

► Von Smart Grids über Hybridnetze zu Cyber-Physical Systems

Mit Informatik zu nachhaltigen Energieversorgungssystemen

Jun.-Prof. Dr. Sebastian Lehnhoff
Juniorprofessur Energieinformatik

Energie
Energy



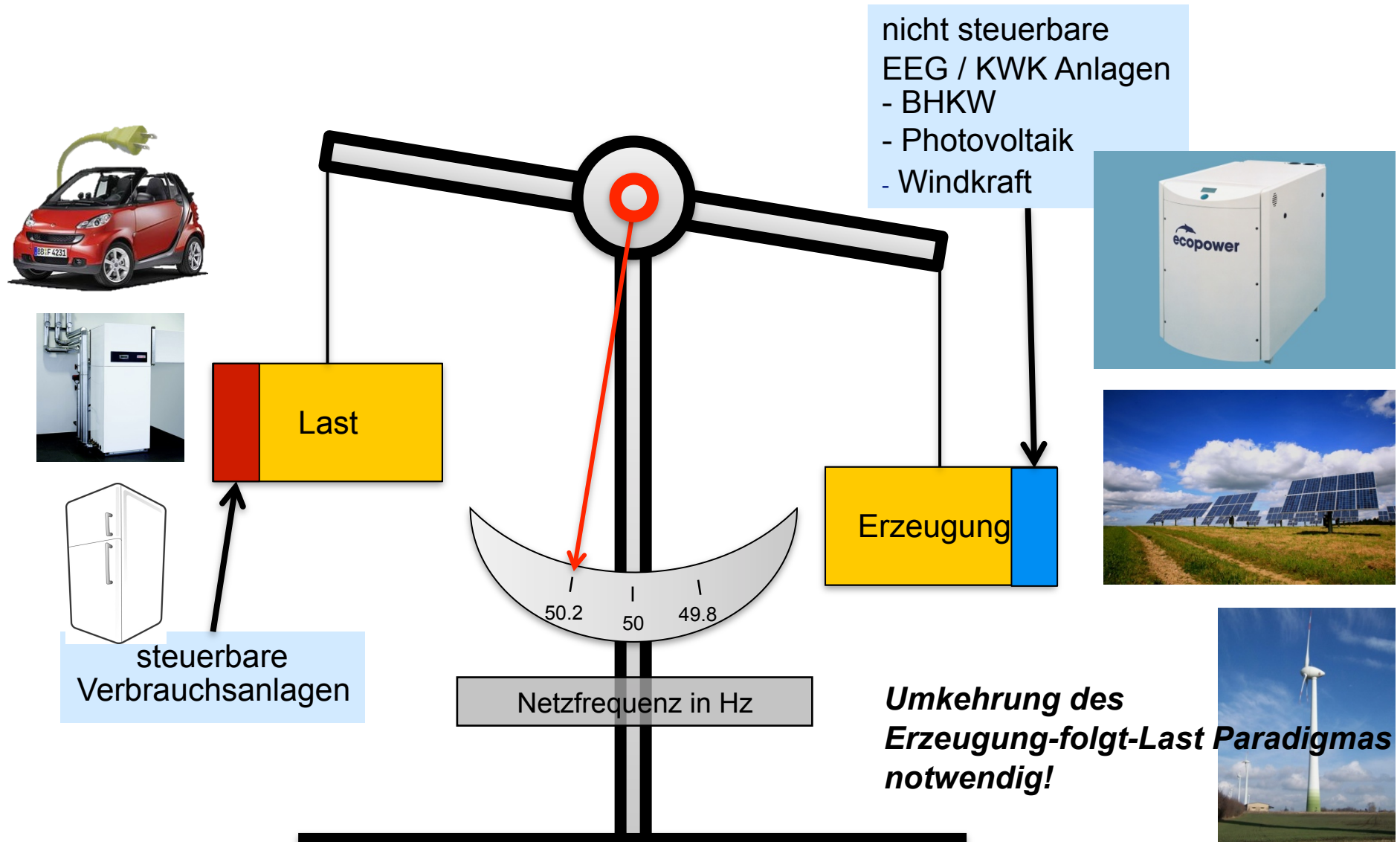
► 2 Motivation „Smart Grids“

Veränderte Nutzungsbedingungen im elektrischen Energieversorgungssystem



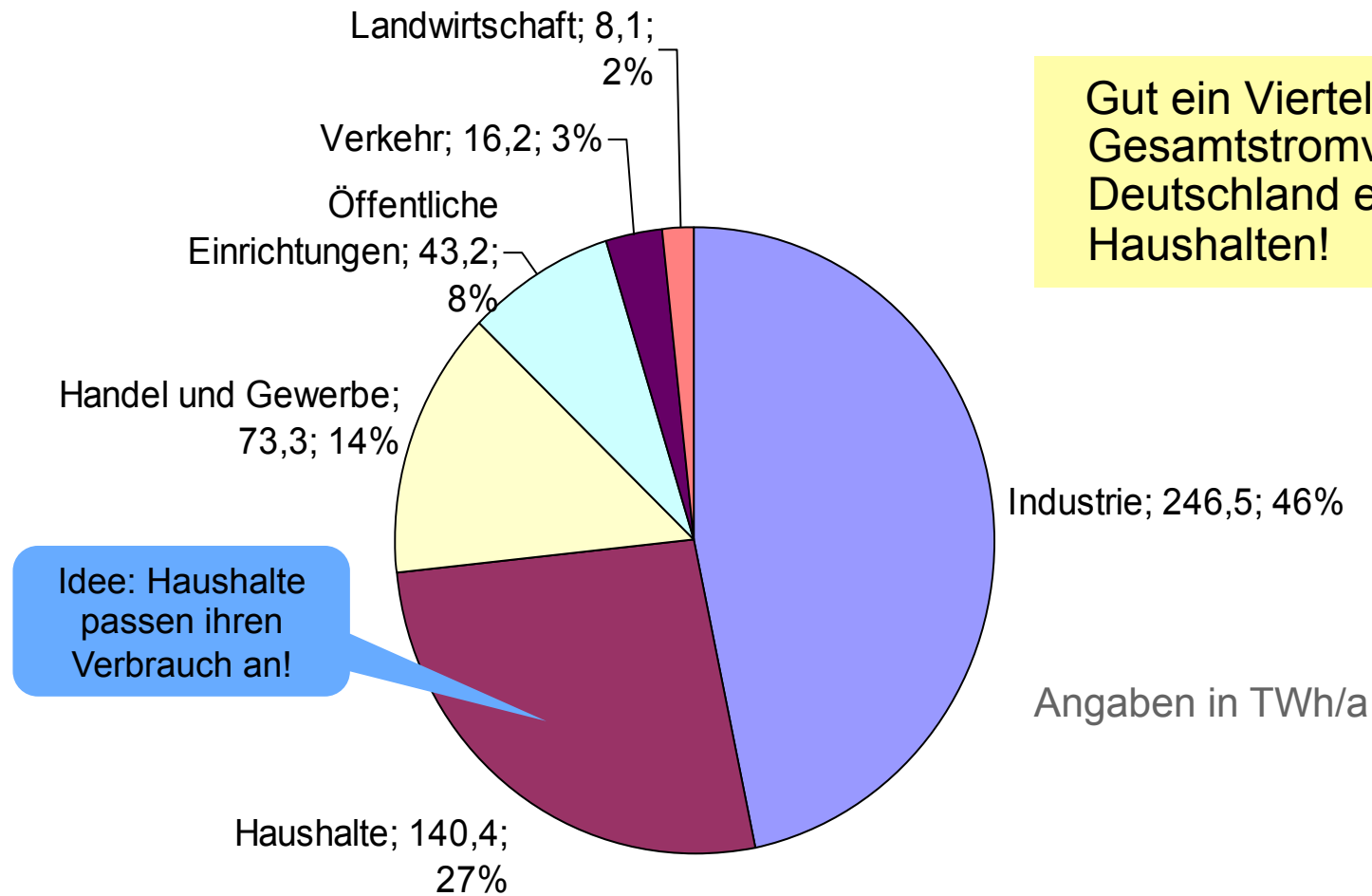
