ENERGY

# Speicher – Chancen und Möglichkeiten für Windparkbetreiber

## 28. Windenergietage Potsdam

**Toni Elschner**

Mittwoch, 6. November 2019

# Agenda

| | |
|---|---|
| 01 | Vorstellung |
| 02 | Übersicht Speichertechnologien |
| 03 | Geschäftsmodelle |
| 04 | Projektbeispiele |
| 05 | Fragen und Diskussion |

## Ausgangssituation

- Ende der Förderung von regenerativen Erzeugungsanlagen nach Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) ab Ende 2020
- 01.01.2021: Auslauf der Einspeisevergütung von etwa 6.000 Windenergieanlagen (WEA) → installierte Leistung von 4,5 GW
- Bis 2025: WEA mit Gesamtleistung von 16 GW fallen aus EEG-Vergütungsmodell heraus, entspricht ein Drittel des Anlagenbestands von 2018 in Deutschland
- Erwartete Lebensdauer WEA
  - Off-shore: theoretische Lebensdauer von etwa 20 Jahren (Verband der dänischen Windkraftindustrie), teilw. länger für bestimmte Komponenten
  - On-shore: oft weniger als 20 Jahre, da über Land mehr Turbulenzen auftreten

→ **Repowering, Weiterbetrieb oder Rückbau?**

# Energiespeicher:

# Technologien & Einsatzgebiete

# Vorteile von Energiespeichern

- Zeitliche Trennung von Energieerzeugung und –verbrauch
- Leistungsaufnahme bei Überproduktion
- Leistungsabgabe bei Fehlprognosen
- Bereitstellung von Regelenergie
- Erbringen von Netzdienstleistungen (Spannungshaltung, Peak-shaving)
- Ermöglichen Schwarzstartfähigkeit eines Kraftwerks/ Generators

# Technologien der Energiespeicherung

## Physikalische Einteilung

**Mechanisch**
- Druckluftspeicher
- Schwungradspeicher
- Pumpspeicherkraftwerk

**Elektrochemisch**
- Blei-Säure Batterie
- Lithium-Metall Zellen
- Redox-Flow Batterie

**Elektrisch**
- Doppelschicht-kondensatoren
- Supraleitende magnetische Spule

**Thermochemisch**
- Sorptionsspeicher

**Chemisch**
- Power-to-Gas (Wasserstoffspeicher, synthetisches Methan)

**Thermisch**
- Latentwärmespeicher
- Speicherung in Flüssigkeiten/ Feststoffen

# Überblick Speichertechnologien – Leistung und Energie

**Energy/Power ratio < 1 Stunde**

**Energy/Power ratio ≥ 1 Stunde**

- Li-Ion – Hochleistungsbatterie
- Schwungradspeicher
- Doppelschichtkondensator („Supercap")

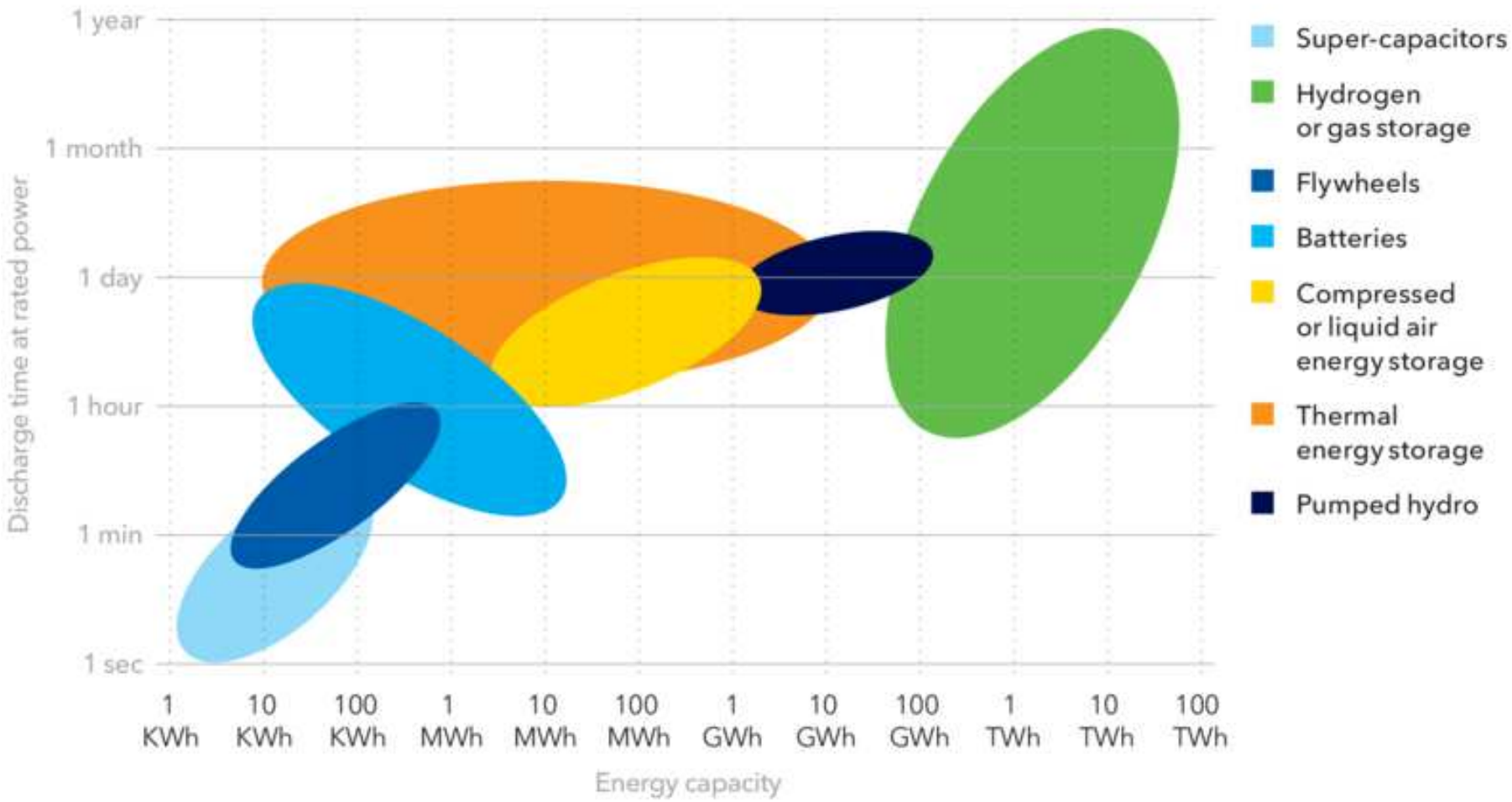
---

- Verbesserte Blei-Säure-Batterie
- Zink-Brom-Flow Batterie
- Natrium-Nickel-Chlorid Batterie
- Li-Ion – Hochenergiebatterie

---

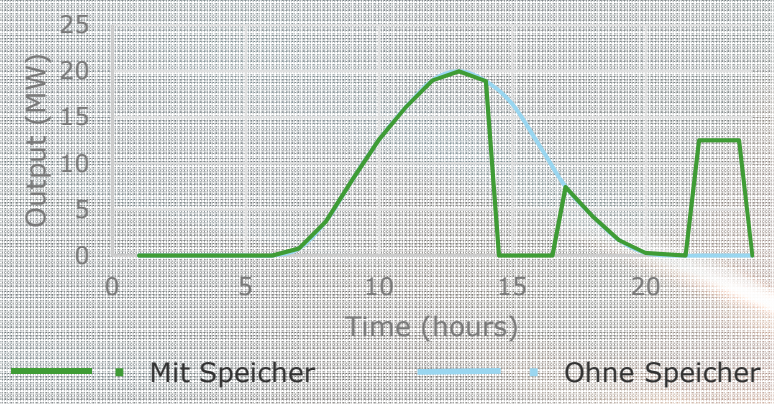
- Pumpspeicherkraftwerk
- Druckluftspeicher
- Natrium-Schwefel (NaS) Batterie
- Vanadium Redox-Flow Batterie

