

# Anforderungen an das elektrische Energienetz durch die Energiewende

Prof. Dr. Thomas Leibfried

Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik

Sprecher Topic „Energiespeicherung und – verteilung“ im KIT-Zentrum Energie

KIT-Zentrum Energie

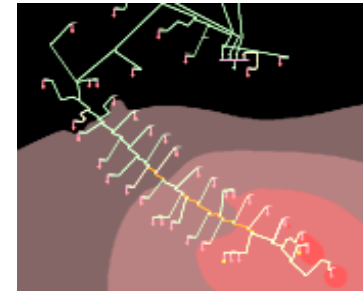


# Herausforderungen für das Energienetz

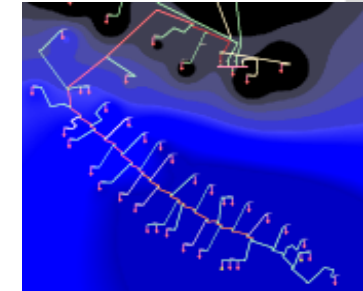
- **Off-shore:** Hohes Leistungsaufkommen durch Windenergieanlagen
- **On-shore:** Zunehmende dezentrale Energieerzeugung durch Windenergie und PV
- **Elektromobilität:** führt lokal zu hohen Leistungsspitzen (peak power)
- **AC-Transportnetz bewältigt den Energietransport Nord-Süd nicht**
- **Netzausbau kommt (nicht/nur langsam) voran**
- **derzeit keine aktive Regelung im Verteilnetz**
- **häufiges Eingriffe der Netzbetreiber (=Herunterfahren von Windenergieanlagen notwendig)**
- **Zunehmend ineffiziente Betriebsweise konventioneller Kraftwerke**



Spannungserhöhung durch PV

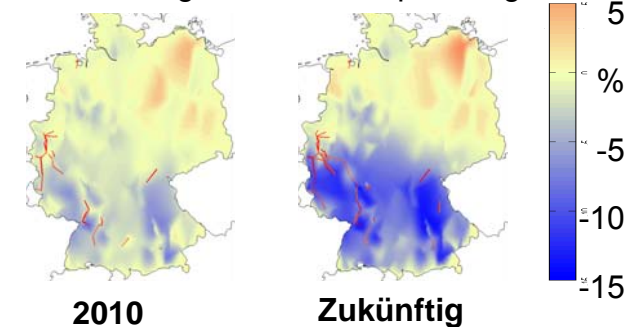


Spannungsabfall durch E-KFZ



## Spannungsgradient Nord-Süd im Transportnetz

Abweichung von Betriebsspannung



# Lösungsansätze: Transportnetz

## Overlay-HVDC-Netz

- Gleichstromschalter
- Realisierung eines HVDC-Netzes (Systemführung, Komponenten, Betriebsverhalten, bisher nur Punkt-zu-Punkt-Verbindungen)
- Betriebsführung des Overlay-Netzes mit dem unterlagerten AC-Netz

## Speicher

- Große Batteriespeicher, z. B. Redox-Flow-Batterie
- Power-to-Gas (Technologieentwicklung, Netzstabilität)

## Neuartige Netzbetriebsmittel

- Supraleitender Transformator, Generator, Kabel, Strombegrenzer,...
- Leistungselektronik, z. B. Multi-Level-Umrichter

# Lösungsansätze: Verteilnetz

## IKT-Lösungen für ein aktives Netzmanagement

- Selbstorganisation und andere Verfahren des Organic Computing
- **Distributed Model Predictive Control**  
(verteilte modellprädiktive Mehrgrößenregelung)
- Multi-Agentensysteme

