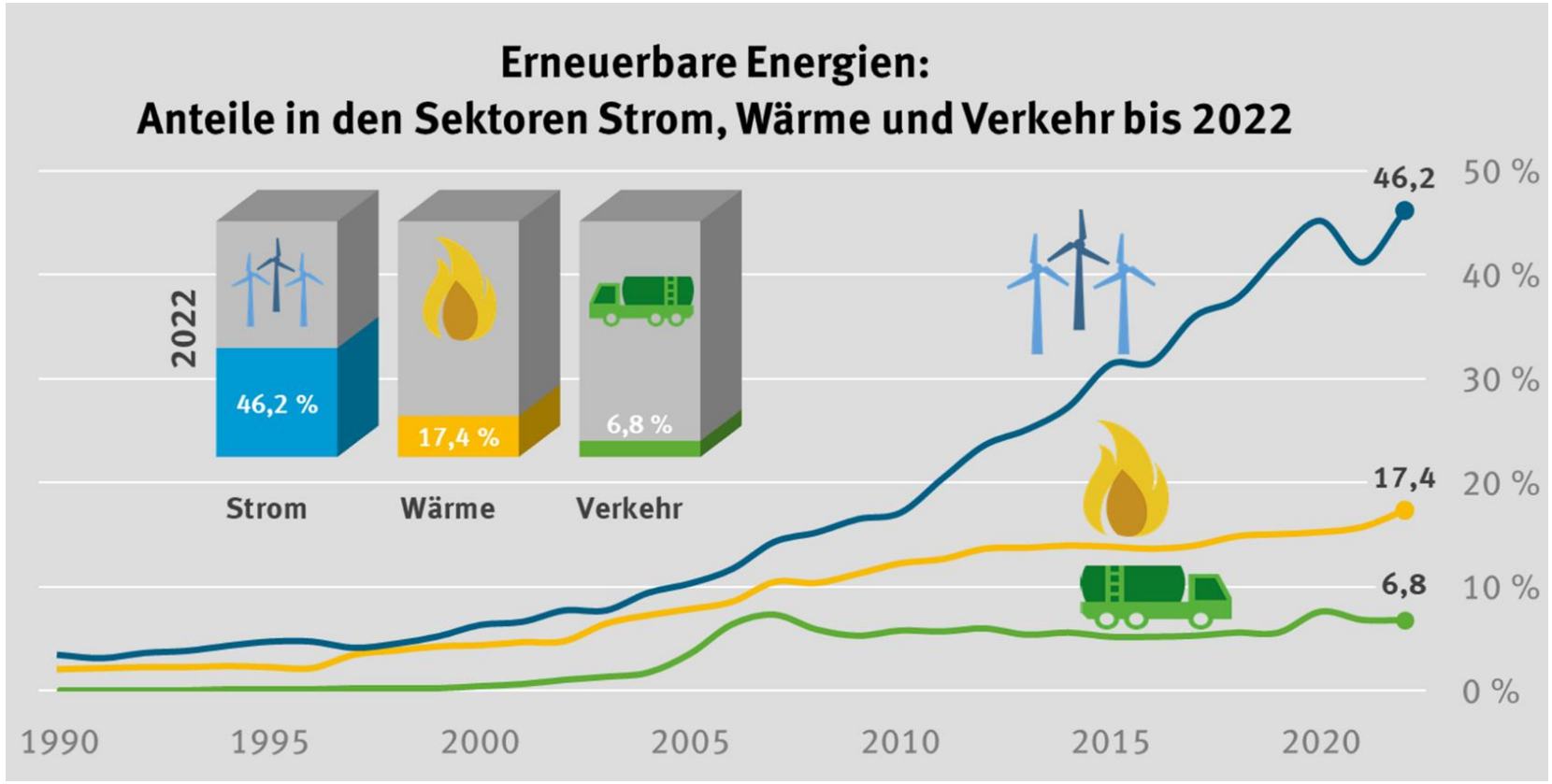


Quelle: DWD 2022, Klimaschutz in Zahlen BMWK 2022

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Energiewende – Status Quo

- Keine Kernenergie
- Ausbau der EE-Anlagen
- Kohleausstieg bis 2038
- Schleppender Netzausbau
- Sektorenkopplung
- Hochlauf der Elektromobilität



Quelle: Umweltbundesamt AGEE-Stat 2023

Energiewende – Substitutionswirkung

Nutzung regenerativer Strom → Substitution fossiler Bereitstellung

regenerative Bereitstellung			fossile Einsparung			Substitutions-verhältnis Energie	Vermiedene THG-Emisisonen in $CO_{2Äq}$
Input	Technik	bereitgestellte Energie / Nutzen		Technik	Input		
1 kWh reg. Strom	PtH Wärmepumpe	3,3 kWh Wärme	3,3 kWh Wärme	Brennwertkessel (105%)	3,14 kWh Erdgas	3,14	~ 640
1 kWh reg. Strom	E-Auto (80%)	4,6 km	4,6 km	Verbrennungs-motor (28%)	2,6 kWh fl. Kraftstoff	2,6	~ 690
1 kWh reg. Strom	PtH direktelektrisch	0,95 kWh Wärme	0,95 kWh Wärme	Brennwertkessel (105%)	0,91 kWh Erdgas	0,91	~ 185
1 kWh reg. Strom	PtG – H2 stofflich	0,74 kWh Wasserstoff	0,74 kWh Wasserstoff	Dampfreforming (85,2%)	0,87 kWh Erdgas	0,87	~ 180
1 kWh reg. Strom	PtG – CH4	0,58 kWh Methan	0,58 kWh Methan		0,58 kWh Erdgas	0,58	~ 120
1 kWh reg. Strom	PtL	0,5 kWh fl. Kraftstoff	0,5 kWh fl. Kraftstoff		0,5 kWh fl. Kraftstoff	0,5	~ 135

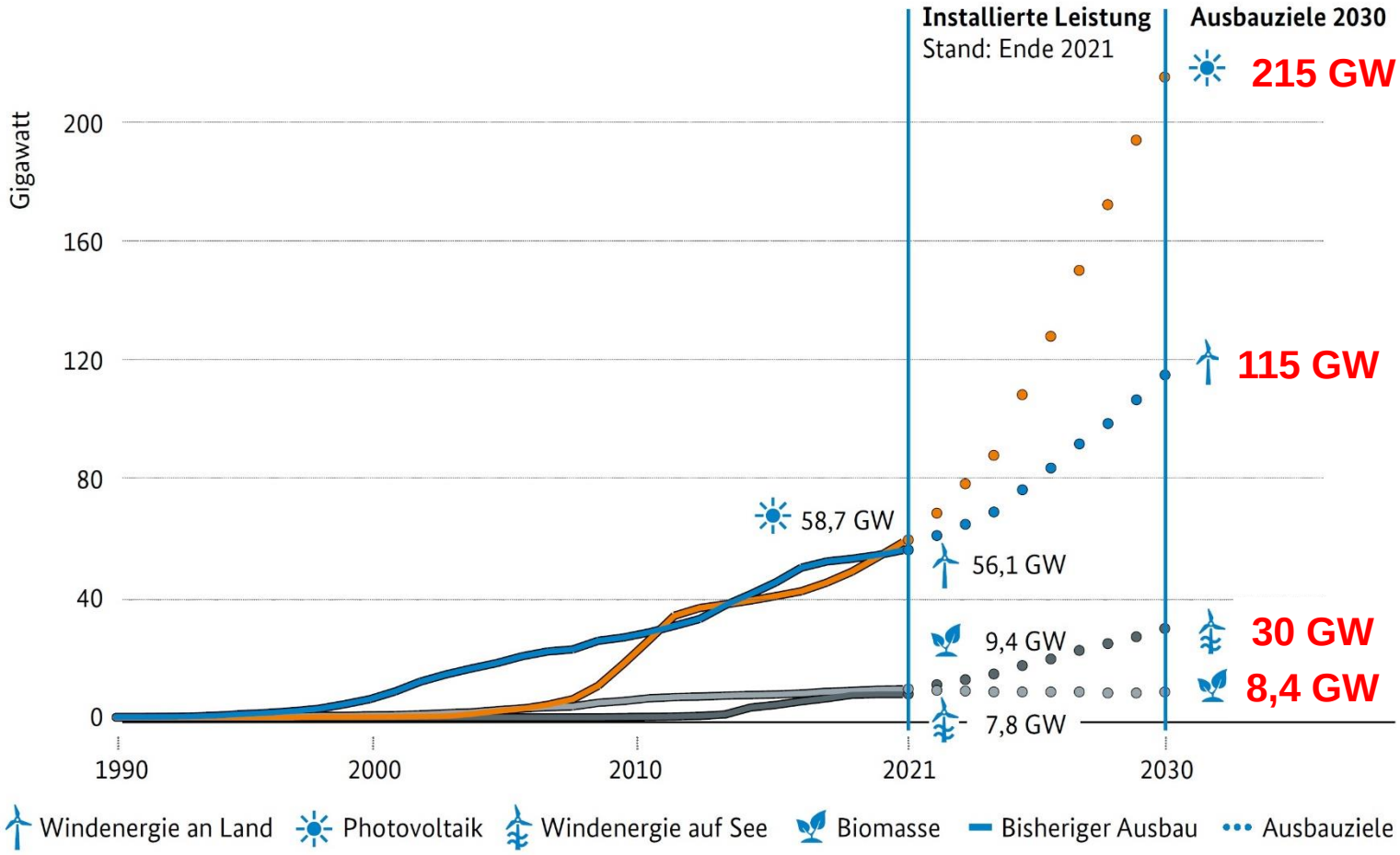
Quelle: Umweltbundesamt 2023

Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg

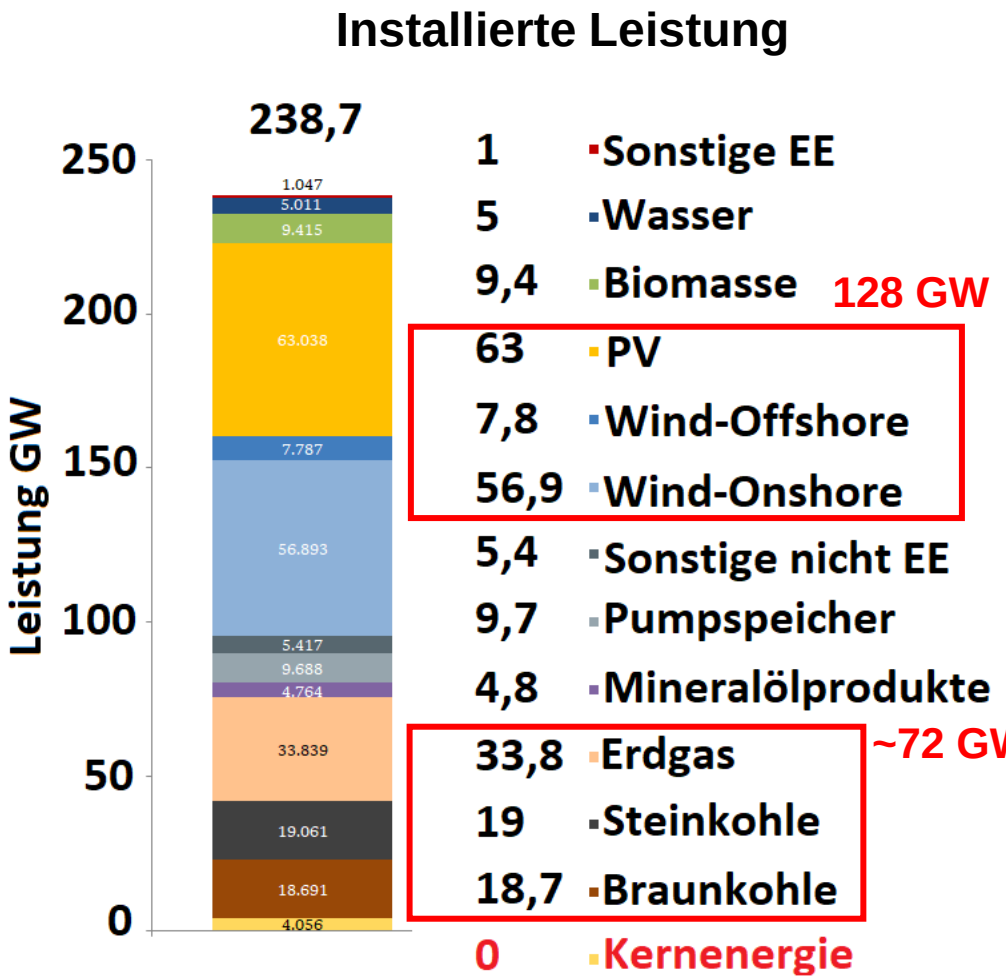
2. Energieversorgung & Nachhaltigkeit

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Energiewende – Status Quo & Ausbauziele