# Energiekapazität und Entladedauer

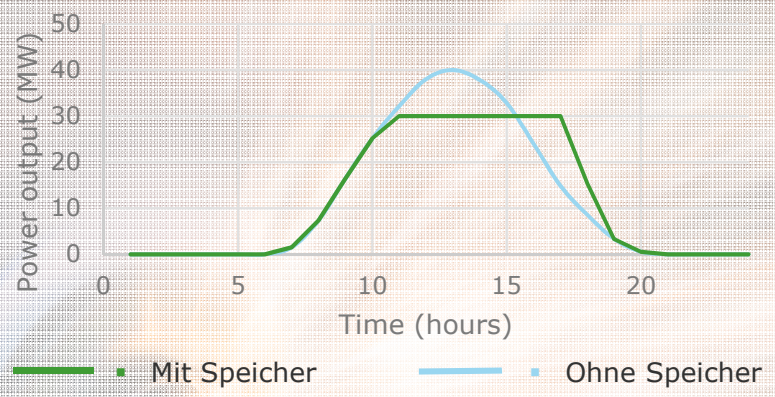


# Stromspeicheranwendungen in der Industrie

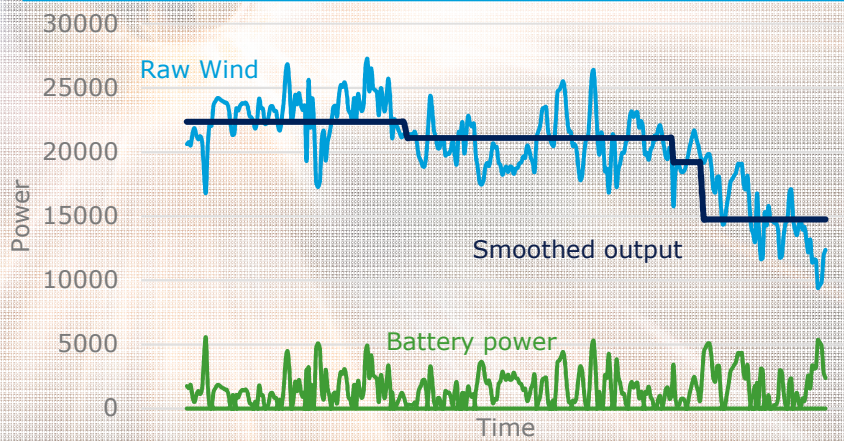
## Zeitliche Verlagerung von Energie




## Lastmanagement (Peak Shaving)



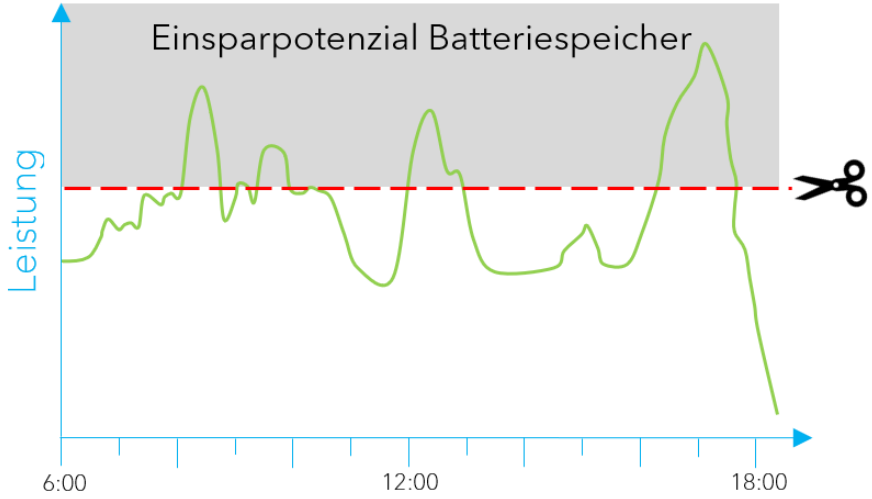

## Power Firming (Smoothing)



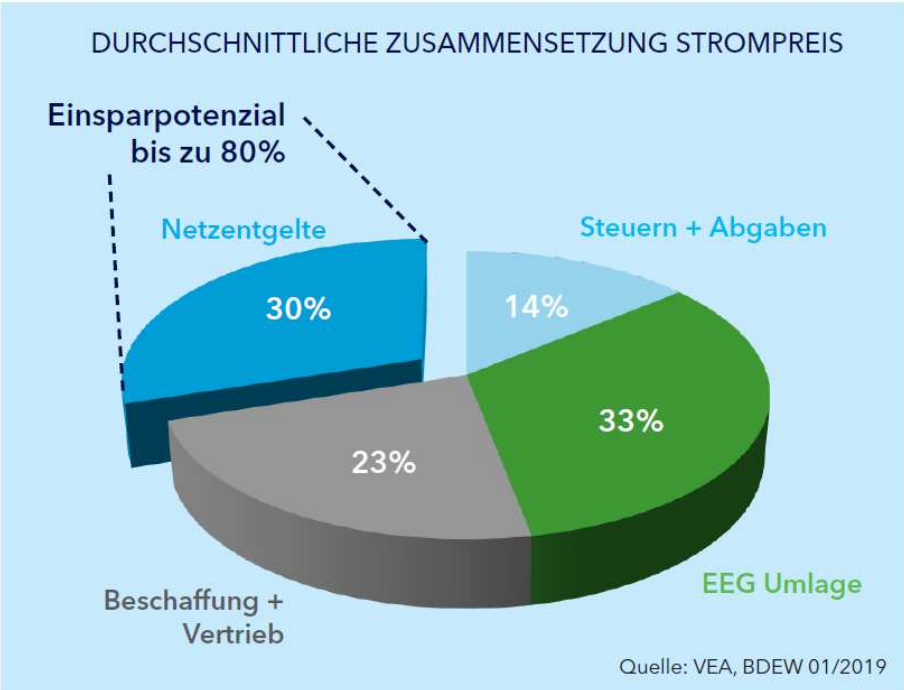

+ Nutzung als

Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)

# Aktives Lastmanagement in der Industrie



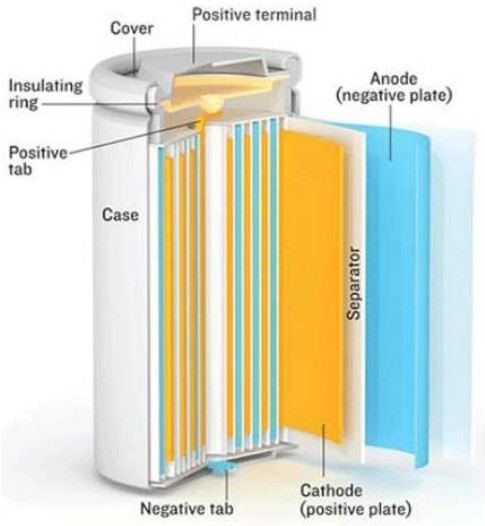

- Die maximal abgerufene Leistung bestimmt im besonderen Maße die Kosten für elektrische Energie in der Industrie




- Ansatz: „abschneiden" der Jahreshöchstlast um Energiekosten nachhaltig zu senken. Benötigte Leistung wird für eine bestimmte Zeit aus dem Speicher bereit gestellt.
  - → Peak-Shaving
  - → Kostenreduktion

# Li-Ionen Batterien (Power-to-Power)

- Akkumulatoren in welchen Li-Ionen von negativer zu positiver Elektrode wandern während Entladung und umgekehrt wandern
- Häufigste Anwendungen:
  - Elektronikprodukte mit hoher Energiedichte für Endkonsumenten
  - Elektrofahrzeuge




| Kerndaten | | |
|---|---|---|
| **Leistung** | 0,1 – 500 | MW |
| **Energie** | 0,1 – 500 | MWh |
| **Wirkungsgrad** | 85 – 90 | % |
| **Großbatterie-Projekte in Deutschland** | 140 | MW |
| **Techn. Reife** | 4 | 1 – 5 * |
| **Realisierungs-zeitrahmen** | 6- 18 | Monate |

* Skala

* Sourced from energystorageexchange.org March 2018

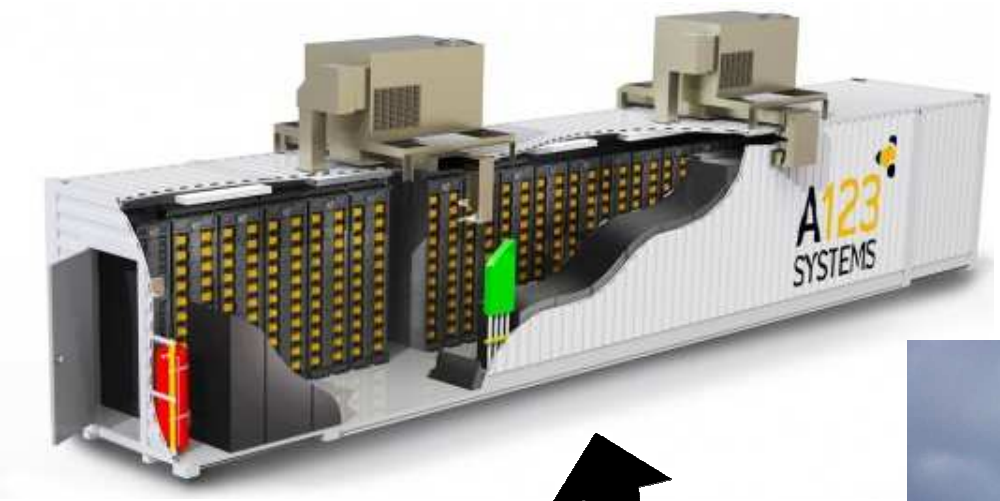
**Pros**

- **Modularer Einsatz**
- **Hohe Energiedichte**
- **Reaktionsschnell**
- **Flexibel als Verbraucher und Erzeuger einsetzbar**
- **Stark wachsender Markt und Zahl an umgesetzter Projekte**

**Cons**

- **Abbaubedingungen für Ausgangsmaterialien**
- **Begrenzte Zyklenfestigkeit und Lebensdauer von 12 bis 15 Jahre**
- **Beachtung zahlreicher Sicherheitsaspekte für Betrieb**

# Batteriespeicher – Bauformen



**Rundzellen**

**Pouch-Zellen**

# Redox-Flow-Batterie (RFB)

**Anwendung**

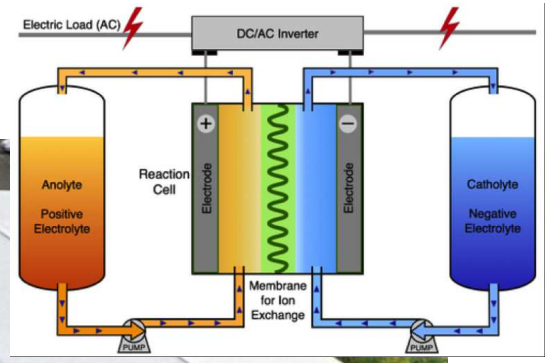
- **Hochenergiespeicher**
- **Kapazitätsmärkte**
- **Integration EE**

## Pros

- **Niedrige Kosten für Kapazitätserweiterung**
- **Sofortiges Laden durch Behälteraustausch**
- **Energiegehalt beliebig skalierbar**
- **Geringe Selbstentladung**