- Verbrauchernahe Energieerzeugung fossiler Großkraftwerke
- Zeitliche und räumliche Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch im regenerativ geprägten Smart Grid

► 3 Handlungsbedarf auf Verbraucherseite



► 4 Suche nach geeigneten Verbrauchern

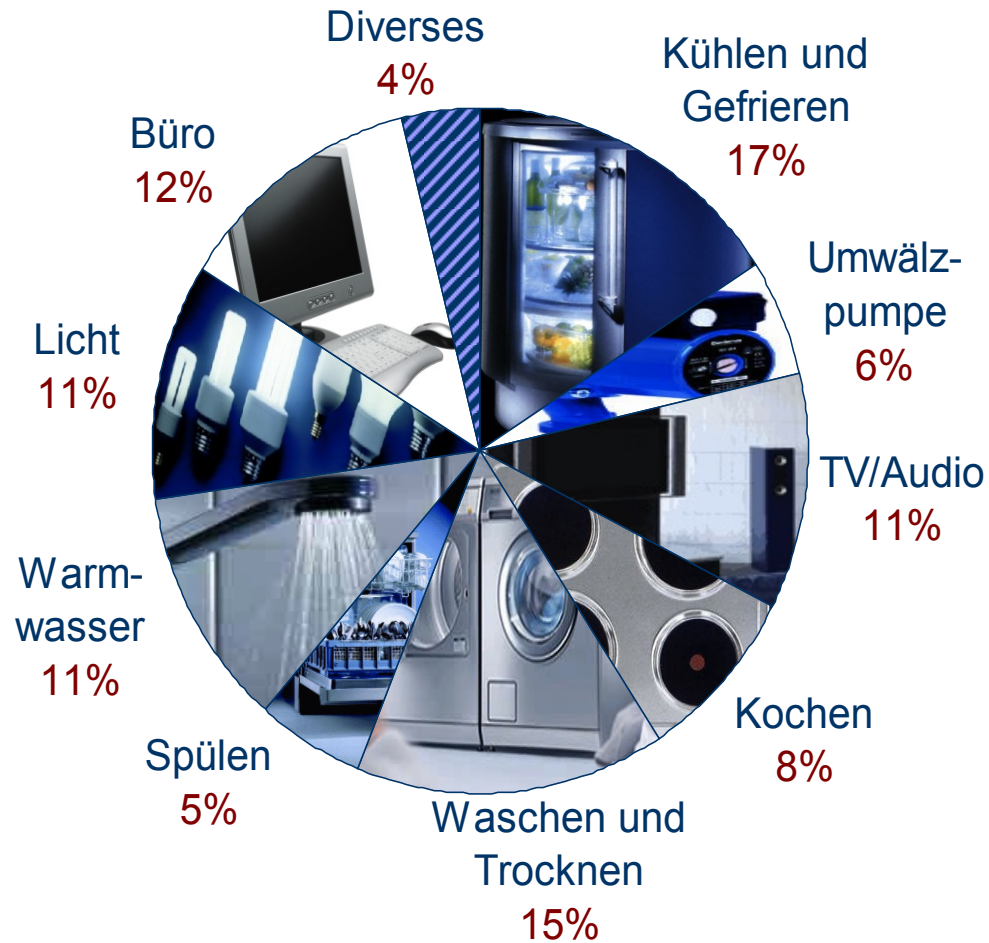
Gesamtstromverbrauch nach Sektoren



Quelle: VDEW, 2004

► 5 Welche Geräte sind am Verbrauch beteiligt?

