

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

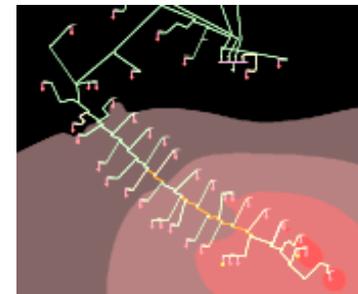
KIT-Zentrum Energie



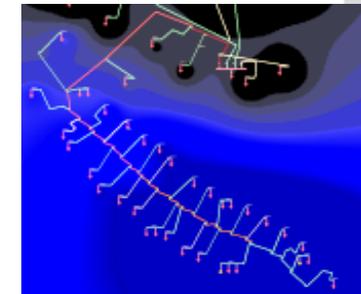
Herausforderungen für das Energienetz

- **Off-shore:** Hohes Leistungsaufkommen durch Windenergieanlagen
- **On-shore:** Zunehmende dezentrale Energieerzeugung durch Windenergie und PV
- **Elektromobilität:** führt lokal zu hohen Leistungsspitzen (peak power)

Spannungserhöhung durch PV



Spannungsabfall durch E-KFZ

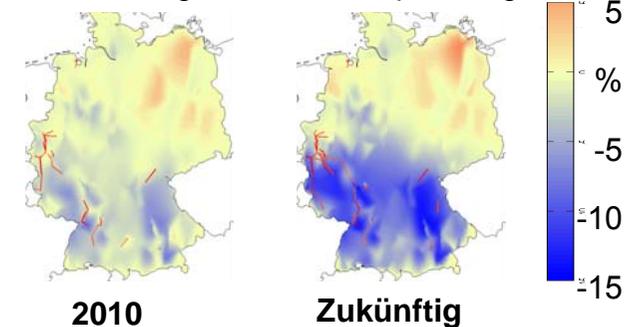


- **AC-Transportnetz bewältigt den Energietransport Nord-Süd nicht**
- **Netzausbau kommt (nicht/nur langsam) voran**
- **derzeit keine aktive Regelung im Verteilnetz**
- **häufiges Eingriffe der Netzbetreiber (=Herunterfahren von Windenergieanlagen notwendig)**
- **Zunehmend ineffiziente Betriebsweise konventioneller Kraftwerke**



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

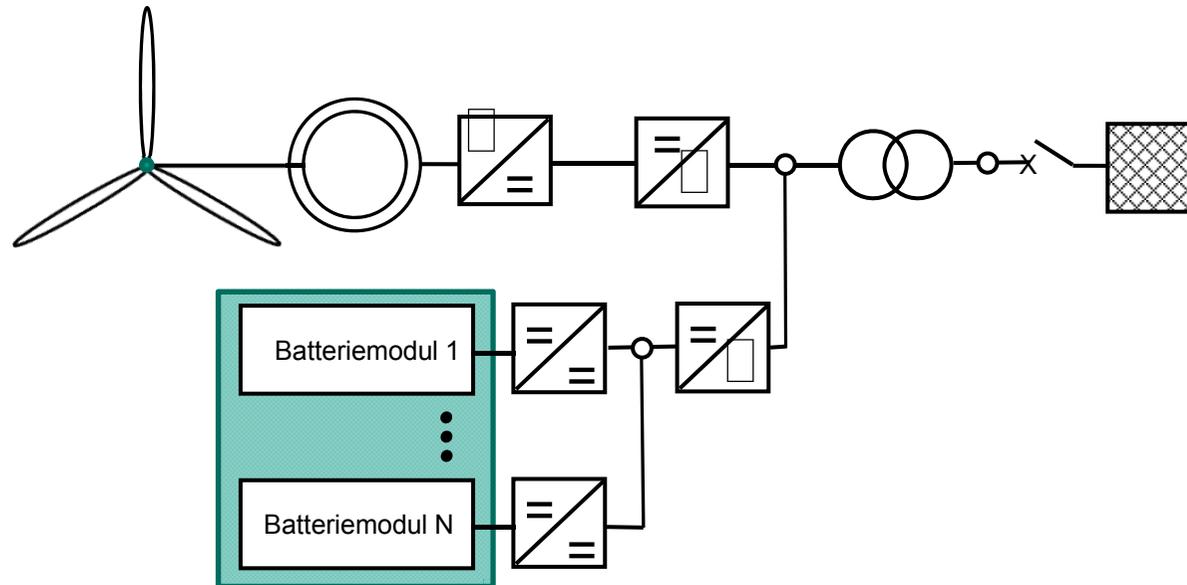
- **Aktive geregelte Stromtankstellen**
- **Aktive Blindleistungskompensation**
- Regelbare Ortnetztransformatoren, leistungselektron. Spannungsregler