## Aktive Netzkomponenten

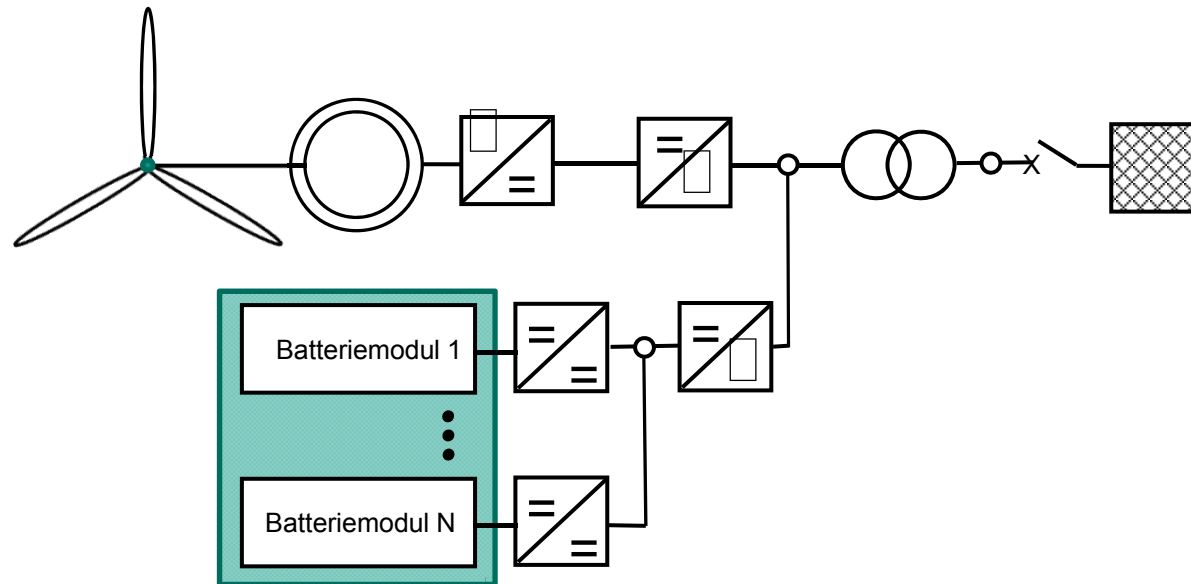
- **Aktive geregelte Stromtankstellen**
- **Aktive Blindleistungskompensation**
- Regelbare Ortnetztransformatoren, leistungselektron. Spannungsregler

## Elektromobilität

- Intelligentes Lademanagement (z. B. Smart Car Park)
- Einbindung der Speicher ins Netz

# Anbindung großer Batteriespeicher ins Netz: Vanadium-Redox-Flow-Batterie

## Klassischer Ansatz: Ankopplung der Batterie parallel zum Netz

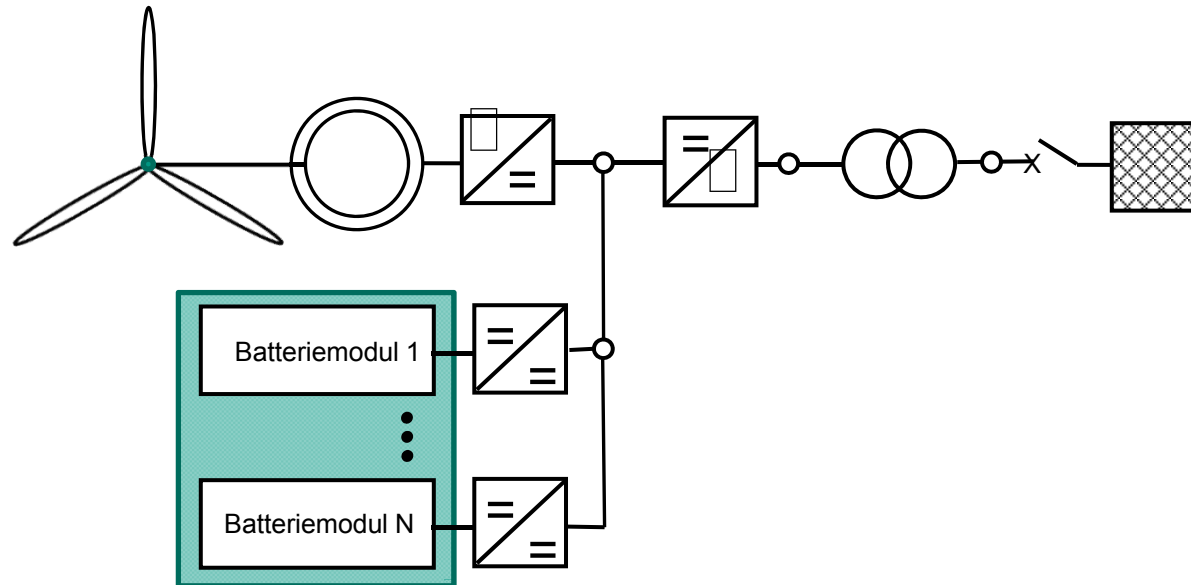


### Eigenschaften:

- Hohe Anzahl an Komponenten (Auswirkungen auf Wirkungsgrad, Kosten, Verfügbarkeit)
- WEA mit AC/DC- und DC/AC-Wandlung ist als Standardkomponente verfügbar

