

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

10. Energiespeicher-Anwendungen

10. Energy Storage Applications

Vorlesung #10

| Lecture #10



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



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



10. Energy Storage Applications

Content ⇒ Learning objectives

- Overview of potential storage applications/tasks
 - ⇒ Understanding the diversity of applications and the resulting requirements for storage (technology, characteristics, cost, etc.)
 - ⇒ Understanding that many applications have/had multiple (or different over time) tasks and delineation is sometimes difficult.

10. Energiespeicher-Anwendungen

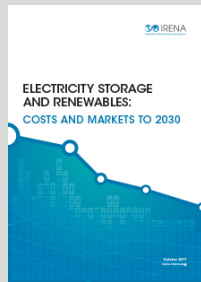
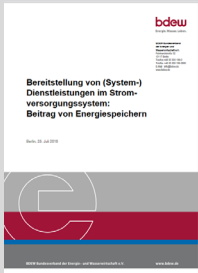
Inhalt ⇒ Lernziele

- Übersicht über potenzielle Speicheranwendungen/-aufgaben
 - ⇒ Verständnis für die Verschiedenheit der Anwendungen und den daraus resultierenden Anforderungen an Speicher (Technologie, Charakteristik, Kosten etc.)
 - ⇒ Verständnis, dass viele Anwendungen mehrere (oder im Laufe der Zeit verschiedene) Aufgaben haben/hatten und eine Abgrenzung manchmal schwierig ist.

10. Energy Storage Applications

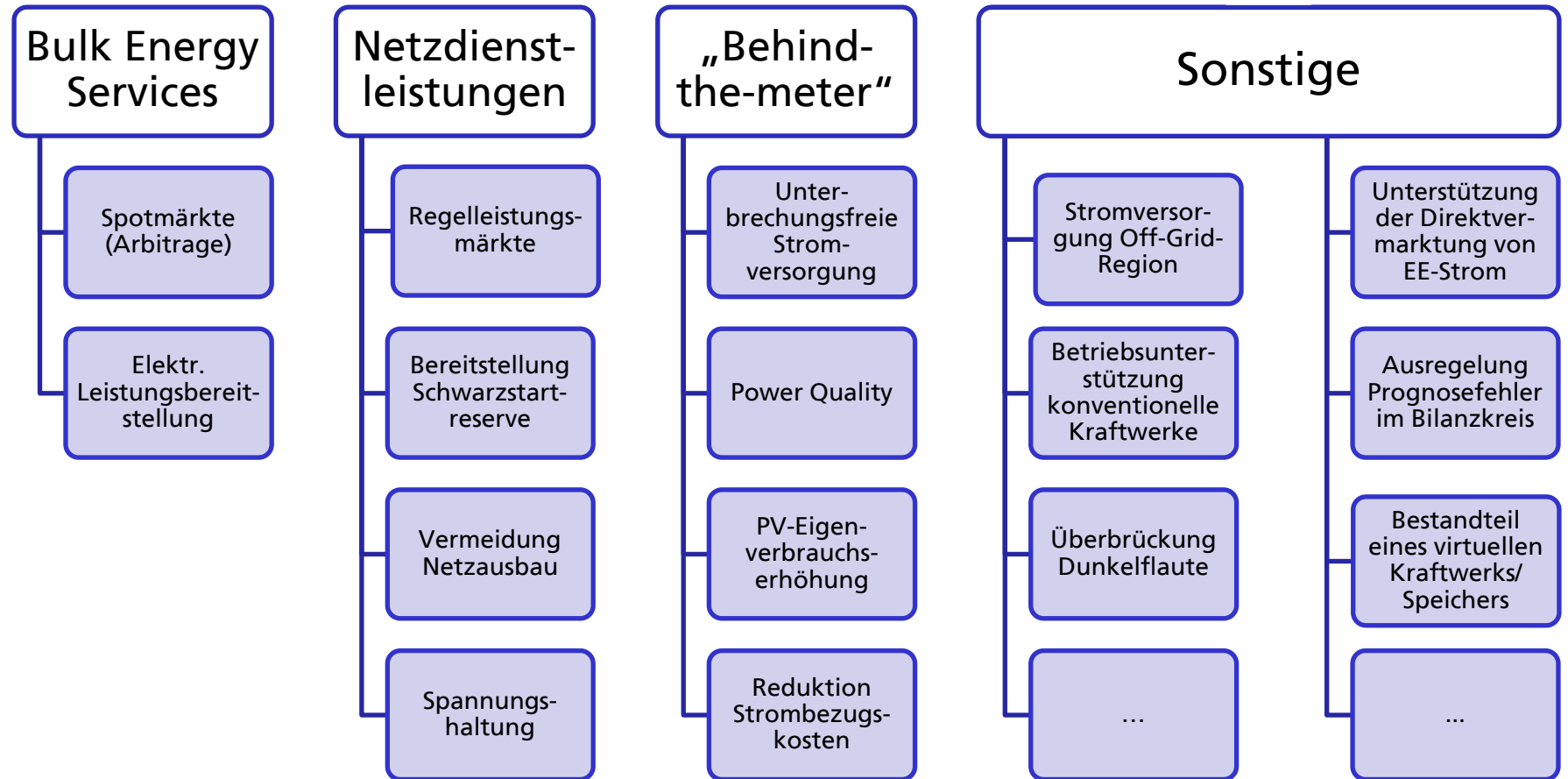
10.1 Overview

- Bulk Energy Services
- Grid services
- „Behind-the-meter“
- Other
- Other



10. Energiespeicher-Anwendungen

10.1 Übersicht



Weitere Infos:

https://www.bdew.de/media/documents/Awh_20160725_SDL-Energiespeicher.pdf

https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf

https://www.worldenergy.org/assets/downloads/ESM_Final_Report_05-Nov-2019.pdf

10. Energy Storage Applications

10.2 Bulk Energy Services - Spot markets (arbitrage)

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Supply of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

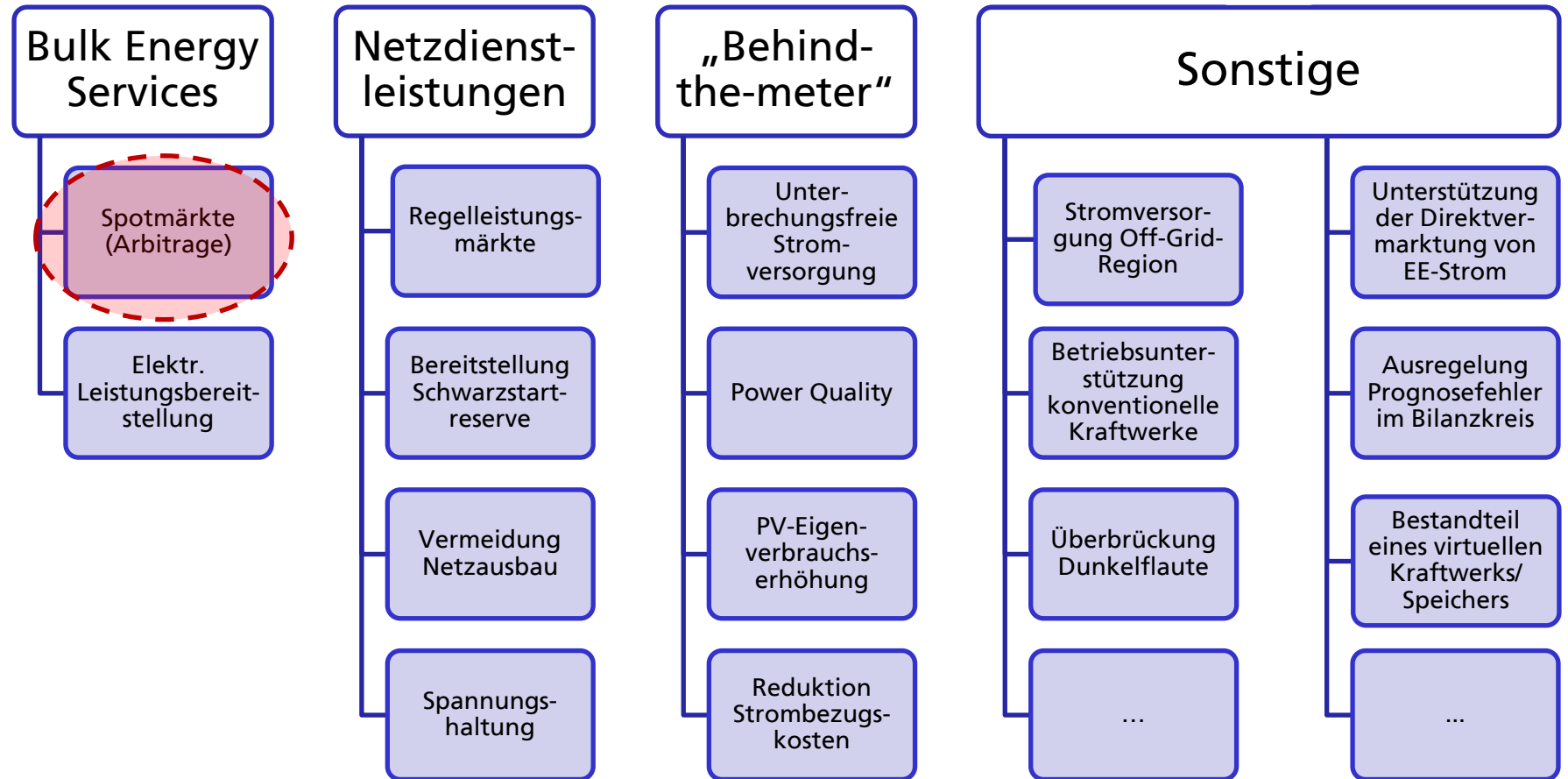
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of RES-Electricity
- Balancing forecast errors in one balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.2 Bulk Energy Services – Spotmärkte (Arbitrage)



10. Energy Storage Applications

10.2 Bulk Energy Services - Spot markets (arbitrage)

- “Electricity is sold and bought either on the spot market or on the futures market. The spot market is called EPEX Spot and is based in Paris. In addition to Germany, EPEX Spot also supplies France, Austria and Switzerland. Electricity that can be delivered at short notice is traded on the spot market. This means that the generation or consumption portfolio for the next day is optimized via the spot market. The electricity can be bought and resold on a 15-minute basis.”
- Spot market (EPEX Paris) Trading venue for electricity that can be delivered at short notice, i.e. the physical fulfillment of the trading transaction is in the foreground
 - Day-ahead trading: sale on the previous day by 10:12 or 12 noon
 - Intraday trading: Sale on the day before until 3 p.m. or until 5 min before delivery.

Trading deadlines to electricity markets
electricity exchange

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.2 Bulk Energy Services – Spotmärkte (Arbitrage)

- „Strom wird entweder auf dem **Spotmarkt** oder auf dem **Terminmarkt** verkauft und eingekauft. Der Spotmarkt nennt sich EPEX Spot und sitzt in Paris. Die EPEX Spot beliefert neben Deutschland auch Frankreich, Österreich und die Schweiz. Auf dem Spotmarkt wird kurzfristig lieferbarer Strom gehandelt. Das bedeutet, dass über den Spotmarkt die Optimierung des Erzeugungs- oder Verbrauchsportfolio für den nächsten Tag erfolgt. Der Strom kann auf einer 15-minütige Basis eingekauft und wiederverkauft werden.“
 - <https://www.interconnector.de/wissen/strom-spotmarkt/>
- **Spotmarkt** (EPEX Paris) Handelsplatz für kurzfristig lieferbaren Strom, d.h. die physische Erfüllung des Handelsgeschäfts steht im Vordergrund
 - Day-Ahead-Handel: Verkauf am Vortag bis 10:12 bzw. 12 Uhr
 - Intraday-Handel: Verkauf am Vortag bis 15 Uhr bzw. bis 5 min vor Lieferung.

Zeit	Terminhandel EEX	Day-Ahead-Auktion EXAA	Day-Ahead-Auktion EPEX Spot	Intraday-Auktion EPEX Spot	Intraday-Handel EPEX Spot	Lieferzeitpunkt
	Bis 24:00 des letzten Tages des Vormonats (für das Produkt „Monatsbase“)	Bis 10:12 des Vortags Stunden und Viertelstundenprodukte	Bis 12:00 des Vortags Stunden- und Blockgebote	Bis 15:00 des Vortags Viertelstundengebote	Stundenprodukte: Ab 15:00 des Vortags bis 5 min vor Lieferzeitpunkt	→

10. Energy Storage Applications

10.2 Bulk Energy Services - Spot markets (arbitrage)

Function mechanism Storage operation in spot markets

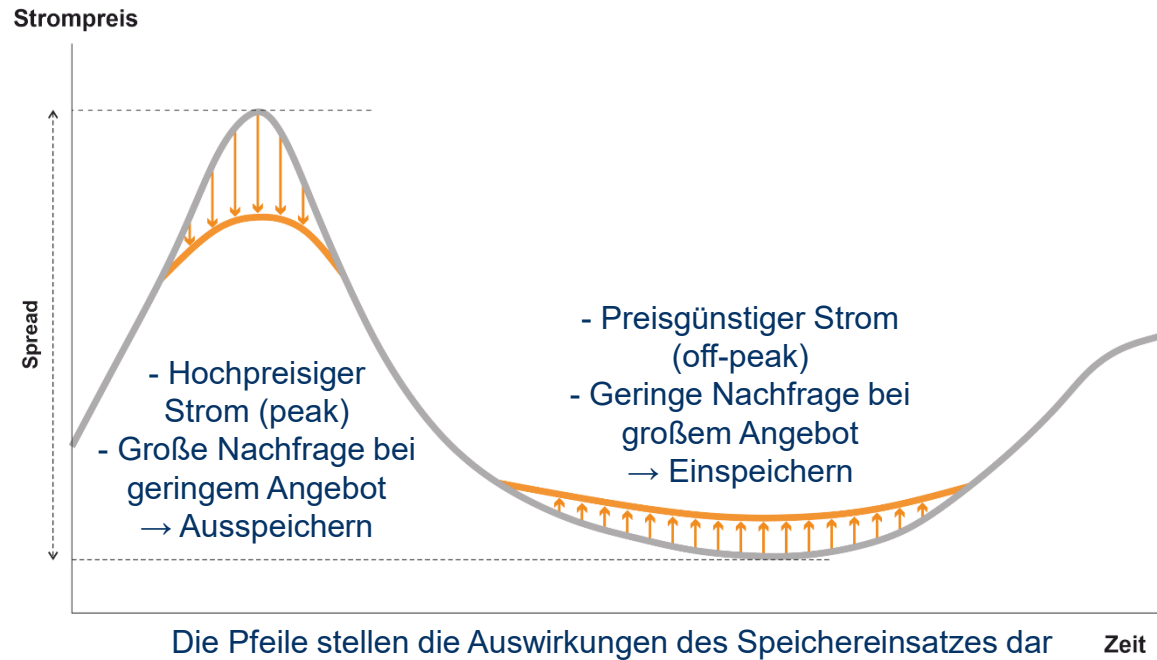
- Application exploits price differences ("spreads") to generate contribution margin
- Earlier: Ø 1 cycle per day (day-night balance), today: sometimes several cycles per day possible
- Attention: the more storages in the market operate according to this principle, the stronger their influence on the pricing on the spot market: Raising prices at low-price times and lowering prices at high-price times => "Cannibalization"

