

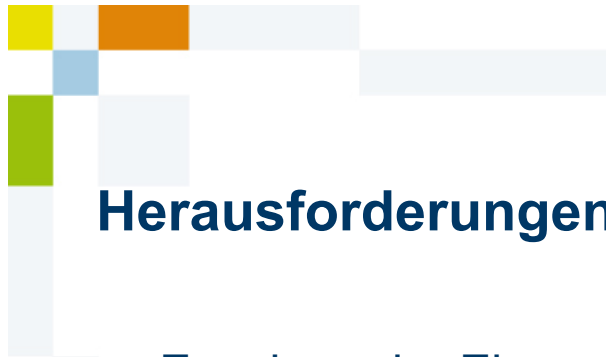
**acatech – DEUTSCHE AKADEMIE
DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN**

**HYBRIDNETZE
für die Energiewende – zwischen zentralen
und dezentralen Systemarchitekturen**

Prof. Dr. Sebastian Lehnhoff – acatech Projektgruppe „Hybridnetze“

**OFFIS – Institut für Informatik
FuE Bereich Energie**

Bremen, 8. Januar 2014

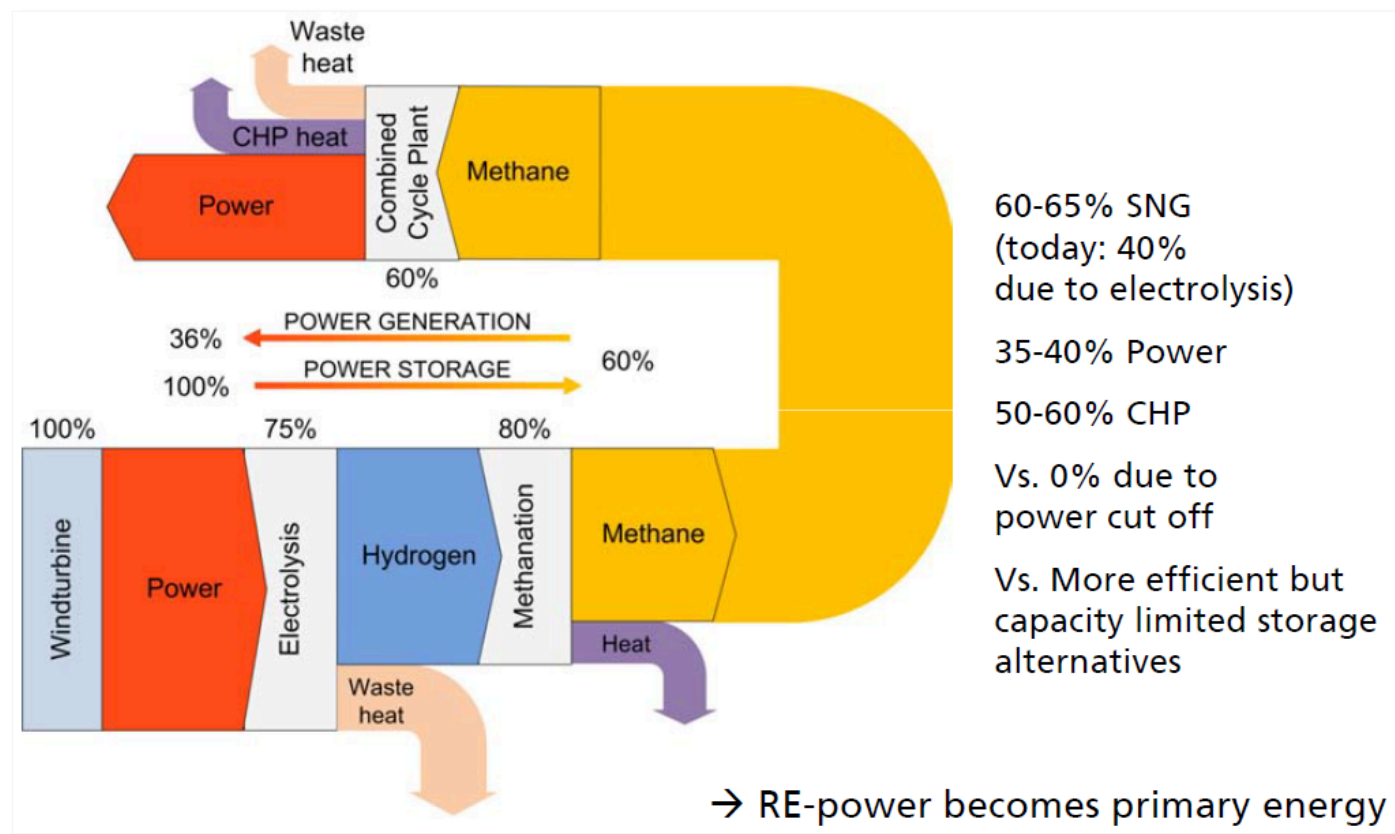


Herausforderungen an eine zukünftige Energieversorgung

- > Zunahme der Einspeisung aus dargebotsabhängiger dezentraler Erzeugung
 - Erhöhung des Speicher- und Transportbedarfs
- > Flexibilisierung von Erzeugung und Verbrauch (Smart Grids)
 - Zeitliche (und räumliche) Kopplung beider Prozesse
- > Domänenübergreifende Flexibilisierung
 - Verknüpfung von Infrastrukturen
 - Identifikation geeigneter Kopplungsprozesse
- > acatech Projektgruppe „Hybridnetze“
 - 30 Vertreter aus Wissenschaft, Industrie und Politik
 - Materialband „Hybridnetze für die Energiewende – Forschungsfragen aus Sicht der IKT“