## Cons

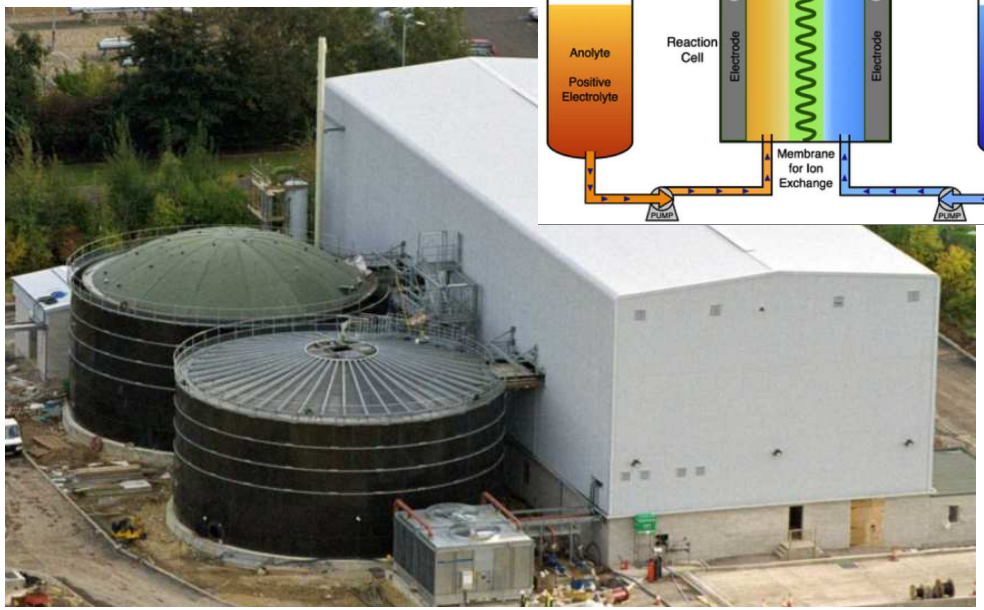
- **Geringe volumenbezogene Energiedichte**
- **Relativ teuer im Leistungspreis**
- **Niedriger Wirkungsgrad**




| Kerndaten | | |
|---|---|---|
| **Leistung** | 0,5 - 100 | MW |
| **Energie** | Beliebig | MWh |
| **Wirkungsgrad** | 70 - 85 | % |
| **Projekte weltweit**** | 108 | |
| **Techn. Reife** | 3 | 1-5* |
| **Realisierungszeit-rahmen** | 1 - 2 | Jahre |

* Skala

** Sourced from energystorageexchange.org



# Power-to-Gas (P2G)

- Umwandlung von Strom in $H_2$ od. $CH_4$ (Wasserelektrolyse)
- Einspeisung ins Erdgasnetz zur Wärmeerzeugung
- Kraftstoff in der Mobilität → Überführung in Verkehrssektor
- Anwendung als Industriegas
- Elektrolyseverfahren, z.B. PEM im MW-Bereich, mit Serienmodellen zur lokalen Bereitstellung von Wasserstoff
- Rückverstromung und Transport über Pipelines ermöglicht zeitliche und räumliche Entkopplung
- Chance: Erhöhung der Akzeptanz von WEA durch „grünen Wasserstoff"

# P2G ermöglicht im Vergleich zu Batteriespeichern größere Kapazitäten

**POWER TO GAS STORAGE**

**Leistung**

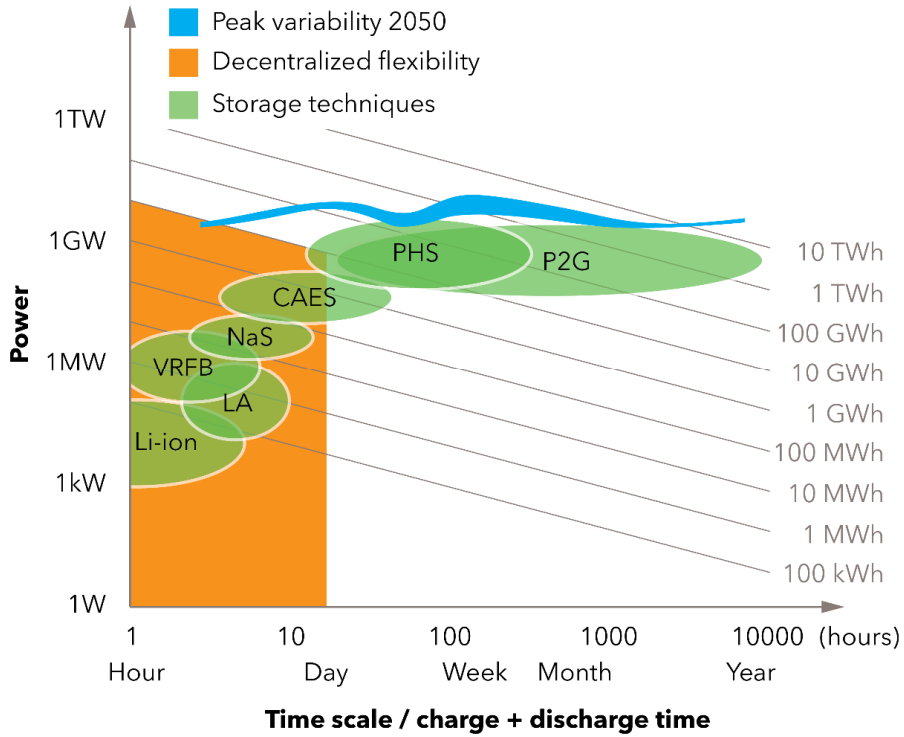
**bis zu 100 MW***

**Kapazität**

**MWh…GWh****

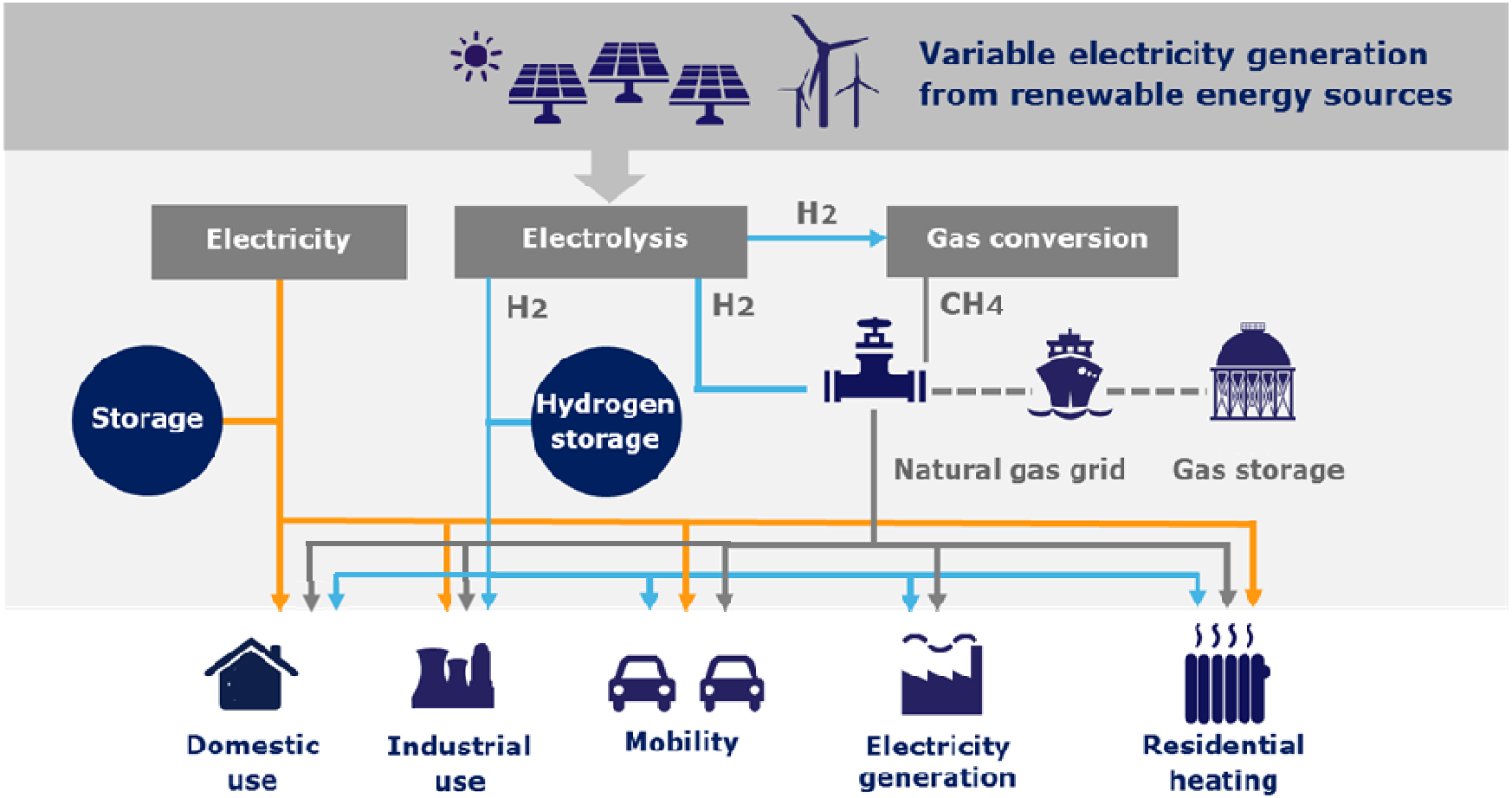
* in Abhängigkeit der verwendeten Turbine