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.2 Bulk Energy Services – Spotmärkte (Arbitrage)

Funktionsmechanismus Speicherbetrieb in Spotmärkten

▲ Anwendung nutzt Preisdifferenzen („Spreads“) aus, um Deckungsbeitrag zu erwirtschaften



- ▲ Früher: Ø 1 Zyklus pro Tag (Tag-Nacht-Ausgleich), heute: teilweise mehrere Zyklen pro Tag möglich
- ▲ Achtung: je mehr Speicher im Markt nach diesem Prinzip agieren, desto stärker ist ihr Einfluss auf die Preisbildung am Spotmarkt: Anheben der Preise zu Niedrigprezeiten und Absenken der Preise zu Hochprezeiten => „Kannibalisierung“

10. Energy Storage Applications

10.2 Bulk Energy Services - Derivates markets

- “In contrast to the spot market, where electricity is traded at short notice, electricity buyers and bulk buyers conclude long-term supply contracts for electricity on the futures market, which can have a term of up to one year. In contrast to the spot market, you can plan in advance here. On one day, the electricity is already bought for the future at a fixed price. The buyer thus protects himself against price changes. The disadvantage, however, is that the prices on the futures market have a risk premium. After all, electricity is supplied at a fixed price for a long time, even if the market price should change drastically. If this scenario occurs and the exchange price falls, the power buyer ultimately no longer has an advantage”
- “As the leading exchange platform on the European electricity market, EEX offers trading in financially settled electricity futures for 20 European markets on the futures market. The German electricity future (German Power Future) is the most liquid electricity product on the EEX and also the recognized benchmark contract in European wholesale electricity trading.”
- Derivatives market (EEX Leipzig): long-term power supply agreements (forward contracts, futures, etc.); physical delivery is only one aspect alongside exchange trading

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.2 Bulk Energy Services – Terminmärkte

- „Im Gegensatz zum Spotmarkt, auf dem der Strom kurzfristig gehandelt wird, schließen auf dem **Terminmarkt** Stromeinkäufer und Großabnehmer langfristige Lieferverträge für Strom ab, welche eine Laufzeit von bis zu einem Jahr haben können. Im Gegensatz zum Spotmarkt kann hier im Voraus geplant werden. An einem Tag wird der Strom bereits für die Zukunft zu einem Festpreis gekauft. Der Käufer sichert sich somit gegen Preisänderungen ab. Der Nachteil jedoch ist, dass die Preise auf dem Terminmarkt einen Risikoaufschlag haben. Schließlich wird Strom zum Festpreis für eine lange Zeit geliefert, auch wenn sich der Börsenpreis drastisch ändern sollte. Tritt dieses Szenario ein und der Börsenpreis sinkt, hat der Stromeinkäufer im Endeffekt keinen Vorteil mehr.“
<https://www.interconnector.de/wissen/strom-spotmarkt/>
- „Als führende Börsenplattform auf dem europäischen Strommarkt bietet die EEX am Terminmarkt den Handel mit finanziell abgewickelten Stromfutures für 20 europäische Märkte an. Der deutsche Stromfuture (German Power Future) ist das liquideste Stromprodukt der EEX und darüber hinaus der anerkannte Benchmark-Kontrakt im europäischen Stromgroßhandel.“
<https://www.eex.com/de/maerkte/strom>
- **Terminmarkt** (EEX Leipzig): langfristige Stromliefervereinbarungen (Terminkontrakte, Futures etc.); physische Lieferung ist nur ein Aspekt neben dem Börsenhandel

10. Energy Storage Applications

10.2 Bulk Energy Services – Electrical power supply

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Supply of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

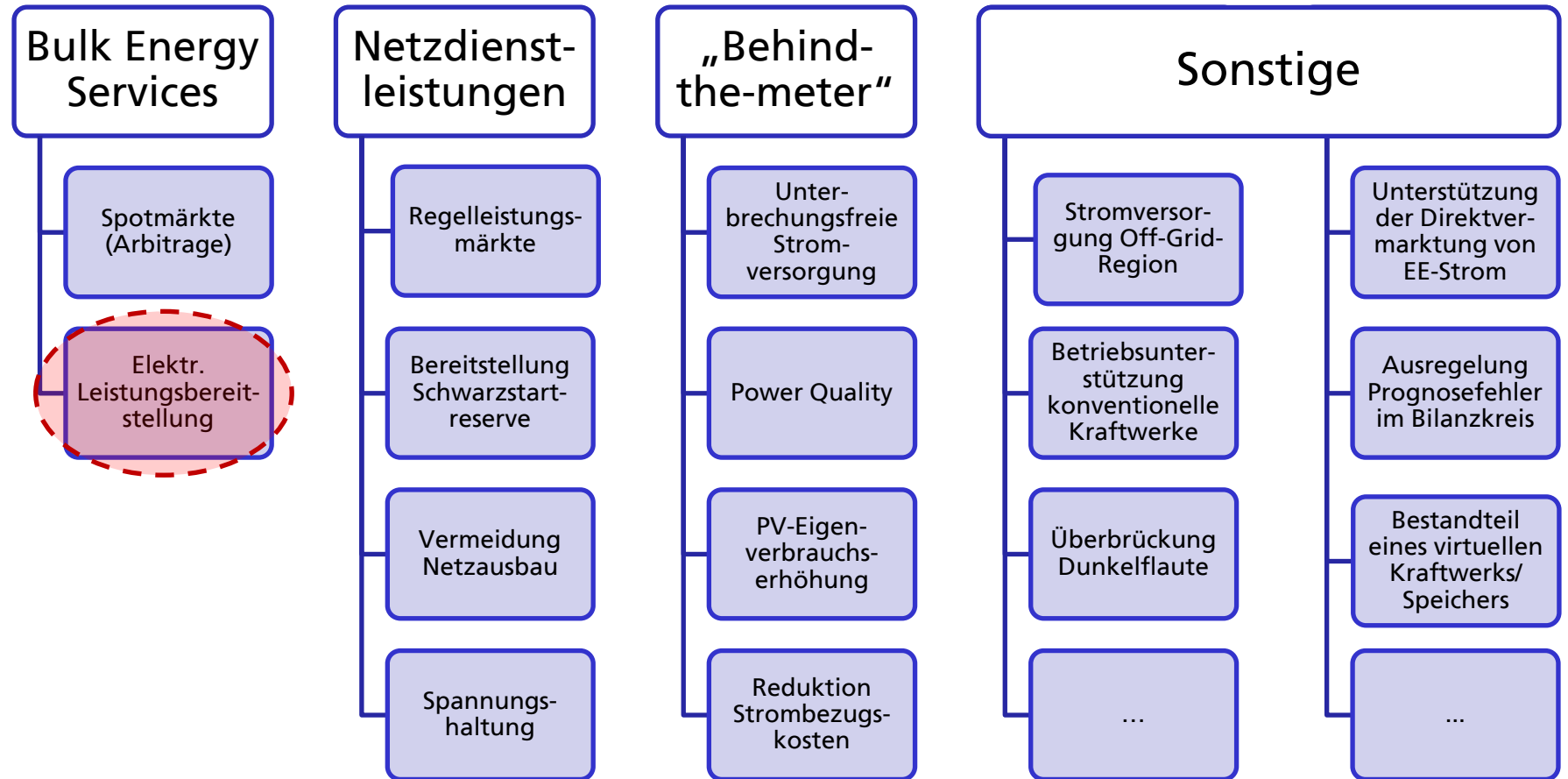
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of RES-Electricity
- Balancing forecast errors in one balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.2 Bulk Energy Services – Elektrische Leistungsbereitstellung



10. Energy Storage Applications

10.2 Bulk Energy Services – Electrical power supply

Functional mechanism of the supply of capacity services

- Grid operators must ensure that they have a sufficient supply of generation capacity to reliably meet demand during peak demand periods. This peak demand is typically met with more expensive generators that are used almost exclusively to meet peak demand, such as open-cycle (low efficiency) natural gas turbines (low investment cost).
- Energy storage systems can be used here to ensure sufficient peak generation capacity. System operators can also take advantage of the ability of fluctuating (renewable) energy sources to reliably contribute to peak power by coupling them with energy storage systems. Storage systems do not necessarily need to be located in close proximity to power generation to provide such benefits.

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.2 Bulk Energy Services – Elektrische Leistungsbereitstellung

Funktionsmechanismus der Bereitstellung von Kapazitätsdienstleistungen

- Netzbetreiber müssen sicherstellen, dass sie über ein ausreichendes Angebot an **Erzeugungskapazität** verfügen, um die Nachfrage während der Zeiten mit der höchsten Nachfrage zuverlässig zu decken. Dieser Spitzenbedarf wird in der Regel mit teureren Generatoren gedeckt, die fast ausschließlich zur Deckung des Spitzenbedarfs verwendet werden, wie z. B. (Investitionskosten-günstige) **Erdgasturbinen** mit offenem Kreislauf (geringer Effizienz).
- Energiespeichersysteme können hier eingesetzt werden, um eine ausreichende Spitzenerzeugungskapazität sicherzustellen. Systembetreiber können auch die Fähigkeit von fluktuierenden (erneuerbaren) Energiequellen nutzen, um zuverlässig zur Spitzenleistung beizutragen, indem sie diese mit Energiespeichern koppeln. Speichersysteme müssen nicht unbedingt in räumlicher Nähe zur Energieerzeugung aufgestellt werden, um solche Vorteile zu bieten.

10. Energy Storage Applications

10.3 Markets – Control power markets

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Supply of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

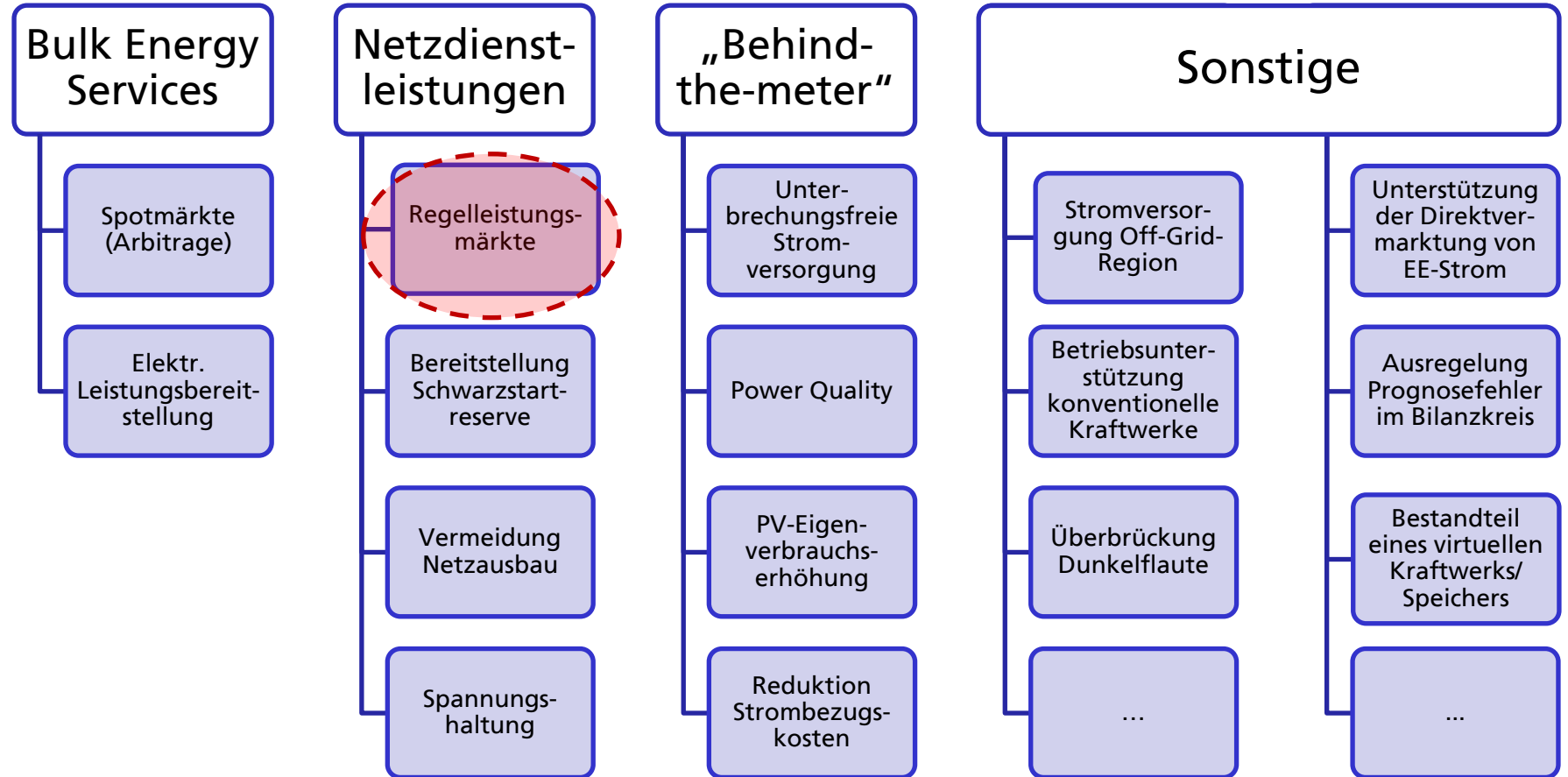
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of RES-Electricity
- Balancing forecast errors in one balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.3 Märkte - Regelleistungsmärkte



