Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Potenziale von Energiespeichern und der Sektorenkopplung für ein optimiertes Netzmanagement (EKSH-Studienreihe 2020)

M.Sc. Marius Langwasser

Chair of Power Electronics
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Kaiserstraße 2
24143 Kiel

Gliederung

1. Hintergrund
2. Konzeptbildung
3. Potenziale Speicherintegration
4. Potenzial Sektorenkopplung
5. Smart Transformer
6. Fazit und Fragestellungen

Hintergrund

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

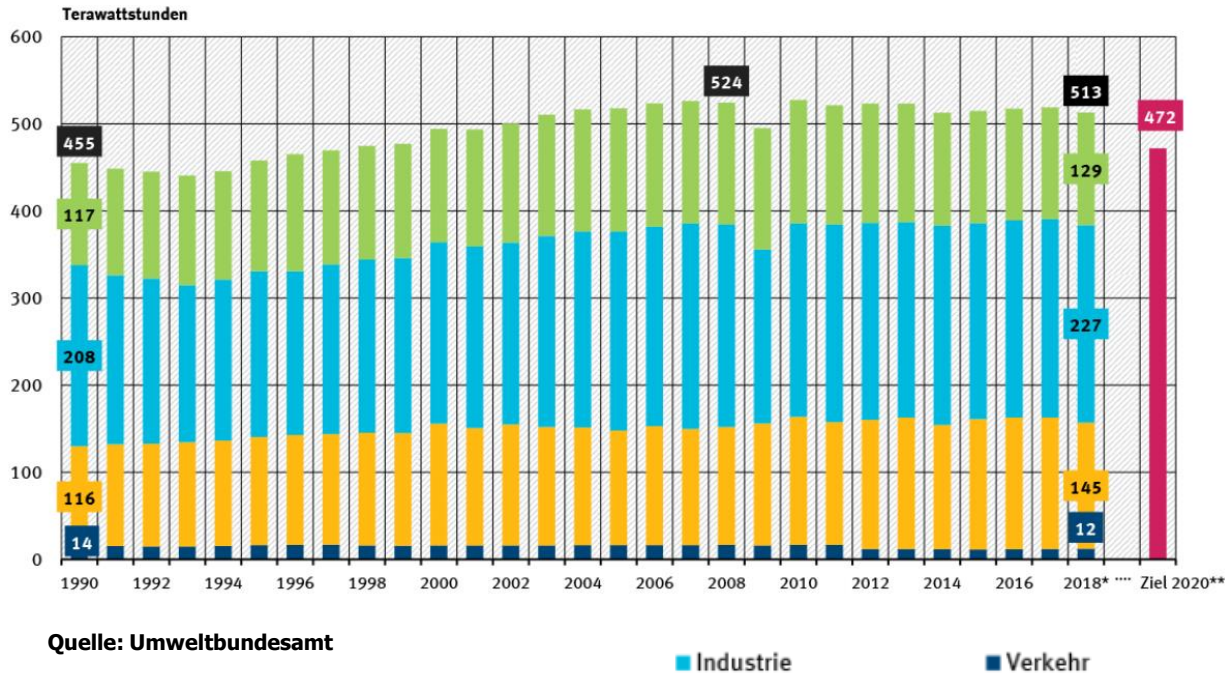
- Ausbau **erneuerbarer Energien** und Rückbau konventioneller Großkraftwerke → dezentrale und schwankende Energieerzeugung
- Integration von **Elektrofahrzeugen** → große Lastschwankungen
- **Batteriespeichern** können auf lokaler Ebene (auch direkt integriert in leistungselektronische Systeme) zum Auffangen überschüssiger Energie und zur Lastspitzenglättung verwendet werden
- **Sektorenkopplung** (Wärme, Gas, Kraftstoffe, …) ermöglicht die Nutzung überschüssiger Energie und gleichzeitig die Reduktion des Einsatz fossiler Brennstoffe

→ Ziel: **Ermittlung der Potentiale von Energiespeichern und der Sektorenkopplung für ein optimiertes Netzmanagement (unter Verwendung von Smart Transformatoren)**

Hintergrund: Netzstruktur SH

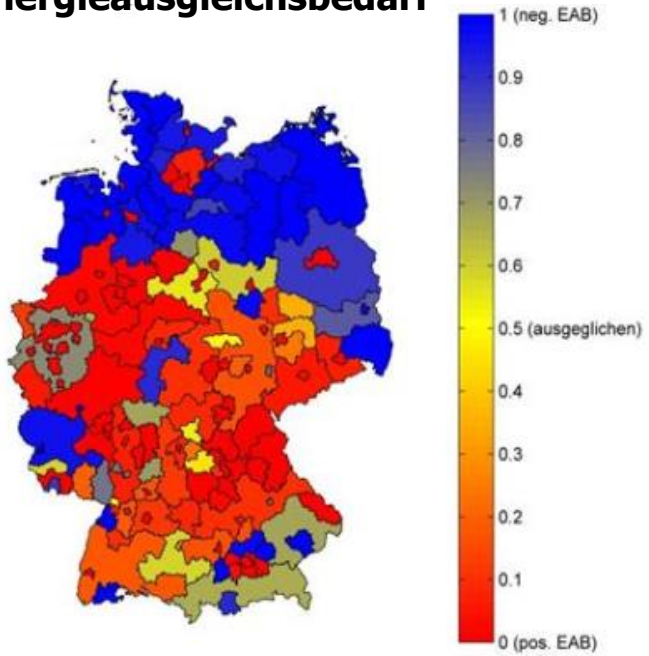
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Stromverbrauch nach Sektoren



Quelle: Umweltbundesamt

Energieausgleichsbedarf



- Schleswig-Holstein
  - Wenig energieintensive Industrie, deutlicher Überschuss bei Energieerzeugung
  - Verkehrssektor
    - Hohes Potenzial zur Elektrifizierung (Bahn, Schiff, Luftfahrt)
    - netzdienliche Steuerbarkeit für erfolgreiche Netzintegration