** in Abhängigkeit der Gastank-Kapazität



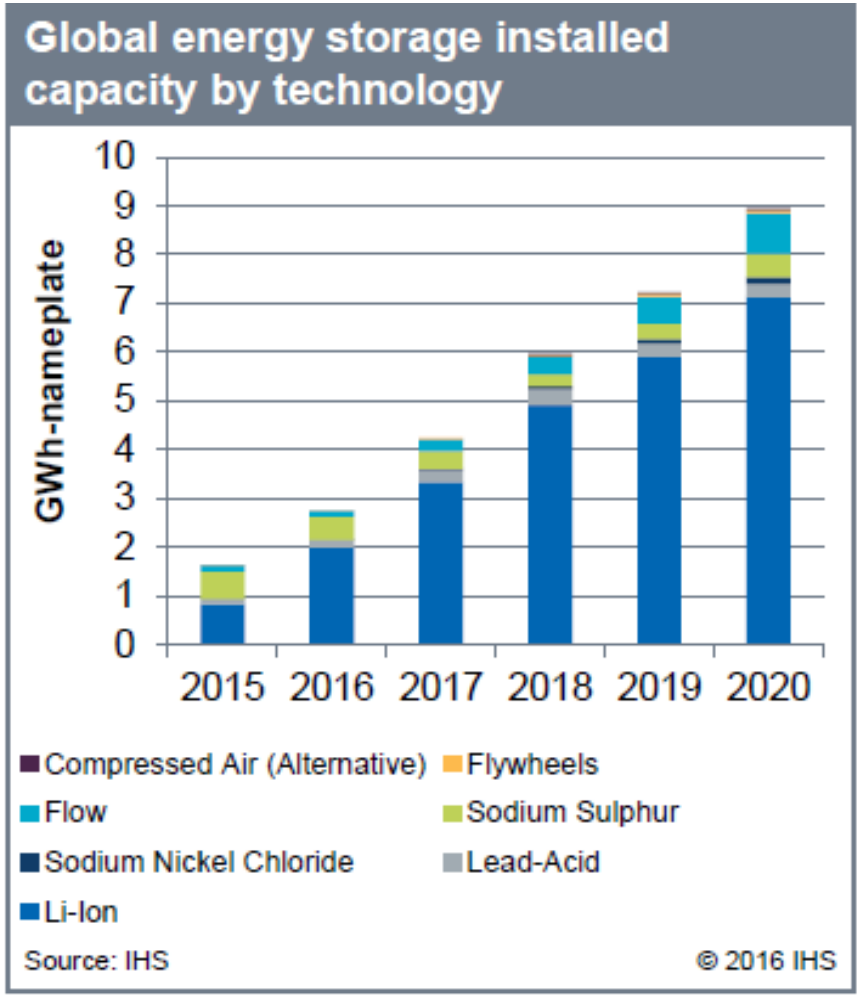

**Wasserstoff kann sowohl große Leistungen als auch über lange Zeiträume liefern (saisonaler Speicher)**

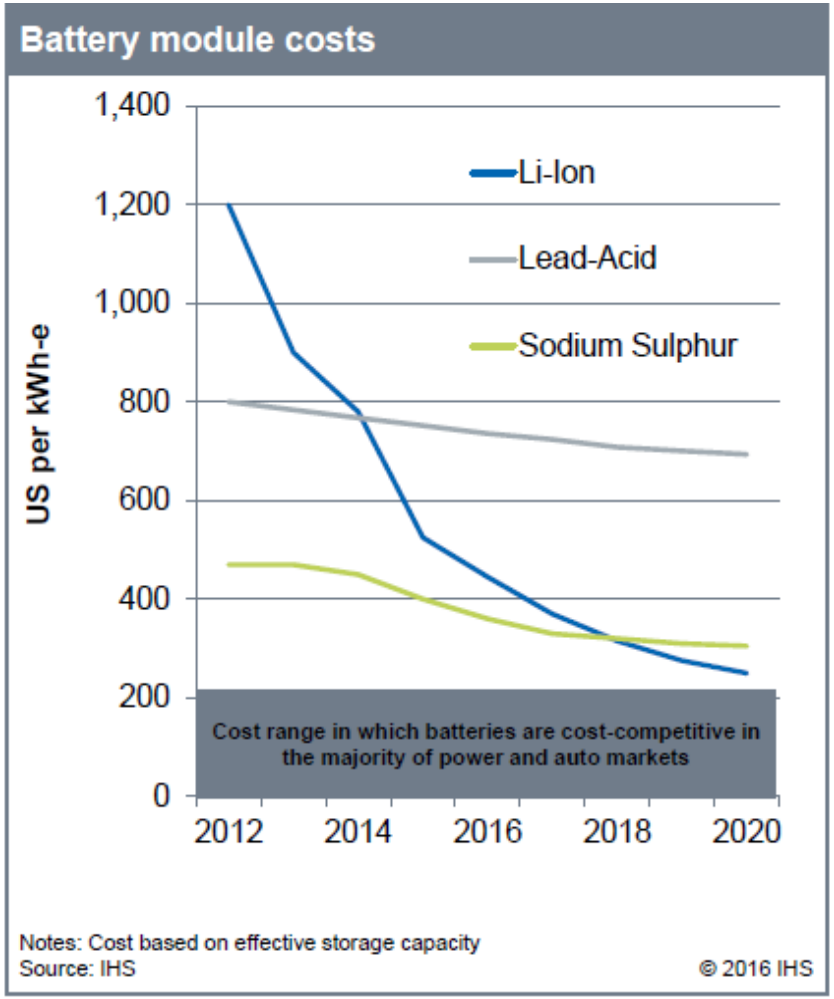
# Rolle von P2G bei der Sektorenkopplung



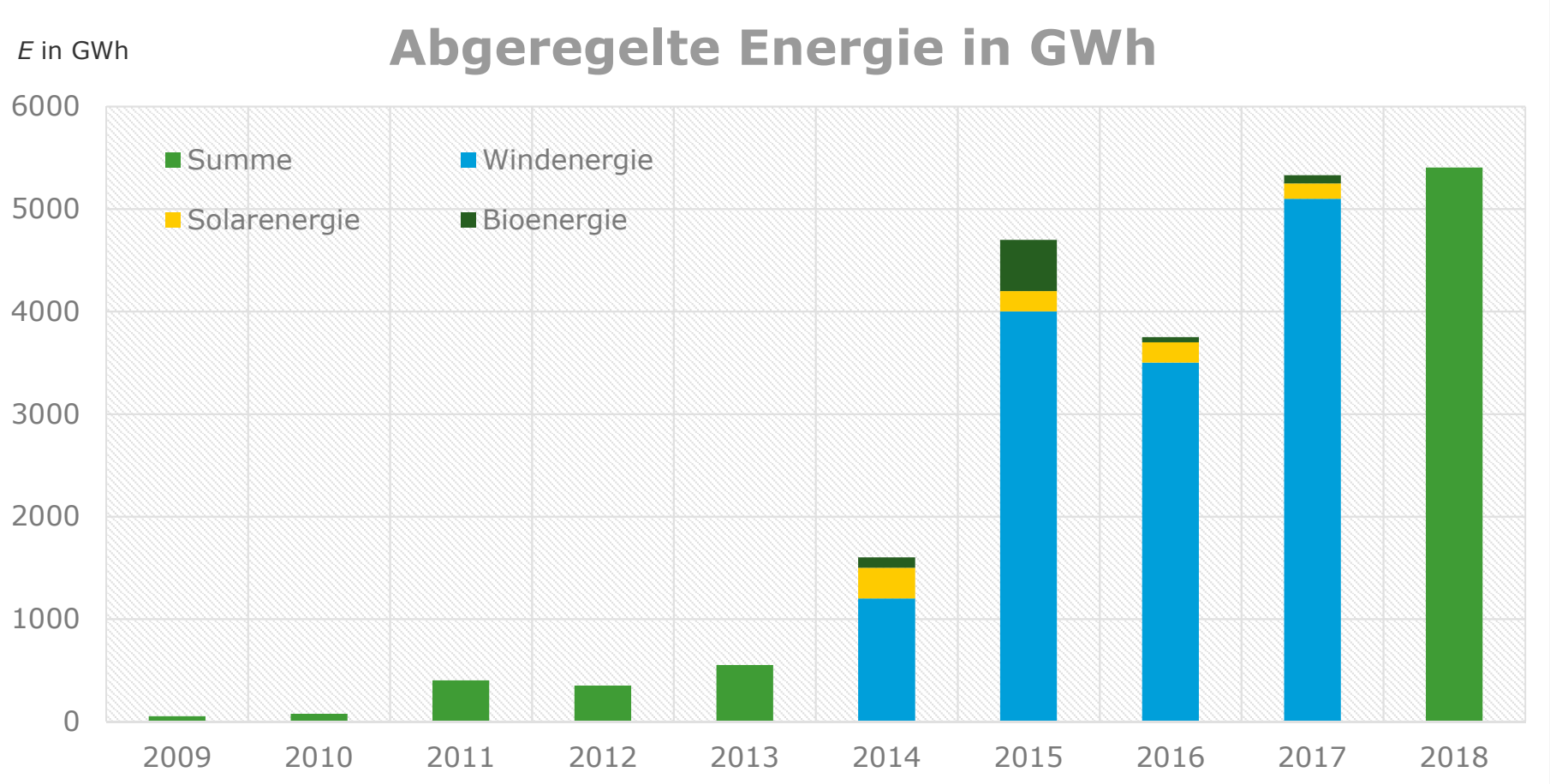
# Chancen von Energiespeichern für Windenergieanlagen

# Steigende Kapazitäten und fallende Preise



# „Use it or lose it" - Verlorene Energie durch Einspeisemanagement




Quelle: BNetzA 2018

# Ü20-Szenarien für Windenergieanlagen

# Chancen von WEA mit Speicher – Sicht Anlagenbetreiber

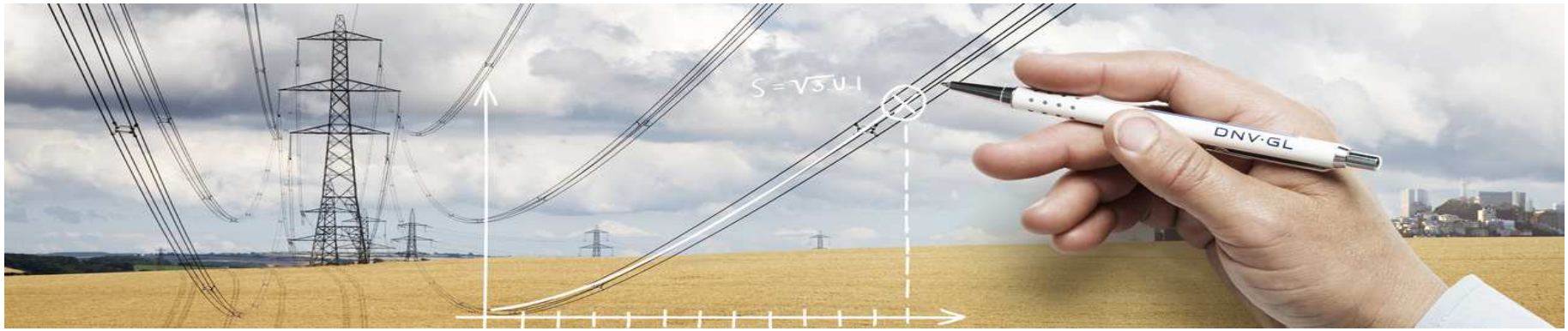
- Zwischenspeicher von Überschüssen → Verfügbarkeit der Windenergie erhöhen
- Fehlerkompensation in Produktionsprognosen durch Vorhalten von Leistung oder Aufnahmekapazität → größere Prognose-Unabhängigkeit
- Sicherstellung der nachgefragten/ vereinbarten Energieproduktion
- Eigenschaften der WEA nähern sich denen konventioneller Kraftwerke an
- Verhindern von Redispatch-Maßnahmen und Leistungsabregelung durch Einspeisemanagement
- Einsparung von reBAP-Kosten bzw. Zahlungen für Ausgleichsenergie
- Speicher schafft Mehrwert für Lebenszeitverlängerung der WEA
- Qualifikation der WEA für neue Märkte z.B.
  - Energiearbitrage
  - Primärregelleistung (PRL)
  - Ausgleichsenergie