10. Energy storage applications

10.3 Markets - Control power markets

There are three types of control power:

- Primary control power (PRL)
- Secondary control power (SRL)
- Tertiary control or minute reserve power (MRL)

Important differentiation of the control power types over required reaction time after call (e.g. due to power plant failure)

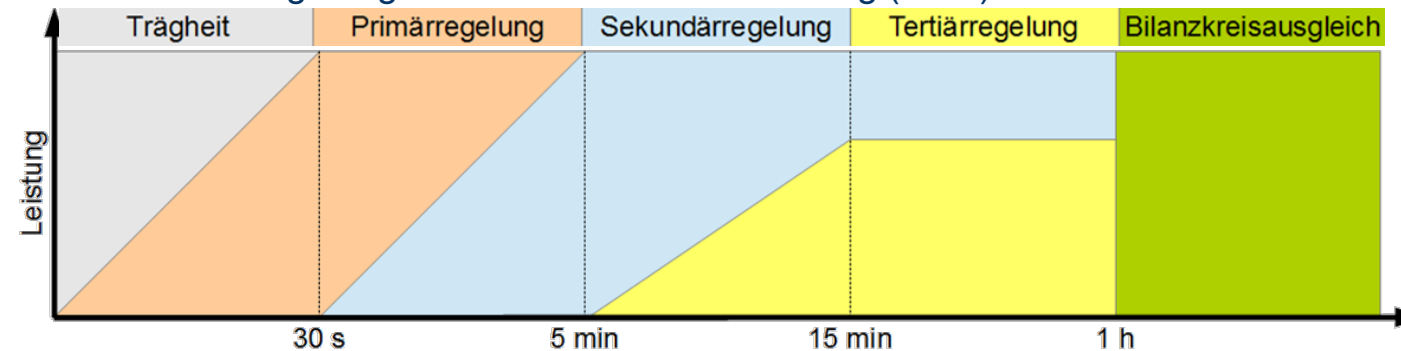
Expiration in case of use

- Primary control power is provided within 30 s at the latest with 100% power evenly from all primary control-capable power plants/storage systems in the European integrated grid (automatic use based on deviation from the target grid frequency)
- Secondary power (after 5 min 100%) and minute reserve (after 15 min 100%) are retrieved in the country / control area causing the call (in part using borderline foreign facilities),
- Minute reserve is used after 15 minutes to replace the "faster" and therefore technically more valuable secondary control power, if this was not sufficient for the control of the incident, so that the secondary control power for any new calls again available.

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.3 Netzdienstleistung - Regelleistungsmärkte

- Es gibt drei Arten an Regelleistung:
 - Primärregelleistung (PRL)
 - Sekundärregelleistung (SRL)
 - Tertiärregelung bzw. Minutenreserveleistung (MRL)



- Ablauf im Abruffall
 - Primärregelleistung wird in spätestens 30 s mit 100% Leistung gleichmäßig von allen primärregelfähigen Kraftwerken / Speichern im europäischen Verbundnetz erbracht (automatischer Einsatz anhand Abweichung von der Sollnetzfrequenz)
 - Sekundärregelleistung (nach 5 Minuten 100%) und Minutenreserve (nach 15 Minuten 100%) werden in dem Land/Regelzone abgerufen, dass den Abruf verursacht (teilweise unter Nutzung grenznaher ausländischer Anlagen),
 - Minutenreserve dient dafür nach 15 Minuten die „schnellere“ und daher technisch wertvollere Sekundärregelleistung abzulösen, wenn diese nicht zur Ausregelung des Vorfalles ausgereicht hat, damit die Sekundärregelleistung für eventuelle neue Abrufe erneut zur Verfügung steht.

Schema des Einsatzes der unterschiedlichen Regelleistungsarten zur Stabilisierung der Stromversorgung, DF5GO, CC-BY-SA 3.0† <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27124889>

10. Energy storage applications

10.3 Grid service - Control power markets – Example

- Goldisthal pumped storage power plant
- Largest pumped storage power plant in Germany 1060 MW_{el} and 8.5 GWh_{el}
- Used today mainly for balancing power, originally used for arbitrage or flexibilization of base load power plants

10. Energiespeicher-Anwendungen

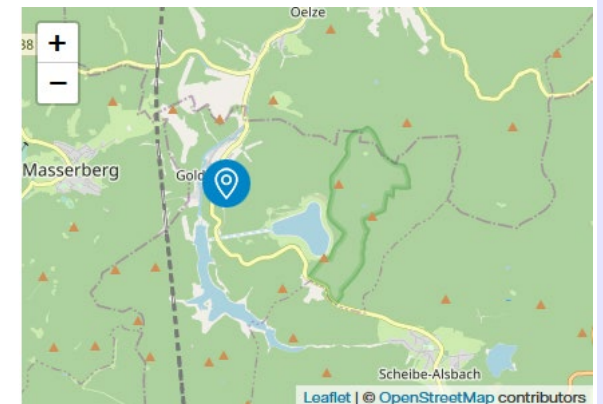
10.3 Netzdienstleistung – Regelleistungsmärkte - Beispiel

- Pumpspeicherkraftwerk Goldisthal
- Größtes Pumpspeicherkraftwerk Deutschlands
1060 MW_{el} und 8,5 GWh_{el}
- Einsatz heute vor allem im Bereich der Regelleistung, ursprünglich genutzt für das Arbitragegeschäft bzw. zur Flexibilisierung von Grundlastkraftwerken

Source: <https://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/04/Pumpspeicherwerk.pdf>



Auslaufbauwerk und Energieableitungsportal, Störfix, CC-BY-SA
3.0†
https://de.wikipedia.org/wiki/Pumpspeicherwerk_Goldisthal#/media/Datei:Goldisthal-PSW-Unterbecken.jpg



10. Energy Storage Applications

10.3 Grid services - Provision of black start reserve

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Provision of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

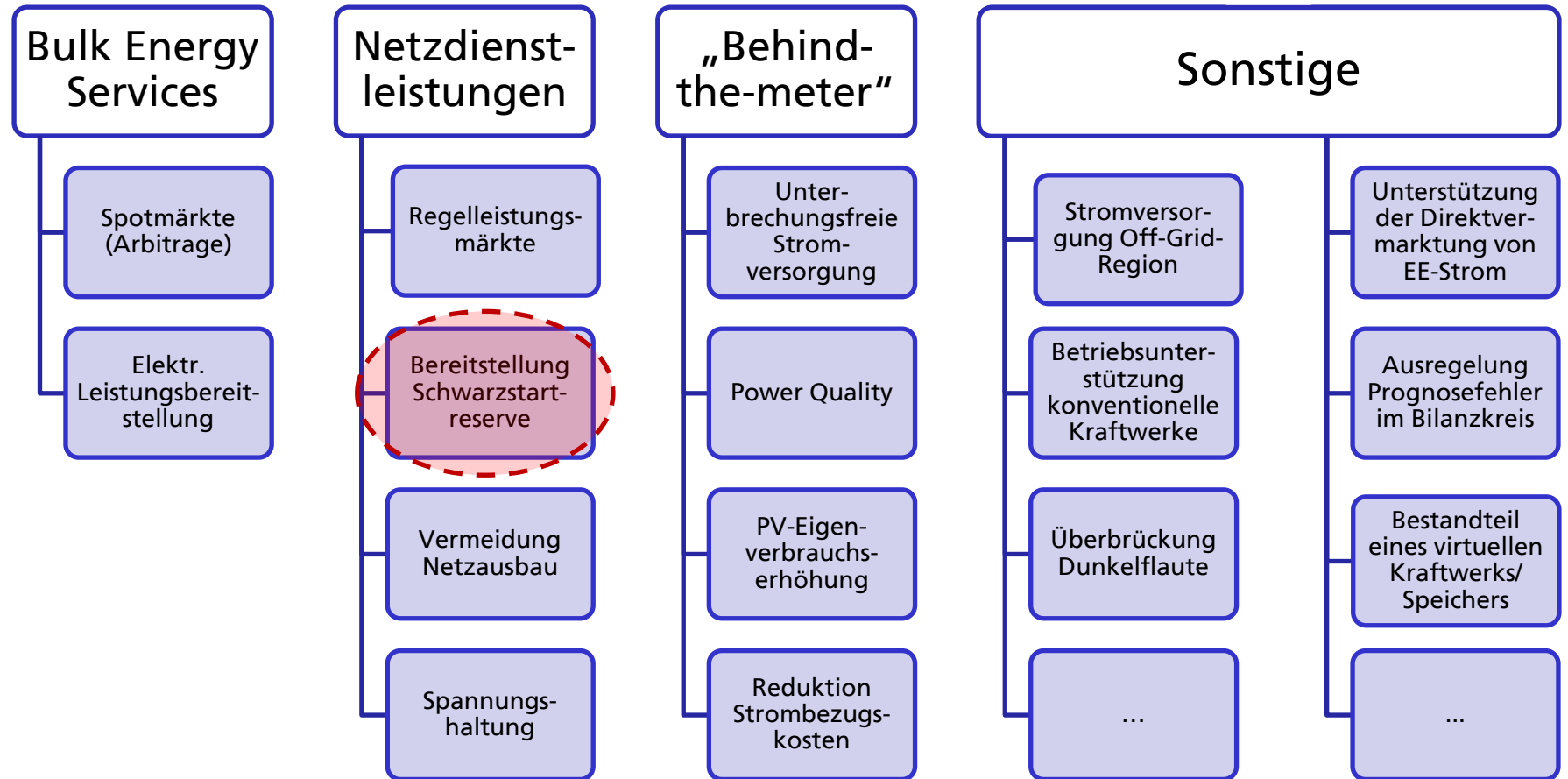
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of
- RES-Electricity
- Balancing forecast errors
- in the balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.3 Netzdienstleistung – Bereitstellung Schwarzstart-Reserve



10. Energy storage applications**10.3 Grid services -Provision of black start reserve**

- Thermal power plants, such as nuclear power plants, lignite-fired power plants or combined heat and power plants, cannot be started without an external power source: The numerous pumps, turbines, etc. must be supplied with power externally before the actual power production of the power plant can start. I.e. without grid power, most conventional power plants CANNOT be started, and in the event of a blackout, grid reconstruction is NOT possible.
- Properties of black-start capable systems
 - Short-term, i.e. fast start-up behavior
 - NO need for external current (only own current)
 - Robustness, i.e. current fluctuations, high (start-up) currents must be tolerated
- Systems commonly used to date
 - Hydroelectric power plants (pumped storage power plants, but also run-of-river power plants)
 - Compressed air storage power plants (Huntorf in Germany)
- Recently also
 - Gas turbine plants with battery storage (to start them up). In this case, the battery storage units are often installed in the direct vicinity of the (conventional) power plant.
 - Pure battery storage, which can build up the grid and then integrate other energy producers (e.g. renewable energies or conventional).

10. Energiespeicher-Anwendungen**10.3 Netzdienstleistung – Bereitstellung Schwarzstart-Reserve**

- Thermische Kraftwerke, wie etwa Kernkraft-, Braunkohle- oder Blockheizkraftwerke, sind ohne eine externe Stromquelle nicht startbar: Die zahlreichen Pumpen, Turbinen etc. müssen extern mit Strom versorgt werden, bevor die eigentliche Stromproduktion des Kraftwerks starten kann. D.h. Ohne Netzstrom können die aller meisten konventionellen Kraftwerke NICHT gestartet werden, im Blackout Fall ist damit ein Netzaufbau NICHT möglich.
- Eigenschaften von schwarzstartfähigen Systemen
 - Kurzfristigkeit, d.h. schnelles Startverhalten
 - KEIN Bedarf an Fremdstrom (nur Eigenstrom)
 - Robustheit, d.h. Stromschwankungen, höhe (Anlauf-)Ströme müssen verkraftet werden
- Bisher übliche Systeme
 - Wasserkraftwerke (Pumpspeicherkraftwerke, aber auch Laufwasserkraftwerke)
 - Druckluftspeicherkraftwerke (Huntorf in Deutschland)
- Neuerdings auch
 - Gasturbinenanlagen mit Batteriespeicher (zum Anfahren derselben). Hierbei sind die Batteriespeicher häufig in direkter Nähe des (konv.) Kraftwerks aufgebaut.
 - Reine Batteriespeicher, die das Netz aufbauen können und dann weitere Energieerzeuger (bspw. erneuerbare Energien oder konventionelle) mit einbinden können.

10. Energy storage applications

10.3 Grid services -Provision of black start reserve

"RES (Renewable Energy Systems) has now made operational what it claims is one of the most advanced balancing power plants in the world, a 10 MW battery storage facility with black start capability and islanding capability, which RES is implementing as project developer for utilities company Bordsesholm (VBB). According to a statement from RES, black start means starting up a power plant from a shutdown state independently of the power grid. The battery storage system is thus also capable of rebuilding a switched-off power grid, which was previously reserved for fossil-fuel power plants.