Power-to-Gas

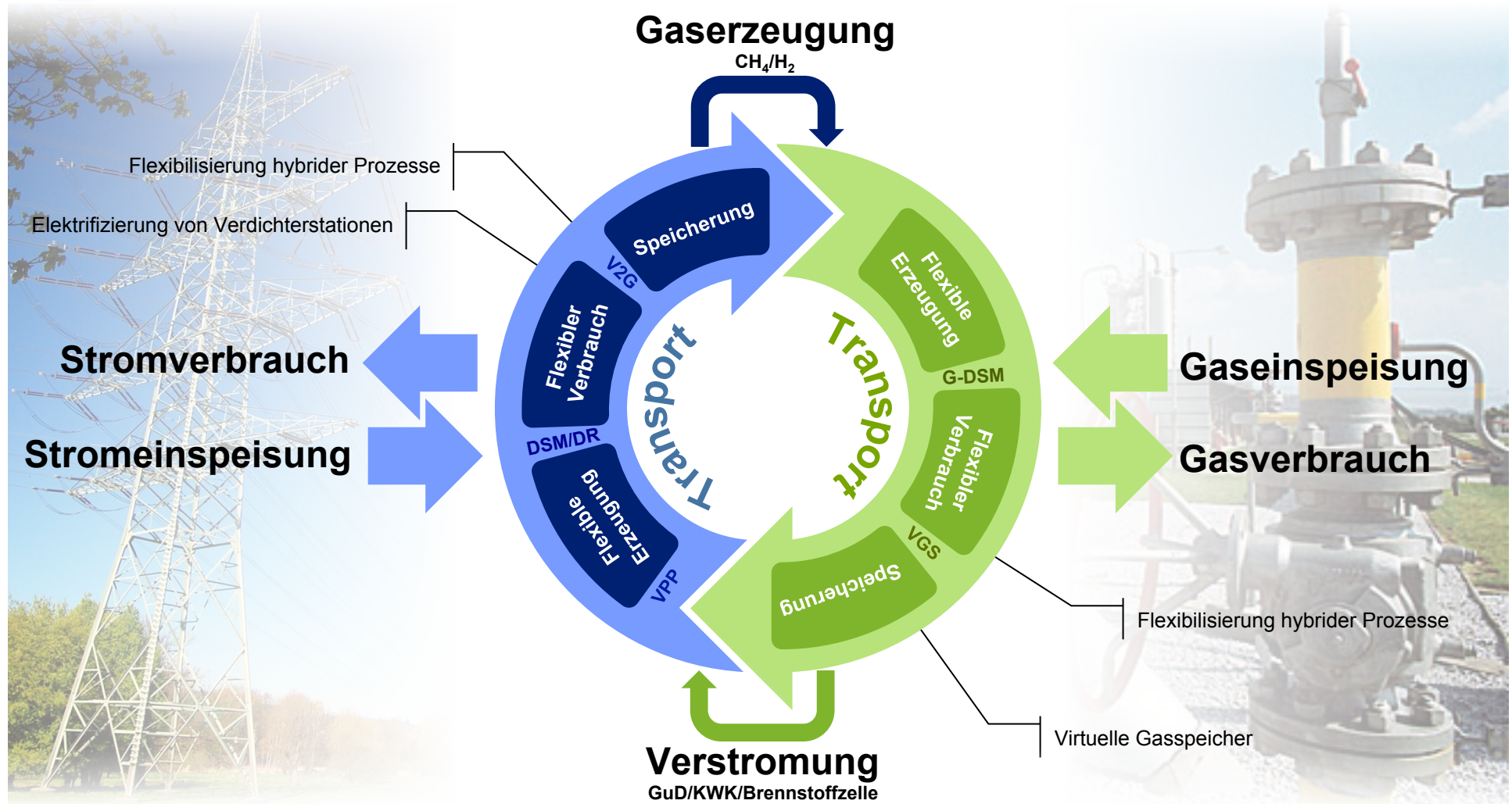
Nutzung (saisonaler) Gasspeicher für den Ausgleich volatiler Erzeugung