Spurensuche im Haushalt



Große Anteile für Kühlen, Gefrieren und Warmwasser

Wäschetrockner besonders verbrauchsintensiv

Auf dem „Vormarsch“:
IuK-Technik

Quelle: Energieagentur NRW, 2006

► 6 Lastanpassbarkeit von Haushaltsgeräten

Klassifizierung von Verbrauchertypen

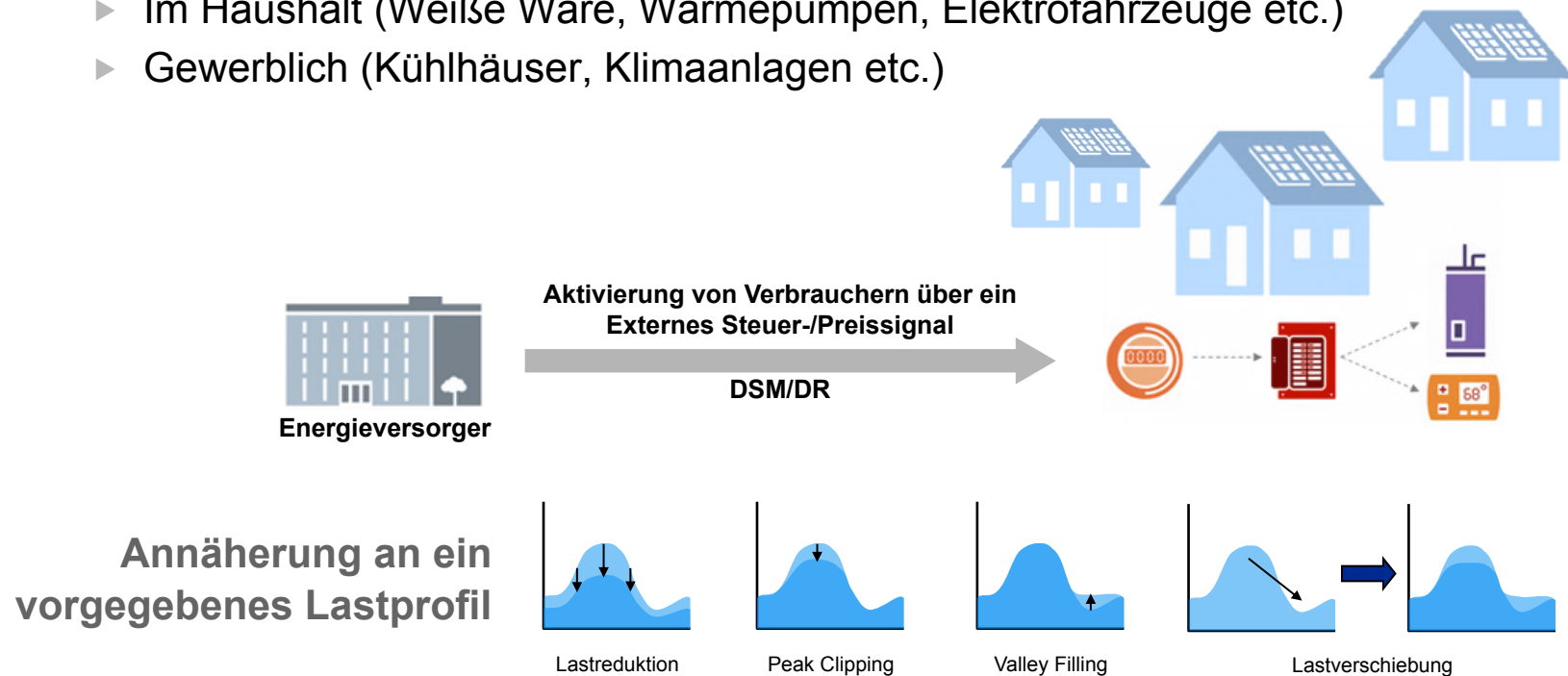
	Klimaanlage, Kühlschrank, Heizungspumpe, Warmwasserboiler	Waschmaschine, Spülmaschine, ...	Licht, TV, Herd, ...
Erwartete Leistung	Temperatur muss in einem gegebenen Intervall liegen	Job muss zu gegebener Zeit erledigt sein	Muss direkt verfügbar sein
Kontrolle	Vollautomatisch möglich	Halbautomatisch (Verbraucher spezifiziert Zeithorizont)	Nur direkt durch den Verbraucher
Anteil am HH-Verbrauch in Deutschland	ca. 35%	ca. 20%	ca. 45%

► 12 Demand Side Management/Demand Response

Intelligentes Verschieben von Lasten in Smart Grids

► Nutzung von Lastflexibilitäten

- Lastverschiebepotenzial von Verbrauchern und Erzeugern mit zeitflexiblen Betriebszyklen
- Im Haushalt (Weiße Ware, Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge etc.)
- Gewerblich (Kühlhäuser, Klimaanlage etc.)