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.3 Netzdienstleistung – Bereitstellung Schwarzstart-Reserve - Beispiel

*„RES (Renewable Energy Systems) hat jetzt eines der nach eigenen Angaben modernsten Regelenergiekraftwerke der Welt betriebsfertig gestellt, einen 10 MW-Batteriespeicher mit **Schwarzstartfähigkeit** und Inselnetzfähigkeit, den RES als Projektentwickler für die Versorgungsbetriebe Bordsesholm (VBB) realisiert. Wie es in einer Mitteilung von RES heißt, bedeutet Schwarzstart, ein Kraftwerk unabhängig vom Stromnetz vom abgeschalteten Zustand ausgehend hochzufahren. Der Batteriespeicher sei damit auch in der Lage, ein abgeschaltetes Stromnetz neu aufzubauen, was bislang fossilen Kraftwerken vorbehalten war.“*

Regelenergie: 10 MW-Batteriespeicher von RES für VBB fertiggestellt

2. Mai 2019



Regelenergie: 10 MW-Batteriespeicher von RES für VBB fertiggestellt, Neue Energie, <https://www.contextcrew.de/regelenergie-10-mw-batteriespeicher-von-res-fuer-vbb-fertiggestellt/>

10. Energy storage applications

10.3 Grid services -Provision of black start reserve

Huntorf/Germany plant (built 1978, upgraded 2006)

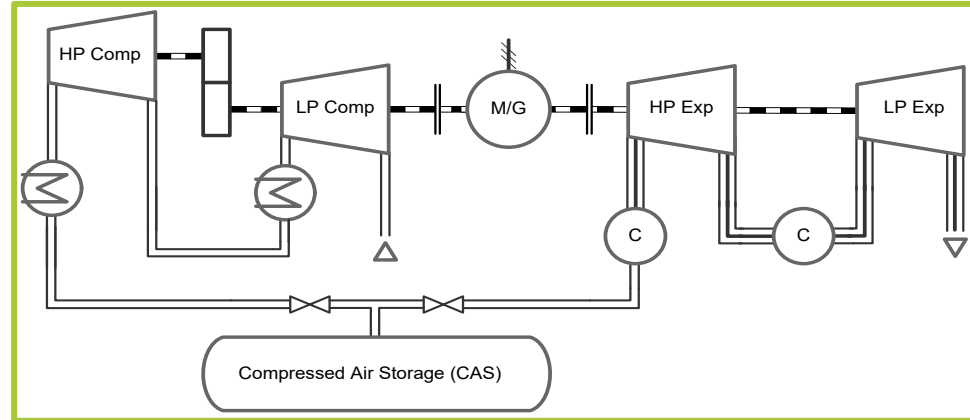
- Gas firing for heating during withdrawal from storage
- Compressor power 60 MW (8h), capacity 480 MWh
- Turbine output 321 MW (2h), withdrawal 642 MWh
- Additional 960 MWh natural gas fired.
- "Efficiency": 44.5%
- Black start capable!

10. Energiespeicher-Anwendungen

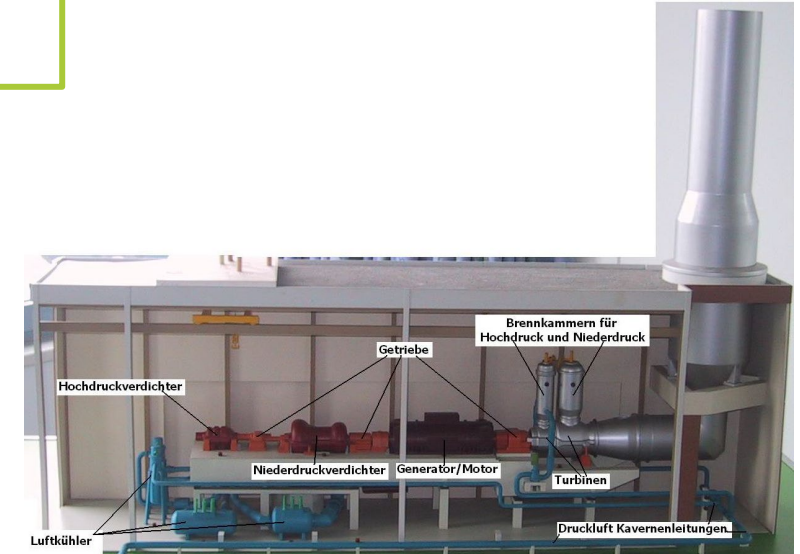
10.3 Netzdienstleistung – Bereitstellung Schwarzstart-Reserve - Beispiel

Anlage Huntorf/Deutschland (Bj. 1978, 2006 ertüchtigt)

- Gaszuführung zur Erwärmung bei Ausspeicherung



- Kompressorleistung 60 MW (8h), Kapazität 480 MWh
- Turbinenleistung 321 MW (2h), Ausspeicherung 642 MWh
- Zusätzlich 960 MWh Erdgas zugeführt.
- „Wirkungsgrad“: 44,5%
- **Schwarzstartfähig!**



Kraftwerk Huntorf von innen, Govgel, Public Domain† https://de.wikipedia.org/wiki/Kraftwerk_Huntorf#/media/Datei:Kraftwerk_Huntorf_innen.jpg
 Kraftwerk Huntorf im Modell, Govgel, Public Domain† https://de.wikipedia.org/wiki/Druckluftspeicherkraftwerk#/media/Datei:Kraftwerk_Huntorf_Modell.jpg

10. Energy Storage Applications
10.3 Grid services – Avoidance of grid expansion

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Provision of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

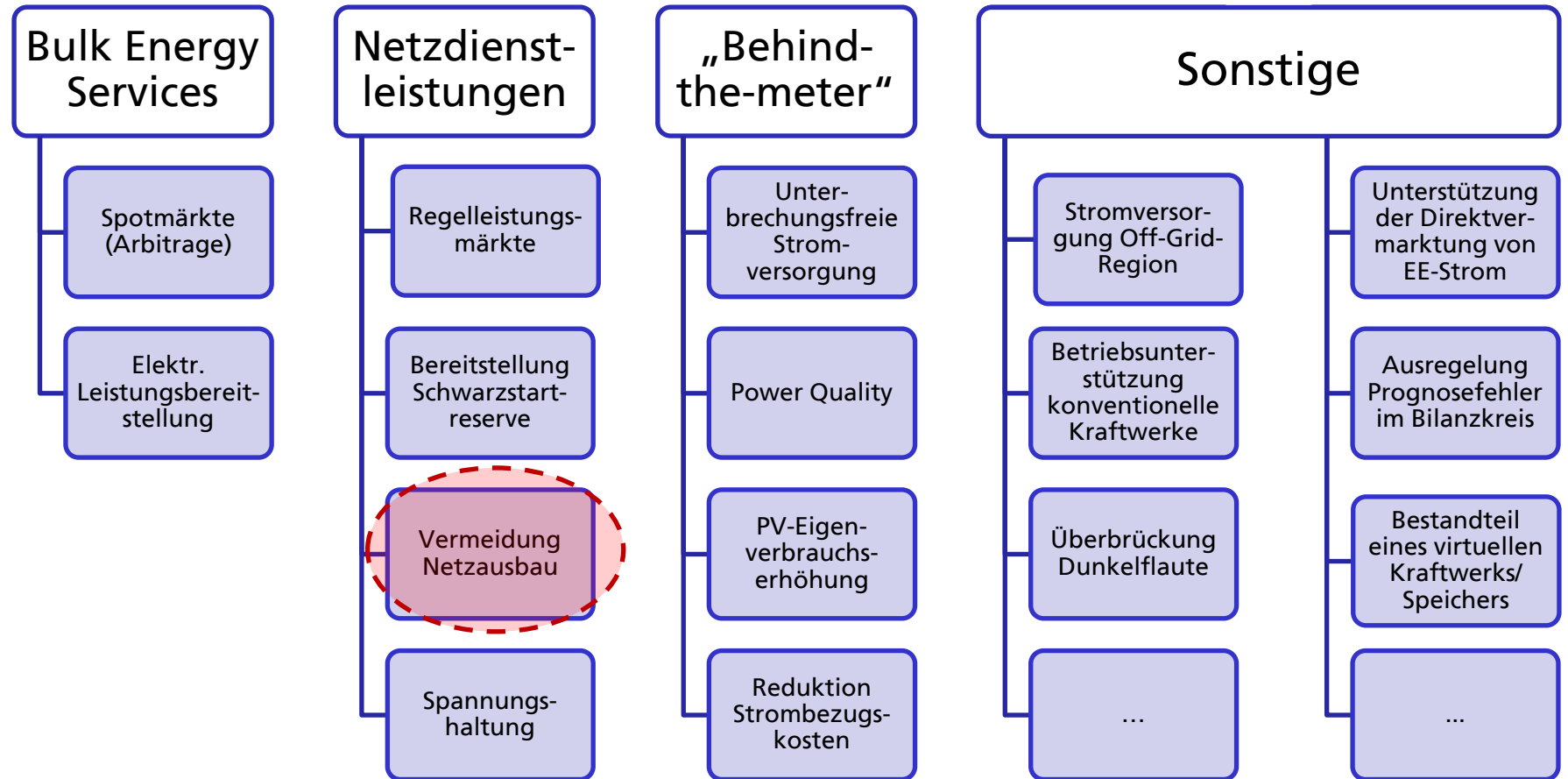
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of
- RES-Electricity
- Balancing forecast errors
- in the balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.3 Netzdienstleistung – Vermeidung Netzausbau



10. Energy storage applications**10.3 Grid Service – Avoidance of grid expansion****Transmission network**

- Bottlenecks mainly due to north-south divide in terms of installed wind power
- Possible storage use: temporary storage of wind energy and later transfer

Distribution

- Grid expansion necessary if voltage limits or thermal load limits of lines or transformers are violated (due to concentrated, installed PV power, especially in rural areas)
- Important: carefully select the location of the memory
- For discharge of the transformer: transformer close
- For voltage support: close to the decentralized producer or at the end of the line

Sites with restrictive grid connection power

- Rarely, usually geographically
- Possible storage use:
In the case of restriction in electricity procurement: early electricity purchase and intermediate storage of electricity
In the case of grid feed-in restriction: intermediate storage of generated electricity and subsequent feed-in

10. Energiespeicher-Anwendungen**10.3 Netzdienstleistung – Vermeidung Netzausbau****Übertragungsnetz-Engpass**

- Engpässe im Wesentlichen aufgrund von Nord-Süd-Gefälle bzgl. installierter Windleistung
- Möglicher Speichereinsatz: Zwischenspeicherung Windenergie und spätere Übertragung

Verteilnetz

- Netzausbau notwendig, wenn Spannungsgrenzen oder thermische Belastungsgrenzen von Leitungen oder Transformatoren verletzt würden (i.d.R. aufgrund von konzentrierter, installierter PV-Leistung insbesondere in ländlichen Gebieten)
- Wichtig: Standort des Speichers sorgfältig wählen
 - Für Entlastung des Transformators: transformatornah
 - Für Spannungsstützung: i.d.R. nah beim dezentralen Erzeuger oder am Leitungsende

Standorte mit beschränkter Netzanschlussleistung

- Selten, i.d.R. geographisch bedingt
- Möglicher Speichereinsatz:
 - Bei Restriktion im Strombezug: vorzeitiger Strombezug und Zwischenspeicherung Strom
 - Bei Restriktion bei Netzeinspeisung: Zwischenspeicherung erzeugter Strom und nachträgliche Einspeisung

10. Energy Storage Applications
10.3 Grid services – Voltage support

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Provision of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

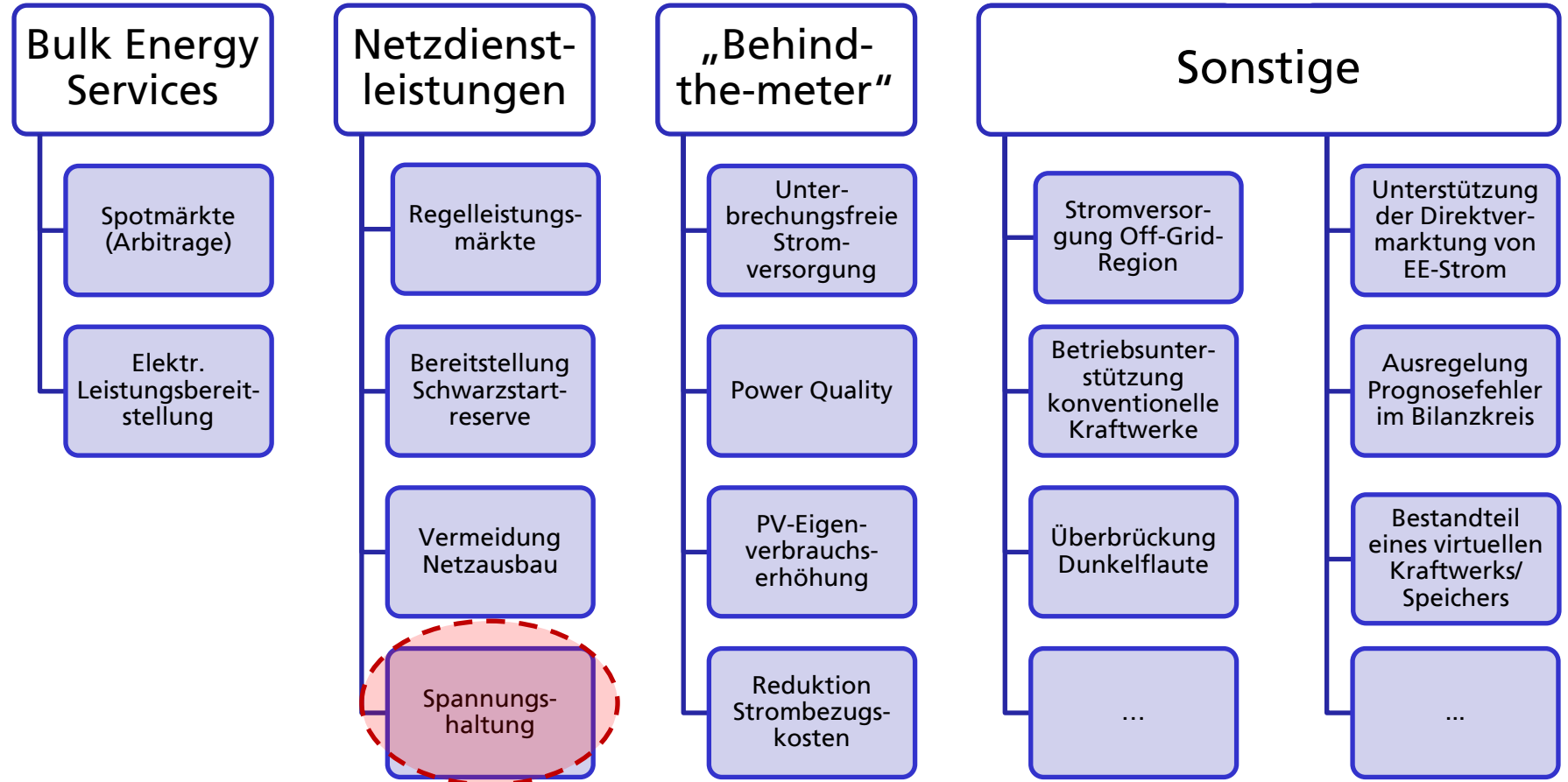
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of
- RES-Electricity
- Balancing forecast errors
- in the balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.3 Netzdienstleistung – Spannungshaltung