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

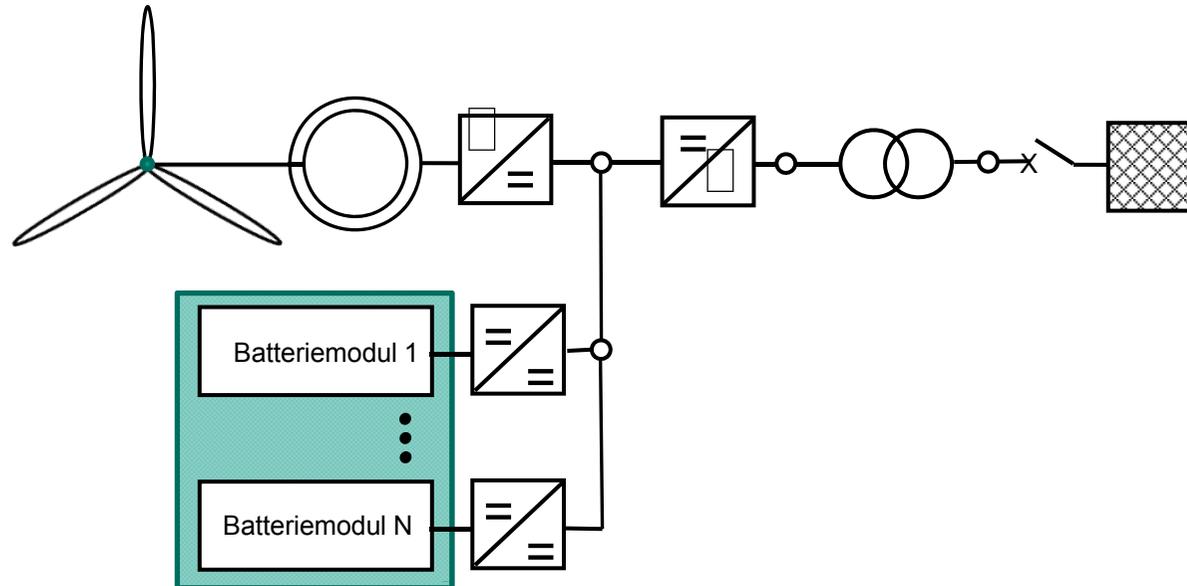


Eigenschaften:

- 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

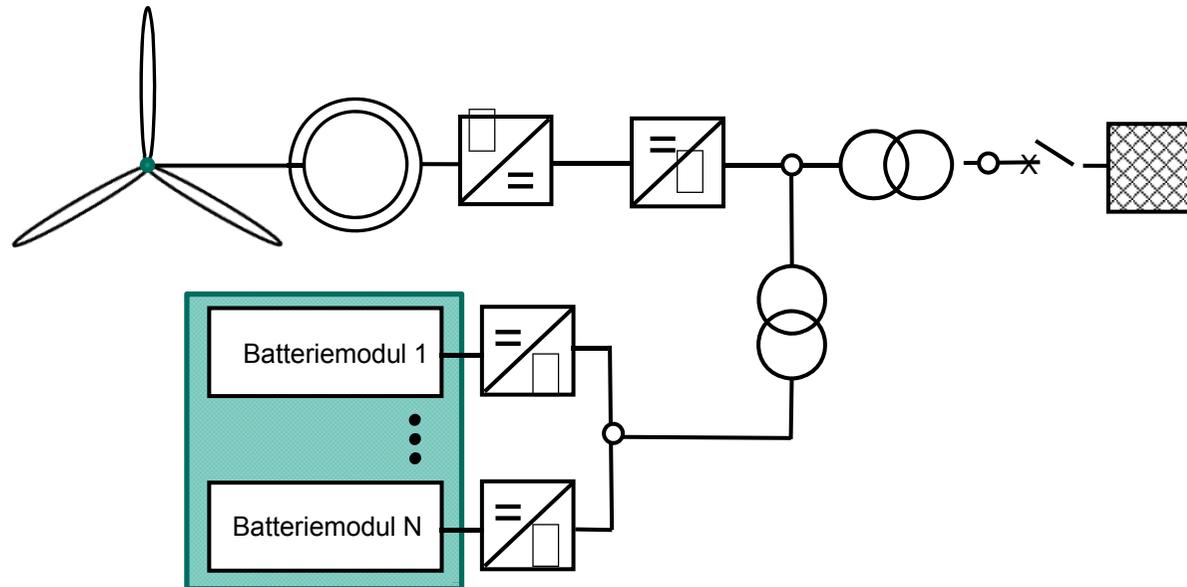


Eigenschaften:

- 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:

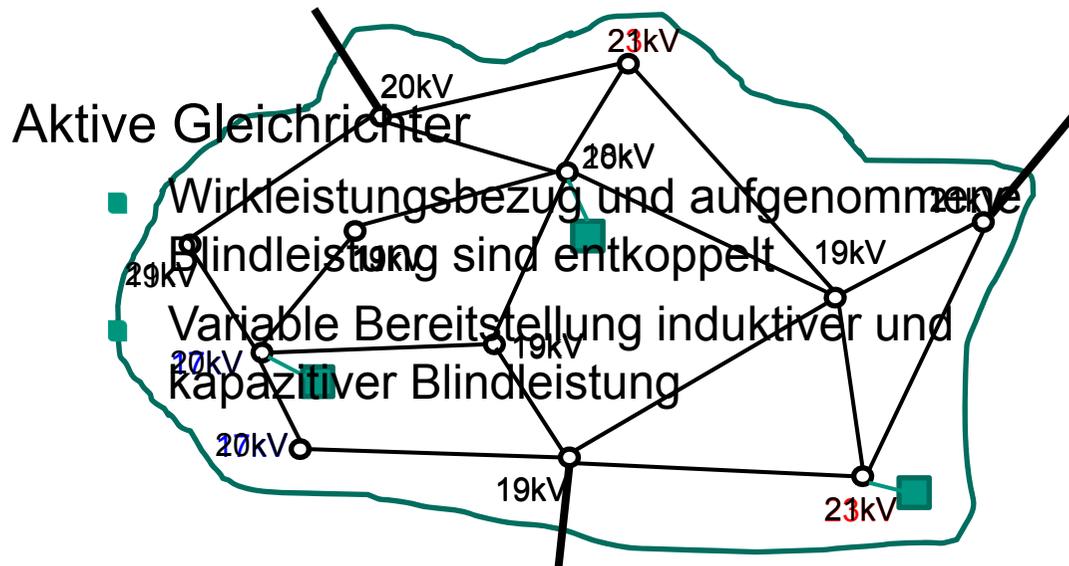
- AC/DC- und DC/AC-Wandler der WEA ist Standard
- DC/AC-Wandler der Batteriemodule arbeitet bei niedrigen Spannungen und Strömen
- Transformator ist eine Standardkomponente