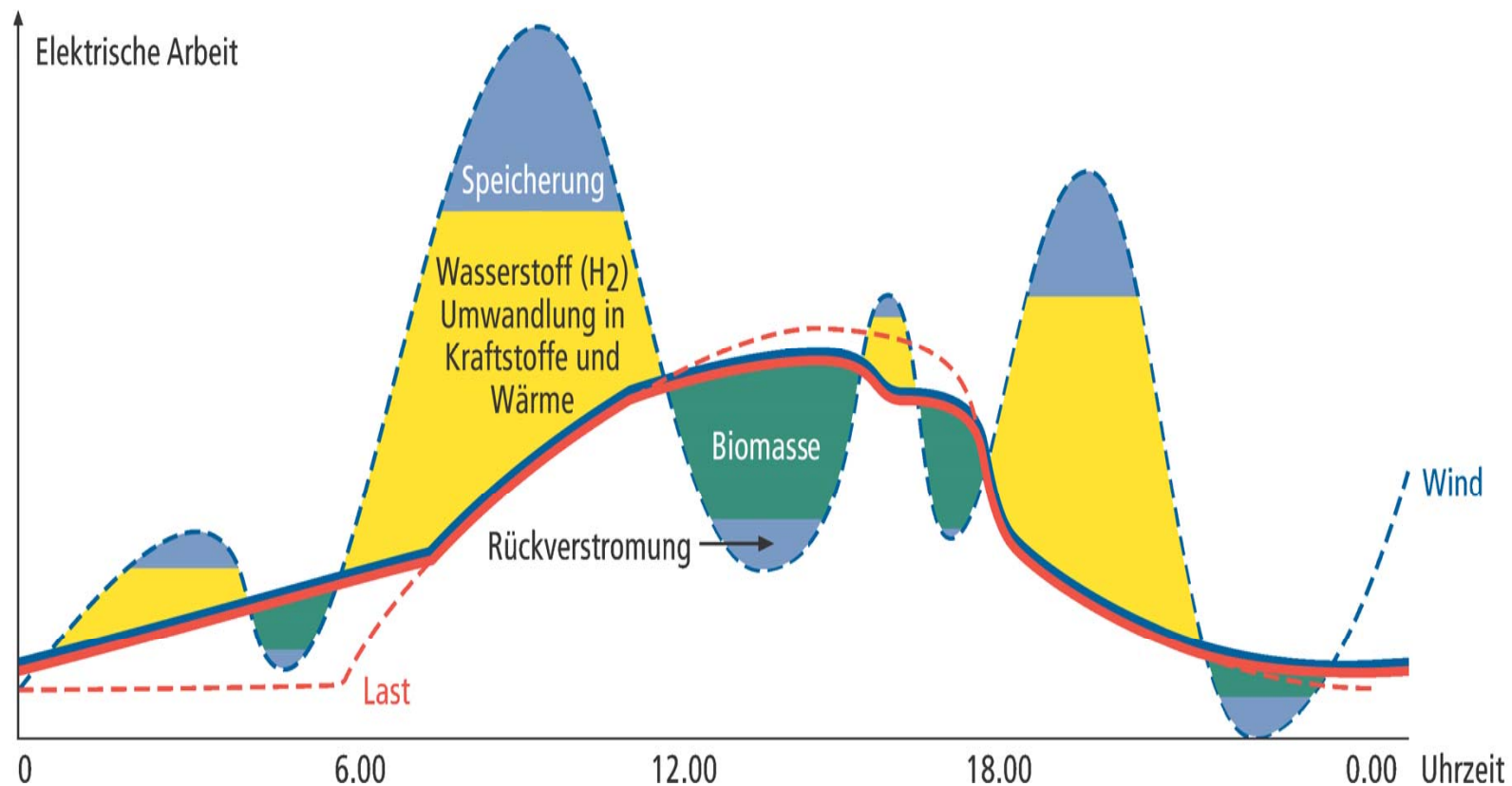
► *Was passiert wenn das nicht reicht?*

- Domänenübergreifende Flexibilisierung → Hybridnetze

► 13 Hybridnetze

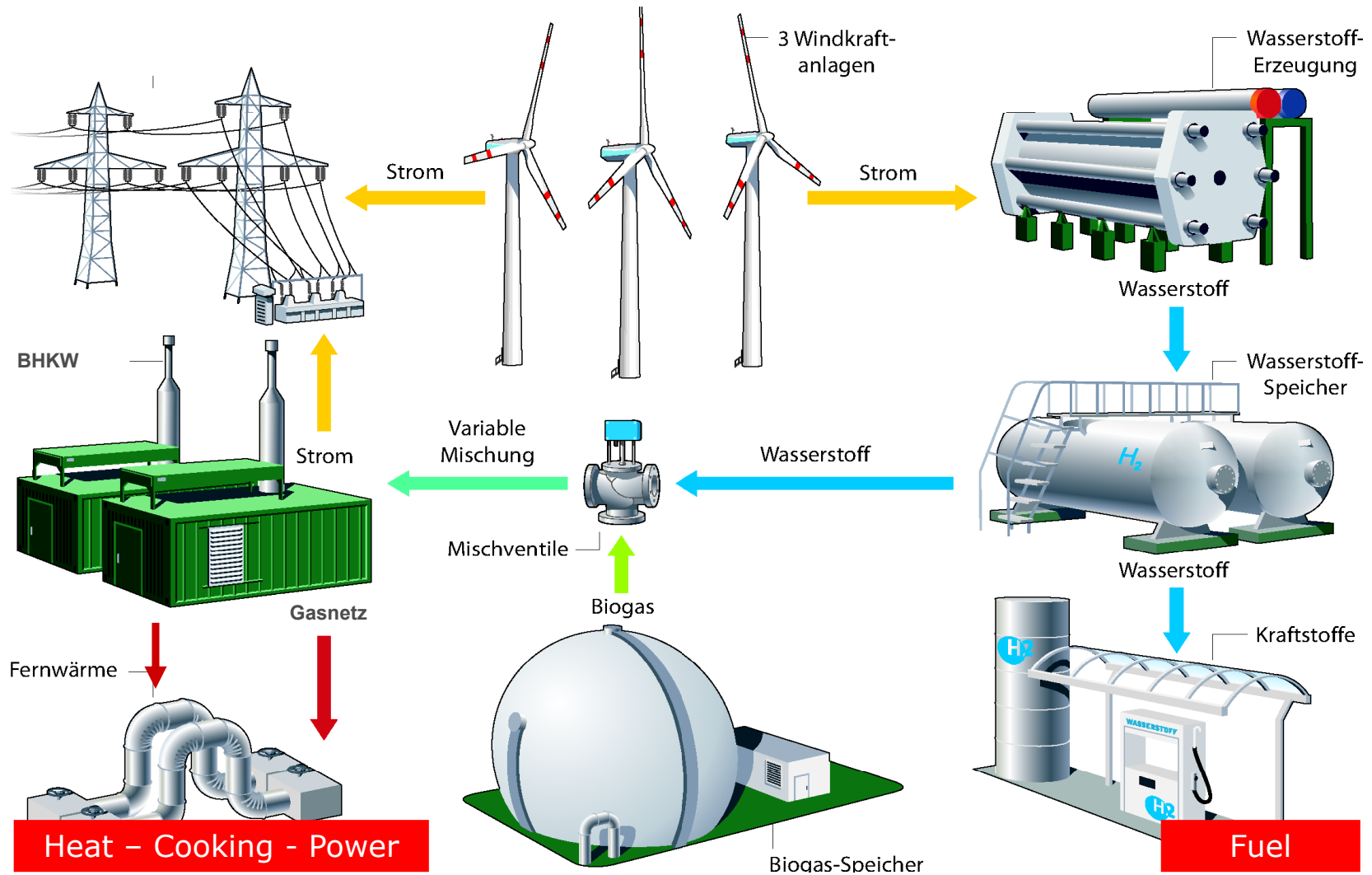
Domänenübergreifendes Last- und Erzeugungsmanagement