# Anbindung großer Batteriespeicher ins Netz: Vanadium-Redox-Flow-Batterie

## Alternativer Ansatz I: DC-Ankopplung der Batterie

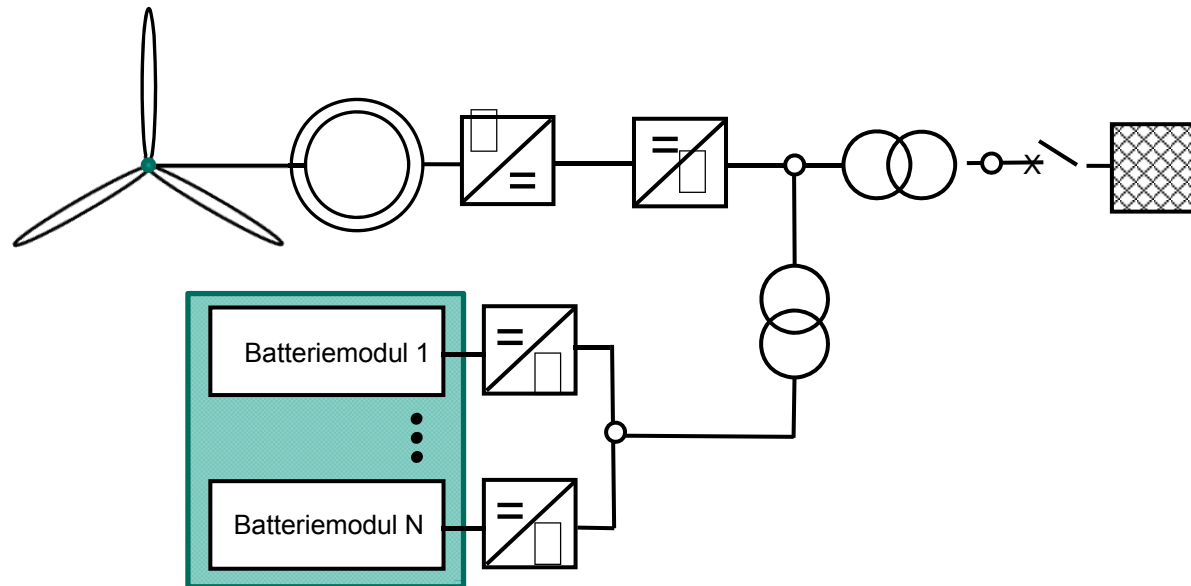


### Eigenschaften:

- verringerte Anzahl an Komponenten, ggf. positive Auswirkungen auf den Wirkungsgrad
- „Anzapfung“ des AC/DC- und DC/AC-Wandlers der WEA ist nicht Standard

# Anbindung großer Batteriespeicher ins Netz: Vanadium-Redox-Flow-Batterie

## Alternativer Ansatz II: Ankopplung der Batterie parallel zur WEA



### Eigenschaften:

- AC/DC- und DC/AC-Wandler der WEA ist Standard
- DC/AC-Wandler der Batteriemodule arbeitet bei niedrigen Spannungen und Strömen
- Transformator ist eine Standardkomponente

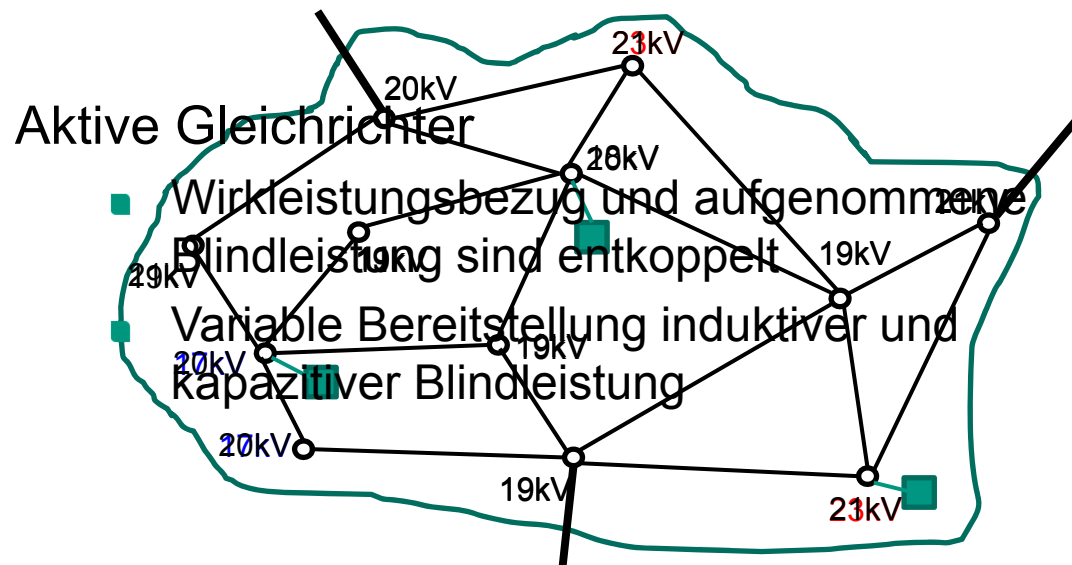
# Anbindung großer Batteriespeicher ins Netz: Vanadium-Redox-Flow-Batterie