# Windkraft und Speicher – eine sinnvolle Kombination

- Erneuerbare Hybridkraftwerke kombinieren Windstromerzeugung und –speicherung an einem Standort
- Synergieeffekte durch Nutzung derselben Strominfrastruktur und Netzanschluss
- Unterstützend für neue Geschäftsmodelle (Direktvermarktung, Arbitrage, PPA, etc.)
- Sektorenkopplung (Wärme, Verkehr) ermöglicht

# Chancen von WEA mit Speicher – Sicht Netzbetreiber

- Unterstützung der Netzstabilität durch Frequenzhaltung ohne Leistungsabregelung
- Glätten von Erzeugungsprofilen → Vermeidung Netzausbau
- Bereitstellung weiterer Netz- bzw. Systemdienstleistungen
  - Primärregelleistung
  - Schwarzstartfähigkeit (Vergütung zu jährlich festen Betrag)
  - Demand-Side-Management (Lastmanagement)
  - Peak-shaving
  - Blindleistungsmanagement
  - Spannungshaltung und Spannungsqualität (Flickerkompensation)

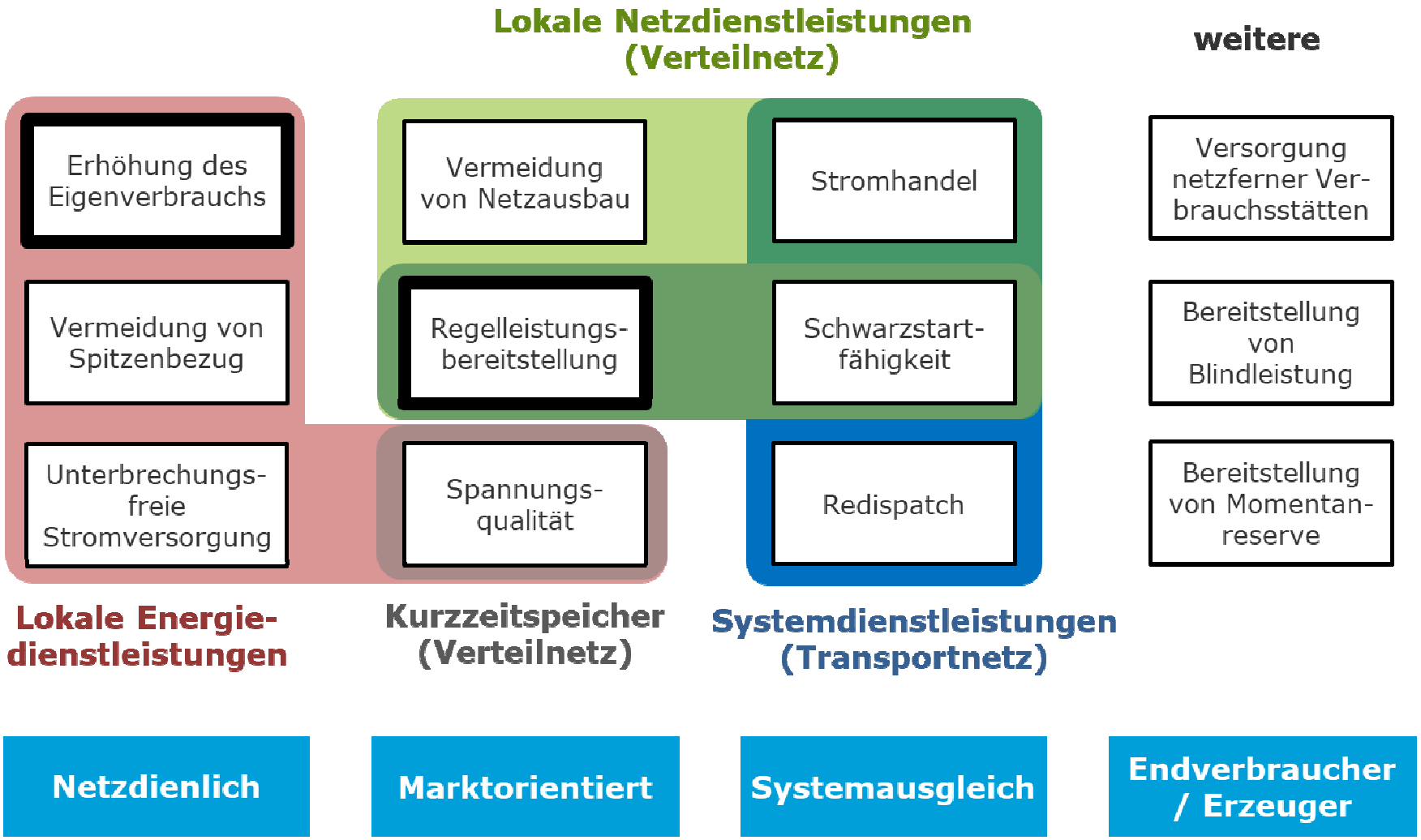


# Geschäftsmodelle für Stromspeicher – Bewertung

**Wirtschaftlichkeit eines Stromspeichers abhängig von**

| | |
|---|---|
| Speichertechnologie und -modell | – Kosten<br>– Mögliche Anwendungsfälle |
| Regulatorische Rahmenbedingungen | – Wer darf Speicher wie einsetzen?<br>– Klassifizierung von Speichern<br>– Reg. Behandlung von Speicherkosten, -erlösen |
| Marktdesign | – Anforderungen für Bereitstellung von Systemdienstleistung<br>– Kontrahierung von Flexibilität<br>– Anforderungen an Erzeuger (Wind / Solar) |
| Marktpotential | – Bedarf für netzdienlichen Speichereinsatz (Häufigkeit / Umfang netzkritischer Situationen)<br>– Preise Strom- und Regelenergiemarkt |

# Geschäftsmodelle für Stromspeicher: Mögliche Kombinationen für Anwendungsfälle



# Chancen von WEA mit Speicher – Geschäftsmodelle

**Energiearbitrage**

- Handel an Strombörse → teils stark schwankende Preise
- Nutzen niedriger Preise am Spotmarkt zu Schwachlastzeiten bzw. Stromüberproduktion für Speicherung
- Ausspeicherung und Verkauf zu Spitzenlastzeiten oder Engpässen (*Stromveredlung*)
- Momentane Preisvolatilität erlaubt keine hohe Renditen → zukünftig ja
- Lohnenswert bei Speichern mit hoher Zyklenfestigkeit

# Chancen von WEA mit Speicher – Geschäftsmodelle

**Ausgleichsenergie reduzieren**

- Geldfluss für Regelenergie im Fall Unter- und Überspeisung
- Produktionsprognosen unterliegen wetterabhängigen, teils schwer vorhersehbaren Schwankungen
- Abweichungen von Prognosen ziehen Ausgleichszahlungen (positiver oder negativer reBAP) nach sich
- Energiespeicher können beitragen, Kosten für Ausgleichsenergie komplett einzusparen

Bild: Vattenfall

# Chancen von WEA mit Speicher – Geschäftsmodelle

- **Power Purchase Agreement (PPA)**
  - Anlagenbetreiber kann mehr Risiken hinsichtlich Ertrags- und Einspeiseprognosen übernehmen
  - Ausgleichsenergie über Speicher gedeckt
  - Dadurch besserer Abnahmepreis erzielbar
  - „Grünstrom"-Direktlieferverträge möglich für regionale Großabnehmer
- **Teilnahme am Regelleistungsmarkt**
  - Unverzügliche Leistungsbereitstellung ermöglicht Lieferung von PRL
  - Zusammenschluss zu Reserveeinheit aus Stromerzeugungsanlage und/ oder Verbrauchseinheit mit gemeinsamen Netzanschlusspunkt*
- **Selbstversorgung**
  - Steigerung des Selbstversorgungsgrades bei Anlagennutzung zum Eigenverbrauch
  - Einsparungen bei EEG-Umlage in Höhe von 60%

* Richtlinien der ÜNB zu Präqualifikationsverfahren für Reservenanbieter in Deutschland

# Herausforderungen beim Einsatz von Speichern

- Auftreten teils komplexer Rechtsfragen, durch die Wirtschaftlichkeit und Umsetzbarkeit der jeweiligen Projekte maßgeblich beeinflusst werden
  → **individuelle Lösungen** müssen gefunden werden
- Wegfall der **EEG-Umlage** abhängig von Frage: Wer betreibt den Speicher, Elektrolyseur oder P2H-Modul?
- Stromumwandlung in anderen Energieträger, Nutzenergie bzw. Zwischenspeicherung in Batterie bedeutet energierechtlich **Letztverbraucher**
- Mögliche Betriebsarten
  - Privilegierte Eigenversorgung
  - Stromlieferung

# Rechenbeispiel

| WEA | Annahme |
|---|---|
| Gutachten, Lebens-zeitverlängerung und weitere Kosten | 16 €/kW |
| Volllaststunden | 1.402 h |
| Verlängerte Laufzeit | 5 a |

| Li-Ion Batterie | Annahme |
|---|---|
| Energiekosten | 283 €/kWh |
| Leistungselektronik | 100 €/kW |
| Instandhaltungs-kosten | 2,80 €/kWh |

| Ladezustandsbereich | 0 – 80% | 0 – 100% |
|---|---|---|
| Einnahmen durch Speicherung zu Niedriglastzeiten* (negativer reBAP) | 30.070 € | 32.481 € |
| Einnahmen durch Arbitragegeschäft | 10.822 € | 11.233 € |
| Einnahmen durch Ausgleichsenergie (positiver reBAP) | 2.199 € | 2.507 € |
| Einnahmen durch Abregelung | 928 € | 928 € |
| **Gesamt nach 5 Jahren** | **44.019 €** | **47.149 €** |