Quelle: M. Sterner, 2009, Fraunhofer IWES, ZSW, Solarfuel



Power-to-Gas(-to-Power) Prozesskopplung



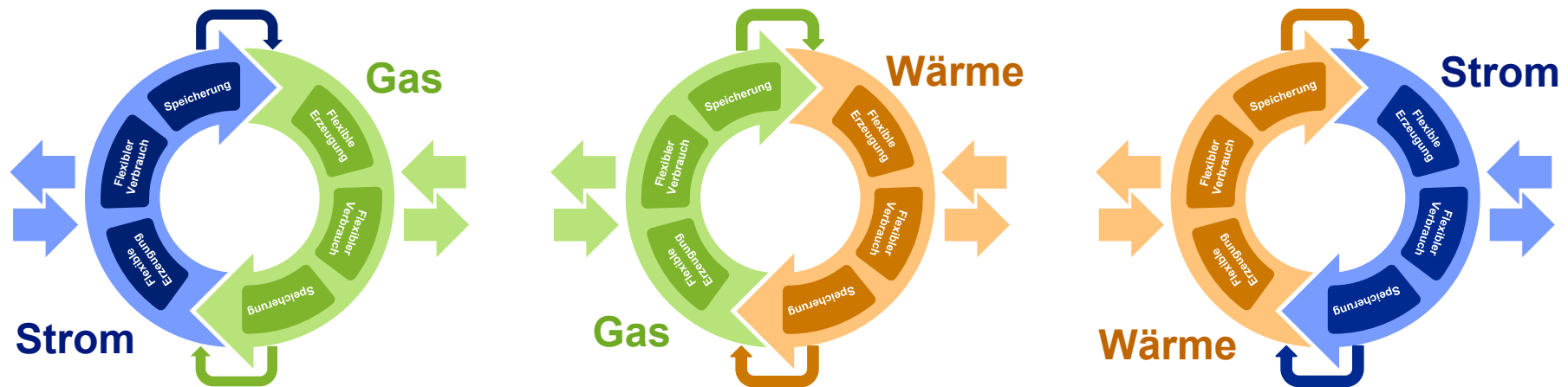
Domänenübergreifende Prozesskopplung

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, Prozesskopplung...

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!**



Domänenübergreifende Optimierung

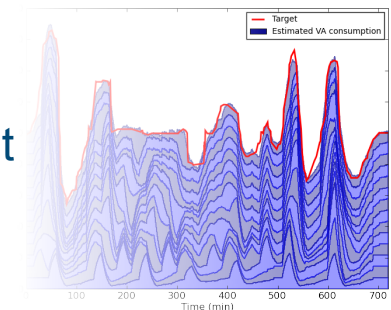
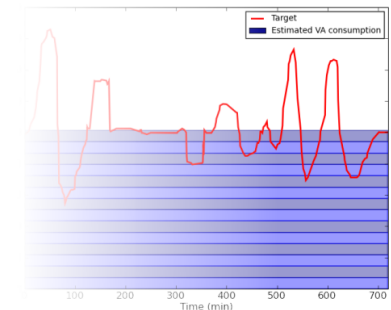
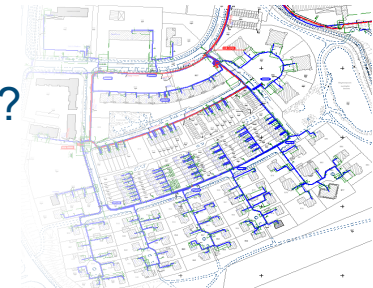
Berücksichtigung der Komplexitätsfalle

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(-to-{Gas;Heat;Mobility;Power})*-Prozesskette



Quelle: OFFIS

Achtung Komplexitätsfalle! [FEG2012]

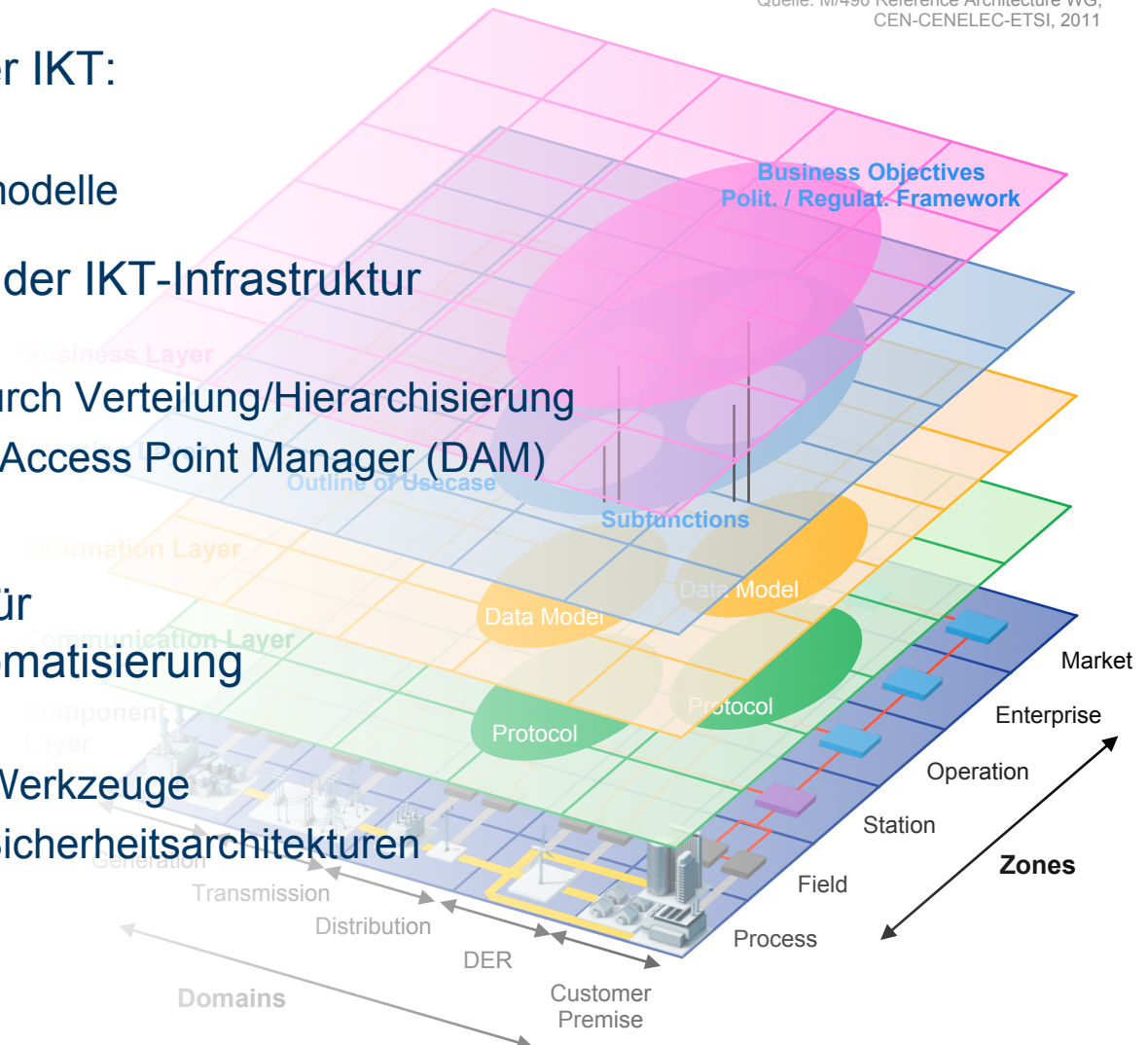
- > lückenhafte, einzelfallgetriebene, heterogene IKT
- > uneinheitliche Lösungen (hohe Integrationskosten)
- > Potenziale möglicher Flexibilisierungen bleiben unberücksichtigt
- > **Fehlender Anreiz für Ausbau/Hybridisierung!**