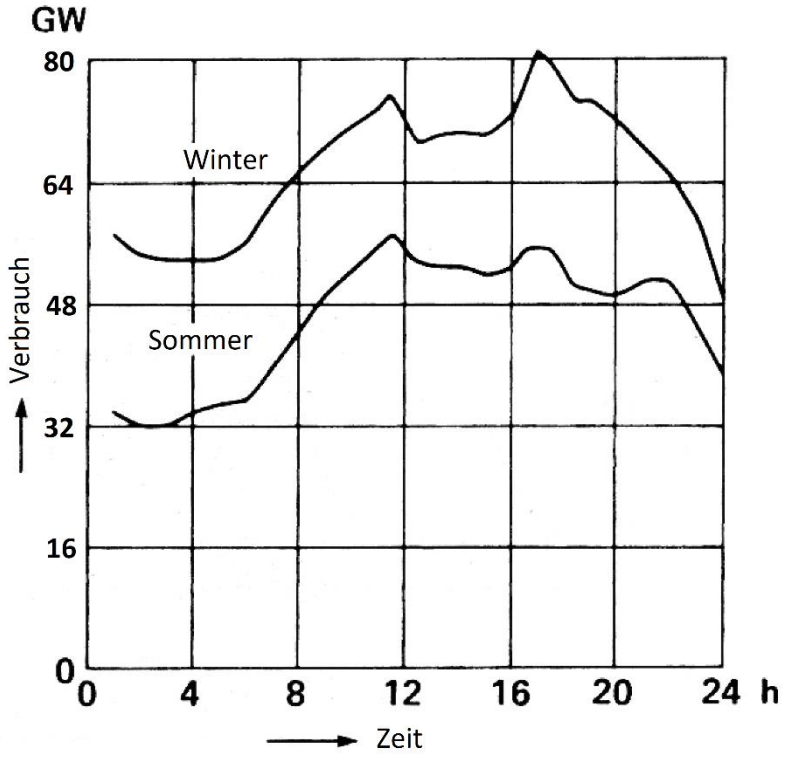
Quelle: BMWK 2022, Bundesregierung 2022



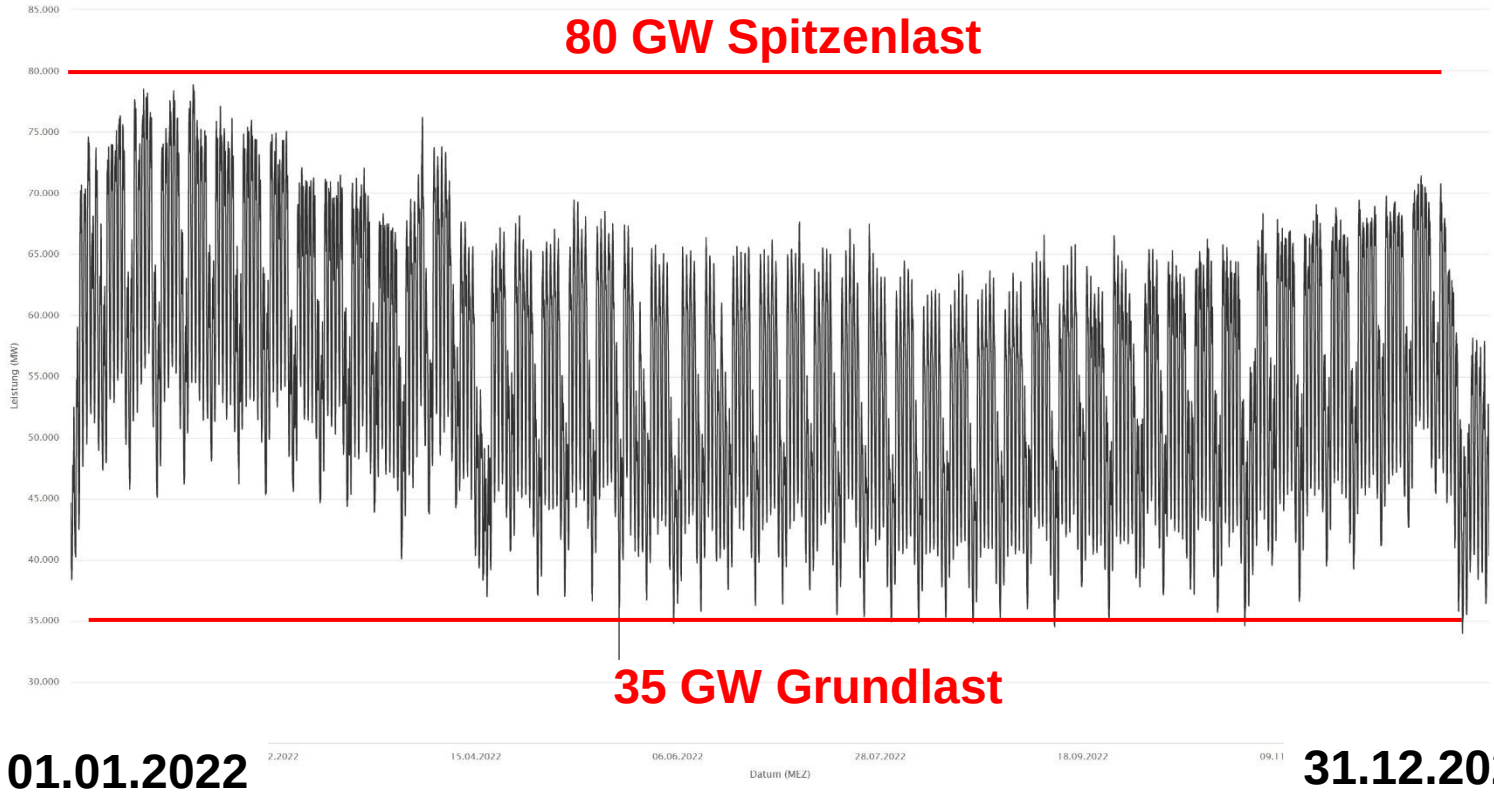
Quelle: Bundesnetzagentur, 11/2022

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Versorgungssystem – Elektrische Last



Beispiel Lastprofil



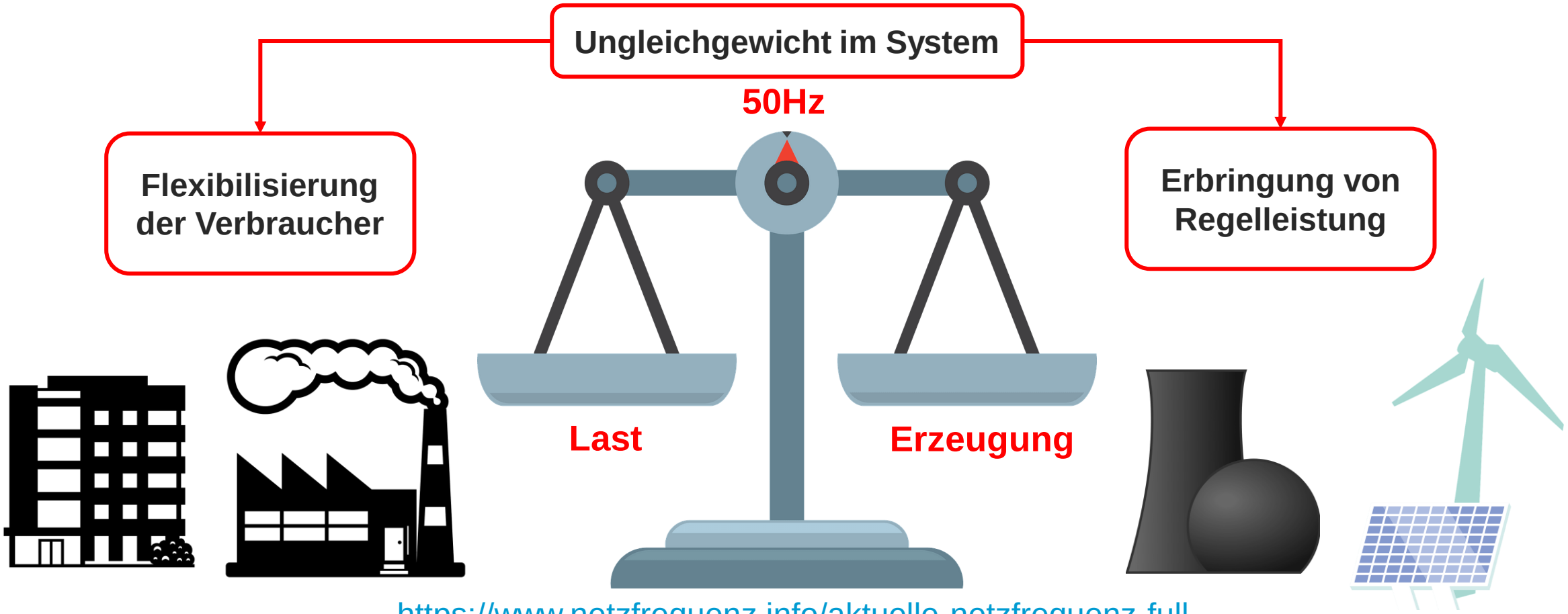
01.01.2022 **31.12.2022**

Elektrischer Last 2022 Deutschland

2022: 560 TWh, davon 230 TWh aus EE-Anlagen
2030: 750 TWh, davon 600 TWh aus EE-Anlagen

Quelle: Fraunhofer ISE 2023, Energy-Charts

Versorgungssystem – das Gleichgewicht



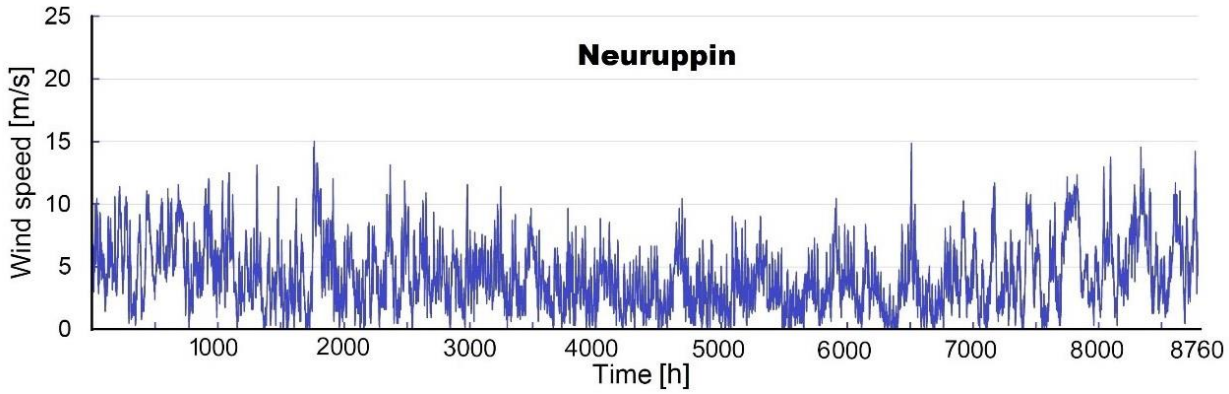
https://www.netzfrequenz.info/aktuelle-netzfrequenz-full

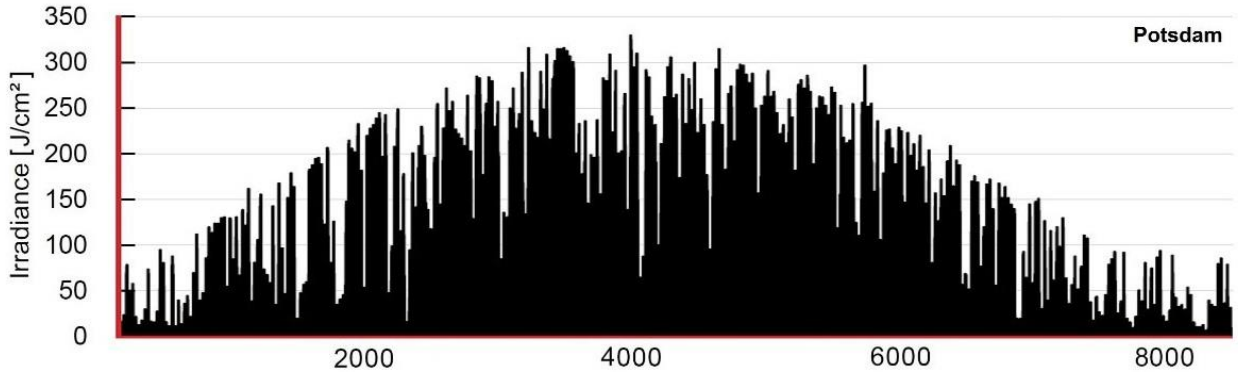
https://www.netzfrequenz.info/regelleistung

Versorgungssystem – Integration der EE-Anlagen

verursachte Probleme für den Netzbetrieb

- **Volatilität**
- **nicht kontrollierbare Variabilität**
- **teilweise Unvorhersehbarkeit**
- **Standort-abhängigkeit**
- **Zuverlässigkeit**