* Juan Daniel Villar Galvez: Integration of a Li-Ion battery storage system to an ageing onshore wind farm in Germany for reducing imbalances and value optimisation of wind power

# Zusammenfassung Speichernutzung

## Vorteile

- Höhere Flexibilität in der Energievermarktung
- Ausgleichen von Prognosefehlern
- Absicherung gegen Produktionsausfall
- Eröffnung bzw. Unterstützung neuer Geschäftsmodelle (Arbitrage, PRL, PPA)
- Bereitstellen zusätzlicher Systemdienstleistungen
- Speicher als Wertsteigerung

## Hemmnisse

- Zusätzliche Investition
- Weiteres Betriebsmittel
- Doppelbelastung bei Ausspeichervorgang bzw. Rückverstromung
- Teils komplexe Rechtsfragen, die Wirtschaftlichkeit beeinflussen

# Projektbeispiele für Windparks mit Speicher

# Speicherkraftwerk Hamburg-Curslack – Projekt NEW 4.0 (2018)

- Integration von Li-Ion Speicher in 12,6 MW Windpark Curslack
- Batterieanschluss direkt an Windparknetz
- 720 kW Leistung bei 729 kWh Speicherkapazität
- Forschungsprojekt zu Systemdienst-leistungen gekoppelter Kraftwerke
- Virtuelle Momentanreserve, optimierter Redispatch und lokale Blindleistungs-bereitstellung im Fokus
- Macht Abschaltungen überflüssig

# Hybridspeicherkraftwerk Varel (2018)

- Demonstrationsanlage bestehend aus
  - Li-Ionen-Batterie: 7,5 MW und 2,5 MWh sowie
  - NaS-Batterie: 4 MW und 20 MWh
- Gemeinschaftsprojekt betrieben 2017 bis 2019 von EWE und japanischer Förderwirtschaftsbehörde NEDO
- Versorgung von 24.000 Einwohnern für fünf Stunden mit Strom
- Platzbedarf: 40.000 $m^2$
- Beitrag zur regionalen Versorgung und Netzstabilität
- Projektvolumen: 24 Mio. € (Japan) + 3 Mio. € (EWE)

Foto: EWE

# P2G-Speicher Brunsbüttel (2019)

- Überschüssiger Windstrom aus Windpark Westerbüttel in „grünen" Wasserstoff umgewandelt
- $H_2$ - Erzeugung:
  - 40 kg/h = 450 $m^3$/h
- Einspeisung ins Erdgasnetz
- Wasserstofftankstelle angebunden
- Investor: Schleswig-Holstein Netz mit 4,5 Mio. €

Foto: Wind2Gas Energy

# Service Portfolio – Energiespeicher

## Unabhängige Beratungs- und Ingenieurdienstleistungen.

### Generalplaner

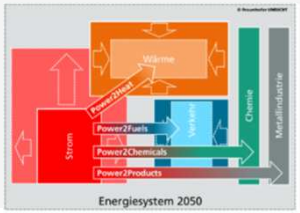
- **Betreuung des Projektes von der Planung bis zur Inbetriebnahme**
- **Bedarfsanalyse**
  - Netzknotenanalyse
  - Analyse von Industrienetzen
- **Auslegung/Dimensionierung**
- **Entwicklung Geschäftsmodell**
- **Erstellung von Ausschreibungen**
- **Bauüberwachung**
- **Inbetriebnahme**

### Gutachten

- **Risikoanalyse**
  - Störungen
  - Brandgefahr
  - Umweltaspekte
  - Finanzielle Risiken
- **Auswirkung auf Netz, Systeme und Anlagen**
  - Auswirkung auf Systeme mit Wind und PV Einspeisung
  - Betriebsabläufe
  - Betriebskosten
  - Systemsteuerung
- **Machbarkeitsstudie**
  - Technisch
  - Finanziell
  - Regulatorisch

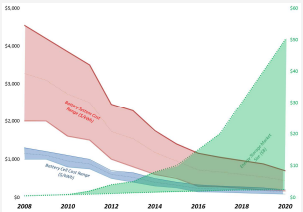
### Technische Beratung

- **Speichertechnologie**
  - Empfehlung geeigneter Technologien für Schlüsselanwendung
- **Dimensionierung**
  - Leistung, Kapazität, Lebensdauer
- **Sicherheitsaspekte**
  - Schutzeinrichtung gegen Störungen
  - Erdungsanlage
  - Brandschutz




### Due Dilligence

- **Beratung von Investoren**
  - Technische sowie finanzielle Beratung
  - Finanzierbarkeit
  - Beurteilung und Entwicklung von Geschäftsmodellen
  - Aufklärung zu Risiken
  - Übersicht über Technologien und Markt
- **Beratung von Herstellern**
  - Fokussierung auf den richtigen Markt



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

**Dipl.-Ing. Toni Elschner**
Toni.Johannes.Elschner@dnvgl.com
+49 351 8719265

**www.dnvgl.com**

**SAFER, SMARTER, GREENER**

The trademarks DNV GL®, DNV®, the Horizon Graphic and Det Norske Veritas®
are the properties of companies in the Det Norske Veritas group. All rights reserved.

# Fragen und Diskussion

# Anhang

# Vorstellung von Referenzprojekten

## Due Diligence

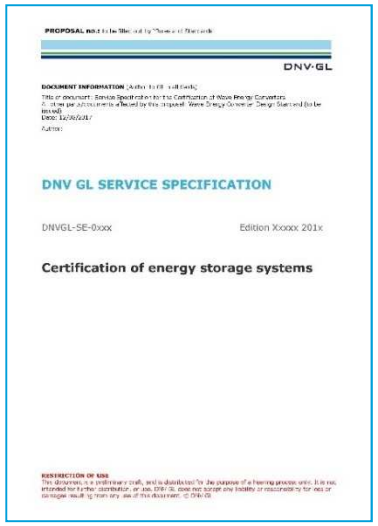
- Kunde: Kapitalinvestor
- Service: Technische und Markt Due Diligence
- 90 MW, ca. 118 MWh Energiespeicher
  - Bestehend aus 15-MW-Speicher jeweils an 6 Kohlekraftwerksstandorten in NRW & Saarland
  - Beteiligt am Regelenergiemarkt
  - Ausbau auf 165 MW
- Besuch eines Standortes – Vorort Begutachtung
- Sorgfältige Überprüfung:
  - Technischen Designs
  - Wartungsprotokollen
  - Betriebsdaten etc.
  - Business Case, Gewinnprognose
  - Planungskosten & Verträge für Ausbau

# Vorstellung von Referenzprojekten

## Zertifizierung

- Kunde: Acciona
- Service: Zertifizierung, Support bei der Erstellung der für die Zertifizierung erforderlichen Dokumente
- Windpark kombiniert mit Hybrid-Batteriespeicher
  - 1. 1 MW/0,39 MWh Batterie für hohe Leistung und schnelle Reaktion
  - 2. 0.7 MW/0.7 MWh Batterie für langsamere Reaktion und Energiebereitstellung

Quelle: Acciona

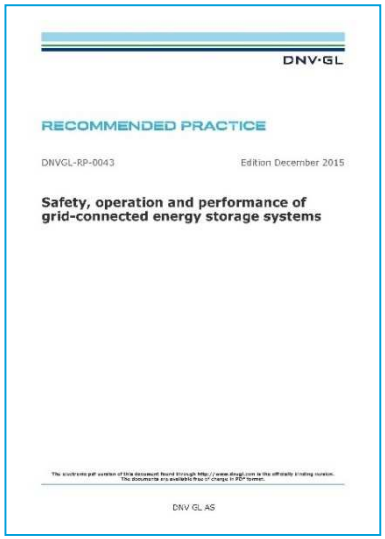


DNV·GL

DNV GL SERVICE SPECIFICATION

DNVGL-SE-0xxx Edition Xxxxx 201x

Certification of energy storage systems



DNV·GL

RECOMMENDED PRACTICE

DNVGL-RP-0043 Edition December 2015

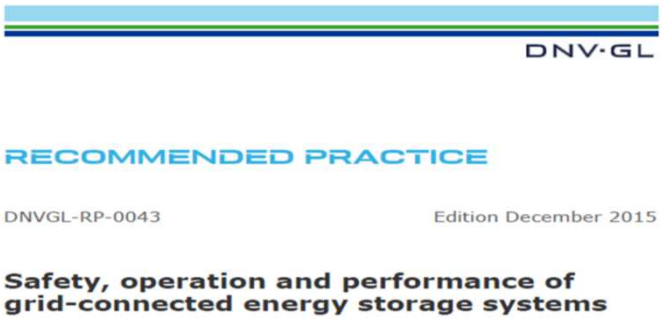
Safety, operation and performance of grid-connected energy storage systems

DNV GL AS

# Vorstellung von Referenzprojekten

## GRIDSTORE

- Energiespeicher noch eine sehr junge Technologie
- Wenig Erfahrung
- Fehlende Standards und
- Schlechte Übersicht über die Existierenden
- Ziel: Risiken Minimierung für alle Parteien
- Erstellen einer Richtlinie für Energiespeichersysteme
  - Richtlinien und Methoden zur Beurteilung von Sicherheit, Leistung und Betrieb von Speichern
  - Technologieumfassend
  - Bezugnehmend auf existierende Normen
  - Bei Lücken ergänzend


DNV·GL

RECOMMENDED PRACTICE

DNVGL-RP-0043 Edition December 2015

**Safety, operation and performance of grid-connected energy storage systems**

# Vorstellung von Referenzprojekten

## Technischer Support

- Kunde: Eneco/Mitsubishi – Projekt EnspireMe
- Service: Unterstützung beim Genehmigungsprozess, Ausschreibung und Angebotsdurchsicht, Kontrolle während der Bauphase
- 48 MW, 50 MWh Energiespeicher
  - Jardelund (SH, Dänische Grenze)