Hintergrund: Netzstruktur SH

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Unterschiedliche Konzepte

... nach Quartiersart

- Städtisch /vorstädtisch
- Ländlich

... nach Zusammensetzung

- Anteil Wohnen
- Anteil Gewerbe/Industrie

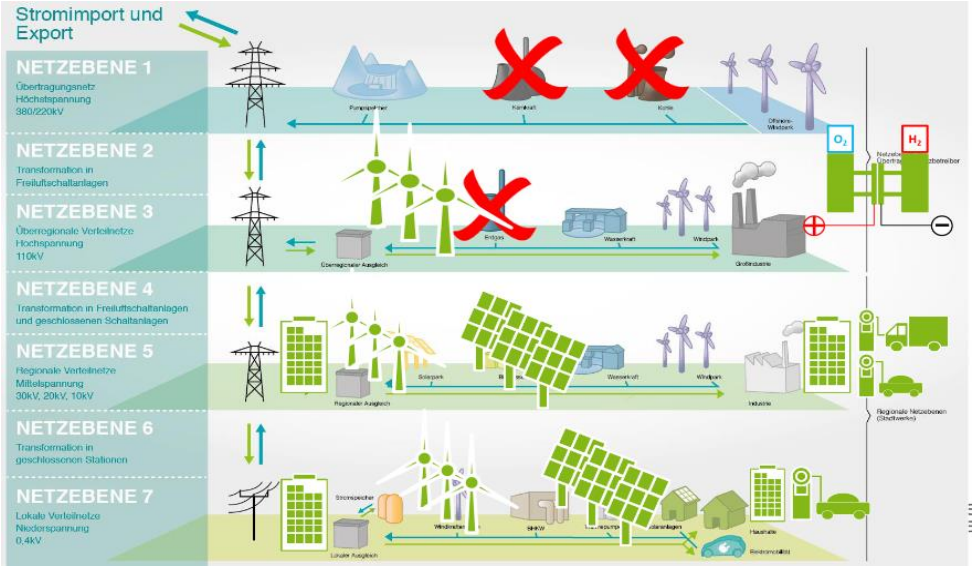
... nach Energieausgleichsbedarf

- lokal
- überregional

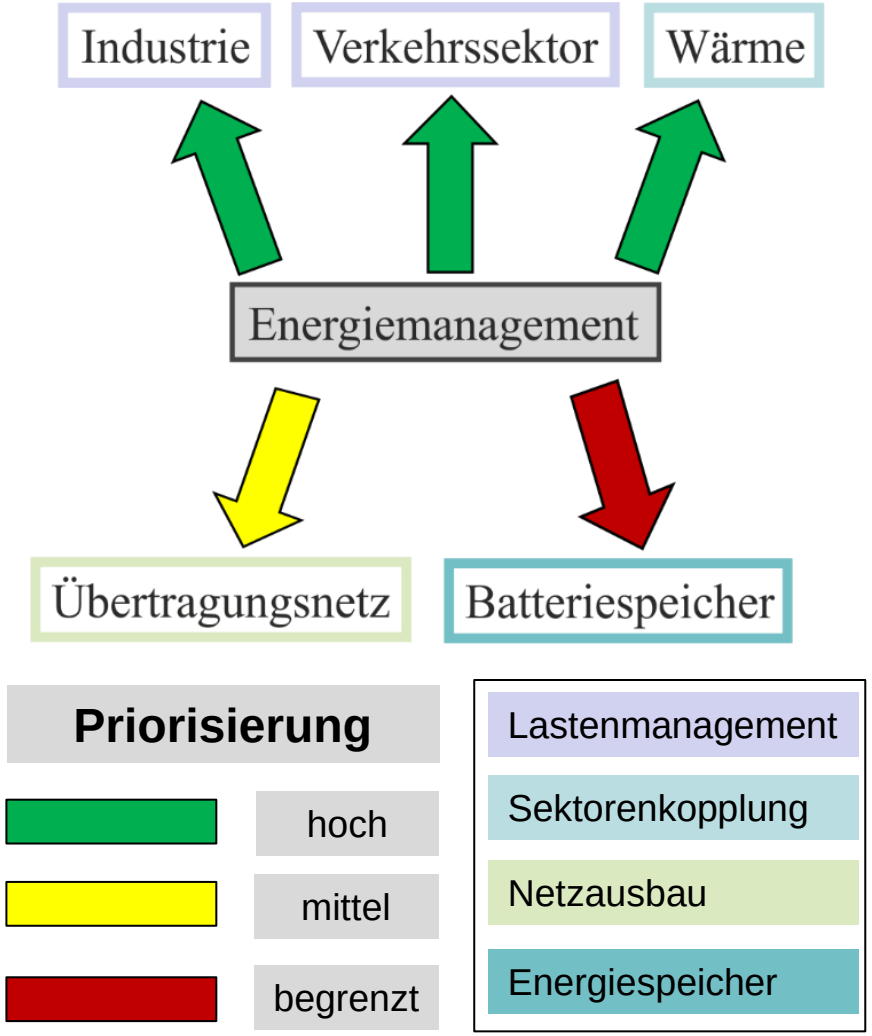
?