- IKT-gestützte Verschmelzung von Strom-, Gas- und Fernwärmenetzen sowie der Versorgungsnetzen für Kraftstoffe
- Domänenübergreifende Bilanzierung des Energiebedarfs



Quelle: W. Diwald, ENERTRAG AG,

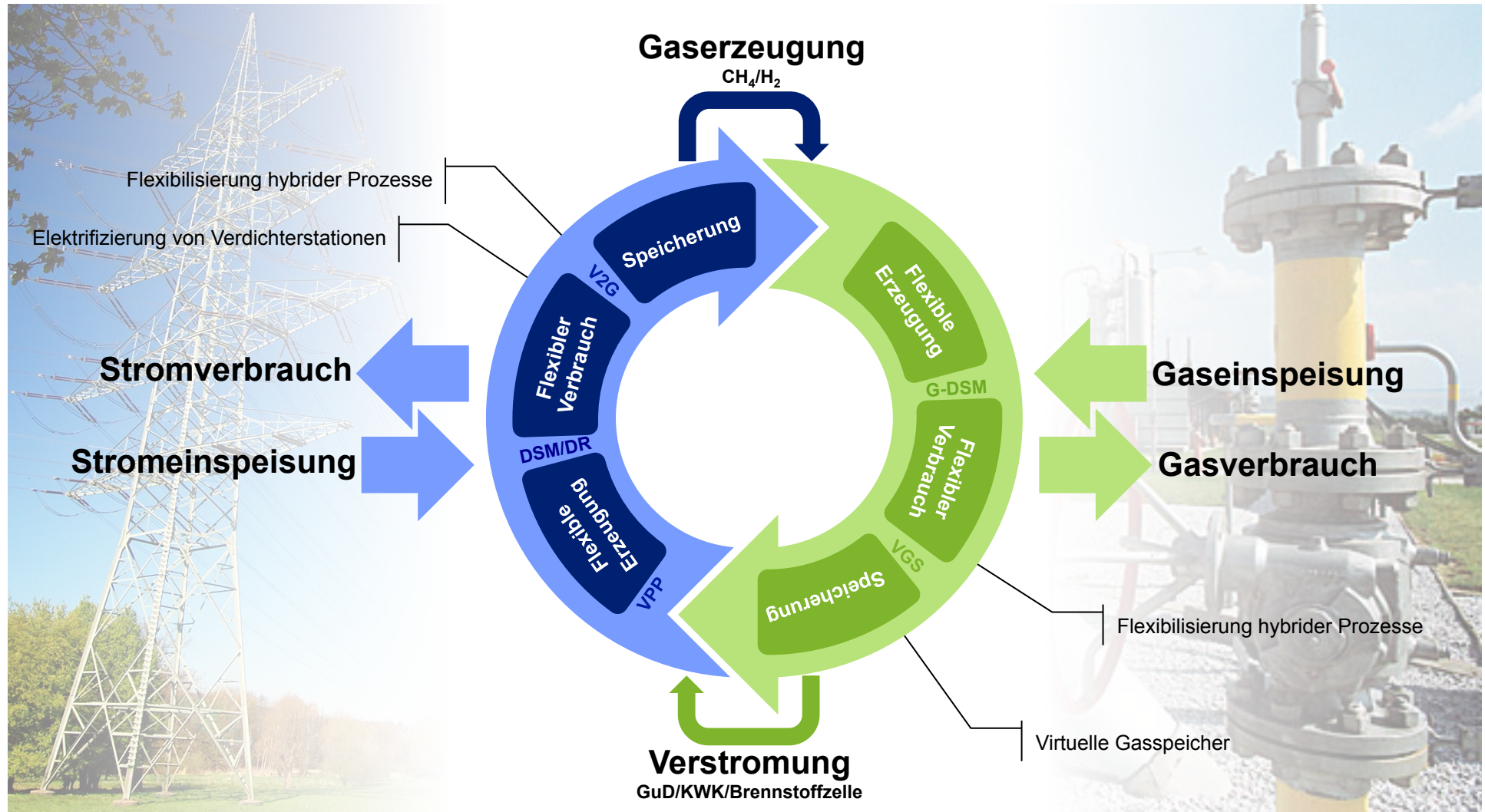
► 14 Power2Gas(2{Heat;Fuel}) Wandlungsprozesse