# Möglichkeiten und Notwendigkeit der Speicherung von Windenergie

- Bis 2050 geplante Anteil Erneuerbarer Energien (EE) von 80% an Endenergie bedeutet massiven Einsatz von Speichern, da zeitweise hohe Strombereitstellung
- Mitunter zu viel Energie im Stromnetz → Redispatch-Maßnahmen
- Stromspeicherung (Batteriespeicher, Redox-Flow-Batterien, Hybridbatterien)
- Stromumwandlung
  - Überführung in andere Energieform: Sektorenkopplung
  - Relevanz für Verkehrs- oder Wärmesektor (P2G, P2H)

# Physikalische Einordnung

## Einteilung der Stromspeichertechnologien

### Elektrisch

**Kondensator**
- Superkondensator*
- Li-ion Kondensator

**Supraleiter**
- Supraleitende Magnetspulen (SMES)

### Elektrochemisch

**Raum-Temperatur Batterie**
- Blei-Säure
- Kupfer-Zink (CuZn)
- Nickel-Cadmium
- Nickel-Metall Hydride
- Lithium-Ion (Li-ion)

**Hoch-Temperatur Batterie**
- Natrium-Sulfat(NaS)
- Natrium-Nickel-Chlorid

**Redox Flow Batterie**
- Zink-Brom
- Vanadium
- Polysulfide-Brom

### Mechanisch

**Gespeicherte potentielle Energier**
- Pumpspeicherkraftwerk
- Druckluftspeicher (CAES)
- Liquid Air (LAES)

**Gespeicherte kinetische Energie**
- Schwungradspeicher

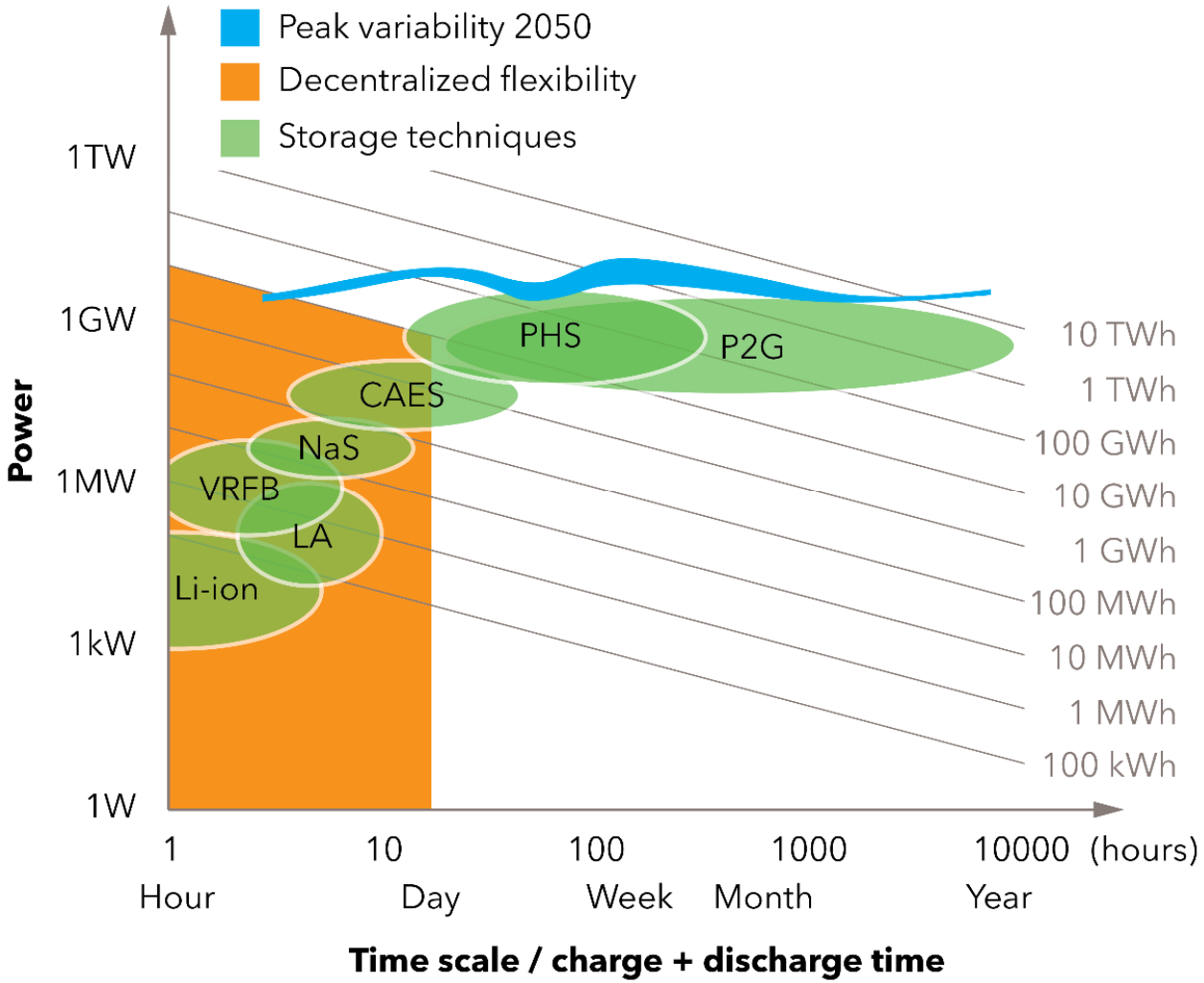
### Chemisch

**Wasserstoffspeicher**

**Synthetisches Methan**

**Supercapacitors may have charge stored electrostatically and/or electrochemically*

# Überblick Speichertechnologien – Entladezeiten



# Li-Ionen Batterien – Bauformen

**Rundzelle**

- 1-4 Ah
- Evtl. mit passiver Sicherung
- Unter Druck
- Metallgehäuse mit Lüftungsschlitzen

**Pouch**

- 10-75 Ah
- vakuumverpackt
- Polymerhaut mit versiegelten Kanten
- Sicherungen weniger geläufig

**Prisma**

- 50-200 Ah
- vakuumverpackt
- Aluminiumdose mit Polymerdichtungen an den Kanten
- Belüftung, Stromsicherung (CID)

# Flywheel

**Application**

- **Peak shaving**
- **Frequency regulation**
- **Voltage support**

**Pros**

- **Unlimited cycles, Storage capacity does not degrade with age**
- **Power instantly available when charged**

**Cons**

- **Exhibits relatively high energy loss**
- **Limited amount of manufacturers**

| Core data | | |
|---|---|---|
| Power | Up to 400 | MW |
| Energy | Up to 5 | MWh |
| Efficiency | 90 | % |
| Projects** | 55 | quantity |
| Maturity | 3 | 1-5* |
| Lead time | 4 | 1-5* |