Integrierte Energieinformationsnetze und -systeme

Für eine gesamtsystemische Optimierung

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

- > Bewährte Konzepte in der IKT:
 - Anwendungsfälle
 - Referenzarchitekturen/-modelle
- > Adäquate Ausgestaltung der IKT-Infrastruktur notwendig
 - Komplexitätsreduktion durch Verteilung/Hierarchisierung
 - Datendrehscheibe, Data Access Point Manager (DAM)
 - „Internet der Energie“
- > Standards und Normen für Kommunikation und Automatisierung
 - Definition von Profilen
 - Entwicklung geeigneter Werkzeuge
 - integrierter Einsatz von Sicherheitsarchitekturen





Ordnungsrahmen für Hybridnetze

- > Zeitliche und räumliche Differenzierung von Kopplungs- und Speicherprozessen
- > Identifikation „relevanter“ Domänen
 - Speicher- und Transportkapazitäten (zeitlich und räumlich differenzierbar)
 - Räumlich flächendeckende Infrastruktur
 - Dezentraler (bidirektionaler) Zugang
- > Energienetze in Deutschland (sortiert nach Endenergieverbrauch)
 - Mineralöl
 - Gas
 - Strom
 - Wärme

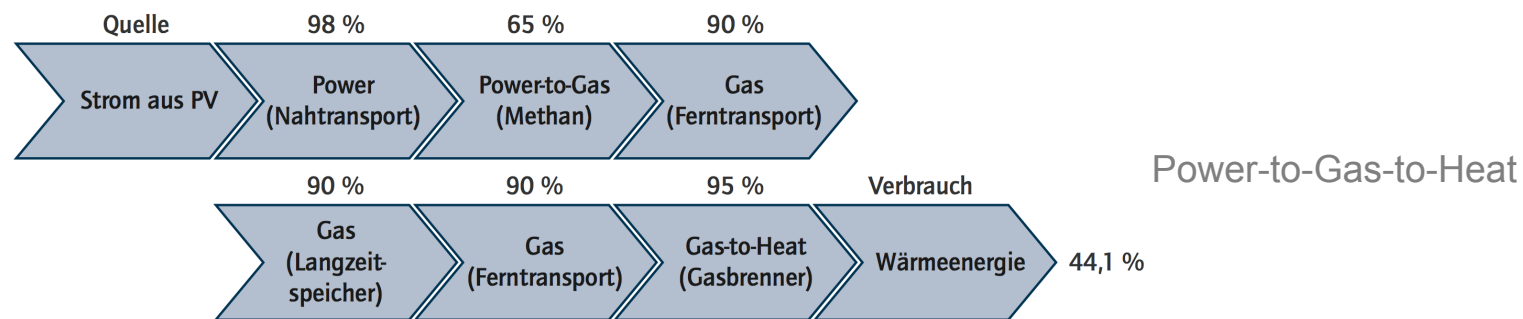
*im Fokus
weiterer
Betrachtungen*

Ordnungsrahmen für Hybridnetze (cont'd)