Ländliche Gebiete (dominierend in SH)

- Mittelspannungsseite
  - hohe Einspeisung aus Windenergie
  - Schnellladestationen (z.B. an Autobahn)
- Niederspannungsseite
  - Einspeisung aus PV
  - Vermehrte Anzahl an Ladestationen (begrenzte Leistung)



Konzeptbildung
-> Energieausgleichsoptionen



- **Lastenmanagement** -> Industrie, Verkehrssektor (auch über Elektrifizierung)
- **Sektorenkopplung** -> Power to Heat, Power to Gas / Power to Liquid
- **Energiespeicher** (sehr teuer) -> sehr punktuell, wenn für Lastenausgleich erforderlich
  - Hauptschwerpunkt: Stützung des Netzes (Systemdienstleistungen)
- (Übertragungsnetze -> Ausbau zur Kompensation des Energiebedarfs)

Flexible Erzeugung	Speicher	Nachfrage-steuerung	Import-/ Export	Sparten-verbund
Zentral (Regelbare Gaskraftwerke) **Dezentral** (Eigennutzungs-steuerung)	**Langzeitspeicher** (Tage bis saisonal) **Kurzzeitspeicher** (Sekunden bis Stunden)	**Anreizsteuerung** (Variable Tarife) **Direktsteuerung** (Virt. Kraftwerk, Netzsteuerung)	**Zellulare Netze** (Europaverbund bis Microgrids) **Regionalmärkte** (lokaler Ausgleich, Kapazitäten)	**Power to gas** (Kombikraftwerke, Gasnetze) **Wärmesteuerung** (KWK, Wärmenetze)

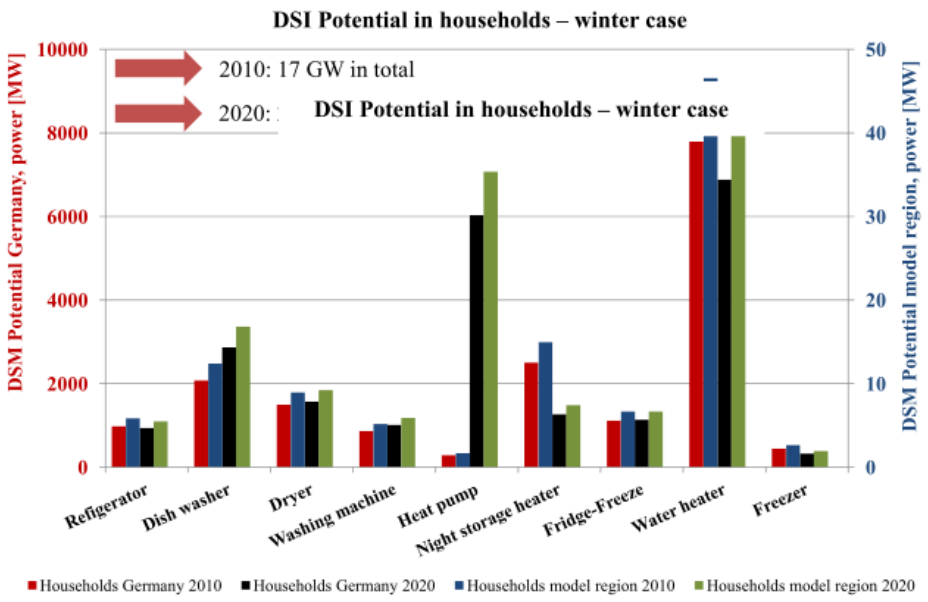
Energieausgleichsoptionen

Weitere Konzepte
- Digitale Umspannwerke
- Virtuelle Kraftwerke
- Microgrids

Konzeptbildung: Konventionelle Lastverschiebung

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Lastverschiebungspotential in Haushalten



Lastverschiebung: Geschäftsmodelle und regulatorische Voraussetzung

Aktueller Fokus

Zukünftig: Langfristige LV

Fokus CAU: Kurzfristige LV zur Netzstützung

Modell und seine Effekte (o=neutral, +=Vorteil, -=Nachteil, §!=nicht durch die Regulierung abgedeckt)	Netz	Kunde	Liefe rant	Aggre gator	Regula tor
A Begrenzung der Maximallast (LM klassisch)	+	+	0	0	ok
B Fahrpläne f. Lasten (langfristig im Voraus vereinbart)	+	+	+	+	§!
C Abrufbare Optionen (kontraktierte kurzfristig verfügbare zu- Abschaltung zeit- und ortsscharf)	+	+	-	+	§!
D Dayahead-Anpassung der Einspeise- / Lastkurve	+	+	0	0	§!
E Neartime / Realtime Anpassung der Lastkurve	+	+	-	+	§!
X1 Fahrplanorientierter Prosumer (direktvermarktend)	+	+	+	+	§!
X2 Eigenverbrauchsoptimierer (unverhersehbar, insb. mit Speicher)	-	+	0	0	Ok
X3 Systemgeführter Prosumer (versorgerseitiges Speichermanagement)	+	0	-	0	§!
Y Gruppenmodelle (heterogene Bündelung kleiner Lasten, ggf. lokal)	+	+	+	+	§!
Z Filialmodelle (Schwarmsteuerung homogener Betriebe, Ketten)	0	+	+	+	§!

Aggregation sowohl für kurz- als auch langfristige Lastverschiebung relevant für SH

[LKMU13]

Übersicht Märkte zur Nachfragesteuerung

Lokal
- Individuelle Spitzenlastreduktion
- Spotmarkt/Intraday (Fahrplanenergie, Strommarkthandel, variable Tarife)

Zentral
- Angebot von Regelenergie
- Stabilität/Engpassmanagement im Stromnetz

Konzeptbildung: Direkte Laststeuerung

- Direkte (weiche) Laststeuerung zur kurzfristigen Netzstützung
  - Grundidee: Haushaltslasten und kommerzielle Lasten (insb. Heizung) weisen eine Sensitivität ggü. der Netzspannung auf
  - Die Sensitivität kann in Echtzeit ermittelt und für die Einstellung der Regelung verwendet werden
  - Direkte Lastregelung über Änderungen der Netzspannung (mittels zentraler / dezentraler Blindleistungseinspeisung), Leistungsaufnahme der Lasten folgt proportional zur Netzspannungsänderung
  - Einsatzgebiete: Leistungsgleichgewicht (Frequenzstabilität im Quartier), Vermeidung von Engpassmanagement (Transformator, Anschlussleitungen) (oder auch ST), Vermeidung von Lastabwürfen