## Wissenschaftliche Fragestellungen:

- Erarbeitung der möglichen Systemarchitekturen
- Systemverhalten im Normalbetrieb (Dynamik, Wirkungsgrad)
- Systemverhalten bei Fehlerfällen in der Batterie und im System
  - Kurzschlüsse in der Leistungselektronik und im Netz
  - Teilabschaltung der Batterie, Inbetriebnahme und Außerbetriebnahme der Batterie, Kurzschluss in einem Stack
- Systemkosten der einzelnen Varianten
- Bewertungen der Zuverlässigkeit der einzelnen Varianten und ihrer Komponenten



# Aktiv geregelte Stromtankstellen als Komponenten eines Smart Grid



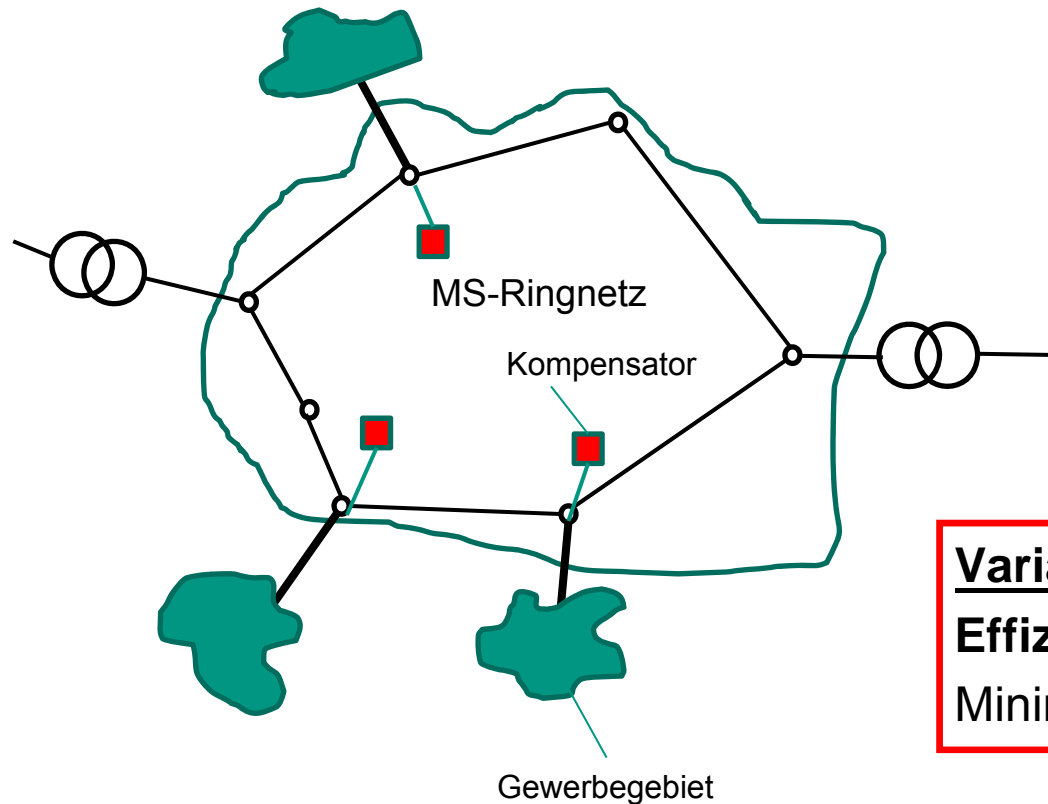
Idee:

Aktiv geregelte  
**Stromtankstellen** als  
Mittel zur **Stützung und  
Effizienzsteigerung**  
des Netzes