10. Energy Storage Applications

10.3 Grid services – Voltage support

Background

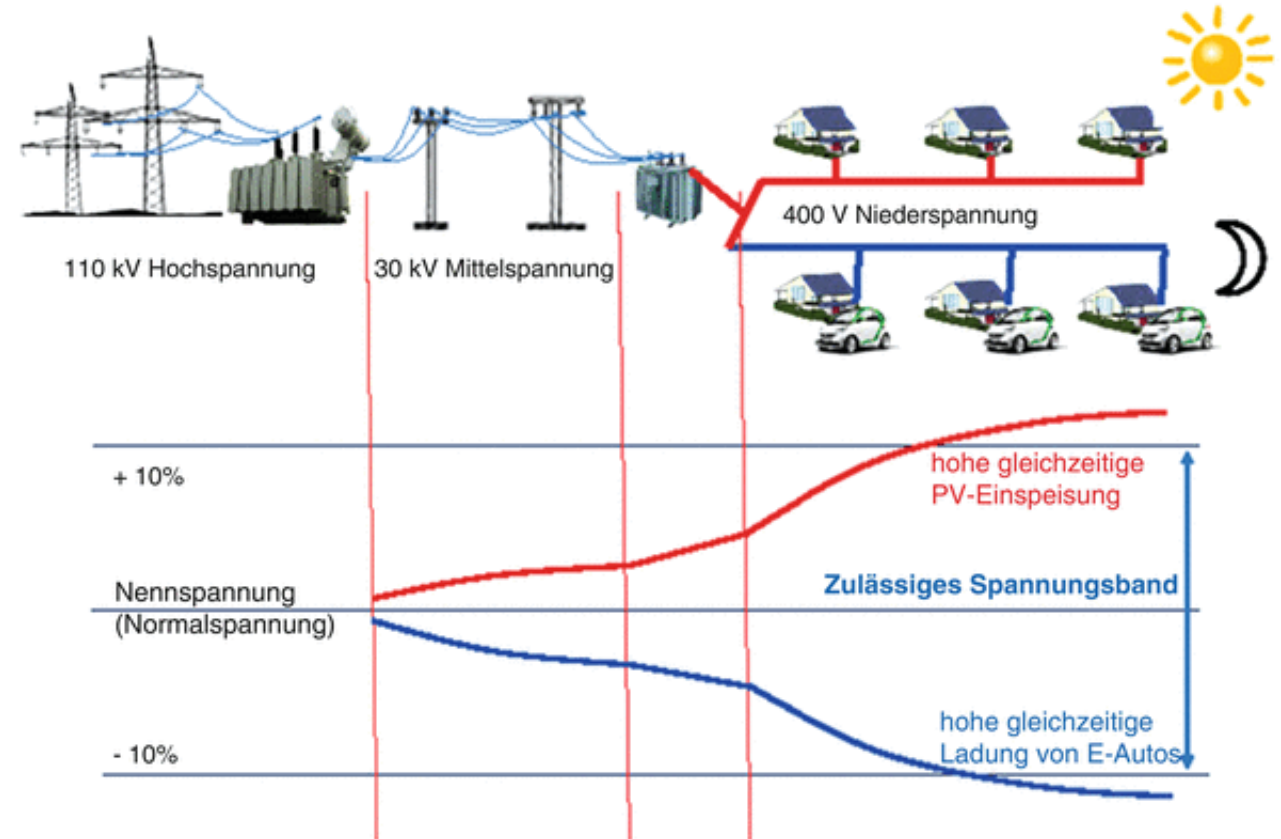
- Permissible voltage band: $\pm 10\%$
- Loads lower the voltage
- Decentralized power generators raise the voltage
- Electricity storage can either
 - store electricity (voltage reduction)
 - or feed in (voltage increase)

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.3 Netzdienstleistung – Spannungshaltung

Hintergrund

- Zulässiges Spannungsband: $\pm 10\%$
- Lasten senken die Spannung ab
- Dezentrale Stromerzeuger heben die Spannung an
- Stromspeicher können entweder
 - Strom Einspeichern (Spannungsabsenkung)
 - bzw. Einspeisen (Spannungsanhebung)



https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-12755-8_7

10. Energy Storage Applications

10.4 „Behind-the-meter“ - Uninterruptible power supply

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Provision of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

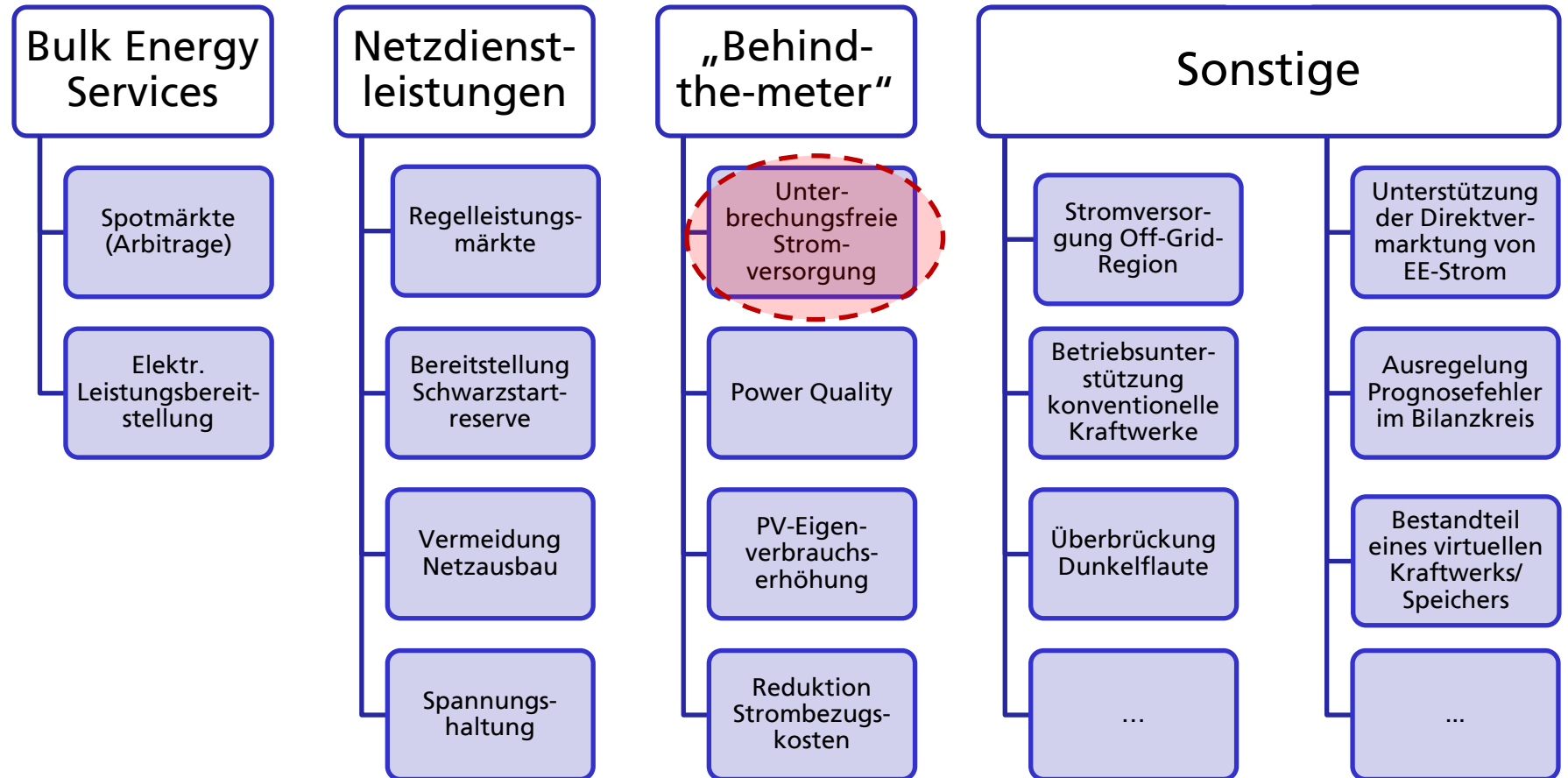
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of
- RES-Electricity
- Balancing forecast errors
- in the balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.4 „Behind the meter“ – Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)



10. Energy Storage Applications

10.4 „Behind-the-meter“ - Uninterruptible power supply

Background

- Even if power failures are very rare in Europe and especially in Germany, there are important processes that do not allow any power failure at all, e.g. intensive care units in hospitals, but also industrial processes such as semiconductor production or in data centers.
- Here, batteries are primarily used to bridge the power supply for a few minutes, whereas diesel generators, for example, ensure longer-term bridging.
- Some of these UPS systems can also be used at the same time for "power quality" applications, i.e. for example. Compensate for under- or overvoltages - if this is important for the process to be protected.

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.4 „Behind the meter“ – Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)

Hintergrund

- Auch wenn Stromausfälle in Europa und insbesondere in Deutschland sehr selten sind, gibt es wichtige Prozesse, die keinerlei Stromausfall erlauben, bspw. Intensivstationen in Krankenhäusern, aber auch industrielle Prozesse, wie bspw. die Halbleiterproduktion oder auch in Rechenzentren
- Vorrangig dienen hier Batterien als Minutenüberbrückung, wogegen bspw. Diesel-Generatoren dann die längerfristige Überbrückung sicherstellen
- Manche dieser USV-Systeme können auch zugleich für die „Power Quality“ Anwendung eingesetzt werden, d.h. bspw.. Unter- bzw. Überspannungen ausgleichen – sofern dies für den abzusichernden Prozess wichtig ist.

10. Energy Storage Applications

10.4 „Behind-the-meter“ – Power Quality

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Provision of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

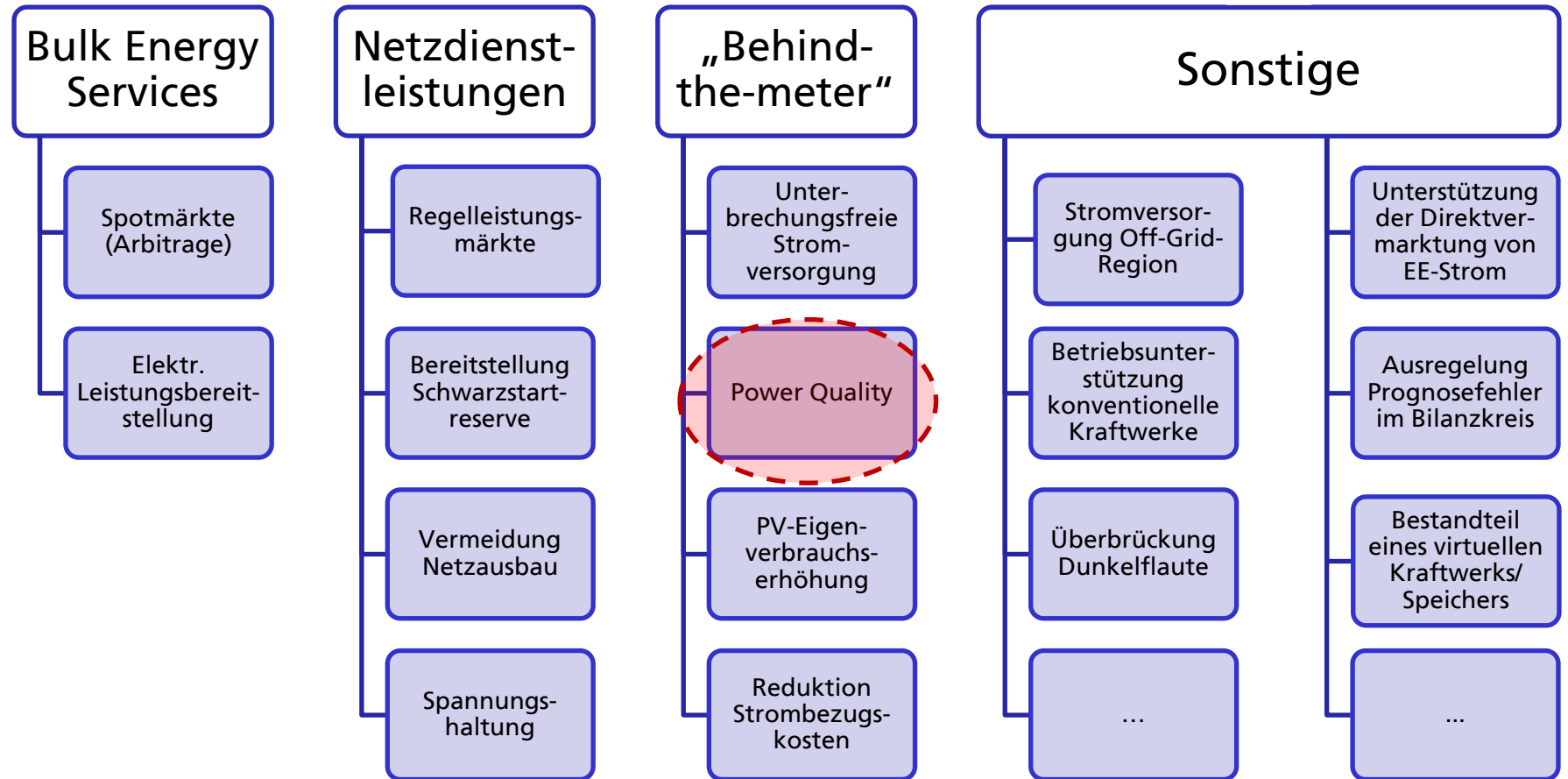
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of
- RES-Electricity
- Balancing forecast errors
- in the balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.4 „Behind the meter“ – Power Quality



10. Energy Storage Applications

10.4 „Behind-the-meter“ – Power Quality

Examples of reduced power quality

1. **Phase shift:** Shifting of the sinusoidal current and voltage curve in relation to each other, e.g. due to magnetic fields in motors => reactive power
2. **Harmonics:** Arises, for example, from rectifiers or electronic loads; some of these (3rd, 6th, etc. harmonics add up in the neutral conductor, resulting in increased load)
3. **"Unbalanced load":** Single-phase loads or feeders as well as asymmetrical three-phase loads (welding) can load the three phases differently, which leads to voltage shifts between the phases, among other things.
4. **Transients:** Short on or off switching effects of (electronic) high power loads.
5. **Flicker:** "Random" voltage fluctuations caused, among other things, by various alternating loaded heavy current consumers.

