

# acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN

## Hybridnetze für Smart Regions

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

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

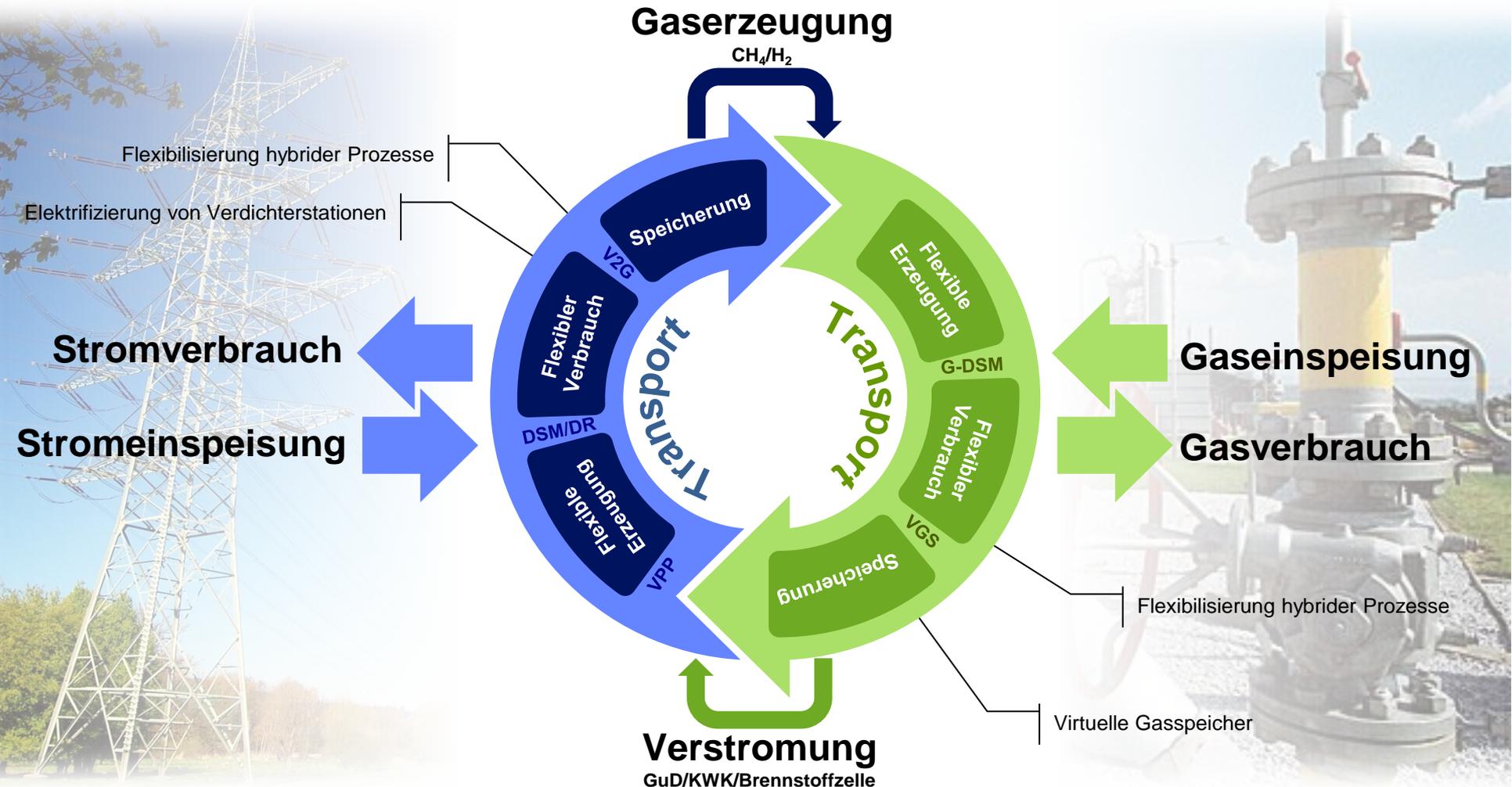
**Wien, 13. November 2013**

## 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(-to-Power)

## Prozesskopplung

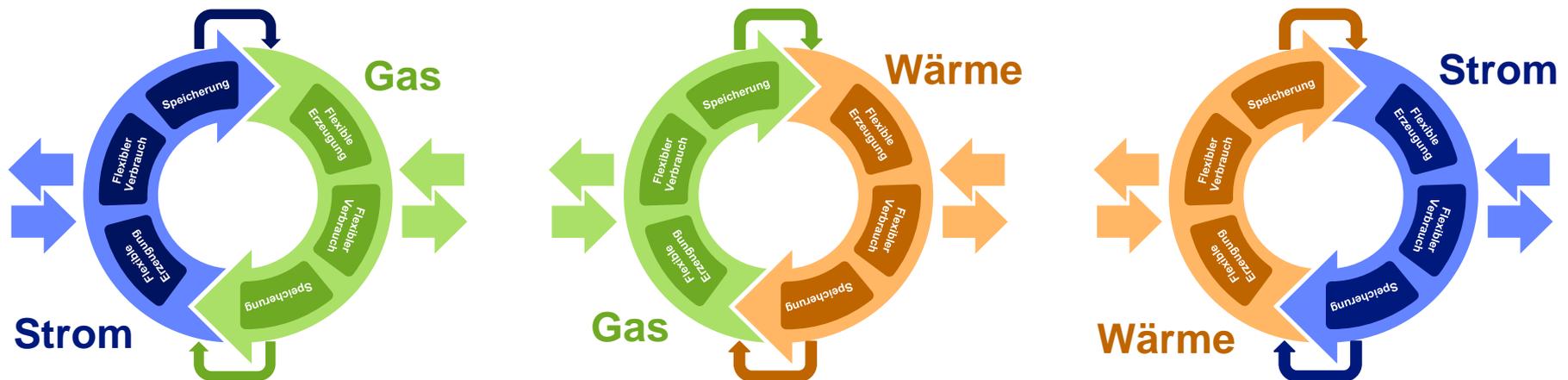


# Domänenübergreifende Prozesskopplung

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:

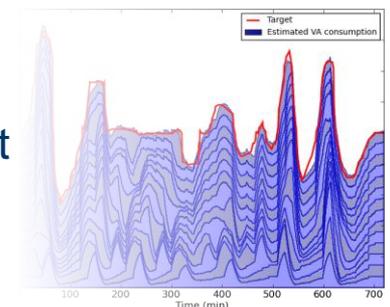