- Vorgabe **variabler Blindleistung** ermöglicht
  - die Einhaltung des **Spannungsbands**
  - **Effizienzsteigerung** durch Minimierung der Netzverluste

- Weitere Betriebsoptionen
  - Ausgleich **unsymmetrischer Phasenbelastungen**
  - Kompensation periodischer **Flicker**
  - Reduktion von **Oberschwingungen**

# Aktive Blindleistungskompensation zur Verlustminimierung im MS-Netz



Gewerbegebiete arbeiten mit vielen ASM,  
d. h.  $\cos\varphi = 0,8$  ( $\sin\varphi = 0.6$ )  
 $\Rightarrow$  hoher Blindleistungsbedarf

**Variable Blindleistungskompensation**  
**Effizienzsteigerung** durch  
Minimierung der Netzverluste

Weitere Betriebsoptionen

- Reduktion von **Oberschwingungen**
- Kompensation periodischer **Flicker**

# Aktiv geregelte Stromtankstellen als Komponenten eines Smart Grid

## Regelung für die dynamische Blindleistungsbereitstellung

### Zentral



### Dezentral

- Kommunikation notwendig
- Zentrale Kontrollmöglichkeit
  - Optimaler Lastfluss
  - Reduktion Blindleistungsbezug

- Einfache Bereitstellung...
  - $\cos(\varphi)=\text{const}$
- ... oder Regelungsansätze
  - $Q(U_{\text{Netz}})$

## Regelstrategien ?

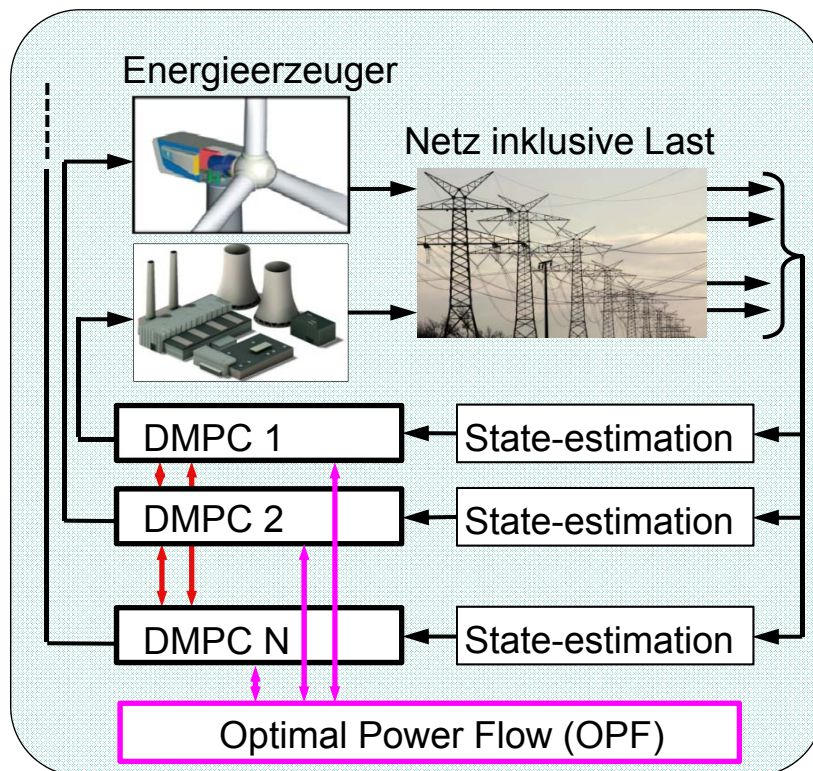
## Erreichbare Verbesserung?

(Spannungshaltung, Spannungsqualität, Netzverluste)

## Wirtschaftliche Gesichtspunkte, Geschäftsmodelle?

# Systemführung im Verteilnetz durch verteilte modellprädiktive Mehrgrößenregelung

## Distributed Model Predictive Control (= DMPC)



Ergänzung durch OPF (**O**ptimal **P**ower **F**low)  
OPF liefert die Sollwerte für die Regelung und stellt den wirtschaftlich optimalen Betrieb sicher

### Ansatz:

- **OPF** stellt den **effizienten Betrieb** des Gesamtsystems sicher
- **DMPC** sorgt für den **kurzfristigen Ausgleich** zwischen Angebot und Nachfrage (z. B. bei Störungen)

# Zusammenfassung

**Wir haben genügend gute Ideen...**

**...Packen wir's an !**