	Power	Gas	Heat												
Power	<table><tr><td>Kurzzeitspeicher Effizienz: 90% Kosten: hoch</td><td>Nahtransport Effizienz: 98% Kosten: mittel</td></tr><tr><td>Langzeitspeicher Effizienz: 40% (Druckluftsp.) 75% (Pumpspeicher) Kosten: hoch</td><td>Ferntransport Effizienz: 93% Kosten: mittel</td></tr></table>	Kurzzeitspeicher Effizienz: 90% Kosten: hoch	Nahtransport Effizienz: 98% Kosten: mittel	Langzeitspeicher Effizienz: 40% (Druckluftsp.) 75% (Pumpspeicher) Kosten: hoch	Ferntransport Effizienz: 93% Kosten: mittel	<table><tr><td colspan="2">Power-to-Gas Wirkungsgrad: 75% / 65% (H₂, CH₄)</td></tr><tr><td colspan="2">Kosten: mittel</td></tr></table>	Power-to-Gas Wirkungsgrad: 75% / 65% (H ₂ , CH ₄)		Kosten: mittel		<table><tr><td colspan="2">Power-to-Heat Wirkungsgrad: 100% / 300% (Widerstand, WP)</td></tr><tr><td colspan="2">Kosten: gering/mittel WP: Wärmepumpe</td></tr></table>	Power-to-Heat Wirkungsgrad: 100% / 300% (Widerstand, WP)		Kosten: gering/mittel WP: Wärmepumpe	
	Kurzzeitspeicher Effizienz: 90% Kosten: hoch	Nahtransport Effizienz: 98% Kosten: mittel													
Langzeitspeicher Effizienz: 40% (Druckluftsp.) 75% (Pumpspeicher) Kosten: hoch	Ferntransport Effizienz: 93% Kosten: mittel														
Power-to-Gas Wirkungsgrad: 75% / 65% (H ₂ , CH ₄)															
Kosten: mittel															
Power-to-Heat Wirkungsgrad: 100% / 300% (Widerstand, WP)															
Kosten: gering/mittel WP: Wärmepumpe															
Gas	<table><tr><td colspan="2">Gas-to-Power Wirkungsgrad: 40% / 60% (BHKW, GuD & BZ)</td></tr><tr><td colspan="2">Kosten: mittel (GT, GuD, BZ) GT: Gastherme, GuD: Gas und Dampf, BZ: Brennstoffzelle</td></tr></table>	Gas-to-Power Wirkungsgrad: 40% / 60% (BHKW, GuD & BZ)		Kosten: mittel (GT, GuD, BZ) GT: Gastherme, GuD: Gas und Dampf, BZ: Brennstoffzelle		<table><tr><td>Kurzzeitspeicher Effizienz: 100% Kosten: gering</td><td>Nahtransport Effizienz: 95% Kosten: mittel</td></tr><tr><td>Langzeitspeicher Effizienz: 90% Kosten: gering</td><td>Ferntransport Effizienz: 90% Kosten: gering</td></tr></table>	Kurzzeitspeicher Effizienz: 100% Kosten: gering	Nahtransport Effizienz: 95% Kosten: mittel	Langzeitspeicher Effizienz: 90% Kosten: gering	Ferntransport Effizienz: 90% Kosten: gering	<table><tr><td colspan="2">Gas-to-Heat Wirkungsgrad: 95% (Brenner)</td></tr><tr><td colspan="2">Kosten: gering</td></tr></table>	Gas-to-Heat Wirkungsgrad: 95% (Brenner)		Kosten: gering	
	Gas-to-Power Wirkungsgrad: 40% / 60% (BHKW, GuD & BZ)														
Kosten: mittel (GT, GuD, BZ) GT: Gastherme, GuD: Gas und Dampf, BZ: Brennstoffzelle															
Kurzzeitspeicher Effizienz: 100% Kosten: gering	Nahtransport Effizienz: 95% Kosten: mittel														
Langzeitspeicher Effizienz: 90% Kosten: gering	Ferntransport Effizienz: 90% Kosten: gering														
Gas-to-Heat Wirkungsgrad: 95% (Brenner)															
Kosten: gering															
Heat	<table><tr><td colspan="2">Heat-to-Power Wirkungsgrad:</td></tr><tr><td colspan="2">Kosten:</td></tr></table>	Heat-to-Power Wirkungsgrad:		Kosten:		<table><tr><td colspan="2">Heat-to-Gas Wirkungsgrad:</td></tr><tr><td colspan="2">Kosten:</td></tr></table>	Heat-to-Gas Wirkungsgrad:		Kosten:		<table><tr><td>Kurzzeitspeicher Effizienz: 95% Kosten: gering</td><td>Nahtransport Effizienz: 90% Kosten: mittel</td></tr><tr><td>Langzeitspeicher Effizienz: 75% Kosten: mittel</td><td>Ferntransport Effizienz: 85% Kosten: hoch</td></tr></table>	Kurzzeitspeicher Effizienz: 95% Kosten: gering	Nahtransport Effizienz: 90% Kosten: mittel	Langzeitspeicher Effizienz: 75% Kosten: mittel	Ferntransport Effizienz: 85% Kosten: hoch
	Heat-to-Power Wirkungsgrad:														
Kosten:															
Heat-to-Gas Wirkungsgrad:															
Kosten:															
Kurzzeitspeicher Effizienz: 95% Kosten: gering	Nahtransport Effizienz: 90% Kosten: mittel														
Langzeitspeicher Effizienz: 75% Kosten: mittel	Ferntransport Effizienz: 85% Kosten: hoch														
Legende	technisch & wirtschaftlich nicht im Fokus	Effizienz & Kosten berücksichtigen nur den jeweiligen Wandlungs- prozess zwischen den Domänen.	Speicherung & Transport innerhalb der Domäne												

Bewertung von Prozessketten im Hybridnetz

> Identifikation vielversprechender Geschäfts-/Anwendungsfälle



> Weitere Energiesektoren/-domänen?