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.4 „Behind the meter“ – Power Quality

Beispiele für eine verminderte Stromqualität

1. **Phasenverschiebung:** Verschiebung des sinusförmigen Strom- und Spannungsverlaufs zueinander, bspw. durch Magnetfelder in Motoren => Blindleistung
2. **Oberschwingungen:** Entstehen bspw. durch Gleichrichter oder elektronische Lasten; einige davon (3., 6. etc. Oberschwingungen addieren sich im Neutralleiter, was zu erhöhter Belastung führt)
3. **„Schieflast“:** Einphasige Verbraucher oder Einspeiser sowie asymmetrische dreiphasige Lasten (Schweißen) können die drei Phasen unterschiedlich belasten was u.a. zu Spannungsverschiebungen zwischen den Phasen führt.
4. **Transiente:** Kurze Ein- oder Ausschalteffekte von (elektronischen) Hochleistungslasten
5. **Flicker:** „Zufällige“ Spannungsschwankungen, die u.a. durch verschiedene, wechselnde belastete Starkstromverbraucher verursacht werden.

10. Energy Storage Applications

10.4 „Behind-the-meter“ – Power Quality

 ACCEL Instruments GmbH - 2 MJ
 Superconducting Magnetic Energy Storage –
 SMES

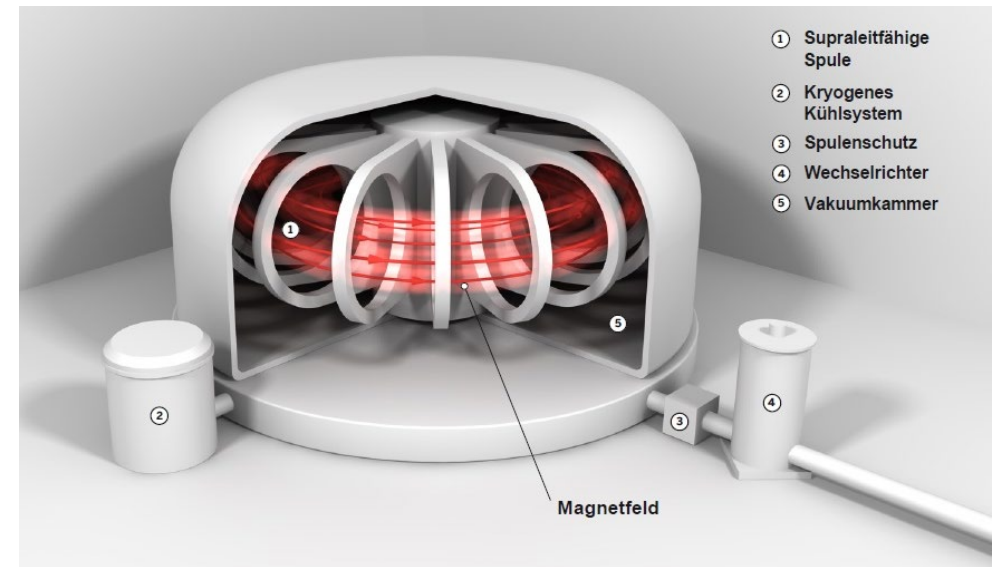
- SMES current 1000 A
- Stored energy 2.1 MJ = 583 Wh
- Average power 200 kW
- Peak power 800 kW
- Bridging time 8 seconds
- DC voltage 800 V
- Magnet height 600 mm
- Application: Ensuring power quality for transformer switching

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.4 „Behind the meter“ – Power Quality - Beispiel

 ACCEL Instruments GmbH – 2 MJ Superconducting Magnetic Energy Storage -
 SMES

- SMES Strom 1000 A
- Gespeicherte Energiemenge 2,1 MJ = 583 Wh
- Mittlere Leistung 200 kW
- Spitzenleistung 800 kW
- Überbrückungsdauer 8 Sekunden
- DC Spannung 800 V
- Magnet Höhe 600 mm
- **Anwendung: Power Quality sicherstellen bei Trafos-umschaltungen**



https://www.energieagentur.nrw/mediathek/Grafik/funktionsweise_eines_supraleitenden_energiespeichers_smes_magnetische_stromspeicherung

10. Energy Storage Applications
 10.4 „Behind-the-meter“ – PV self-consumption increase

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Provision of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

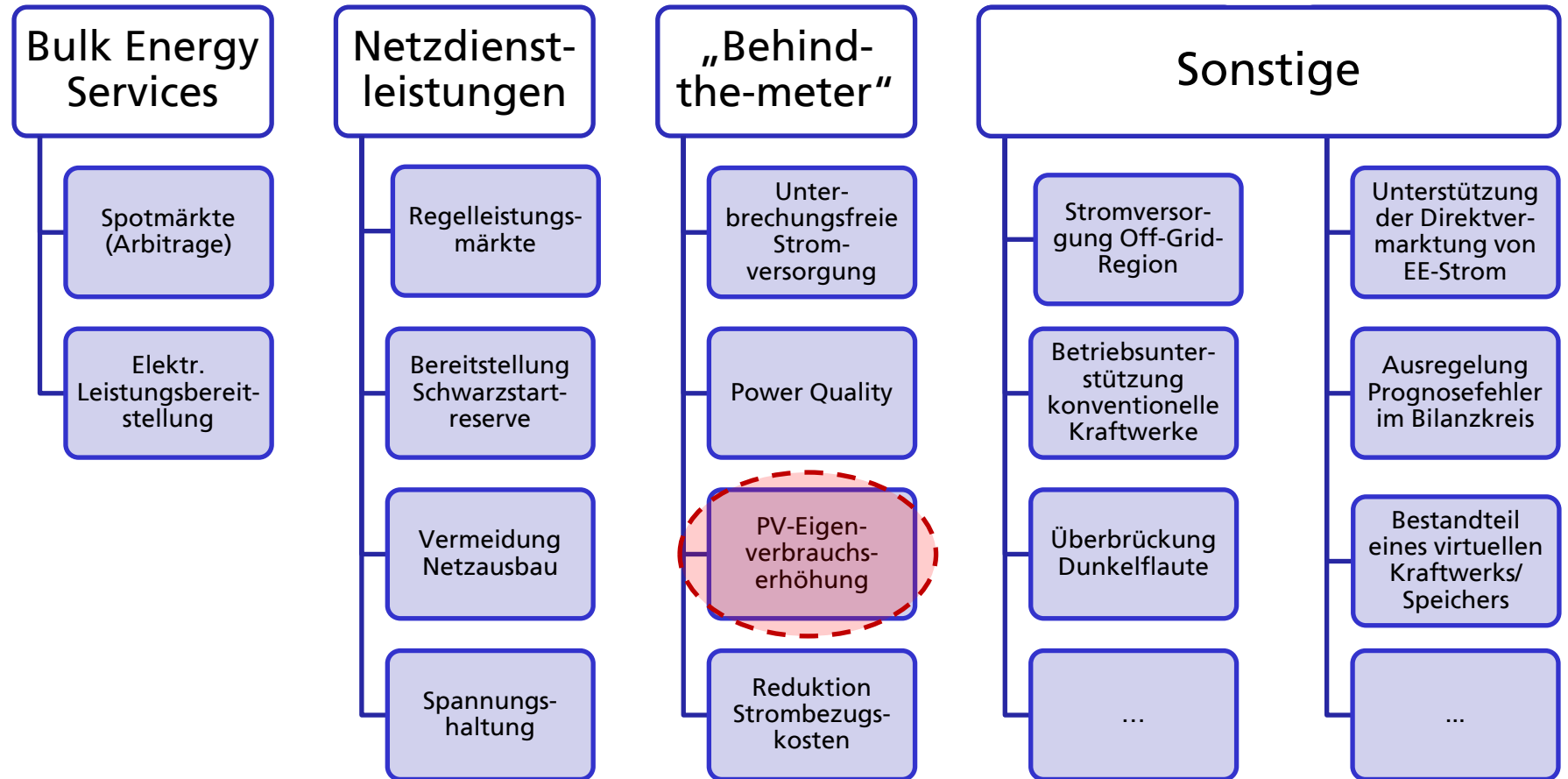
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of
- RES-Electricity
- Balancing forecast errors
- in the balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.4 „Behind the meter“ – PV-Eigenverbrauchserhöhung



10. Energy Storage Applications

10.4 „Behind-the-meter“ – PV self-consumption increase

Background / Goal

Increase in PV self-consumption share to reduce electricity procurement costs for end customers

- In principle, it is worthwhile if the EEG compensation for self-generated PV electricity is lower than the purchase price for electricity from the supplier (achieved since 2012).
- However, it only makes economic sense since the storage costs have fallen so much, and the cycle life has increased at the same time that the investment costs are more than compensated for by the savings.
- Currently, with electricity purchase costs in Germany of 32.16 ct/kWh (2021) and a feed-in tariff of 6.83 ct/kWh (2022, up to 10 kW) as well as a service life of 10-15 years with approx. 2000 to 3750 full cycles, a battery storage system must not cost more than approx. 400 to 750 €/kWh. With the current costs, a "black zero" can be assumed in the best case.
- For PV systems that have fallen out of the 20-year subsidy, but are still functional, the calculation looks different, since there is no compensation (or at most market prices, which are very low). Here, a storage system may be more worthwhile.
- Nevertheless, most solar systems are already equipped with storage units, this is based more on ecological or technological self-motivation, cost security or similar personal goals.

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.4 „Behind the meter“ – PV-Eigenverbrauchserhöhung

Hintergrund / Ziel

Erhöhung PV-Eigenverbrauchsanteil zur Reduktion Strombezugskosten für Endkunden

- Lohnt sich prinzipiell, wenn die EEG-Vergütung für den selbst erzeugten PV-Strom geringer ist als der Bezugspreis für Strom beim Versorger (seit 2012 erreicht).
- Ökonomisch sinnvoll jedoch erst seitdem die Speicherkosten soweit gesunken sind bei gleichzeitiger Steigerung der Zyklenlebensdauer, dass die Investitionskosten durch die Einsparungen überkompensiert werden.
- Aktuell bei Strombezugskosten in Deutschland von 32,16 ct/kWh (2021) und einer Einspeisevergütung von 6,83 ct/kWh (2022, bis 10 kW) sowie einer Lebensdauer von 10-15 Jahren mit ca. 2000 bis 3750 Vollzyklen, darf ein Batteriespeichersystem nicht mehr als ca. 400 bis 750 €/kWh kosten. Bei den aktuellen Kosten, kann hier im besten Falle von einer „schwarzen Null“ ausgegangen werden
- Bei PV Anlagen, die aus der 20-jährigen Förderung gefallen sind, aber noch funktionsfähig sind, sieht die Rechnung anders aus, da es keinerlei Vergütung (bzw. maximal Marktpreise, die sehr gering sind) gibt. Hier kann sich ein Speicher eher lohnen.
- Trotzdem werden schon jetzt die meisten Solaranlagen mit Speichern ausgestattet, dies basiert mehr auf ökologischer oder technologischer Eigenmotivation, Kostensicherheit oder ähnlichen persönlichen Zielen.

10. Energy Storage Applications

10.4 „Behind-the-meter“ – PV self-consumption increase

The "right" storage operation is what counts

Charge battery when ...

- ... produced PV power is greater than household power demand
- ... PV power fed into the grid is greater than 50% of the installed PV power.

Discharge battery when ...

- ...produced PV power is less than household power demand

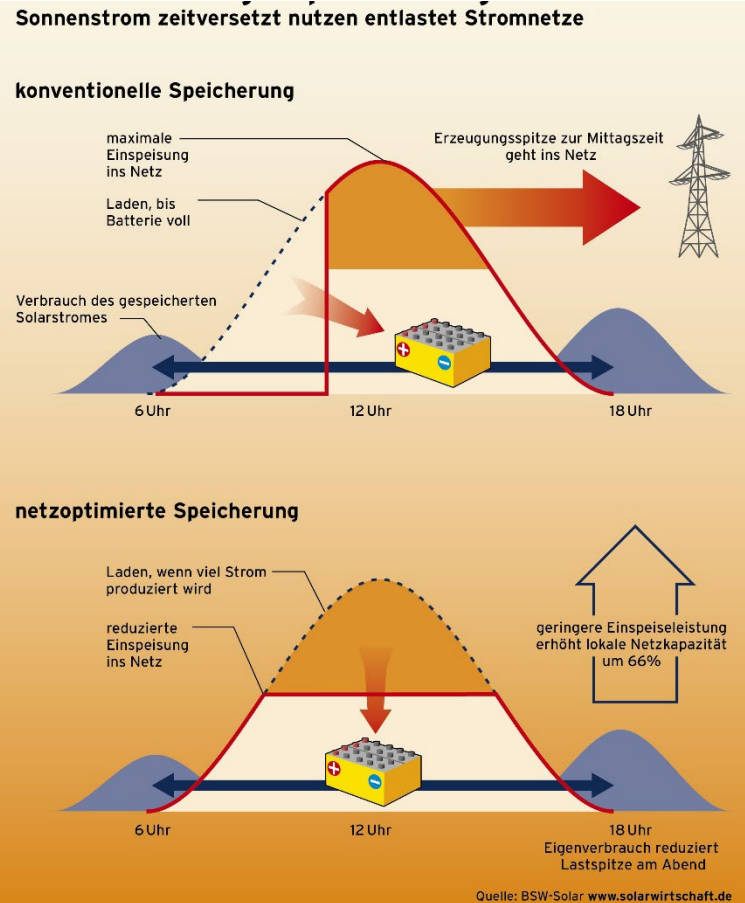
Important: Operation management strategy of the battery is crucial for grid efficiency!