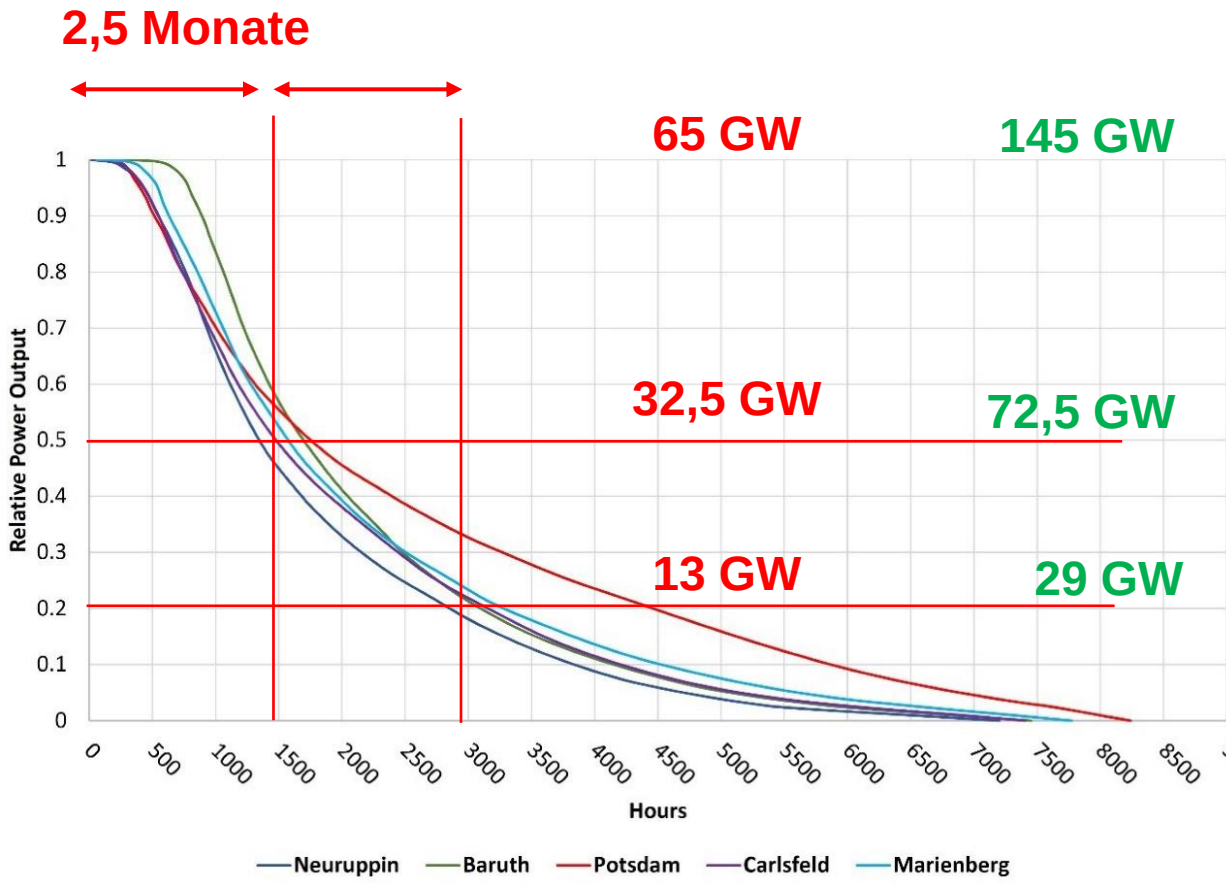




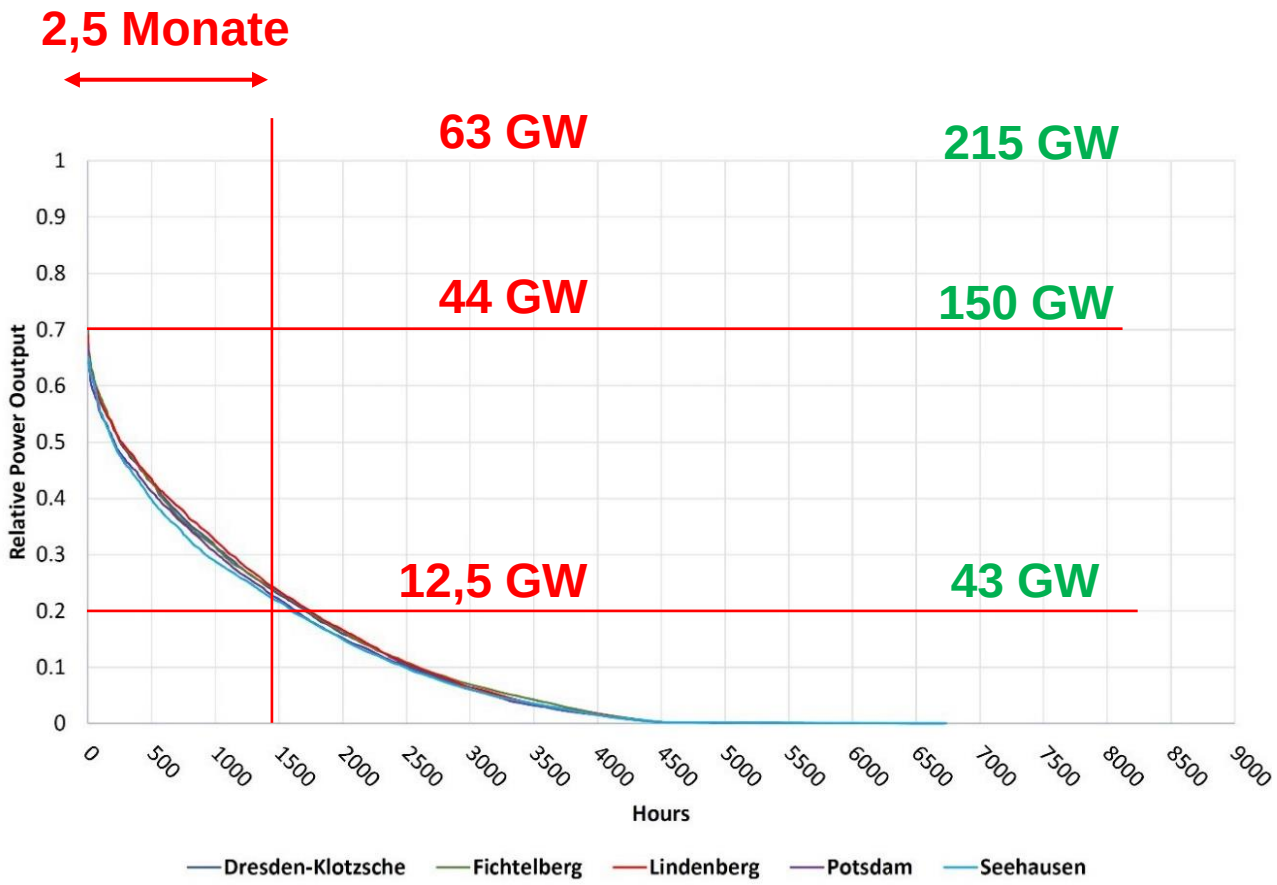
Quelle: DWD 2018

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Versorgungssystem – Beispiel EE-Anlagen



Windparks

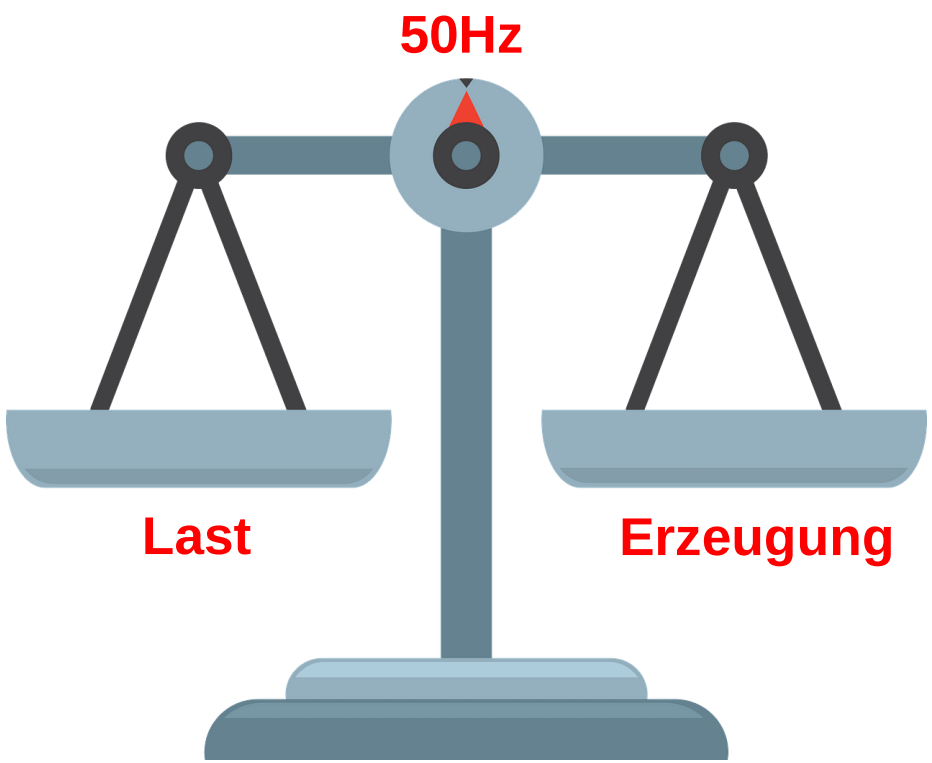


Photovoltaikparks

Datenquelle: DWD 2018

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Versorgungssystem – das Gleichgewicht



Typ des Kraftwerks	Verfügbarkeit [%]	Gesicherte Leistung [%]
Steinkohle	91	86
Braunkohle	95	92
Gasturbine	56	42
Kernkraft	96	93
Biomasse	90	88
Wind Onshore	95	1
Wind Offshore	95	2
Photovoltaik	-	<1

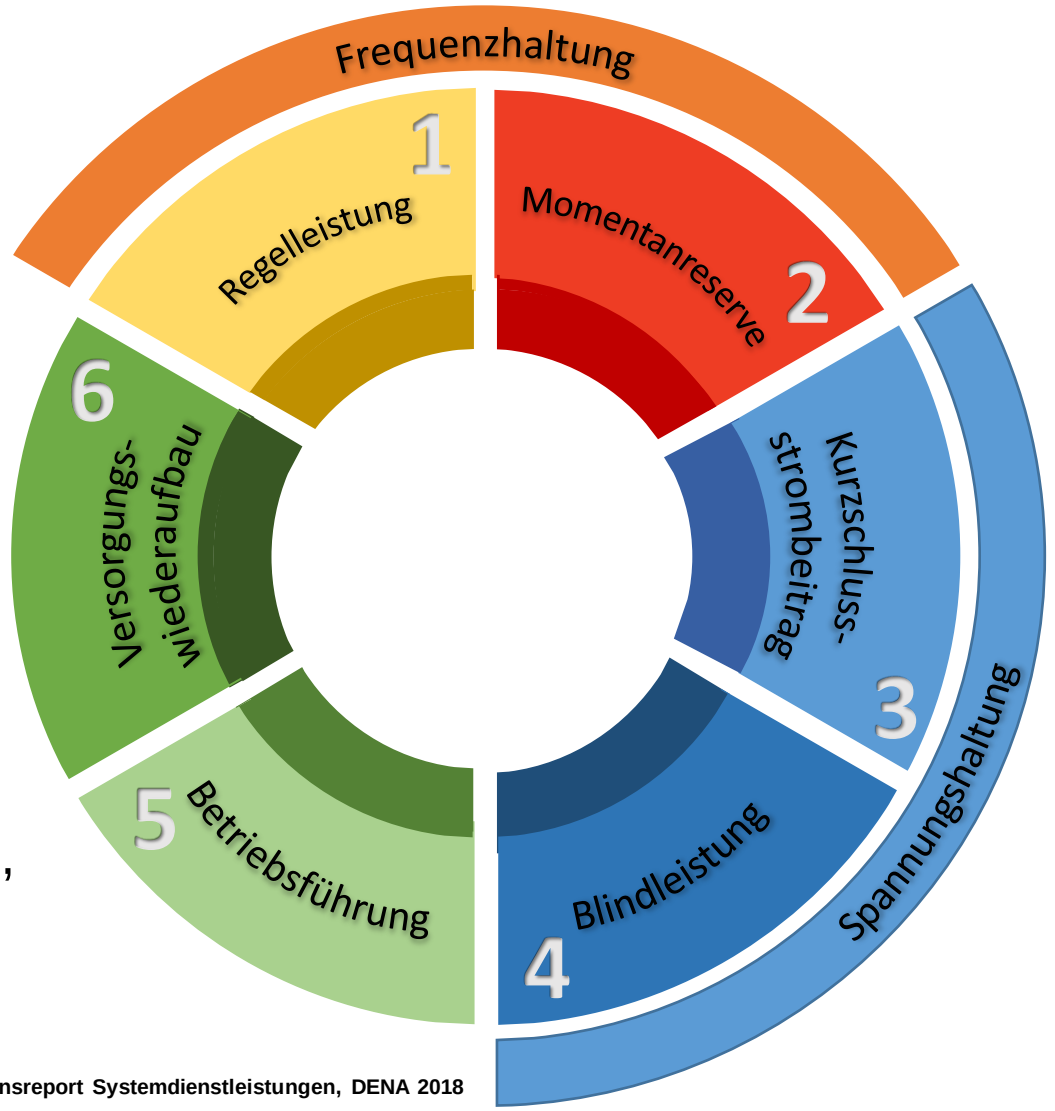
Quelle: 50Hertz Transmission 2016, DENA 2010

Nachhaltige Energieversorgung ohne gesicherte Leistung ist nicht möglich!