Quelle: W. Diwald, ENERTRAG AG,

► 15 Power2Gas(2Power)

Prozesskopplung und zusätzliche Flexibilitäten

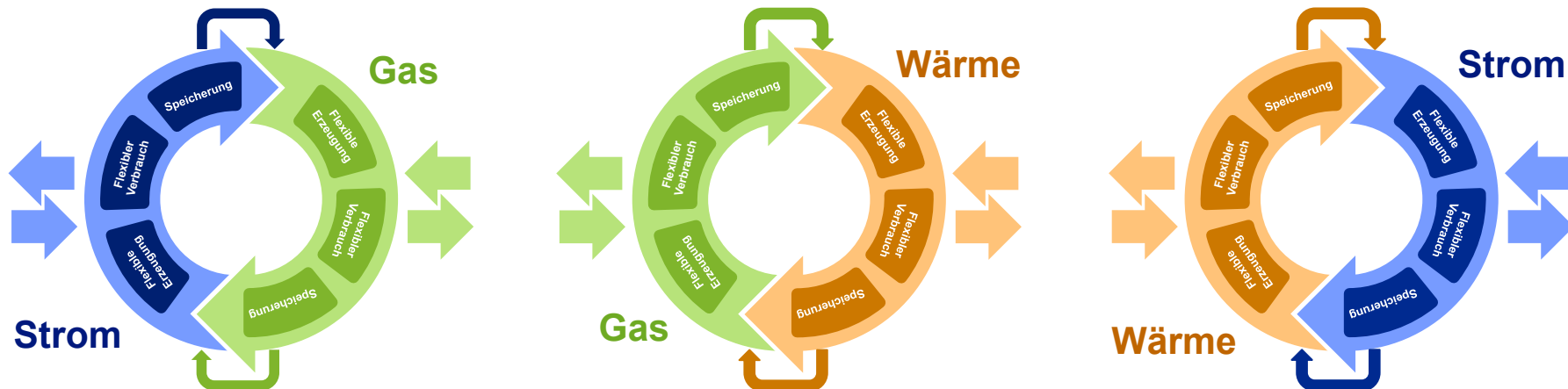


► 16 Domänenübergreifende Prozesskopplung

Zunahme möglicher Freiheitsgrade

Integrierte Betrachtung von Strom-, Gas-, Wärme- und Verkehrssektor im Hybridnetz

- Anzahl der 1-dimensionalen Kopplungsprozesse
 - bei 3 Domänen: 3
 - bei 4 Domänen: 6



- Mehrdimensionale Kopplungsprozesse...

➔ Prozessdistanzminimierung im Hybridnetz über Smart Grid Optimierungsansätze, komplementäre Ansätze im Gas-/Wärme-/Verkehrsnetz, sowie Prozesskopplung