- "Stupid" regulation can lead to increased grid problems
- "Intelligent" regulation can relieve the grid and enable higher installed PV outputs

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.4 „Behind the meter“ – PV-Eigenverbrauchserhöhung

Auf den "richtigen" Speicherbetrieb kommt es an



Wirtschaftlichkeit von Stromspeicher im Photovoltaikbereich, BSW Solar, <https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/071515/index.php>

- Batterie laden, wenn ...
 - ... produzierter PV-Strom größer ist als Strombedarf Haushalt
 - ... PV-Einspeiseleistung ins Netz größer ist als 50% der installierten PV-Leistung
- Batterie entladen, wenn ...
 - ...produzierter PV-Strom kleiner ist als Strombedarf Haushalt
- Wichtig: Betriebsführungsstrategie der Batterie ist entscheidend für Netzdienlichkeit!
 - „Dumme“ Regelung kann zu erhöhten Netzproblemen führen
 - „Intelligente“ Regelung kann das Netz entlasten und höhere installierte PV-Leistungen ermöglichen

10. Energy Storage Applications

10.4 „Behind-the-meter“ – Reduction in electricity purchase costs

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Provision of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- **Reduction in electricity purchase costs**

Other

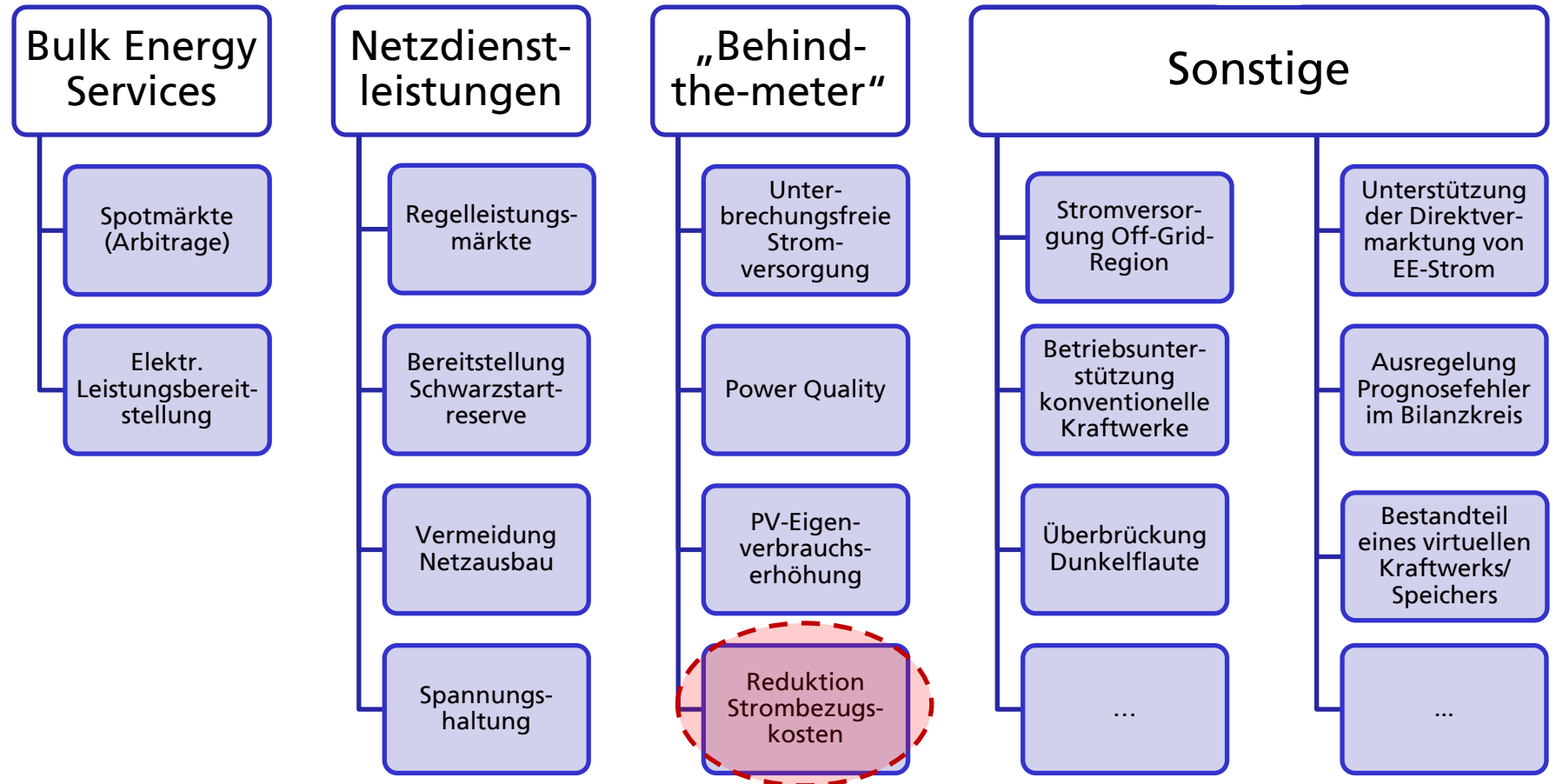
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of
- RES-Electricity
- Balancing forecast errors
- in the balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.4 „Behind the meter“ – Reduktion von Strombezugskosten



10. Energy Storage Applications

10.4 „Behind-the-meter“ – Reduction in electricity purchase costs

Background

"Peak shaving: avoid high price peaks by discharging a storage facility, which is then recharged during off-peak periods.

- Based on power purchase tariffs with power component (e.g. grid usage fee)
- Widely used in practice for large customers
- In practice also relevant for grid operators for electricity purchases from the overlaid grid
- Power component calculated from measured maximum load in defined period multiplied by specific power charge in €/kW

Operating principle

- Early electricity draw and storage in phases with low load
- Withdrawal for electricity use in phases with high load
- => From an annual usage period of more than 7000 h/a remains entitled to an individual network charge (with a significantly more favorable tariff)

10. Energiespeicher-Anwendungen

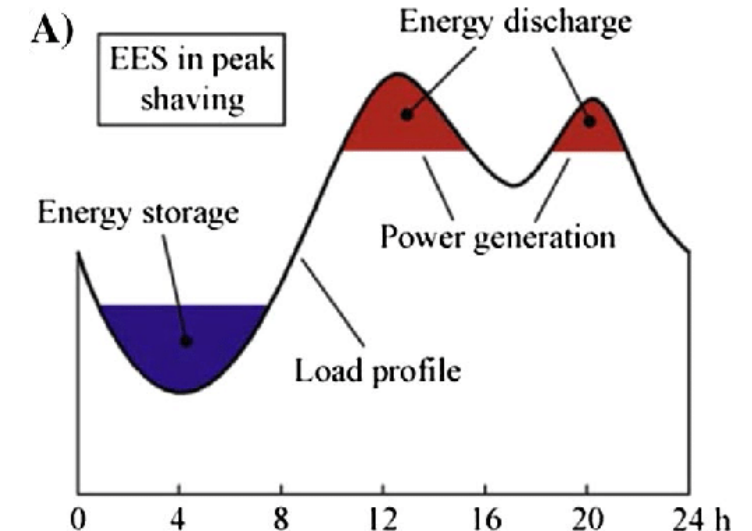
10.4 „Behind the meter“ – Reduktion von Strombezugskosten - Leistungsbasiert Hintergrund

„Peak Shaving“: Hochpreise Spitzen vermeiden durch Entladung eines Speichers, der in schwachlastzeiten wiederum geladen wird

- Basiert auf Strombezugstarifen mit Leistungskomponente (bspw. Netznutzungsentgelt)
 - In der Praxis für Großkunden weit verbreitet
 - In der Praxis auch für Netzbetreiber relevant für Strombezug aus dem überlagerten Netz
 - Leistungskomponente berechnet sich aus gemessener Höchstlast in definiertem Zeitraum multipliziert mit spezifischem Leistungsentgelt in €/kW

Funktionsweise

- Vorzeitiger Strombezug und Einspeicherung in Phasen mit niedriger Last
- Ausspeicherung zur Stromnutzung in Phasen mit hoher Last
- => Ab Jahresbenutzungsdauer von über 7000 h/a besteht Anspruch auf individuelles Netzentgelt (mit deutlich günstigerem Tarif)



Load profile of GLEES, Elsevier, CC-BY-SA 4.0† https://www.researchgate.net/figure/Load-profile-of-GLEES-a-Electrical-energy-storage-in-peak-shaving-b-Electrical-energy_fig2_338458056

10. Energy Storage Applications**10.4 „Behind-the-meter“ – Reduction in electricity purchase costs****Background**

- Based on time-variable electricity purchase tariffs.
- Classic example: HT-NT tariffs for night storage heaters
- Partially available in practice in the commercial/industrial sector
- In practice for end customers rather not widespread, but investigated in several R&D projects

Example: hourly resolved 3-step tariff in the MeRegio project

Operating principle

- Early electricity purchase and storage in phases with low prices
- Withdrawal and use of electricity in phases with high prices

10. Energiespeicher-Anwendungen**10.4 „Behind the meter“ – Reduktion von Strombezugskosten - Energiebasiert****Hintergrund**

- Basiert auf zeitvariablen Strombezugstarifen
 - Klassisches Beispiel: HT-NT-Tarife für Nachtspeicherheizungen
 - In Praxis im gewerblichen/industriellen Bereich teilweise vorhanden
 - In Praxis für Endkunden eher nicht verbreitet, aber in mehreren F&E-Projekten untersucht

Beispiel: stündlich aufgelöster 3-Stufen-Tarif im MeRegio-Projekt

Quellen:

<http://www.meregio.de/index.php?page=loesung-phaseeins>

https://www.enbw.com/media/konzern/docs/forschung/1-bmbf-fkz-01me08001a_e-energy_abschlussbericht_meregio_final.pdf

Funktionsweise

- Vorzeitiger Strombezug und Einspeicherung in Phasen mit niedrigen Preisen
- Ausspeicherung und Stromnutzung in Phasen mit hohen Preisen

10. Energy Storage Applications

10.5 Other – Reduction in electricity purchase costs

Bulk Energy Services

- Spot markets (arbitrage)
- Electr. power supply

Grid services

- Control power markets
- Provision of black start reserve
- Avoidance of grid expansion
- Voltage support

„Behind-the-meter“

- Uninterruptible power supply
- Power Quality
- PV self-consumption increase
- Reduction in electricity purchase costs

Other

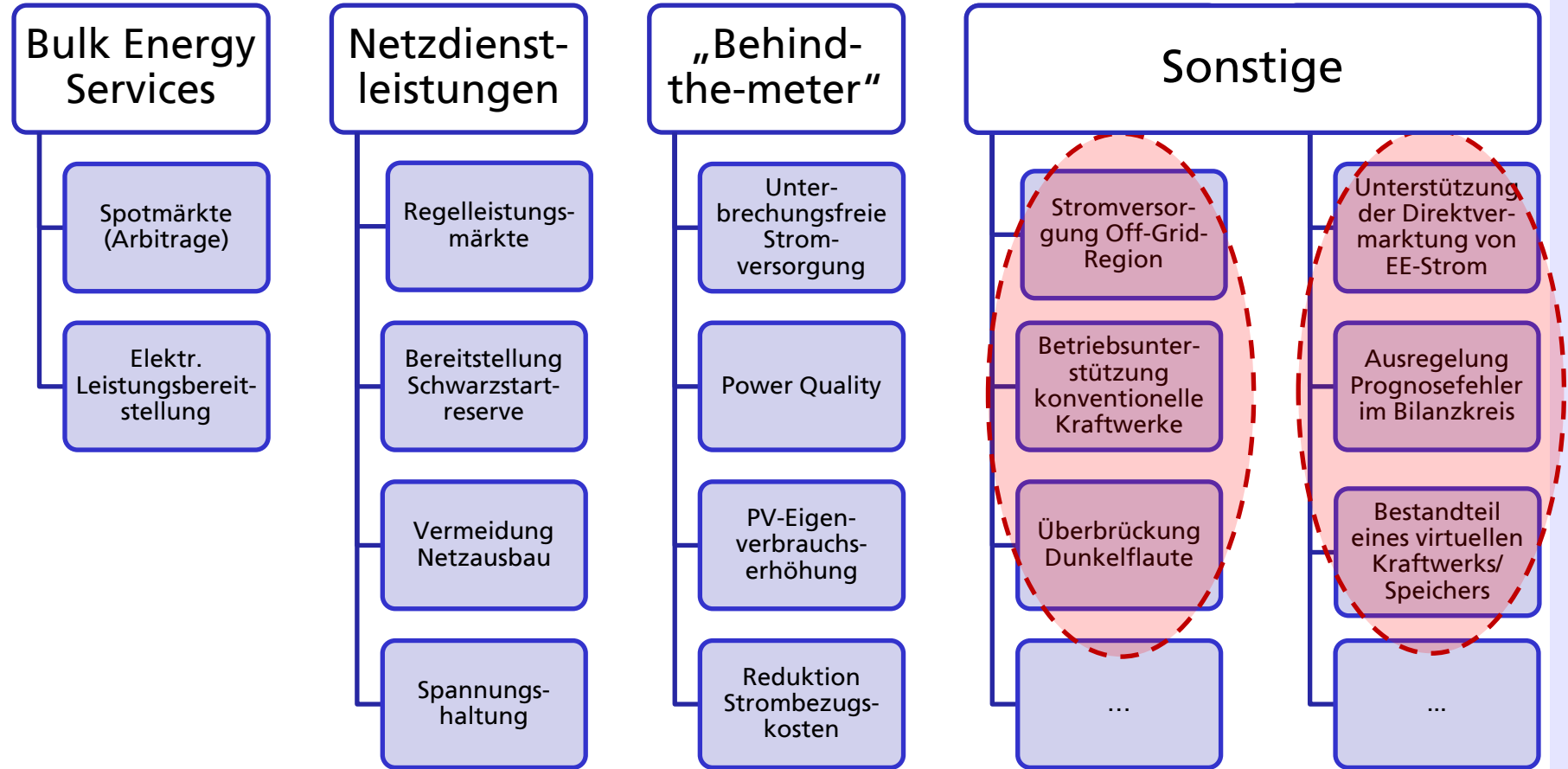
- Power supply off-grid region
- Operational support conventional power plants
- Bridging dark doldrums

Other

- Support of the direct marketing of RES-Electricity
- Balancing forecast errors in the balancing group
- Component of a virtual power plant/storage facility
- ...