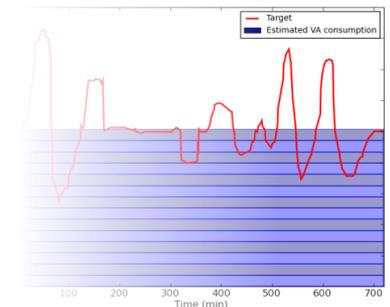
- > Wo unterstützt die vorhandene Infrastruktur Kopplungsprozesse?
- > Wo ist das größte Potenzial für Kopplungen?



Quelle: TU Braunschweig

### 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]

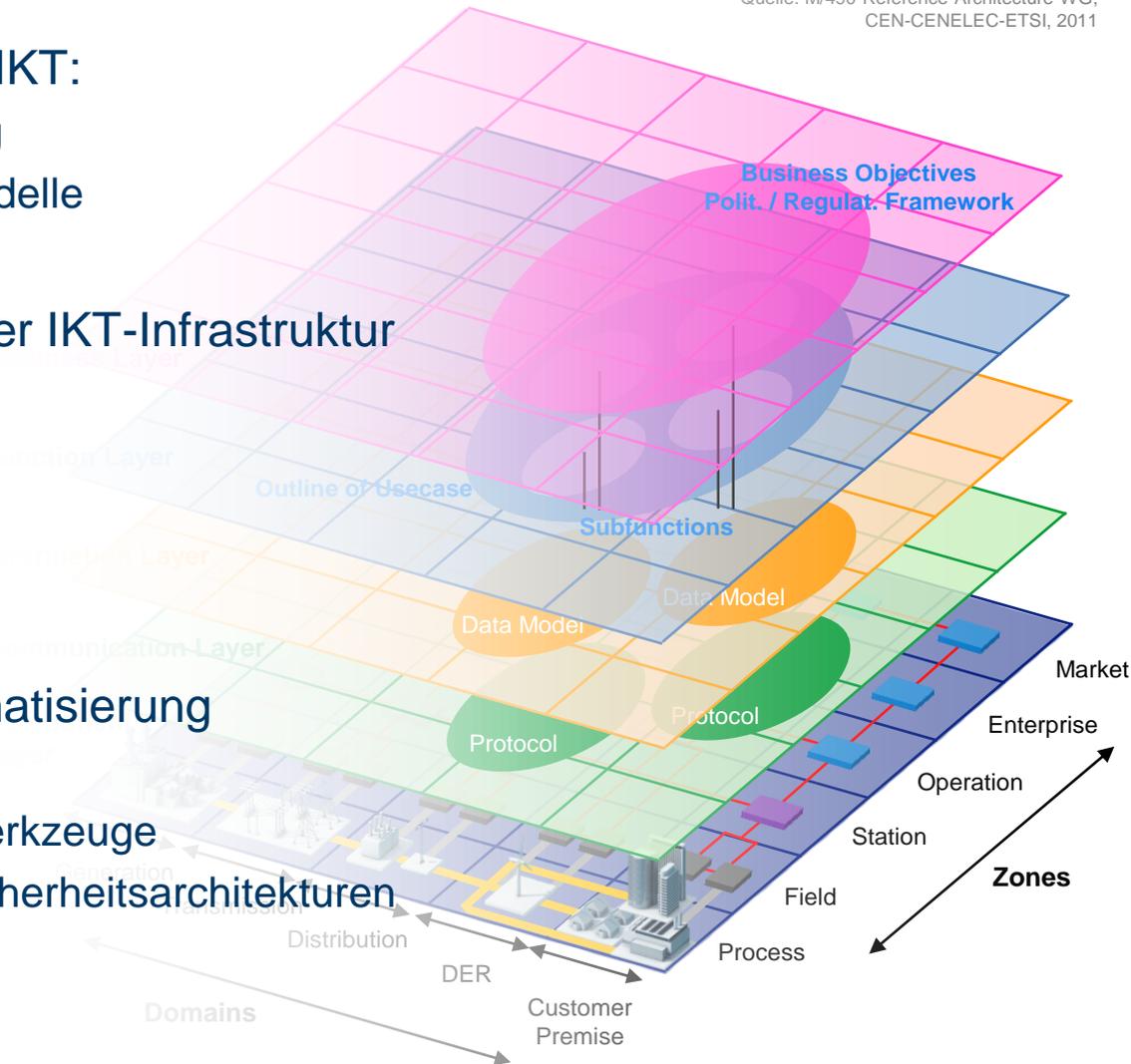
- > lückenhafte, einzelfallgetriebene, heterogene IKT
- > uneinheitliche Lösungen (hohe Integrationskosten)
- > Potenziale möglicher Flexibilisierungen bleiben unberücksichtigt
- > **Fehlender Anreiz für Ausbau/Hybridisierung!**