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Versorgungssystem – Systemdienstleistungen

- Regelleistung: Speicheranlagen, flexible Stromlasten
- Momentanreserve: schnelle Frequenzänderungen, Trägheit der rotierender Massen
- Kurzschlussstrombeitrag: begrenzten Spannungs-einbruch im Fehlerfall, Schutzkonzept
- Blindleistung: steigender Bedarf an Blindleistung, Kompensationsanlagen
- Betriebsführung: mehr EE-Anlagen, mehr Komplexität
- Versorgungswiederaufbau: vollständigen Stromausfall, hochfahren von Teilnetze (50-150 MW)



Quelle: Innovationsreport Systemdienstleistungen, DENA 2018

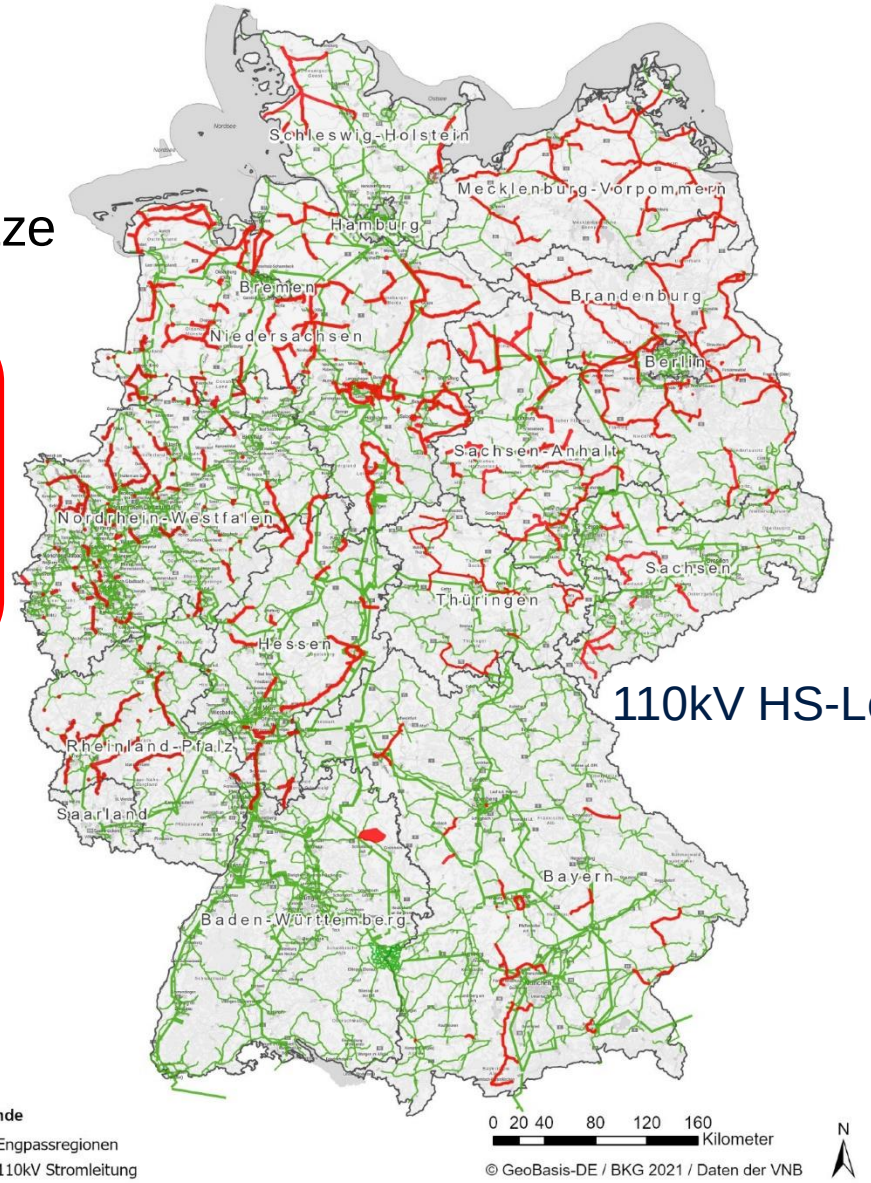
Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Stromnetze – Status Quo

- Über 90% der EE-Anlagen angeschlossen an Verteilnetze
- 900 Netzbetreiber
- Etwa 2 Mio. km Netze
- Steigender Strombedarf

2021: Gesamtkosten für Netzengpassmanagement maßnahmen liegen bei rund 2,3 Mrd. Euro

Netz	Länge in Tausend km
Hoch-Höchstspannung	132,4
Mittelspannung	527,1
Niederspannung	1.274,6
Gesamt	**1.934,1**



110kV HS-Leitungen

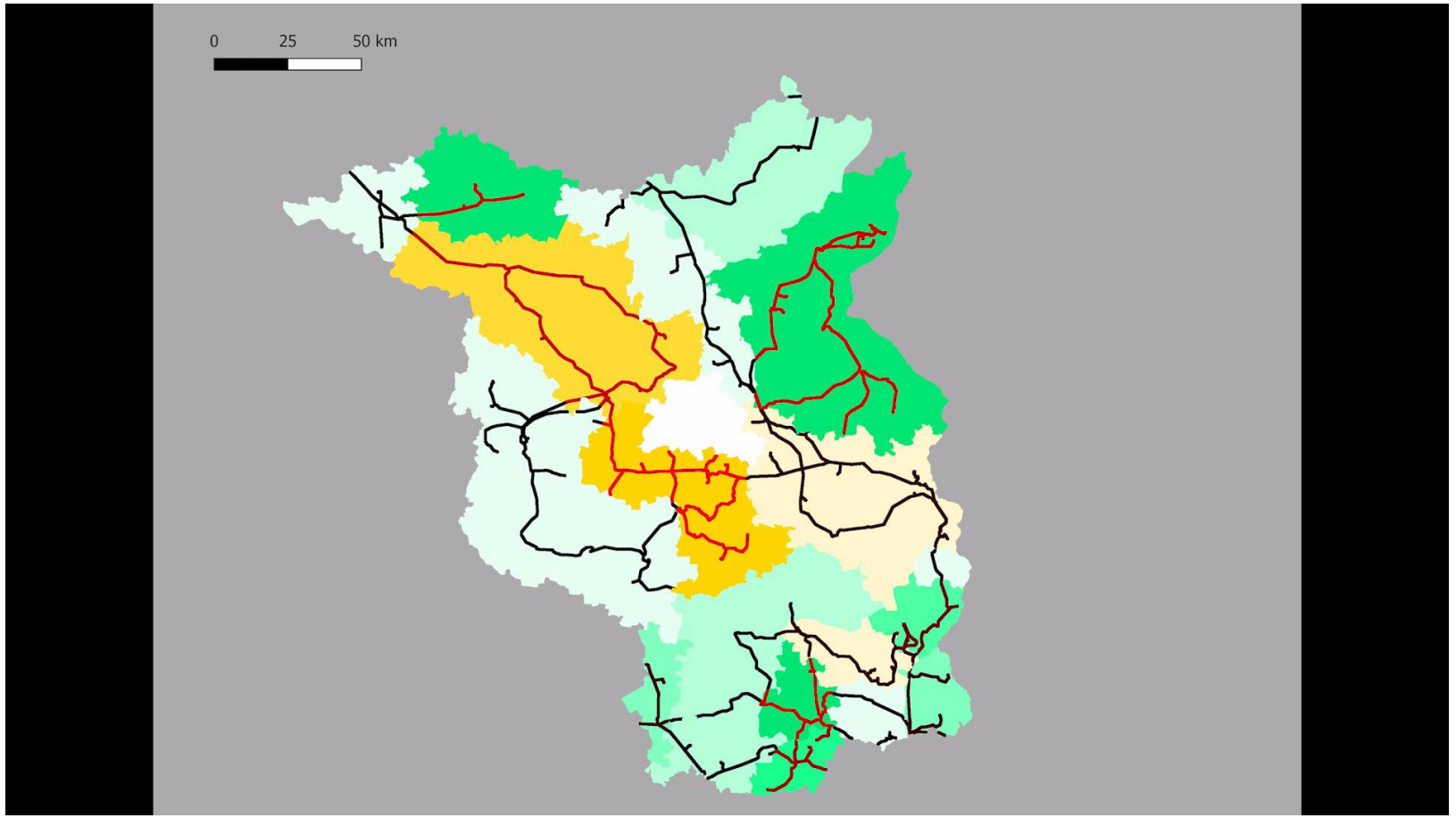
Quelle: BNetzA 2021, Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilernetze

Stromnetze – Brandenburg KW 40 - 2018, 110kV Freileitungen

Balance [MW]	Cluster	Distribution Grid
Balance < –100		
– 100 < Balance < – 80		
– 80 < Balance < – 60		
– 60 < Balance < – 40		
– 40 < Balance < – 20		
– 20 < Balance < – 0		
0 < Balance < 20		
20 < Balance < 40		
40 < Balance < 60		
60 < Balance < 80		
80 < Balance < 100		
100 < Balance		

EE-Erzeugung > Last

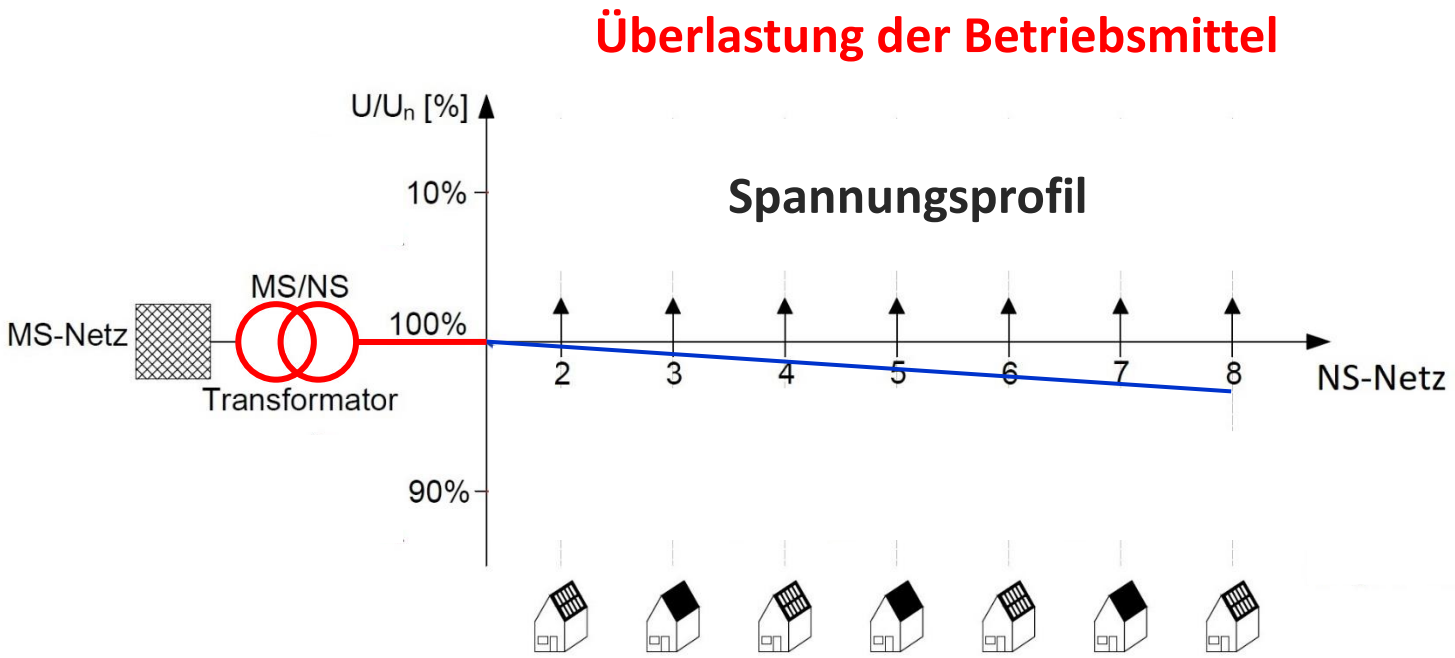
EE-Erzeugung < Load



Quelle: Netzbetreiberdatenbank 2018, Amanpour

Stromnetze – Status Quo

- Situation in Niederspannungsnetze



Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Stromnetze – Status Quo

TAGESSPIEGEL

Anmelden ABO

T+ Politik Internationales Berlin Gesellschaft Wirtschaft Kultur Wissen Gesundheit Sport Meinu

Bezirke Berliner Wirtschaft Polizei & Justiz Stadtleben Fahrrad & Verkehr Schule Nachrufe Checkpoint

Berlin | Berliner Wirtschaft | Berliner Stromnetz unter Spannung: Die Kapazität muss verdoppelt werden

Berliner Stromnetz unter Spannung Die Kapazität muss verdoppelt werden

Energie- und Verkehrswende bedeuten enorme Herausforderungen für das Berliner Stromnetz und erfordern Rekordinvestitionen. Etwas mehr Netzausfälle.