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

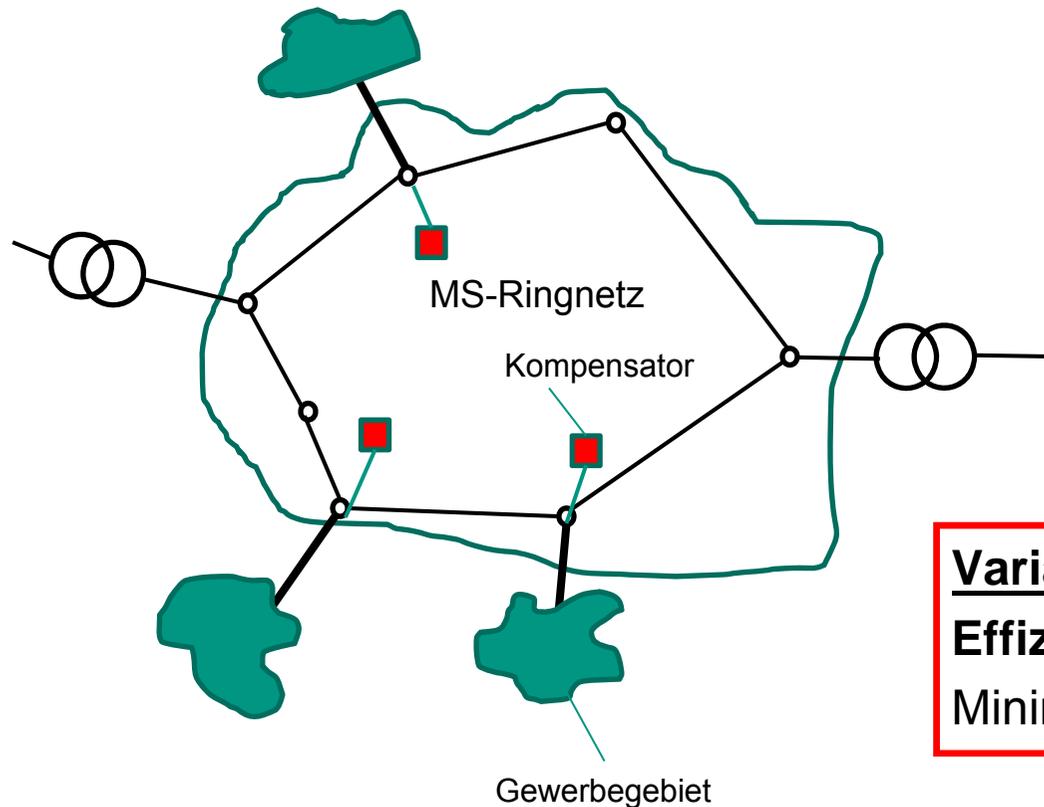


Idee:
Aktiv geregelte
Stromtankstellen als
Mittel zur **Stützung und
Effizienzsteigerung**
des Netzes

- 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 ?

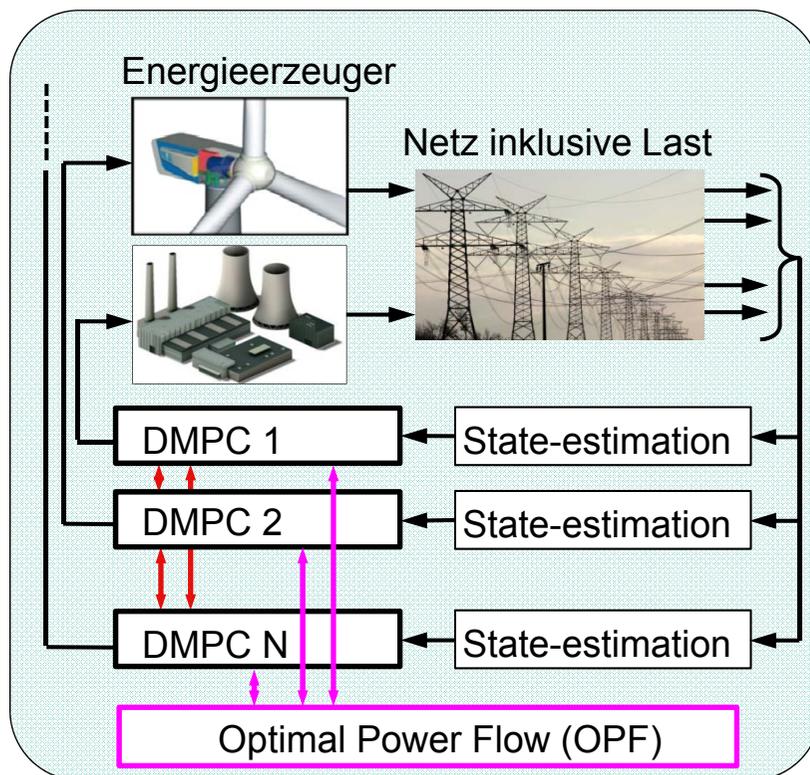
Erreichbare Verbesserung?

(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 !