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.5 Sonstige – Reduktion von Strombezugskosten



10. Energy Storage Applications**10.5 Other – Reduction in electricity purchase costs**

Power supply "off-grid" region

- The longer the transportation distance for diesel, the more expensive the electricity generation cost, so the alternative power supply is: Photovoltaic/wind + electricity storage + diesel generator.
- Today, use of electricity storage (esp. batteries) mainly for grid stabilization and for avoiding steep ramps (e.g. during cloud passages) -> more efficient diesel operation, so far only rarely larger load shifting over several hours for increased RE integration

Operation support of conventional power plant

- Coupling of storage with power plant, especially to avoid steep ramps in power plant operation and, if necessary, to take over PRL provision; prototype "LESSY"

Bridging of dark slack periods

- dark period = little/no wind & little/no solar irradiation => demand covered by conventional power plants or storage (especially long-term storage)

10. Energiespeicher-Anwendungen**10.5 Sonstige – Reduktion von Strombezugskosten**

➤ Stromversorgung „off-grid“ Region

- Je länger der Transportweg für Diesel, desto teurer sind die Stromgestehungskosten, daher ist die alternative Stromversorgung: Photovoltaik/Wind + Stromspeicher + Dieselgenerator
- Heute Einsatz von Stromspeichern (v.a. Batterien) hauptsächlich zur Netzstabilisierung und für Vermeidung steiler Rampen (bspw. bei Wolkendurchzügen) -> effizienterer Dieselbetrieb, bisher nur selten größere Lastverschiebung über mehrere Stunden zur vermehrten EE-Integration

➤ Betriebsunterstützung konventionelles Kraftwerk

- Kopplung Speicher mit Kraftwerk, insbes. zur Vermeidung steiler Rampen im Kraftwerksbetrieb und ggf. Übernahme PRL-Bereitstellung; Prototyp „LESSY“

➤ Überbrückung Dunkelflaute

- Dunkelflaute = wenig/kein Wind & wenig/keine Solareinstrahlung => Deckung Nachfrage durch konv. Kraftwerke oder Speicher (v.a. Langzeitspeicher)

10. Energy Storage Applications**10.5 Other – Reduction in electricity purchase costs****Support direct marketing of RES- electricity:**

- Intermediate storage and shifting of RES- electricity generated in high price periods or, in case of direct marketing to consumers, shifting in consumption periods.

- Could become relevant for "post-EEG plants".

Balancing forecast errors in the balancing group

- Use of electricity storage to compensate for deviations from the pre-announced balancing group schedule => prevention of costly procurement of balancing energy by TSOs

Storage as part of a virtual power plant/storage facility:

- Virtual storage acts like "real" electricity storage, is created by pooling flexible electricity consumers (e.g. heat pump, heating rod, electric storage heating), flexible electricity generators (e.g. CHP) and "real" electricity storage.

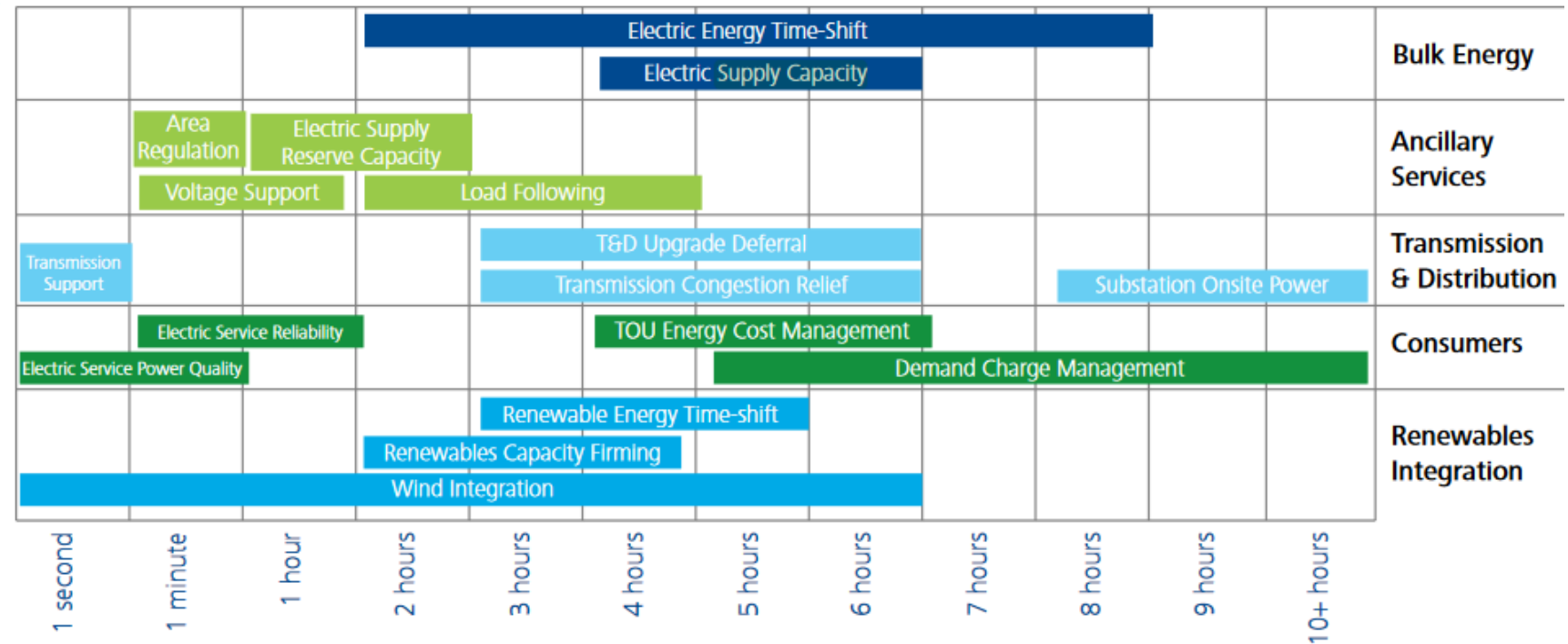
- This virtual storage is one of several plants in a virtual power plant/storage, e.g. to keep the planned schedules. Advantage: the plants are "there anyway" (saving investment costs) and only need to be upgraded for flexibility: E.g. by thermal storage for electricity-heat-coupled plants for decoupling as well as by information and communication technology (acquisition and transmission of measured values, reception and conversion of control signals, ...).

10. Energiespeicher-Anwendungen**10.5 Sonstige – Reduktion von Strombezugskosten**

- Unterstützung Direktvermarktung von EE-Strom:
 - Zwischenspeicherung und Verlagerung des erzeugten EE-Stroms in Hochpreiszeiten bzw. bei Direktvermarktung an Verbraucher Verlagerung in Verbrauchszeiten
 - Könnte Relevanz für „Post-EEG-Anlagen“ bekommen
- Ausregelung Prognosefehler im Bilanzkreis
 - Nutzung Stromspeicher, um Abweichungen vom vorab angemeldeten Bilanzkreis-Fahrplan auszugleichen => Verhinderung kostenpflichtige Beschaffung von Ausgleichsenergie durch ÜNB
- Speicher als Bestandteil eines virtuellen Kraftwerks/Speichers:
 - Virtueller Speicher agiert wie „echter“ Stromspeicher, entsteht durch das Pooling von flexiblen Stromverbrauchern (bspw. Wärmepumpe, Heizstab, Elektroheizung) , flexiblen Stromerzeugern (bspw. BHKW) und „echten“ Stromspeichern
 - Dieser virtuelle Speicher ist eine von mehreren Anlagen in einem virtuellen Kraftwerk/Speicher, bspw. zur Einhaltung der geplanten Fahrpläne
 - Vorteil: die Anlagen sind „sowieso da“ (Ersparnis Investitionskosten) und müssen lediglich für die Flexibilisierung ertüchtigt werden: Bspw. durch thermische Speicher für Strom-Wärme-gekoppelte Anlagen zur Entkopplung sowie durch Informations- und Kommunikationstechnik (Erfassen und Übertragen Messwerte, Empfang und Umsetzung Steuersignale, ...)

10. Energiespeicher-Anwendungen

10.6 Energiespeicher Anwendungen - Übersicht



Energy storage: Tracking the technologies that will transform the power sector, Deloitte, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-er-energy-storage-tracking-technologies-transform-power-sector.pdf>

10. Energy Storage Applications**10.7 Short summary / "Take aways"**

1. There are a large number of applications (some of which are country-specific), which may also change over time (depending on economic and regulatory conditions).
2. Some applications are necessary from a system point of view (black start capability, uninterruptible power supply, voltage maintenance) or desirable for special applications (power quality).
3. Some applications either allow higher feed-in quantities of fluctuating energies or avoid grid expansion (and costs).
4. Some applications "only" serve to select the most cost-effective suppliers for technically necessary services (spot and balancing power market).
5. Some applications serve to minimize the customer's energy procurement costs (e.g. PV self-power optimization).
6. Some applications serve the purpose of electricity producers minimizing their energy production costs (flexibilization, etc.).
7. Especially in the off-grid area, there are many different, overlapping, technically necessary and economically advantageous applications for energy storage.

10. Energiespeicher-Anwendungen**10.7 Kurzzusammenfassung / „Take aways“**

1. Es gibt eine Vielzahl (auch teilweise Ländertypischer) Anwendungen, die sich im Laufe der Zeit auch ändern können (abhängig von ökonomischen und regulatorischen Rahmenbedingungen)
2. Einige Anwendungen sind aus Systemsicht notwendig (Schwarzstartfähigkeit, Unterbrechungsfreie Stromversorgung, Spannungshaltung) bzw. bei speziellen Anwendungen wünschenswert (Power Quality).
3. Einige Anwendungen erlauben entweder höhere Einspeisemengen fluktuierender Energien bzw. Vermeiden den Netzausbau (und die Kosten)
4. Einige Anwendungen dienen „nur“ dazu die kostengünstigsten Anbieter auszuwählen für technisch notwendige Dienstleistungen (Spot- und Regelleistungsmarkt)
5. Einige Anwendungen dienen dazu, dass der Kunde, seine Energiebezugskosten minimiert (bspw. PV-Eigenstromoptimierung)
6. Einige Anwendungen dienen dazu, dass Stromerzeuger, ihre Energieerzeugungskosten minimieren (Flexibilisierung etc.)
7. Gerade im off-grid Bereich gibt es eine Vielzahl verschiedener, sich in den Anwendungen überlappender, technisch notwendiger bzw. ökonomisch vorteilhafter Anwendungen für Energiespeicher.

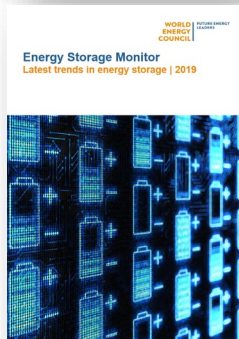
10. Energiespeicher-Anwendungen

Weiterführende Literatur / Further Readings



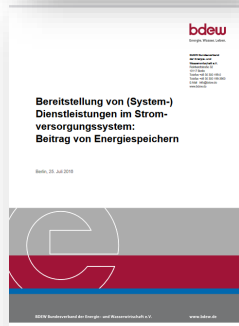
IRENA: Electricity Storage and Renewables – Costs and Markets to 2030

[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA Electricity Storage Costs 2017.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf)









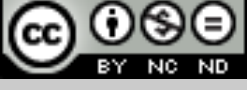
World Energy Council: Energy Storage Monitor – Latest trends in energy storage 2019

https://www.worldenergy.org/assets/downloads/ESM_Final_Report_05-Nov-2019.pdf



bdew: Bereitstellung von (System-)Dienstleistungen im Stromversorgungssystemen: Beitrag von Energiespeichern

https://www.bdew.de/media/documents/Awh_20160725_SDL-Energiespeicher.pdf

†CC-Lizenzen	Bezeichnung	Version	Link zum Lizenz-/Vertragstext
	CC0 Bedingungslose Lizenz	Vers. 1.0	https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/legalcode
	CC-BY Attribution (Namensnennung)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by/1.0/legalcode
	CC-BY-SA Attribution ShareAlike (Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-sa/1.0/legalcode
	CC-BY-ND Attribution NoDerivatives (Namensnennung-Keine Bearbeitung)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nd/1.0/legalcode
	CC-BY-NC Attribution NonCommercial (Namensnennung-Nicht kommerziell)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nc/1.0/legalcode
	CC-BY-NC-SA Attribution NonCommercial ShareAlike (Namensnennung-Nicht kommerziell-Weitergabe unter gleichen Bedingungen)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/1.0/legalcode
	CC-BY-NC-ND Attribution NonCommercial NoDerivatives (Namensnennung-Nicht kommerziell-Keine Bearbeitung)	Vers. 4.0 Vers. 3.0 Vers. 2.0 Vers. 1.0	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/legalcode http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/1.0/legalcode

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