Von Alfons Frese
04.04.2023, 14:25 Uhr

M+ Abonnieren Anmelden

Berliner Morgenpost

Suche

Home Berlin Bezirke Polizeibericht Interaktiv Politik Wirtschaft Sport Panorama Kultur Wissen Gastronomie Abo Specials Service

Themen: Energiepreise | Ukraine-Krieg | Urlaub | Rente | Polizeimeldungen | Alle Themen

Home – Berlin – 1,7 Milliarden Euro fließen in das Berliner Stromnetz

ELEKTRIZITÄT IN BERLIN

1,7 Milliarden Euro fließen in das Berliner Stromnetz M+

Aktualisiert: 04.04.2023, 15:30 | Lesedauer: 4 Minuten

Isabell Jürgens

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Stromnetze – Ausbau

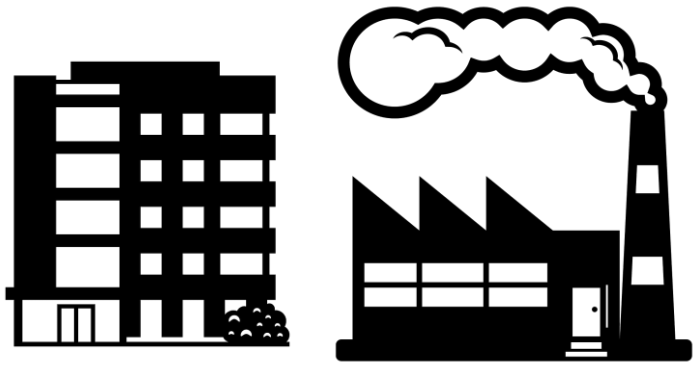
- Netzentwicklungsplan alle 2 Jahre →
  - Vorlage für den Gesetzgeber
  - Errechnet den Ausbaubedarf
  - Untersteht dem EnWG
  - Basierend auf dem NOVA-Prinzip
- Investitionen in die Netzinfrastruktur 2021: 13,5 Mrd. Euro →
  - 8,4 Mrd. Euro VNB
  - 5,1 Mrd. Euro ÜNB
- Prozess von Feststellung, Fachplanung, … Inbetriebnahme bis zum 10 Jahre
- NOVA-Prinzip: Netz-Optimierung vor Verstärkung vor Ausbau

3. Energiespeicherung und Lastenausgleich

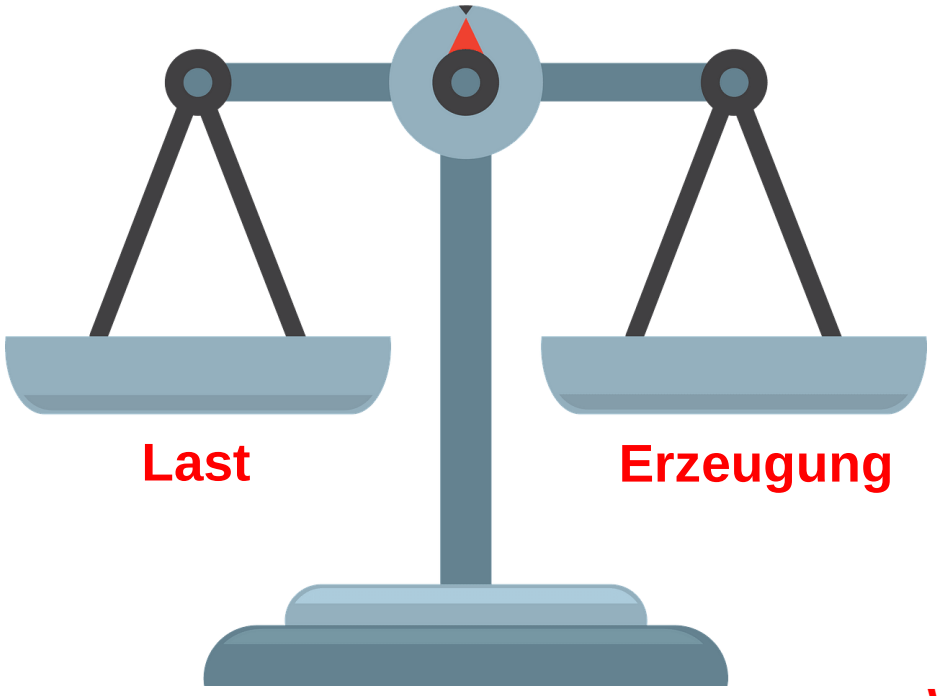
Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Energiewende – Lösung

Flexibilität



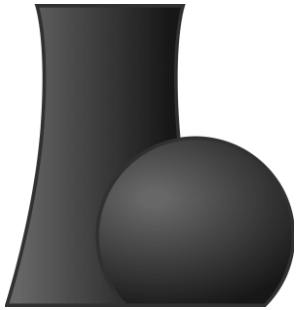
50Hz



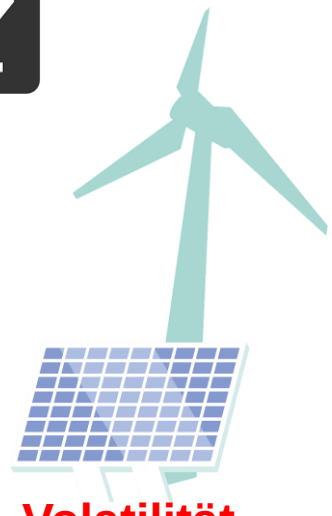
Last

Erzeugung

Sektorenkupplung
(Power-to-X)
+
Speichertechnologien



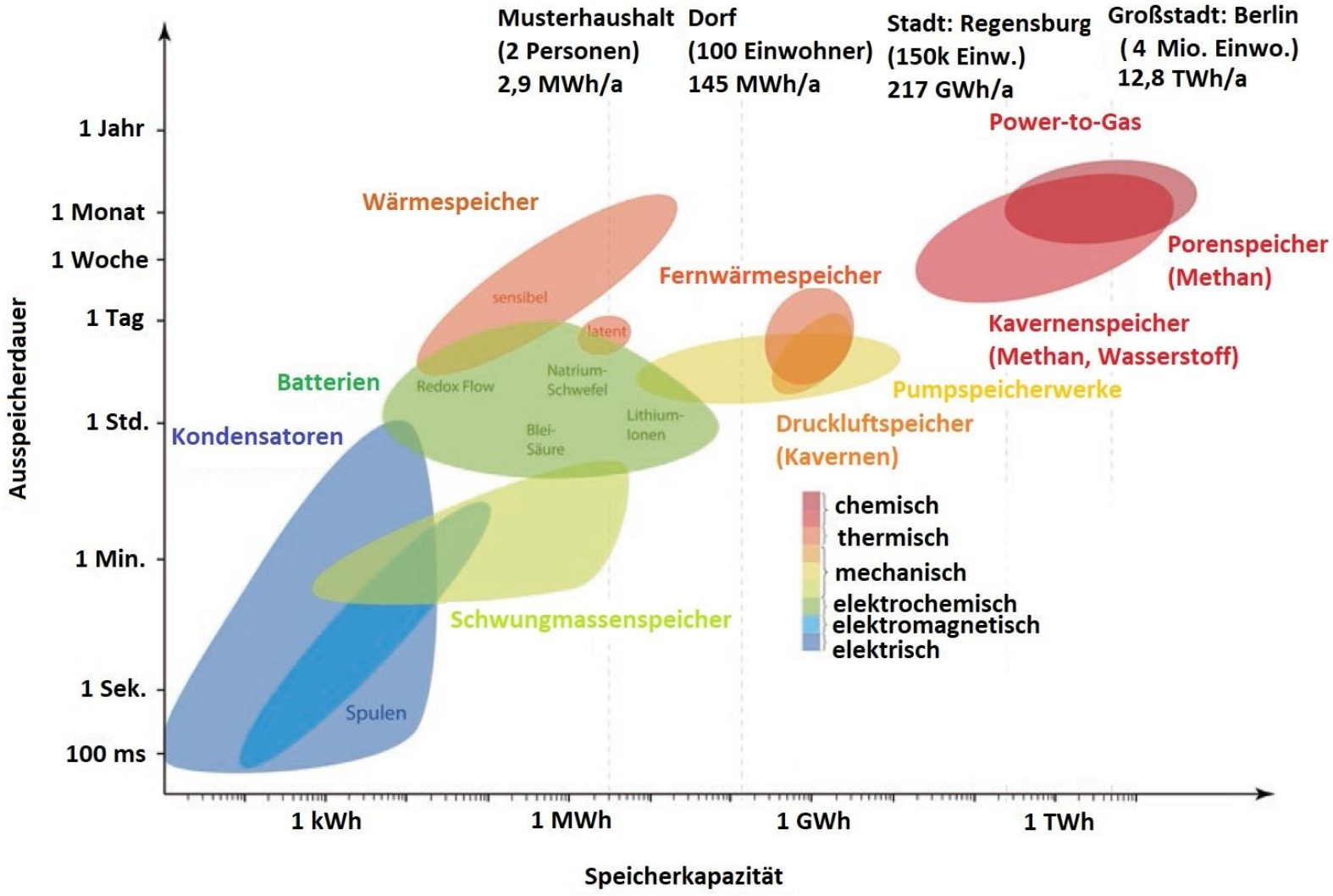
Werden ausgeschaltet



Volatilität, Zuverlässigkeit, gesicherte Leistung

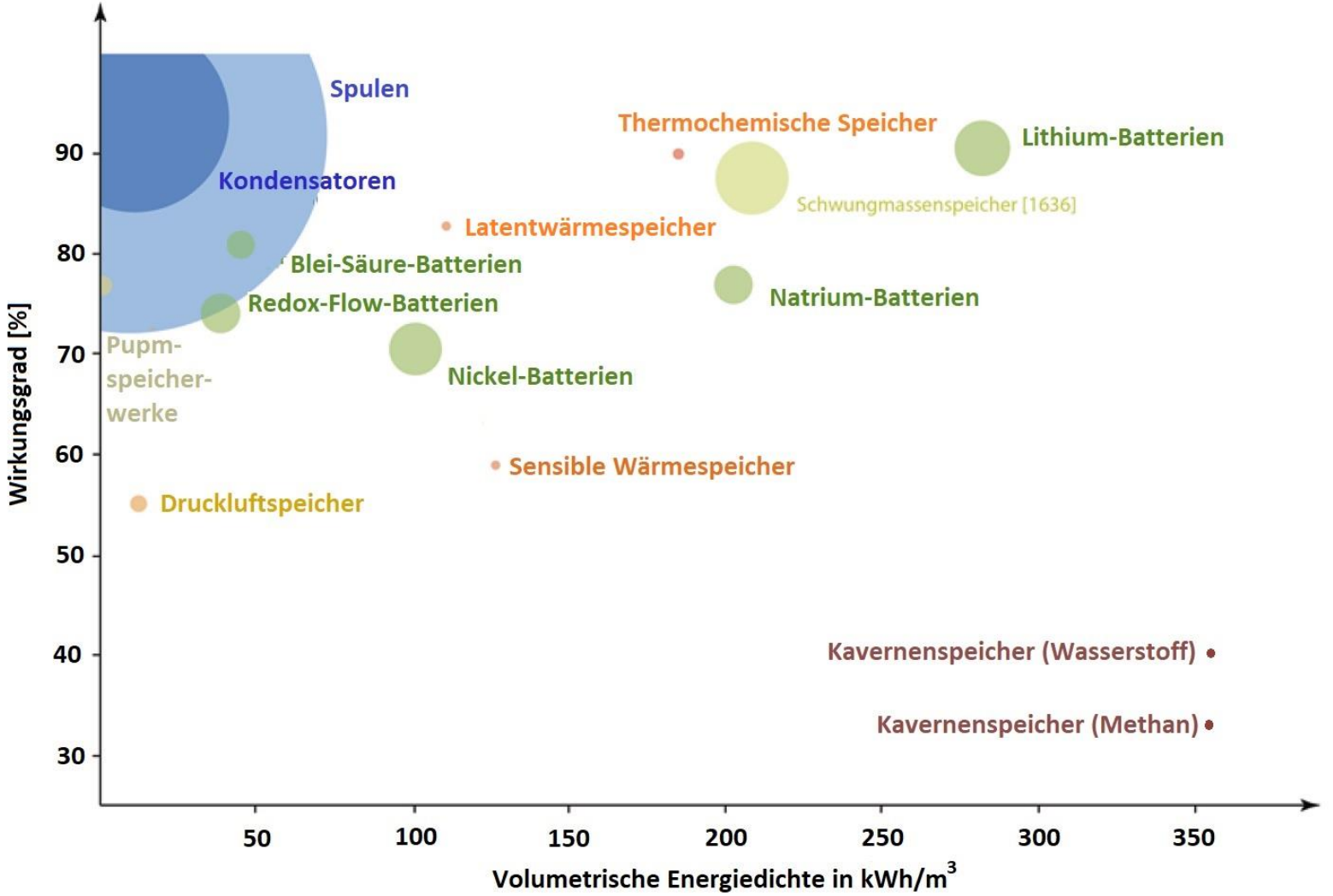
Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Speicherarten – Speicherkapazitäten und Ausspeicherdauer