* Score

** Sourced from energystorageexchange.org

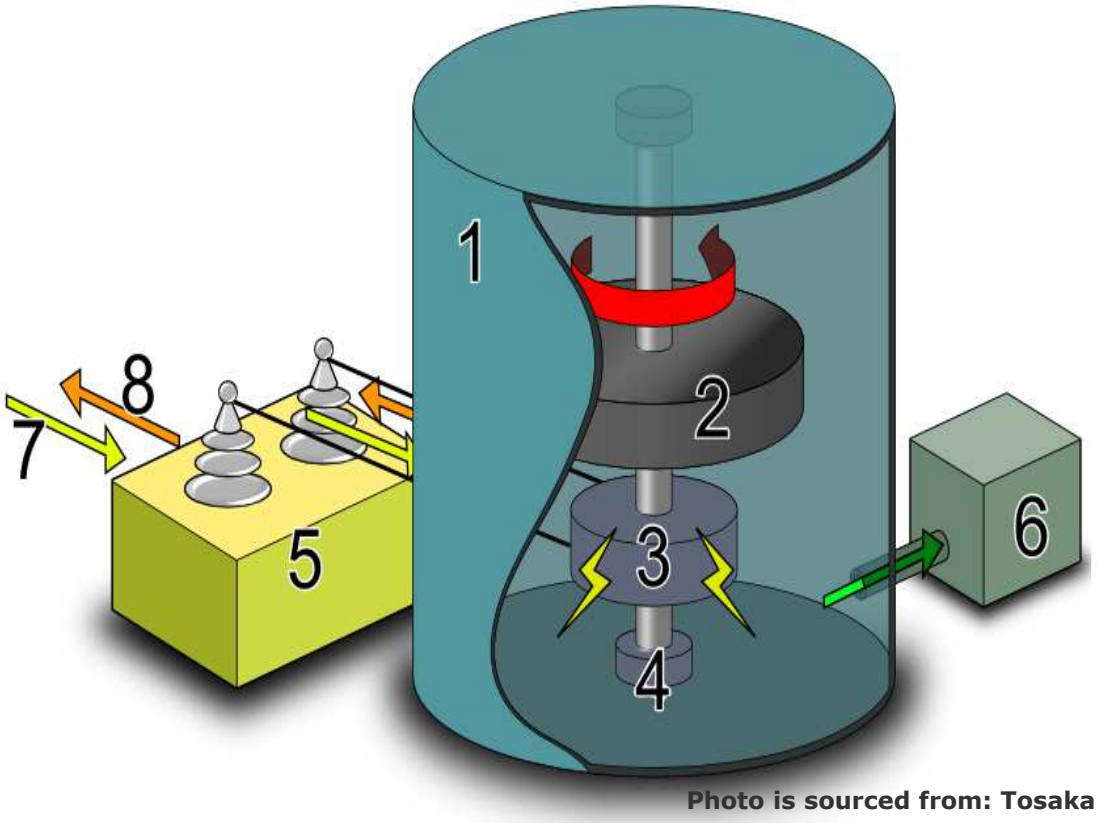



**Photo is sourced from: Tosaka**

# Druckluftspeicher (CAES)

**Anwendungen**

- **Peak shaving**
- **Regelenergie**
- **Arbitrage**

**Pros**

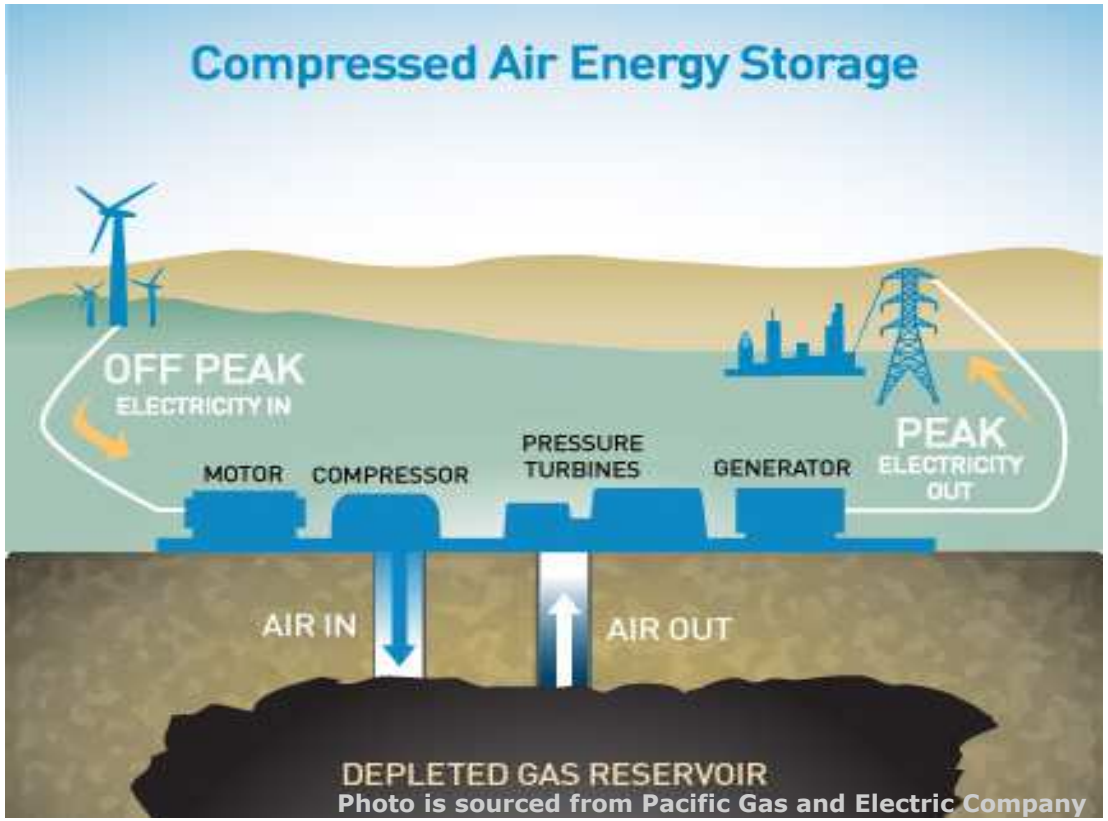
- **Beliebig viele Zyklen möglich**
- **Speicherkapazität bleibt über die Jahre konstant**

**Cons**

- **Abhängigkeit von geografischen Gegebenheiten**
- **Komplexe und teure Technologie**

| Kerndaten | | |
|---|---|---|
| **Leistung** | bis zu 500 | MW |
| **Energie** | bis zu 1200 | MWh |
| **Wirkungs-grad** | ~ 60 | % |
| **Projekte**** | 19 | |
| **Speicher-dauer** | 1 - 2 | h |
| **Techn. Reife** | 2 - 3 | 1-5* |

* Skala
** Sourced from energystorageexchange.org



# Supercapacitor

**Application**

- **Voltage support**
- **Instant short peak power or absorption**

**Pros**

- **High power charge and discharge**
- **High cycle life**

**Cons**

- **High discharge**
- **Capital expensive**
- **Few developers**

| Core data | | |
|---|---|---|
| Power | Up to ~4 | MW |
| Energy | Very low | MWh |
| Efficiency | 90 | % |
| Projects** | 29 | quantity |
| Maturity | 2 | 1-5* |
| Lead time | 4 | 1-5* |

* Score

** Sourced from energystorageexchange.org

Photo is sourced from: electronicdesign.com

# Pumped Hydro

**Application**

- **Load shedding**
- **Peak capacity**
- **Capacity market**

**Pros**

- **High energy capacity**
- **When stored no reduction of energy**
- **Expected lifetime 30+ years**

**Cons**

- **Location specific**
- **Relative slow ramp-time**
- **± 20% energy loss between a cycle**
- **High CAPEX 20+ year payback**

| Core data | | |
|---|---|---|
| Power | Up to 4,000 | MW |
| Energy | Up to 20,000 | MWh |
| Efficiency | 80 | % |
| Projects** | 353 | quantity |
| Maturity | 5 | 1-5* |
| Lead time | 2 | 1-5* |

* Score

** Sourced from energystorageexchange.org

# Thermal Storage

**Application**

- **Local domestic, industry**
- **Reduction peak demand**
- **Seasonal storage**
- **Waste energy storage**

**Pros**

- **Waste heat can be stored in large quantities**
- **Reduces peak demand requirement**

**Cons**

- **Clouded days less (for solar-fed)**
- **Relatively costly and vulnerable installation**
- **High maintenance**

| Core data | | |
|---|---|---|
| Power | Up to 360 | MW |
| Energy | | |
| Efficiency | 50 - 80 | % |
| Projects** | 225 (excl. Domestic) | quantity |
| Maturity | 3 - 4 | 1-5* |
| Lead time | 2 - 4 | 1-5* |

* Score

** Sourced from energystorageexchange.org

# Hydrogen

**Application**

- **Fuel cell**
- **Excessive E-generation storage (power2gas)**
- **Reciprocating engine**

## Pros

- **Clean conversion of electrical energy**

## Cons

- **Low energy density**
- **Extremely flammable, small molecule**
- **Low round-trip efficiency**

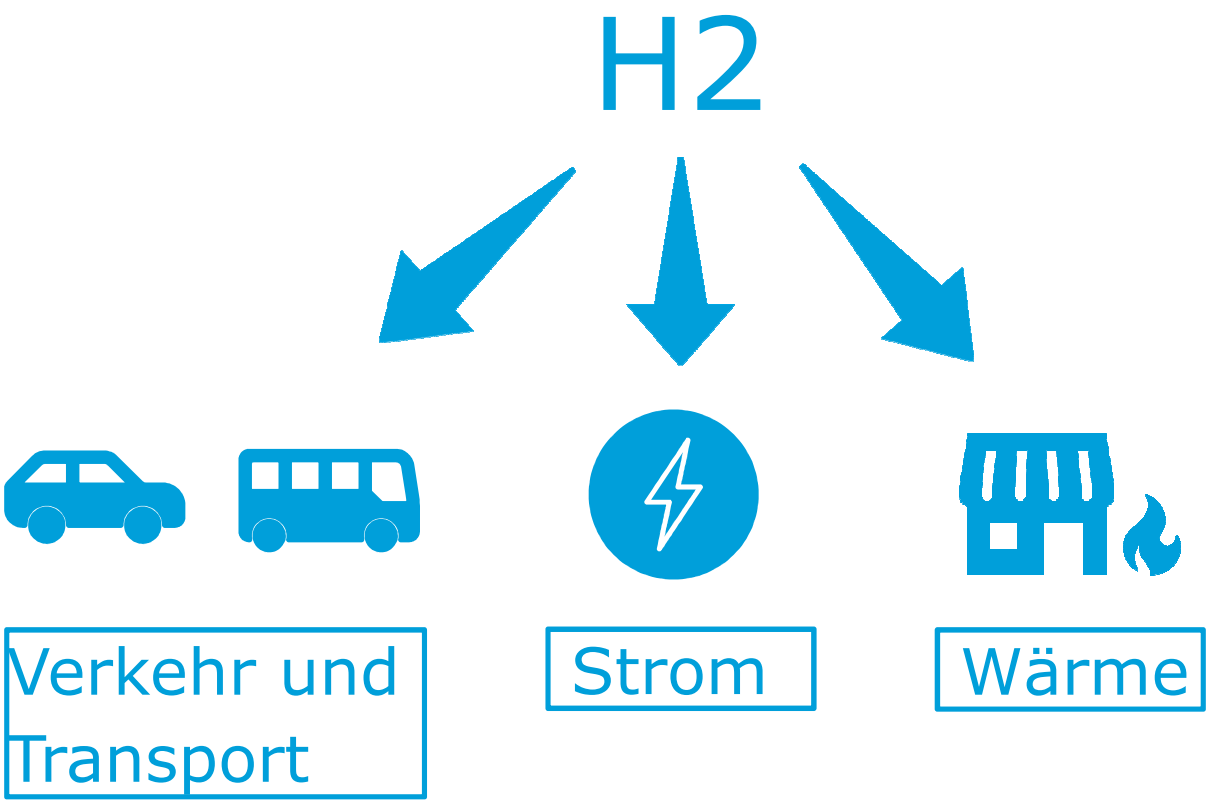
| Core data | | |
|---|---|---|
| Power | Up to ~ 2 | MW |
| Energy | ? | MWh |
| Efficiency | 50 - 80 | % |
| Projects** | 14 (excl. transportation) | quantity |
| Maturity | 2 | 1-5* |
| Lead time | 3 | 1-5* |

* Score

** Sourced from energystorageexchange.org

Photo is sourced from: londonist

# Sektorenkopplung durch Wasserstoff



# Speicherkosten – Batterien

| Heute* | Redox-Flow-Batterie | Lithium-Ionen-Batterie |
|---|---|---|
| Energiepreis | 400€/kWh | 550€/kWh |
| Leistungspreis | 1.250€/kW | 175€/kW |

| Zielkosten 2030* | | |
|---|---|---|
| Energiepreis | 70€/kWh | 200€/kWh |
| Leistungspreis | 570€/kW | 100€/kW |

* Struckmann, T.: „Simulationsgestützte Untersuchung eines hybriden ESS aus Lithium-Ionen und Redox-Flow-Batterie zur Eigenverbrauchsoptimierung von Windstrom"

# Speicherkraftwerk Prinses Alexia Windpark Zeewolde (2017)

- Integration von Li-Ion Speicher in 122 MW Windpark in NL
- Batterieleistung von anfangs 3 bis auf 12 MW ausgebaut
- Verwendung von 88 kompatiblen BMW i3-Autobatterien