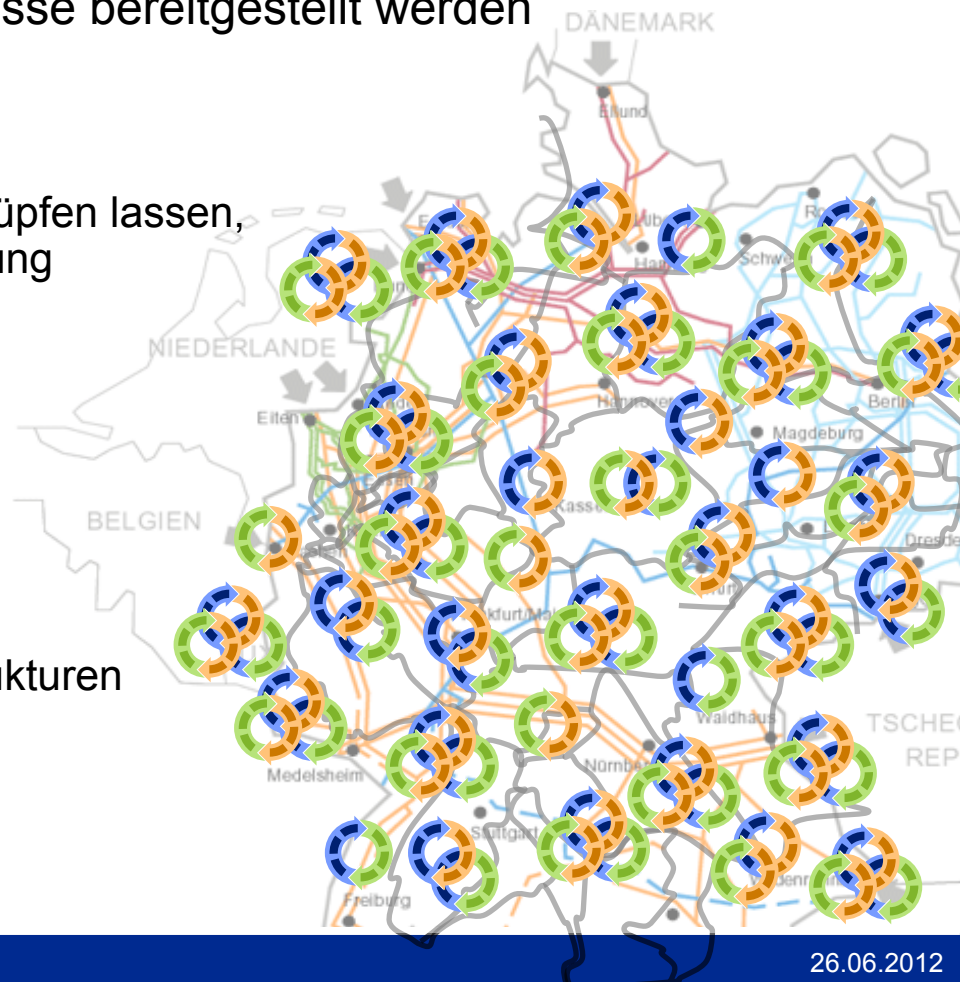
► 17 Domänenübergreifende Prozesskopplung

Regional/zeitlich unterschiedliche Verfügbarkeiten

Es existieren für viele Energiebedarfe regional unterschiedliche Alternativen an nutzbaren Energieträgern

- ▶ Bsp.: Wärme kann sowohl durch Solarthermie, Strom oder die Verbrennung von Erdgas oder Biomasse bereitgestellt werden
 - ▶ Unterschiedliche „Prozesskosten“
- ▶ Dort wo sich Energieinfrastrukturen verknüpfen lassen, besteht die Möglichkeit zur Prozesskopplung
 - ▶ Wandlungsprozesse
 - ▶ „bivalente Verbraucher“
- ▶ Energieangebot und -nachfrage schwanken zeitlich und räumlich!
 - ▶ spontane Umschaltung zwischen Energieträgern und flexiblen Infrastrukturen

➡ Automatisierte Lösungen erforderlich!



► 18 Domänenübergreifende Optimierung

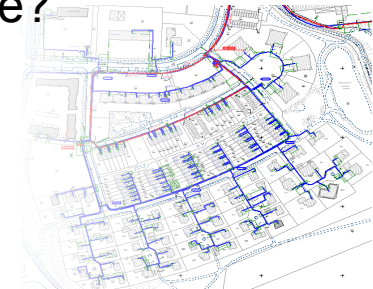
Berücksichtigung der Komplexitätsfalle

Planungsprobleme:

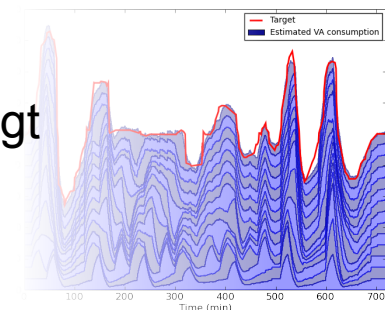
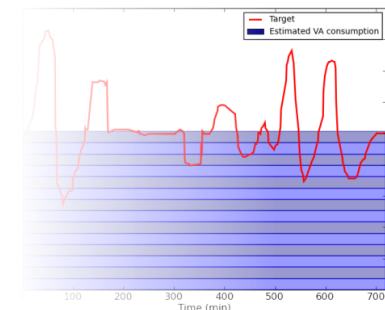
- Wo unterstützt die vorhandene Infrastruktur Kopplungsprozesse?
- Wo ist das größte Potenzial für Kopplungen?

Betriebliche Optimierung:

- Wandlungsprozesse
- Nutzung von Prozesskopplungen (z.B. bivalente Verbraucher)
- räumliche und zeitliche Flexibilisierung entlang der $Power(2\{Gas;Heat;Fuel;Power\})^*$ -Prozesskette



Quelle: TU Braunschweig



➡ Achtung „Komplexitätsfalle“¹!