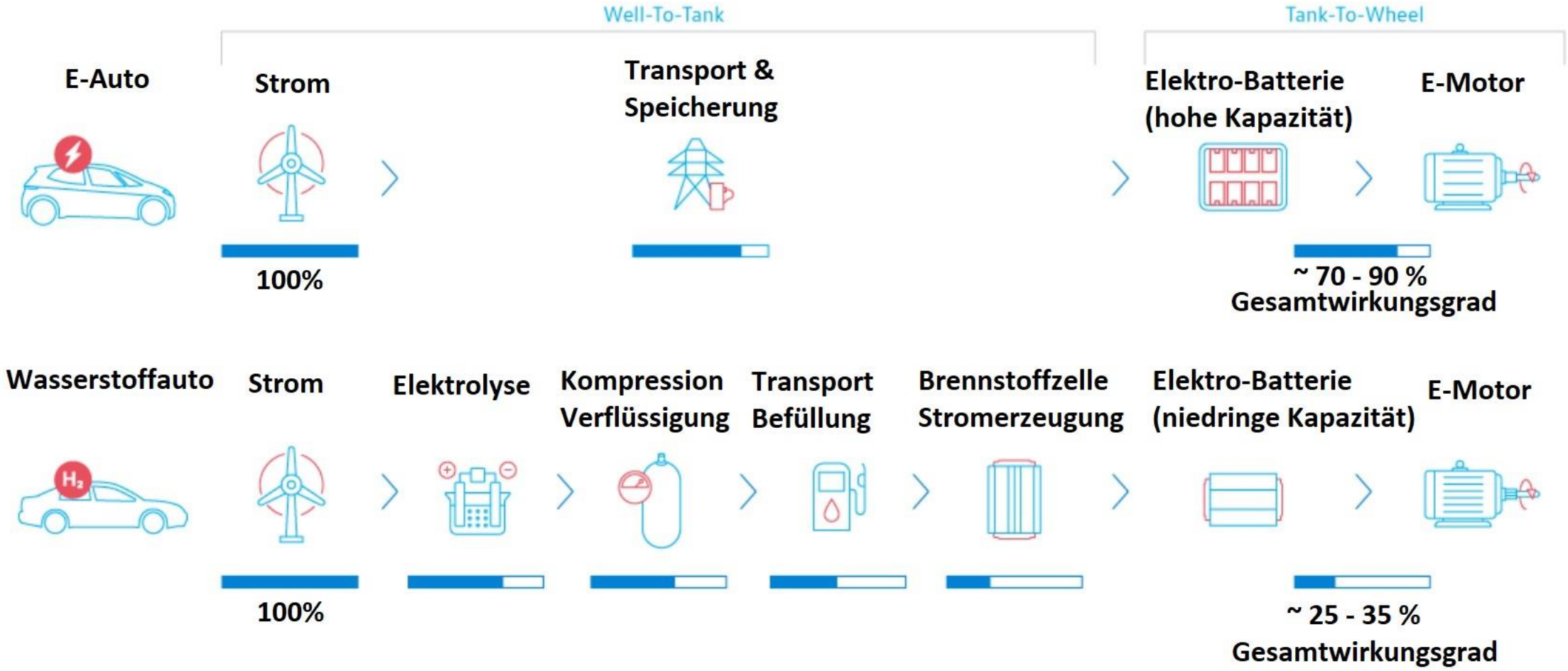
Quelle: FENES OTH Regensburg, 2016

Speicherarten – Energiedichte und Wirkungsgraden



Quelle: FENES OTH Regensburg, 2016

Batterie Vs. Wasserstoff



Quelle: Volkswagen

Speicherkapazität Deutschland – Status Quo

- Installierten elektrischen Erzeugungsleistung **Pumpspeicher: 11 GW**

- **Batteriespeicher:**
  - Anlagen mit mindestens 10 MW installierte Leistung: **798 MW Netto-Nennleistung**
  - **Heimspeicher: 2,3 GWh**

- **Wasserstoffanlagen:**
  - **12 MW**: das erzeugte Gas nicht in das Erdgasnetz einspeisen
  - **60 MW**: Power-to-Gas-Anlagen
  - Nationalen Wasserstoffstrategie: **5 GW bis 2030**

Stadtentwicklung & Strategien zur Nachhaltigkeit

- **Autarkes System gibt‘s nicht (bilanzielle Autarkie auf dem Papier existiert!)**
- **Dezentral Erzeugen → am besten Erzeugungsnah nutzen oder speichern**
- **Bessere Nutzung durch Sektorenkopplung (P2X-Technologien)**
- **Bestes Beispiel von Sektorenkopplung sind Smart Grids**
- **Smart Grids → besseres Verständnis von Zusammenspiel der Sektoren (Wärme, Mobilität & Strom)**

Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg

4. Smart Grids & Intelligente Stromnetze

Smart Grid – Definition

Ein Smart Grid ist ein Stromnetz, das mit modernen IKT-Infrastruktur ausgestattet ist, um die Stromerzeugung, -übertragung, -verteilung und -nutzung effizienter, zuverlässiger und nachhaltiger zu machen.

Voraussetzungen:

- Sensoren & Kommunikationsnetzwerke
- Datenanalyse
- Echtzeit Überwachung & Steuerung von Stromfluss & Energieverbrauch

Ziel:

- Bessere Integration von EE-Anlagen besser
- Optimierung des Energieverbrauches
- Flexibilität im Stromsystem

Quelle: BNetzA 2021, Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilernetze

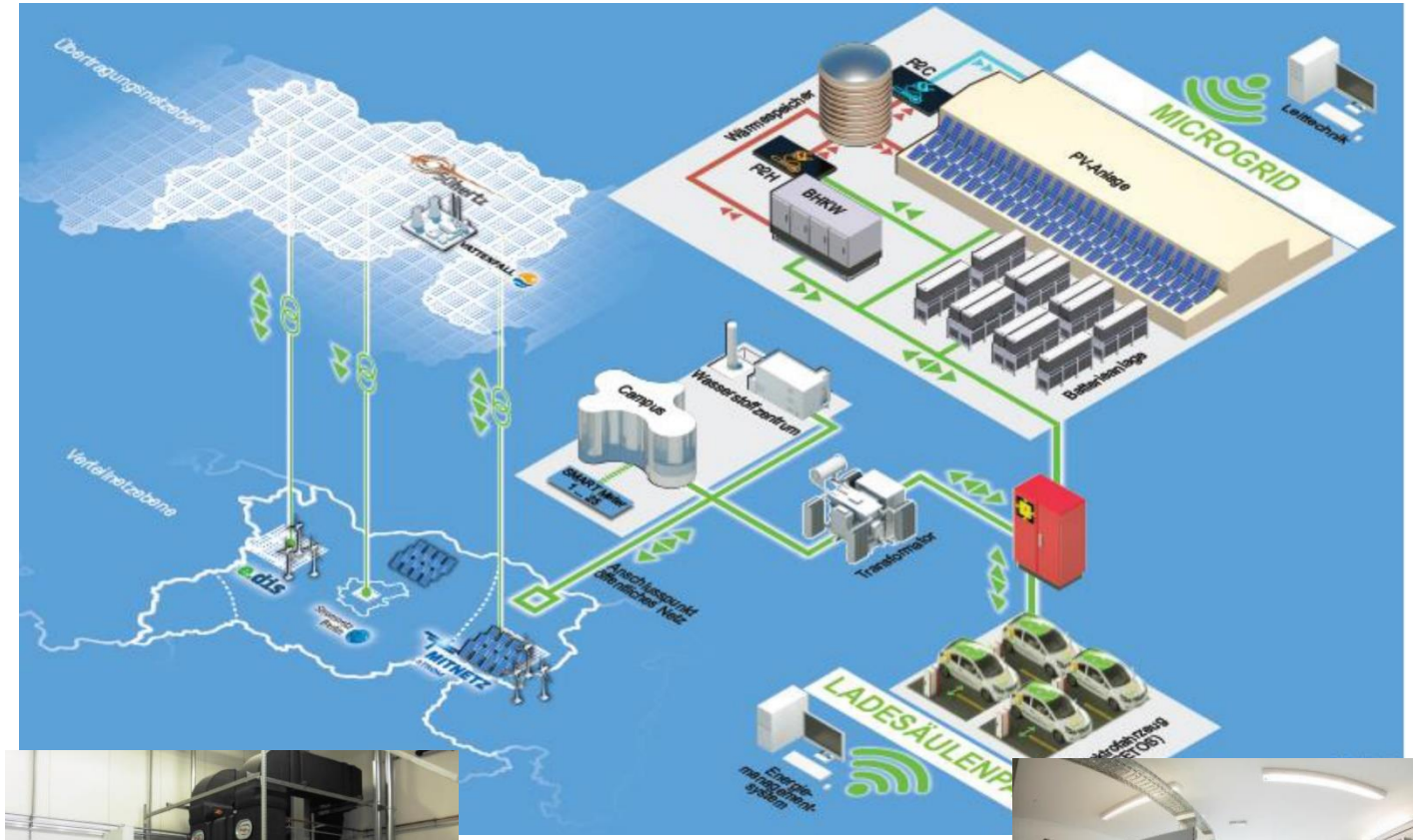
Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Smart Grid – Beispiel BTU