- Was ist mit der Mobilität/dem Verkehrssektor?

> Alternative (effizientere) Kopplungsprozesse?

- „Virtuelle“ Kopplungsprozesse
 - Verdichterstationen
 - Thermische Industrie(schmelz)prozesse
 - Multivalente Kopplungsprozesse (Rechenzentren, Smart City-Konzepte etc.)
- „mehr Strom, weniger Gas“ (und umgekehrt)*

Virtuelle Kopplung in den Mobilitätssektor

- > Multivalenter, hochverfügbarer Systemkoppler
- > Aber: Kopplungsprozess ist „Tanken“ nicht „Fahren“
 - Dichtes Tankstellennetz, öffentliche/private Ladestellen
 - Kopplung von Strom- und Gasnetz über (Erdgas-)Tankstellen
- > Zeitliche und räumliche Flexibilisierung der domänenspezifischen Energieabnahme
 - Zeitlich differenzierbare, dynamische Preisgestaltung für Treibstoffe
 - Flächendeckendes Tank- und Ladstellennetz

		Mobility
		Power-to-Mobility
		Wirkungsgrad: 80% / 90% (Antriebsleistung, Batterie)
		Kosten: gering
		Gas-to-Mobility
		Wirkungsgrad: 30% / 50% (CH ₄ Verbrennungsmotor, Brennstoffzelle mit H ₂)
		Kosten: gering
Power		
	Gas	

Hybridnetze für die Energiewende

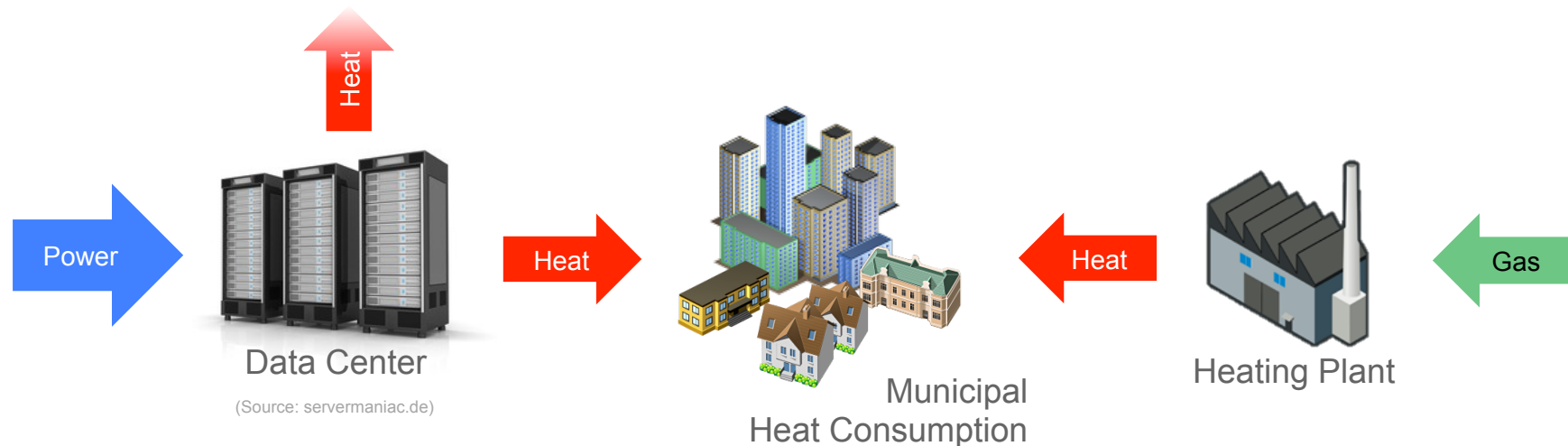
- > Ein Hybridnetz weist im Vergleich zum Smart Grid eine nochmals deutlich höhere Komplexität auf
 - Strom-, Gas- und Fernwärmenetze (, Versorgungsnetze für Kraftstoffe)
- > Die Betriebsführung ist nur über verteilte IKT-Ansätze möglich
 - „*Energieinformationsnetz mit verteilter Systemintelligenz*“
- > Planung/Optimierung erfordert regionalisierte Ansätze
 - Energieangebote und -nachfragen schwanken zeitlich und räumlich!
- > Effiziente Systemarchitekturen identifizieren
- > Migrationspfade frühzeitig aufzeigen
- > **Es bedarf systemisch wirkender Förderanreize!**





Rechenzentren als Energiewandler:

- ▶ Wandelt primär Strom zu Wärme
„eine sehr effiziente Heizung die sich eigenständig kühlt“
- ▶ Spektrum der Abwärme hoch und vom Kühlkonzept abhängig
- ▶ Elektronische Anbindung ausgerichtet auf die maximal geplante IT-Leistung
- ▶ Steigende Leistungsdichte



Energetische Möglichkeiten und Voraussetzungen

- ▶ Wo können welche Prozesse miteinander gekoppelt werden?
- ▶ Wie muss hierfür die Infrastruktur beschaffen sein (IKT, Energieinfrastruktur,...)?
- ▶ Wie können Formen der „energetischen Nachbarschaften“ organisiert werden?
- ▶ Welche ungenutzten energetischen Potentiale können erschlossen werden (Energieeinsparung und Energieerzeugung)?

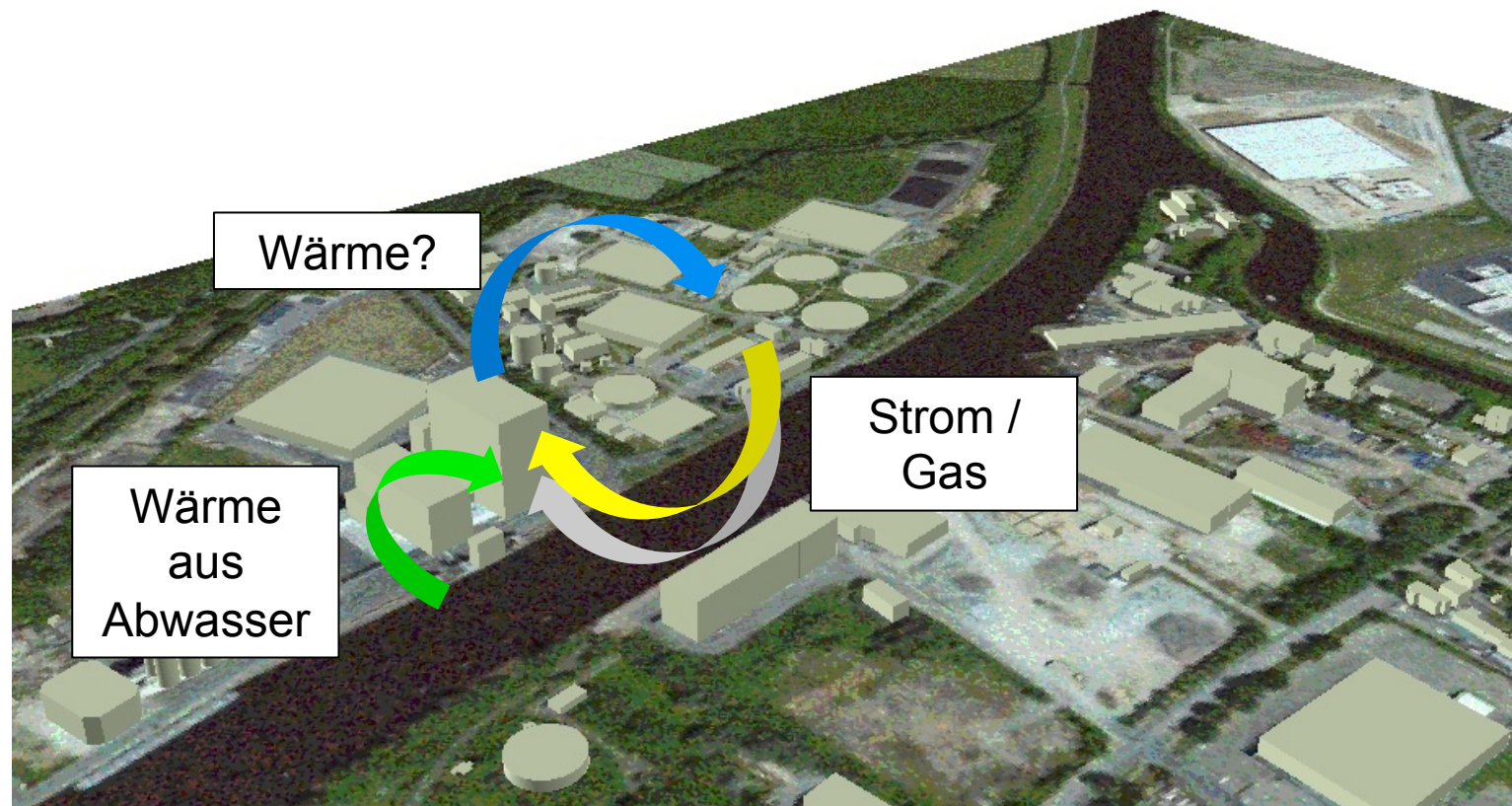
Ineinandergreifen von (Kommunal-)Planung und Energie

- ▶ Können städtebauliche Entwicklungsabsichten mit einbezogen werden?
- ▶ Welche Chancen und Risiken bestehen für ein konkretes Gebiet?