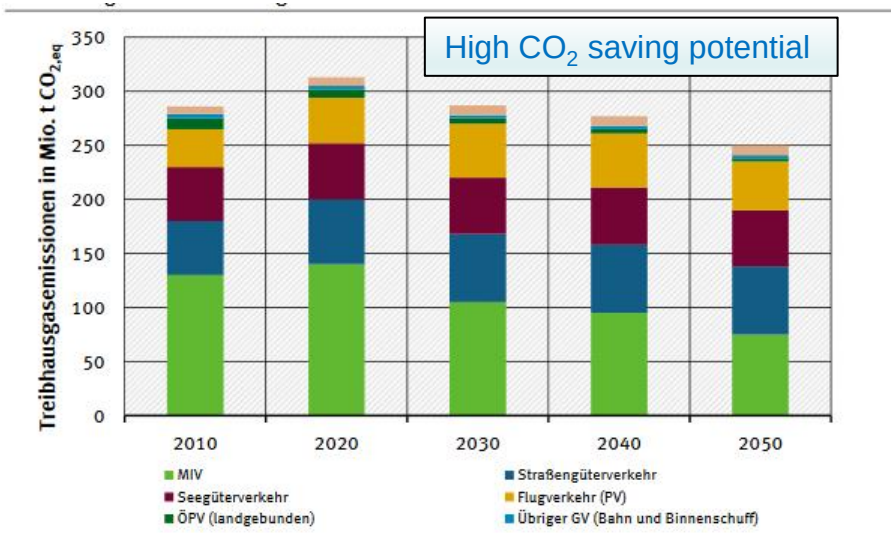
Potenzial Speicherintegration / Vehicle-to-Grid

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

TABLE III
THE CHARACTERISTICS OF MITIGATION METHODS

Event	Capacitor	Super-capacitor	Battery
Voltage flicker	++	+	=
Voltage sags/ swells (short term)	++	+	=
Voltage sags/ swells (long term)	-	=	++
Frequency deviations primary control	-	+	++
Frequency deviations secondary(tertiary) control	–	-	++

Quelle: RES Deutschland (Ort: Bordesholm)



Quelle: FTCAP

Vehicle-to-Grid (V2G)

- Flexible Lasten / Quellen
- Frequenzregulierung
- Spannungsstützung

Verfahren / Energieträger	Verkehrsträger	Straße							
		Personenverkehr			Güterverkehr				
		Kurz / Mittel	Lang	Busse	Nah	Fern	Schiene	Schiff	Flug
Elektrizität	Batterie								
	Oberleitung								
Power-to-Gas	E-Wasserstoff								
	E-Methan								
Power-to-Liquid	FT / MeOH / OME								
Biokraftstoffe	Biodiesel / BtL								

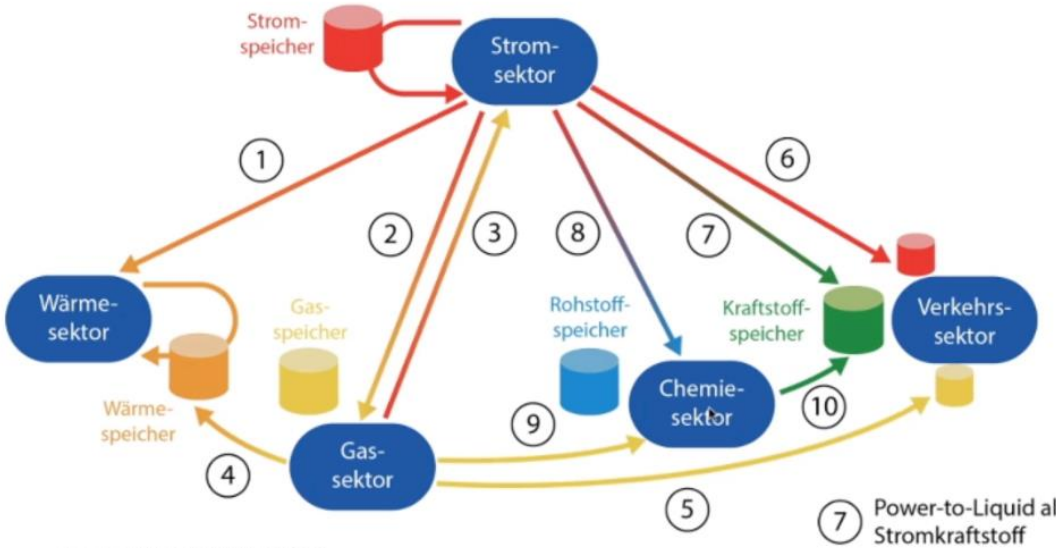
© Sterner, FENES 2017

Potenzial Sektorkopplung

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Wind + Solar über Sektorenkopplung nutzen
→ Wasserstoff ist entscheidendes Bindeglied