110 kVA PV-Anlage

2MWh Batterieanlage

Ladesäulenpark



Quelle: BTU Cottbus-Senftenberg

80 kW BHKW

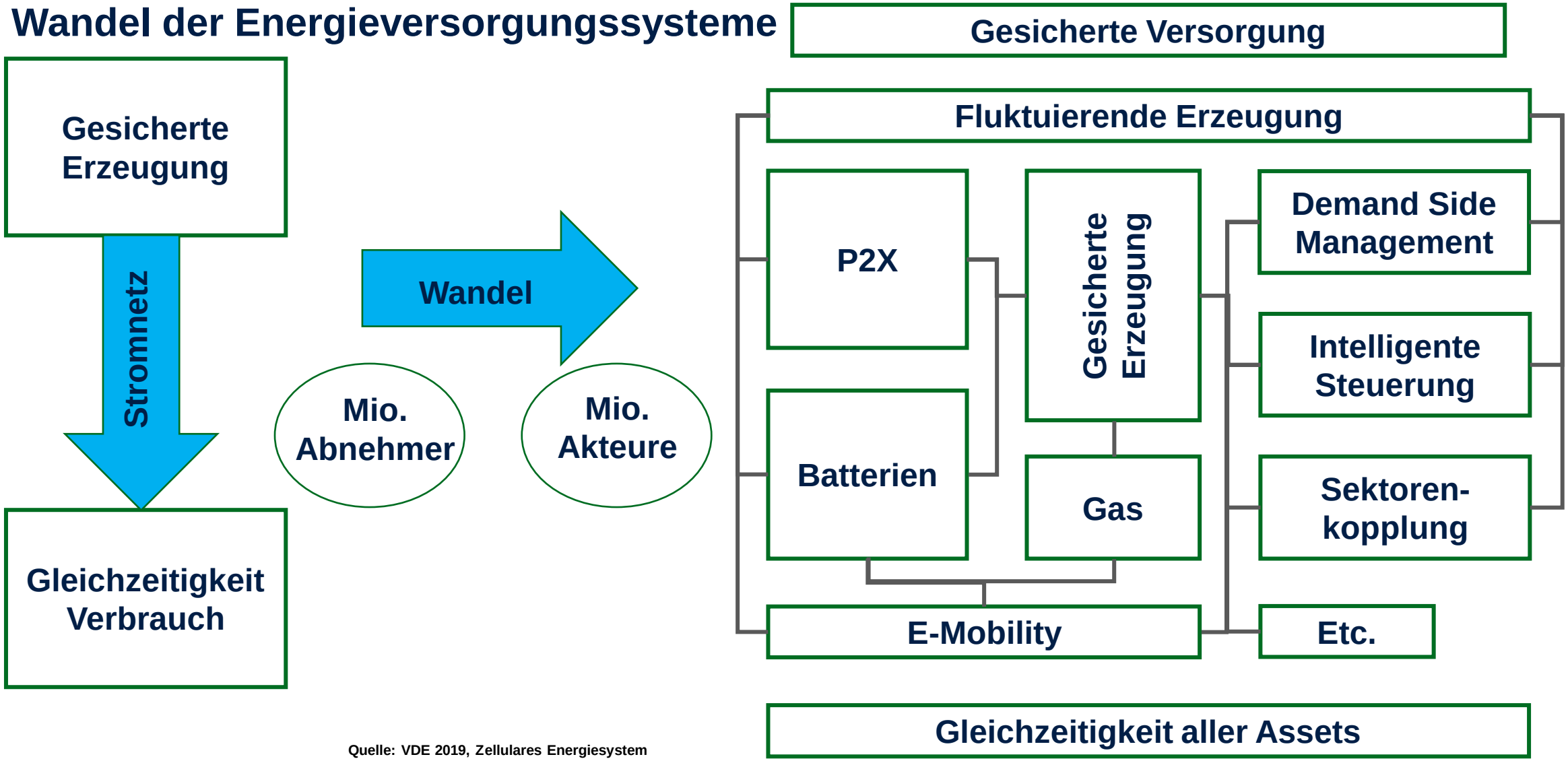
Anlagenbetriebsraum

150 kW Power-2-Gas-Anlage

230 kWh Power-2-Heat-Anlage

15 kW Power-2-Cool-Anlage

Wandel der Energieversorgungssysteme



Quelle: VDE 2019, Zellulares Energiesystem

4. Smart Grids & Intelligente Stromnetze

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

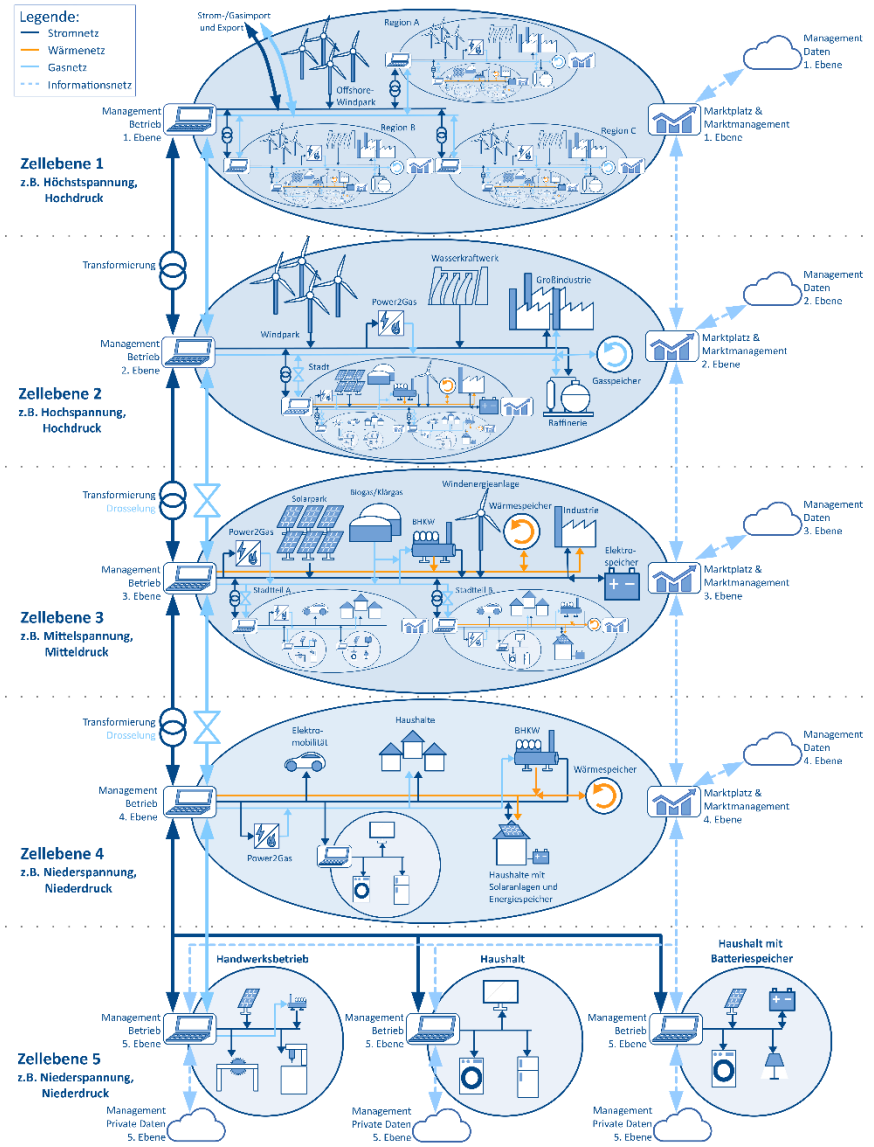
Zellularer Ansatz – Energiezellen der Zukunft

Definition:

Eine Energiezelle besteht aus der Infrastruktur für verschiedene Energieformen, in der durch ein Energiezellenmanagement in möglicher Koordination mit Nachbarzellen der Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch über alle vorhandenen Energieformen organisiert wird.

Schwerpunkt:

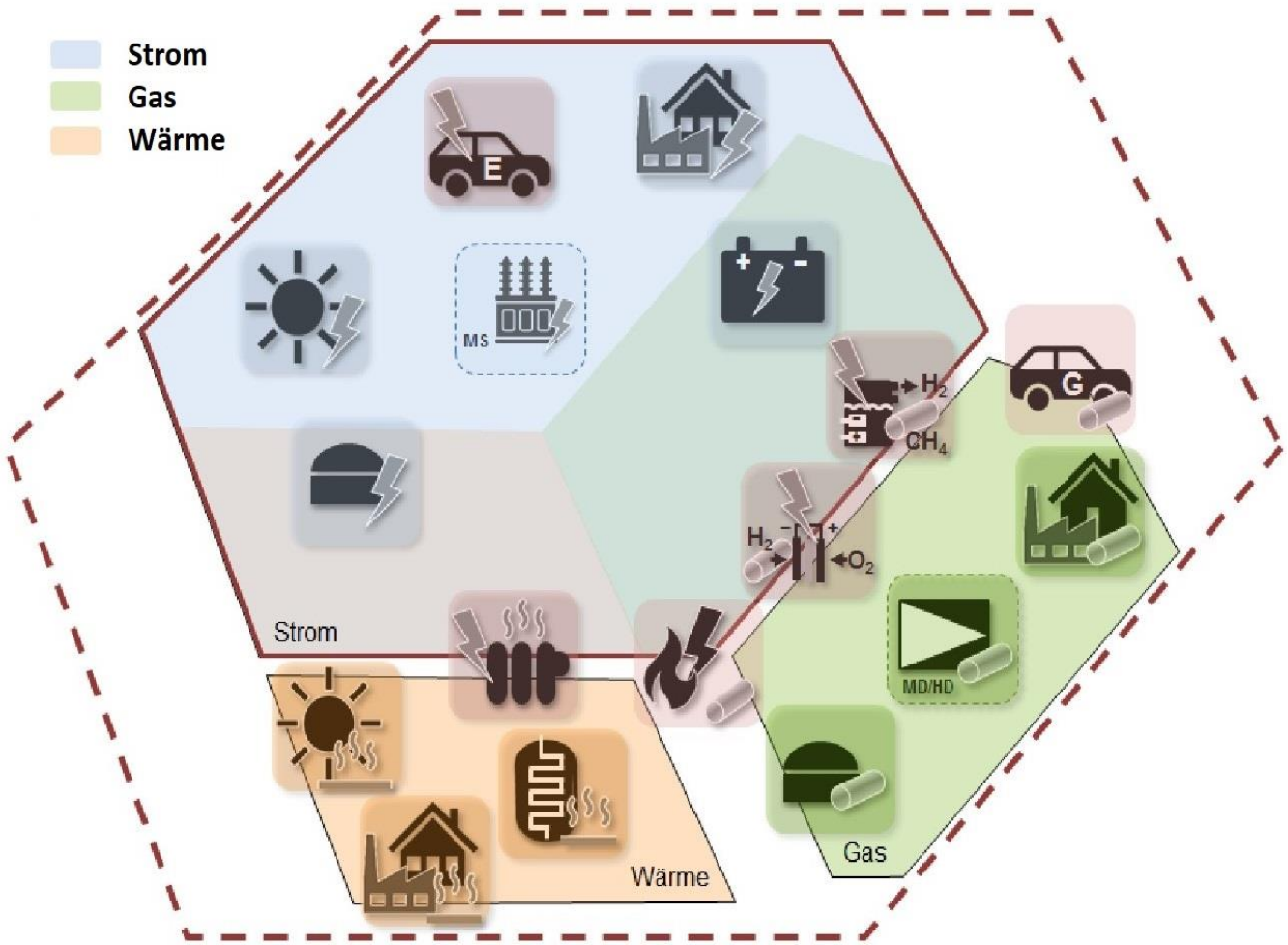
- Energiewandlung, Sektorenkopplung, Speicher
- Netzplanung, Netzbetrieb und Schutztechnik
- Digitalisierung & Automatisierung in zellularen Systemen
- Systemintegration und Anwendung



Quelle: Quelle: VDE 2019, Zellulares Energiesystem

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

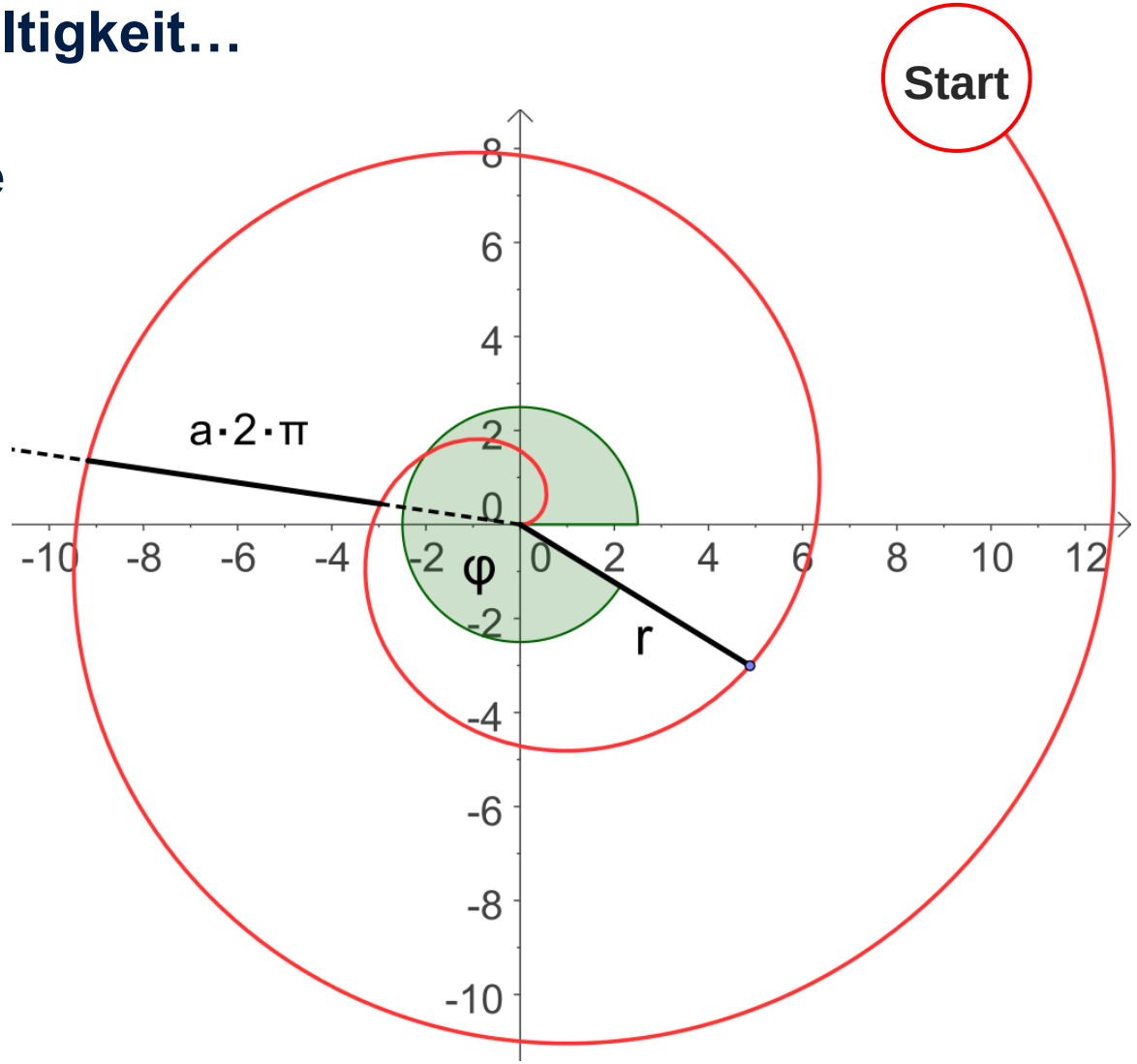
Zellularer Ansatz – Energiezellen der Zukunft