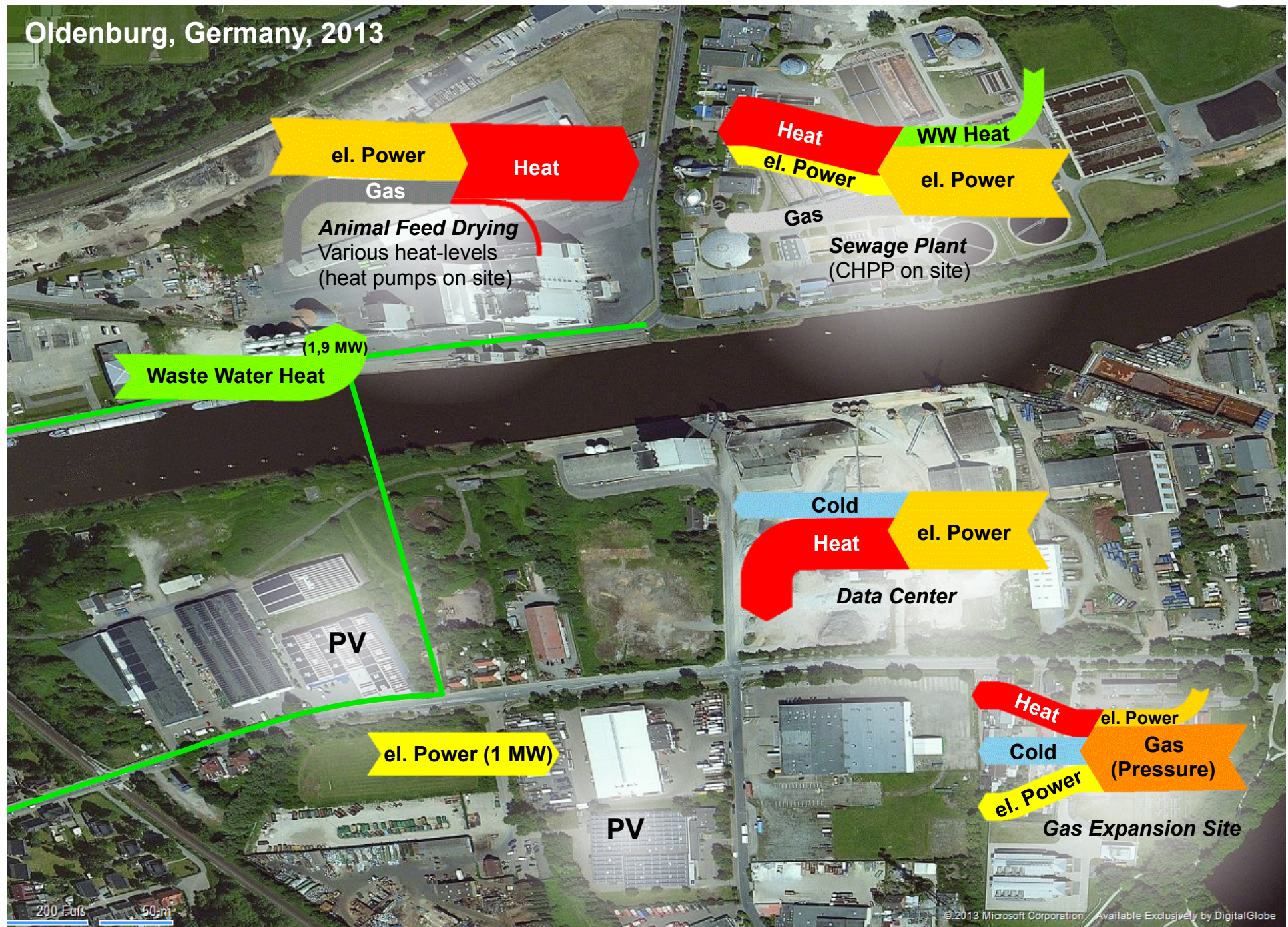
► Energetische Nachbarschaften

Beispiel Kläranlage + Futtermittelverarbeitung

- Kläranlage mit Wärmebedarf und Biogaserzeugung
- Futtermittelverarbeitung mit hohem Strom- und Gasbedarf



Oldenburg, Germany, 2013



► (Hybride) Energetische Nachbarschaften

Stakeholder (OL Tweelbäke)

- diverse Unternehmen mit hohem Wärmeumsatz
- Solarfeld Tweelbäke (4,4 MW), große Solaranlagen auf diversen Dächern
- Sehr heterogene Zusammensetzung (IT, Logistik, Baustoffe etc.)
- Verkehr und Logistik zusätzliches Thema



...zu Energetischen Nachbarschaften

Hybridnetze

- Verknüpfung ausgedehnter, flächendeckender Infrastrukturen
- „Zentrale“ Kontrolle, Optimierung
- Querverbünde (Netzbetreiber, Stadtwerke etc.)

Energetische Nachbarschaften

- Verknüpfung regional benachbarter energetischer Prozesse
 - Industrie-/Fertigungsprozesse
 - Kommunale Infrastrukturen
- Lokale teilautarke Lösungen (z.B. Zero Emission Parks)
- Dezentrale Kontrolle, Optimierung





Vielen Dank!

Prof. Dr. Sebastian Lehnhoff
FuE Bereich Energie
lehnhoff@offis.de