FENES

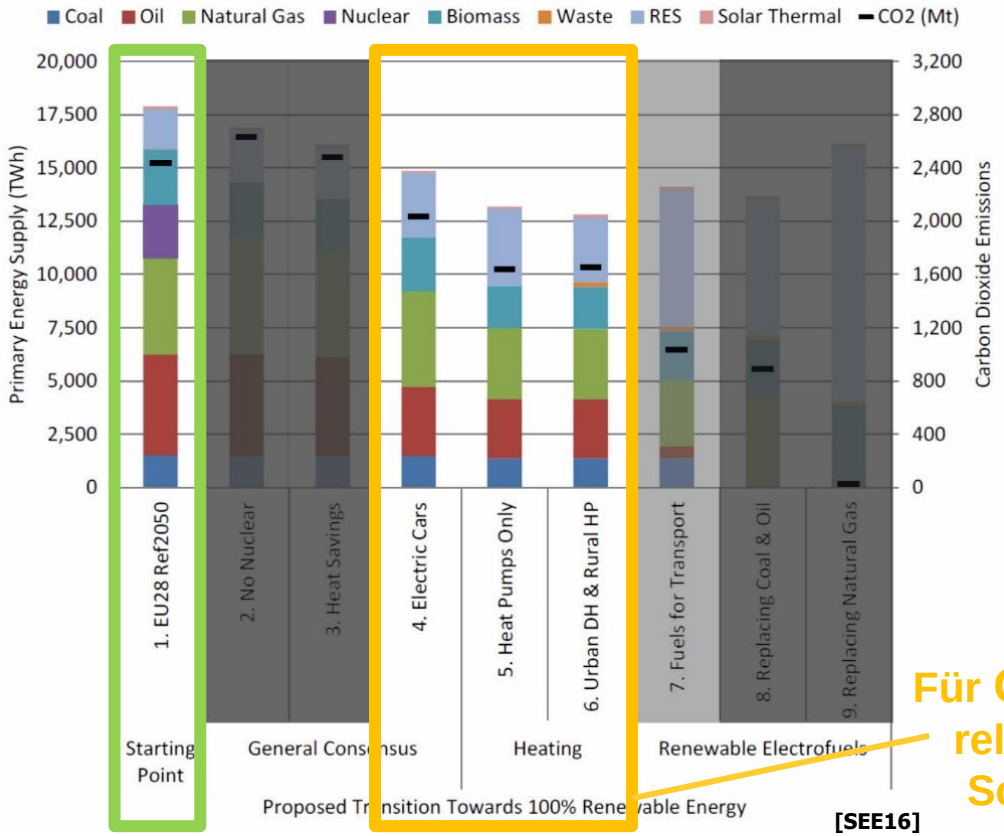


© Sterner et al, FENES OTH Regensburg 2016

1. Power-to-Heat, Wärmepumpe Flexible KWK
2. Einspeichertechnologie Power-to-Gas
3. Power-to-Gas als Stromspeicher
4. Power-to-Gas als Wärmespeicher
5. Power-to-Gas als Stromkraftstoff
6. Elektromobilität
7. Power-to-Liquid als Stromkraftstoff
8. Einspeichertechnologie Power-to-Chemicals
9. Power-to-Gas als Rohstoffspeicher
10. Power-to-Chemicals als Kraftstoffspeicher

Quelle: Sterner et al, FENES OTH Regensburg, 2016 — Prof. Dr. Sterner, OTHR, S. 10

Umstellung auf 100% Erneuerbare Energien



[SEE16]

Für Quartier relevante Schritte

EU Referenz-Szenario

Schlüsselfaktoren im Quartier

- Vehicle-to-grid
- Power to heat

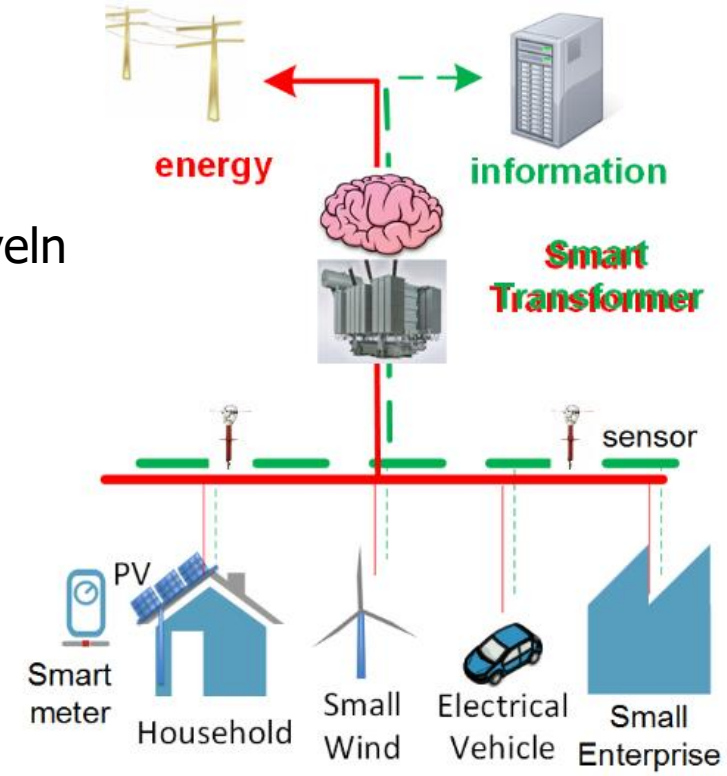
Smart Transformer

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Der Smart Transformer ist:

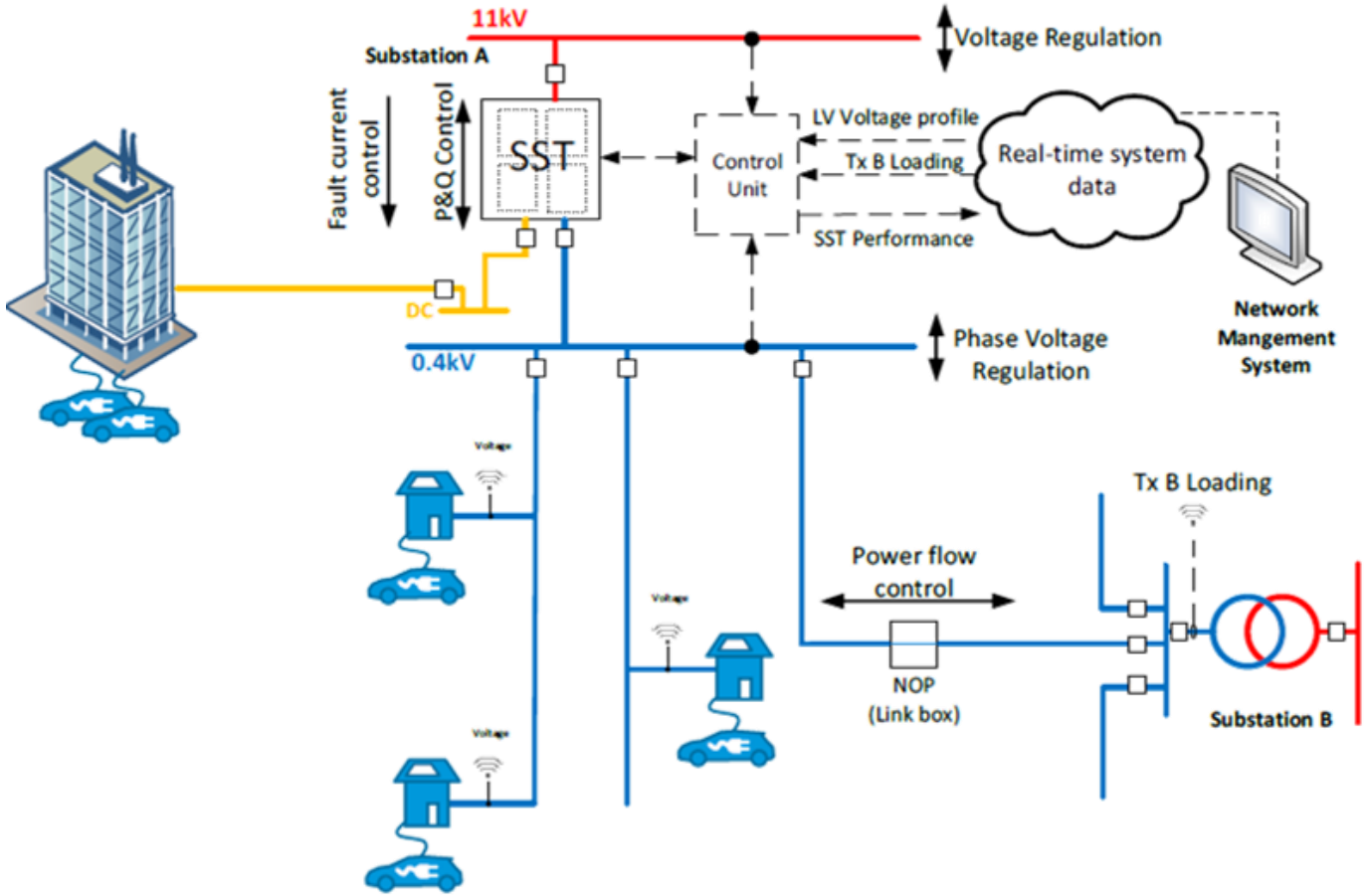
- ✓ ein Leistungselektronik-basierter Transformator
- ✓ ein Knoten zur Regelung der Leistungsströme
- ✓ ein Link für AC und DC Infrastruktur mit verschiedenen Spannungsleveln
- ✓ eine Möglichkeit zur Integration von Energiespeichern
- ✓ ein Link zwischen unterschiedlichen Energieträgern (Gas, Wärme, Wasserstoff)
- ✓ ein Unterstützer für den Aufbau von Ladeinfrastruktur

Der Smart Transformer ertüchtigt das elektrische Netz für die zukünftigen Herausforderungen und ermöglicht eine effiziente Anbindung eines Multi-Energie-Quartiers!



LV Verteilnetz → **MV Verteilnetz** → **HV Übertragungsnetz**

Smart Transformer



Der Smart Transformer bringt wertvolle Funktionen für das Mittel- und Niederspannungsnetz:

- Spannungsregelung
- Leistungsflussregelung
- Filtern von Netzoberschwingungen
- Blindleistungsbereitstellung
- DC-Anschlusspunkte

Smart Transformer: Business Case (LV Engine)

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

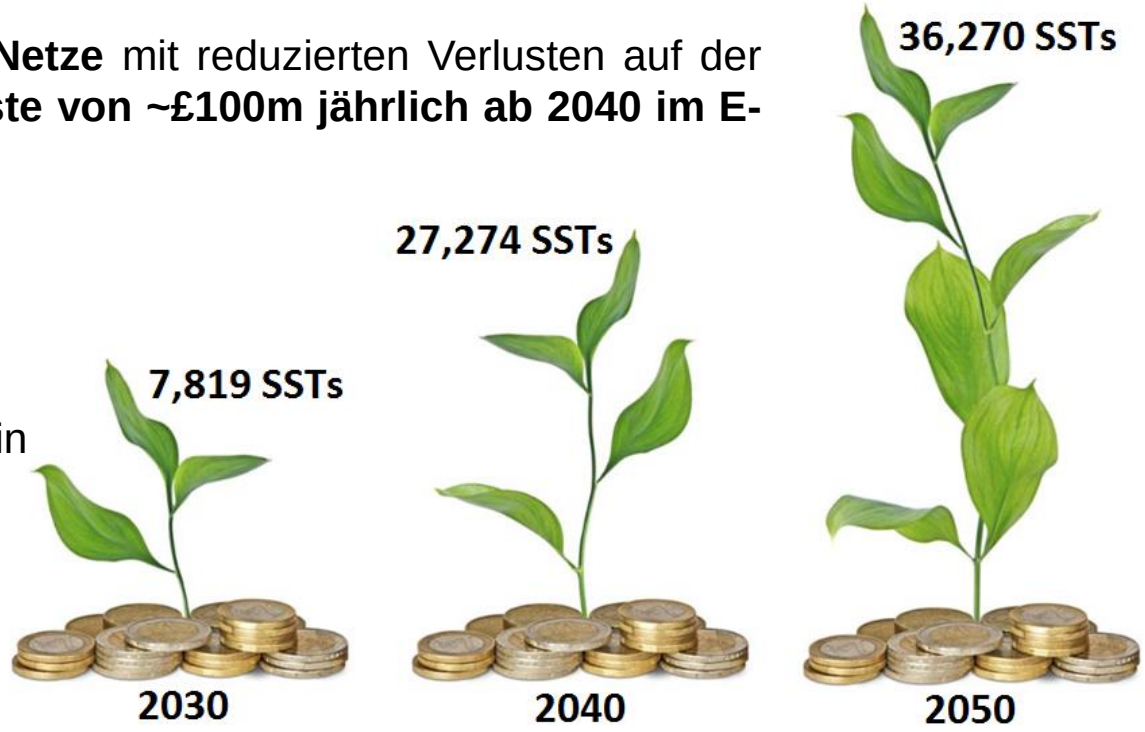
- **Erhöht die Kapazität des Verteilnetzes zur Aufnahme zukünftiger CO_2-Emissions-freier** Erneuerbarer Energien und elektrischer Lasten **ohne kostenintensiven Netzausbau**
- **Erhöht die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Verteilnetzes,** um Unsicherheiten in zukünftiger Erzeugung und Verbrauch auszugleichen
- **Reduziert die Netzausbaukosten** (Transformatoren, Kabel) für die **Elektrifizierung von Wärme-, Gas- und Verkehr**
- **Stellt die Basis für zukünftige DC-Netze** mit reduzierten Verlusten auf der Verbraucherseite **(vermiedene Verluste von ~£100m jährlich ab 2040 im E-Mobilitäts-Sektor)**