Der Weg zur Nachhaltigkeit…

Archimedische Spirale

- $r = a.\varphi$
- $mit\ a > 0$

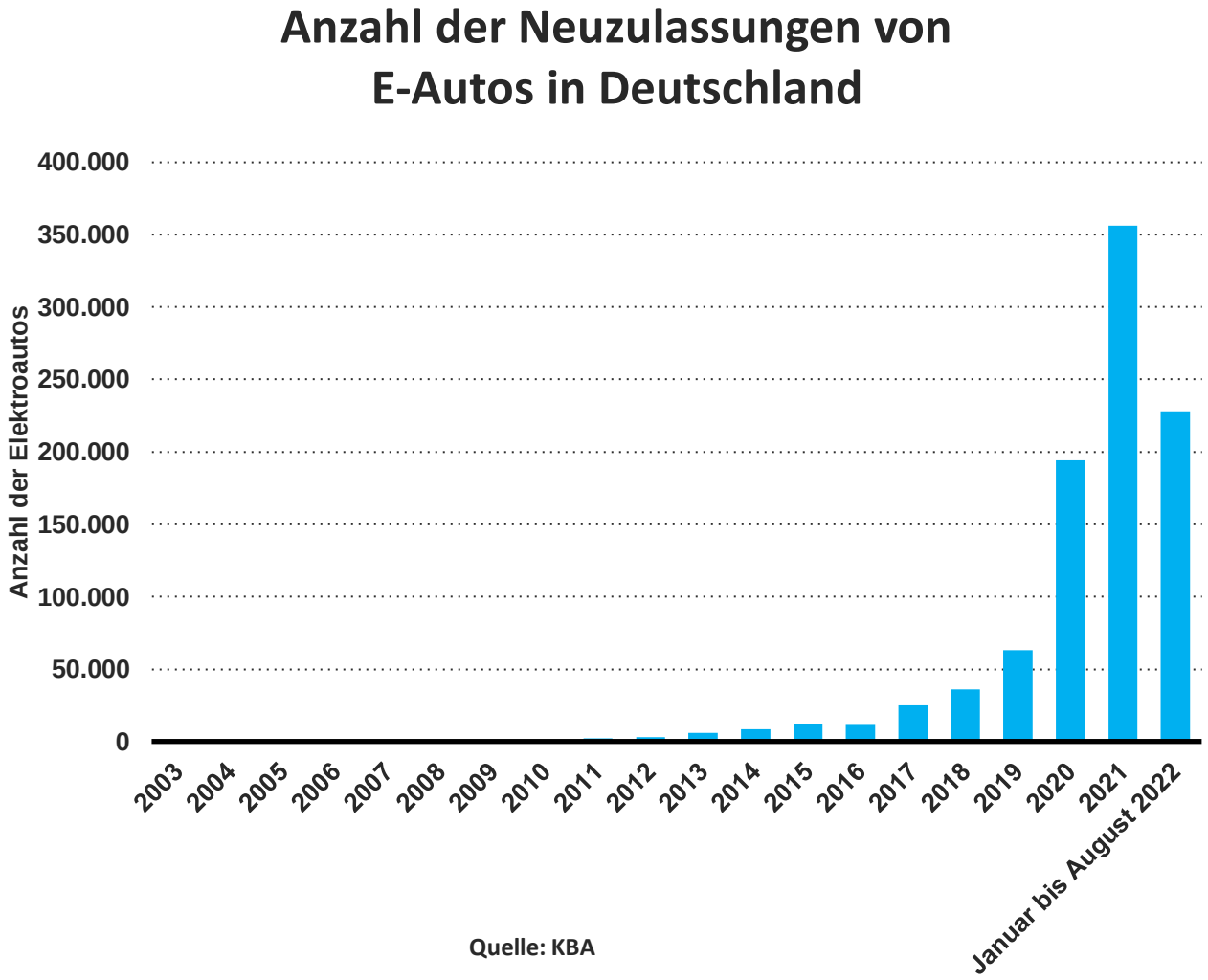


Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg

5. Elektromobilität & V2G-Technologie

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Hochlauf der Elektromobilität – Status Quo



- Senkung der CO_2 Emissionen
- Elektrifizierung des Verkehrssektors
- Massen-Rollout EV 10 – 15 Mio. EV (2030)
- Steigender Stromverbrauch **+30 TWh (2030)**

E-Auto	2 Personen Haushalt
Leistung: 11 kW	Leistung: 14 kW
Energiemenge: 3.000 kWh/a	Energiemenge: 2.500 kWh/a

10 – 15 Mio. E-Autos ~ Speicherkapazität im TWh Bereich

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Praxisbeispiel – Intelligentes Lademanagementsystem

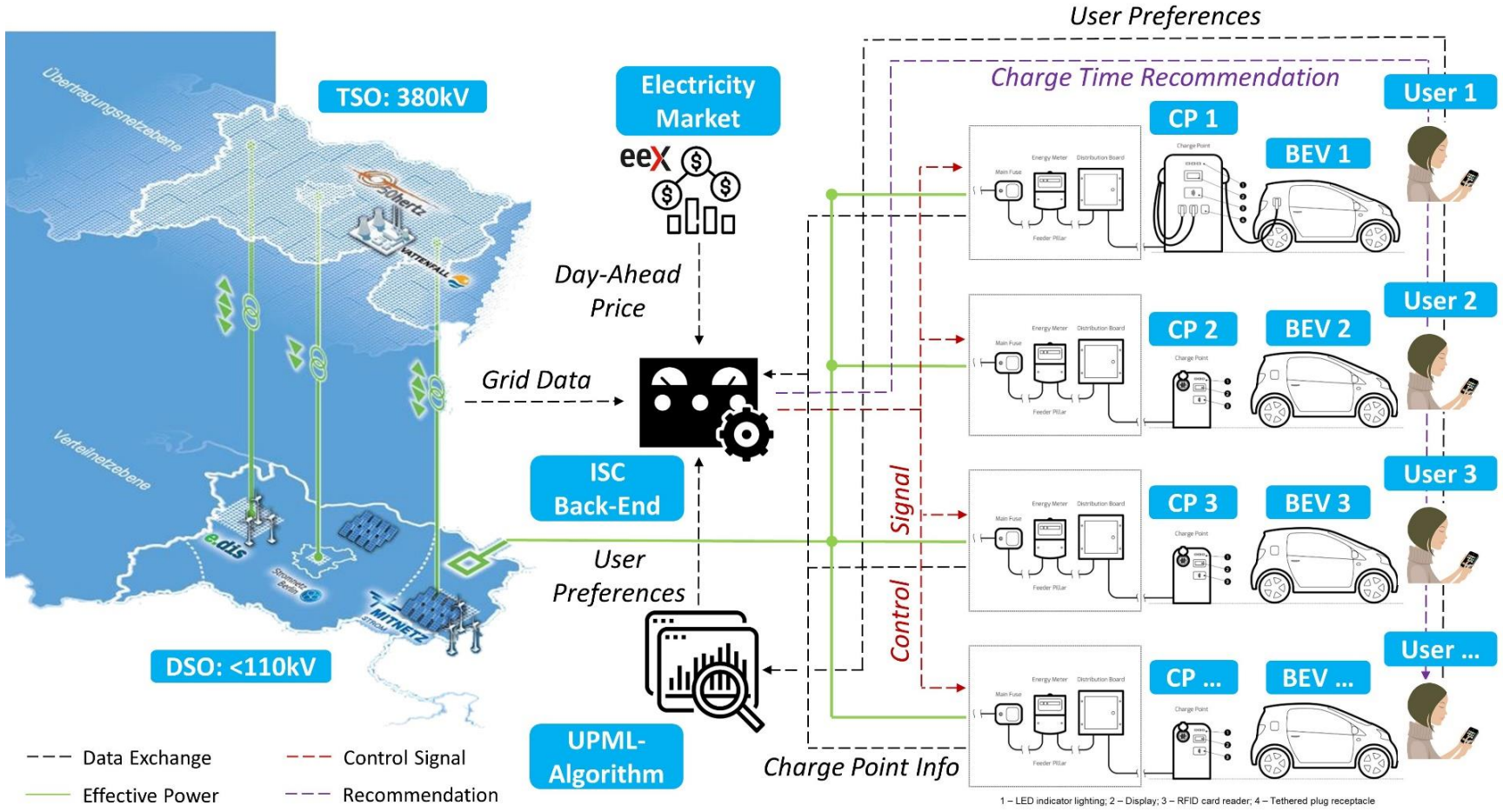
Universitäre Forschung und Entwicklung …bis 2021

- e-SolCar
- Smart Capital Region 1.0 und 2.0
- Intelligente Elektromobilität Brandenburg
- V2G Gemeinschaftsentwicklung mit Delta Electronics & NISSAN basierend auf den Netzbetriebsdaten

Universitärer Forschungstransfer seit 2021

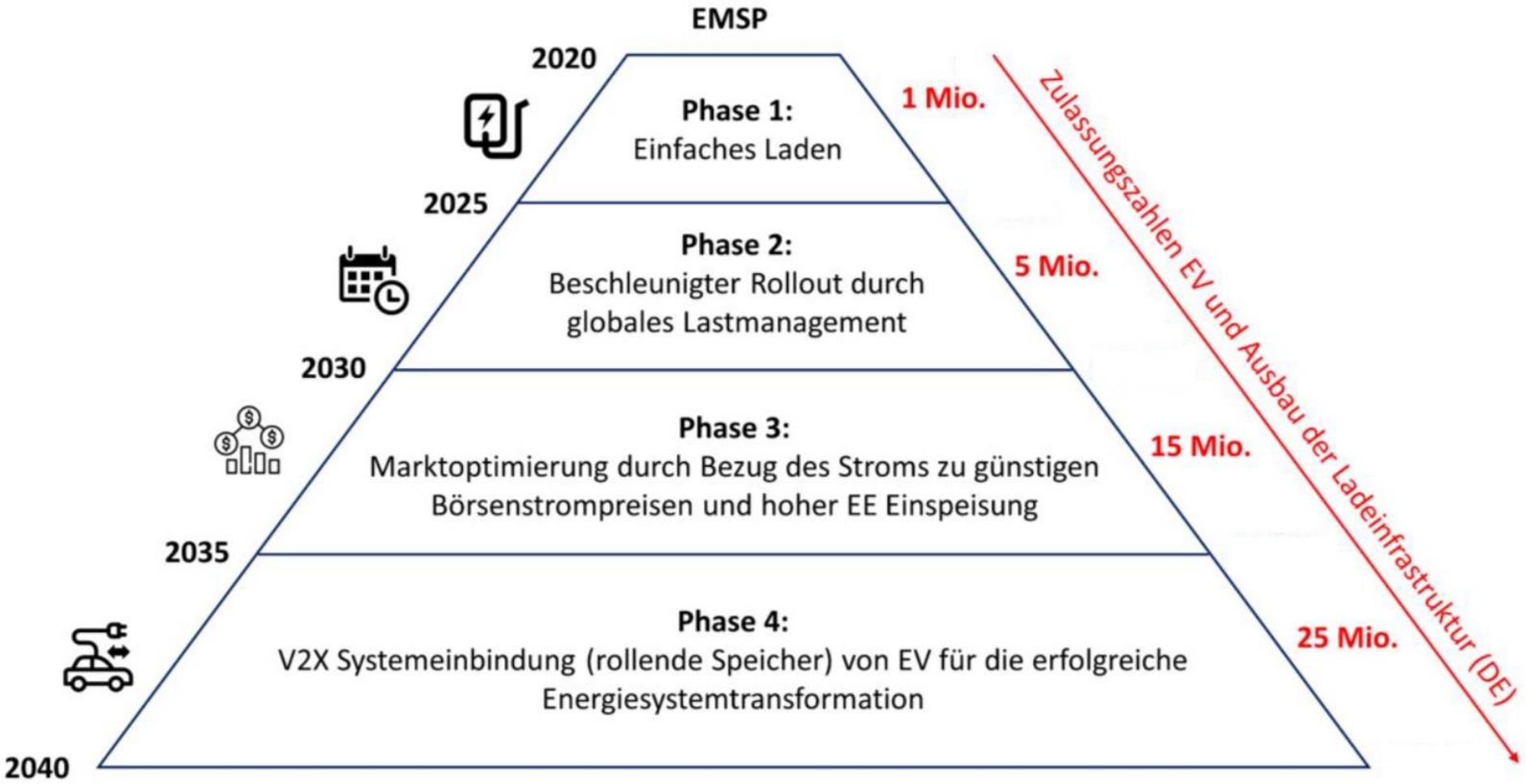
- Integrated Smart Charging

Praxisbeispiel – Intelligentes Lademanagementsystem



Quelle: Amanpour, BTU Cottbus-Senftenberg

Marktentwicklung – Intelligentes Laden



Quelle: Amanpour, BTU Cottbus-Senftenberg

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Saman Amanpour
Fachgebiet Energieverteilung und Hochspannungstechnik

Fakultät Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme
Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg

Siemens-Halske-Ring 13
03046 Cottbus

T +49 (0)355 69 4030
E amanpour.sam@b-tu.de