- lückenhafte, einzelfallgetriebene, heterogene IKT
- uneinheitliche Lösungen (hohe Integrationskosten)
- Potenziale möglicher Flexibilisierungen bleiben unberücksichtigt
- **Fehlender Anreiz für Ausbau/Hybridisierung!**

¹Nach den Schlüsselszenarien der acatech-Studie „Future Energy Grid – Migrationspfade ins Internet der Energie“

► 19 Integrierte Energieinformationsnetze und -systeme

Für eine gesamtsystemische Optimierung

Bewährte Konzepte in der IKT:

- Hierarchisierung/Verteilung
- **verteilte Systemintelligenz!**

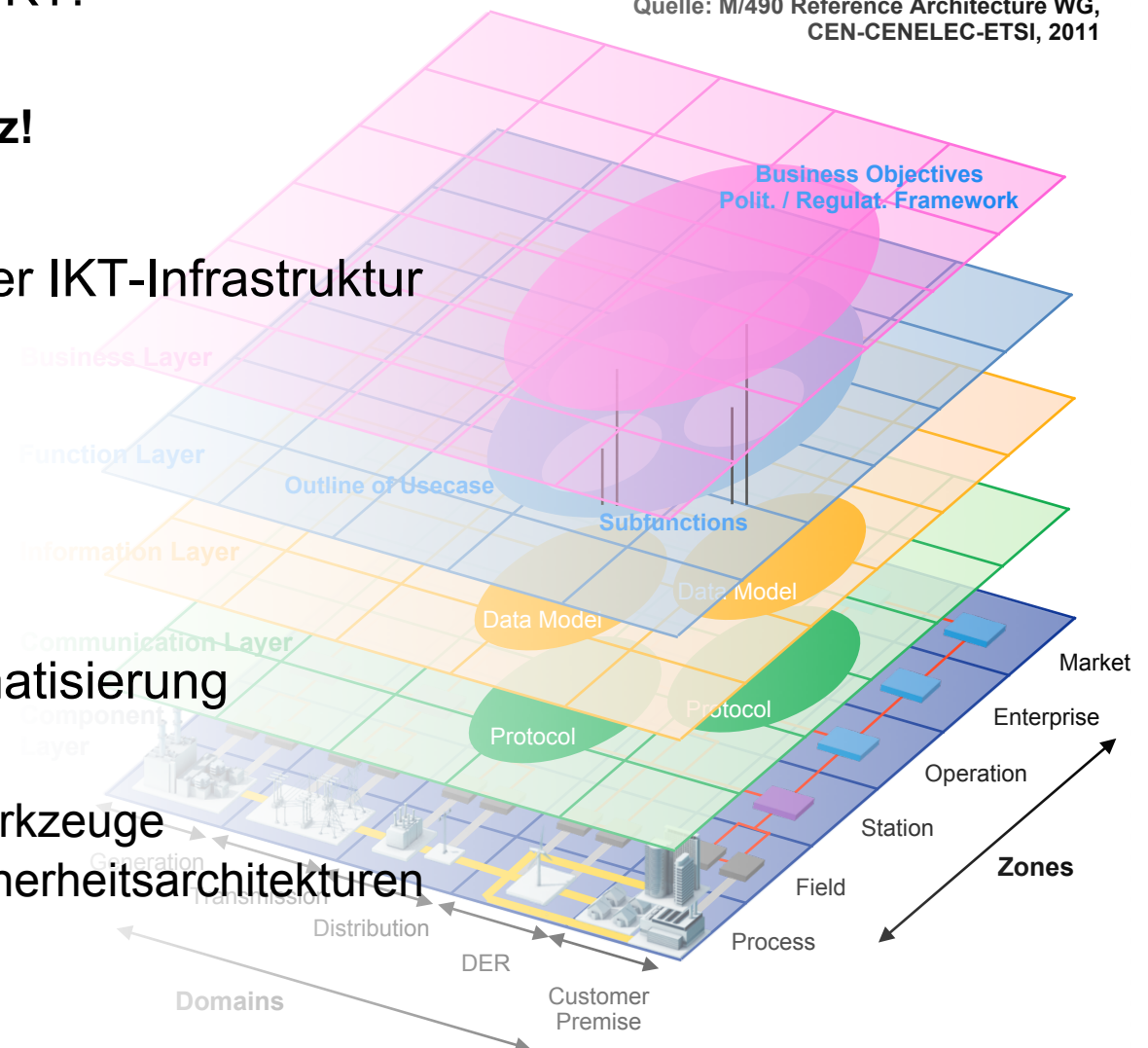
Adäquate Ausgestaltung der IKT-Infrastruktur notwendig

- Datendrehscheibe
- „Internet der Energie“

Standards und Normen für Kommunikation und Automatisierung

- Definition von Profilen
- Entwicklung geeigneter Werkzeuge
- integrierter Einsatz von Sicherheitsarchitekturen

Quelle: M/490 Reference Architecture WG,
CEN-CENELEC-ETSI, 2011



► 20 Fazit

Von Smart Grids über Hybridnetze zu Cyber-Physical Systems

- ▶ Betrieb und Optimierung eines (stromgeführten) Hybridnetzes über den Ansatz einer IKT-gestützten Prozessschrittminimierung möglich
- ▶ Das Gesamtsystem hat im Vergleich zum Smart Grid eine nochmals deutlich gesteigerte Komplexität
 - ▶ Strom-, Gas- und Fernwärmenetze, Versorgungsnetze für Kraftstoffe
- ▶ Die Betriebsführung ist nur über verteilte IKT-Ansätze möglich
- ▶ Energieinformationsnetz mit verteilter Systemintelligenz

➡ Cyber-Physical Systems

- ▶ Planung/Optimierung erfordert regionalisierte Ansätze
- ▶ Migrationspfade müssen frühzeitig aufgezeigt werden
- ▶ **Es bedarf systemisch wirkender Förderanreize!**