Finanzielle Ersparnis:

- £62m bis 2030
- £528m bis 2050
- 16% der Ortnsnetzstransformatoren in GB ersetzt bis 2050

CO_2-Ersparnis:

- 523 kt.CO_2 bis 2030
- 2,032 kt.CO_2 bis 2050



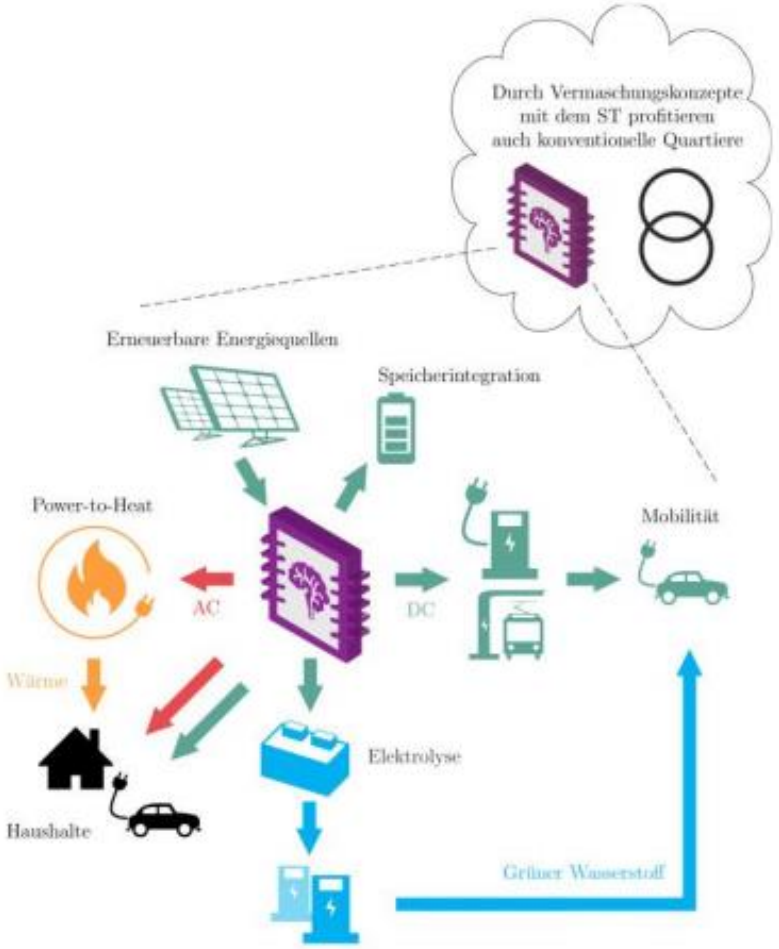
Smart Transformer: Multi-Energie-Quartier

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Lösungen mittels Smart Transformer:

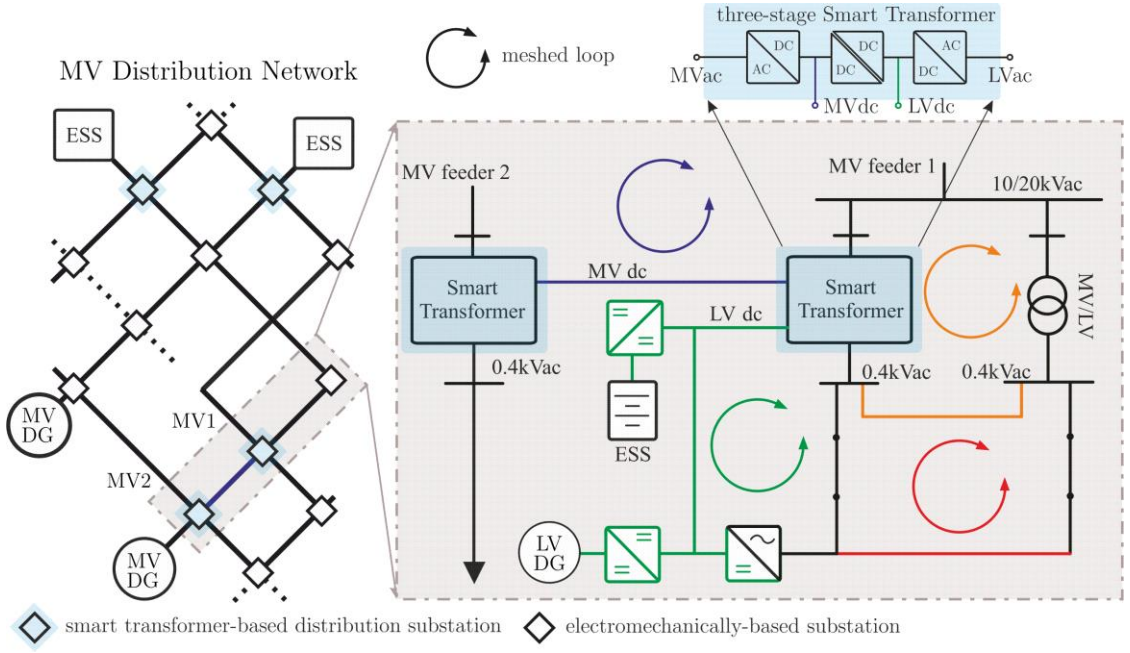
- Intelligentes Netzmanagement durch flexible Steuerung
- Bereitstellung von Gleich- und Wechselspannungsanschlüssen
- Sektorkopplung mit Elektromobilität, Wasserstoff und Wärme
- Aktive Laststeuerung ohne Lastabwurf
- Integration von Energiespeichern und Ladestationen
- Zukünftig: Net-zero-Energy-Quartier, d.h. eine vollständig ausgeglichene Energiebilanz und damit Teilautarkie

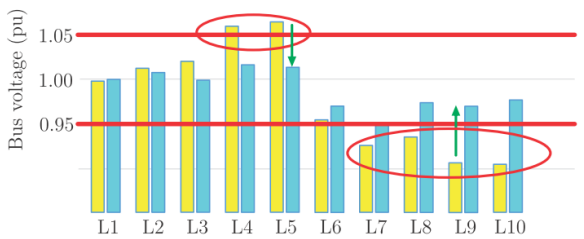
Schlüsseltechnologie: Smart Transformer



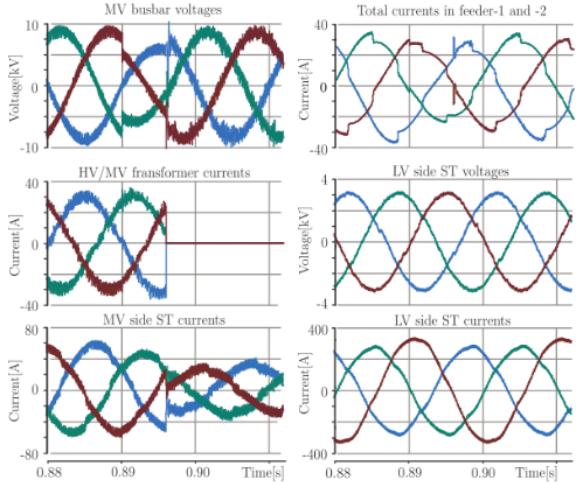
Smart Transformer: Multi-Energie-Quartier

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel





Reduzierung der Netzspannungsabweichungen am Ende der Leitungen



Der ST stellt auch bei einem Fehler im überlagerten Netz die Versorgungssicherheit der Verbraucher im unterlagerten Netz sicher.

Betrieb des Smart Transformers in einem **hybriden, vermaschten Netz**

R. Zhu, M. Liserre, M. Langwasser, and C. Kumar, “Operation and Control of Smart Transformer in Meshed and Hybrid Grids,” IEEE Ind. Electron. Mag.

Fazit

Techn. Innovation	Motivation	Potenzial Smart Transformer
Schaffung von DC-Netzen	Weniger Leistungsstufen, geringere Verluste bei Wandlung und Übertragung	Konnektivität auf Nieder- und Mittelspannungsebene
Dezentrale Netzintegration	Erzeugung, Verbrauch und Speicherung im Idealfall im Quartier, ökonomische Auslegung, geringe Verluste	Zentrale Steuereinheit durch den Smart Transformer, weniger Einheiten, weniger Regelungs- und Kommunikationsaufwand
Integration Batteriespeicher	Kompensierung von Energieausgleichsbedarfen, Netzstützung, z.B. in Fehlerfällen	Smart Transformer verfügt über DC-Konnektivität, Batteriespeicher können dort einfach eingebunden werden oder sogar in den Bausteinen des Smart Transformers integriert werden
Sektorenkopplung	Umwandlung sehr hoher Energiemengen möglich, Potenzial eines Nullenergie-quartiers	Einbindung durch DC-Konnektivität auch hier vereinfacht, zentrale Steuereinheit durch den Smart Transformer

Fragestellungen

- Welches ist eine sinnvolle **Quartiersgröße**? Bewertung dieser Fragestellung unter der Berücksichtigung eines/mehrerer Smart Transformatoren und dem potentiellen Effekt der dadurch realisierbaren Maßnahmen.
- Welches Maß an Vernetzung mittels **Kommunikation** und Sensorik zur Bereitstellung der Informationen für ein intelligentes Quartiersmanagement ist sinnvoll?
- Welche der Maßnahmen haben einen **langfristigen, nachhaltigen Erfolg**?
- Wie lässt sich die **Sektorenkopplung** insbesondere unter Nutzung von **Wasserstoff** auf der Gebäudeebene umsetzen? Wie können die einzelnen Gebäude dafür vernetzt werden, um ein **intelligentes Management** des Quartiers zu ermöglichen?
- In welcher Form kann **Power-2-Mobility** mit den gegebenen technischen Möglichkeiten im Quartier – auch unter Nutzung des Smart Transformators sinnvoll eingesetzt werden?