# Integrierte Energieinformationsnetze und -systeme

## Für eine gesamtsystemische Optimierung

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

- > Bewährte Konzepte in der IKT:
  - Verteilung/Hierarchisierung
  - Referenzarchitekturen/-modelle
  
- > 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



## 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

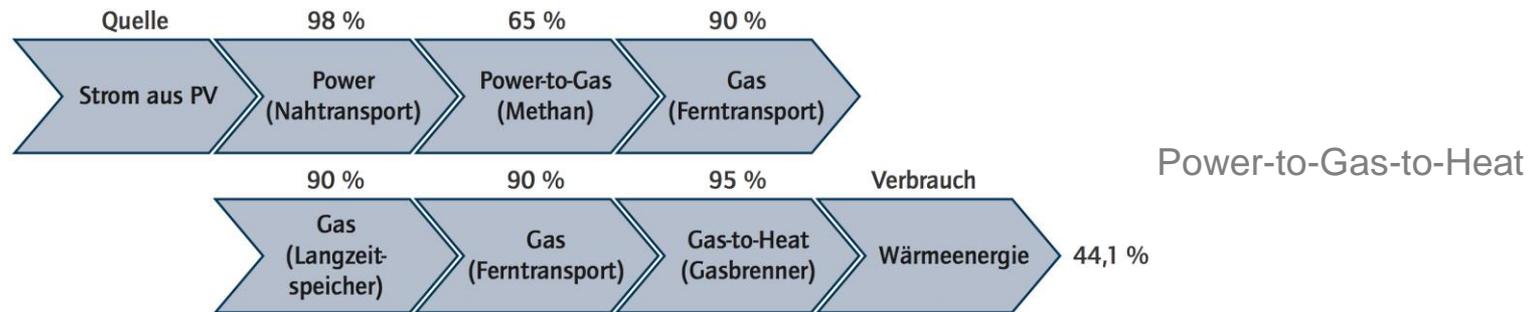
*im Fokus  
weiterer  
Betrachtungen*

# Ordnungsrahmen für Hybridnetze (cont'd)

	Power	Gas	Heat										
Power	<table border="1"> <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 border="1"> <tr> <td><b>Power-to-Gas</b></td> </tr> <tr> <td>Wirkungsgrad: 75% / 65% (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>)</td> </tr> <tr> <td>Kosten: mittel</td> </tr> </table>	<b>Power-to-Gas</b>	Wirkungsgrad: 75% / 65% (H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )	Kosten: mittel	<table border="1"> <tr> <td><b>Power-to-Heat</b></td> </tr> <tr> <td>Wirkungsgrad: 100% / 300% (Widerstand, WP)</td> </tr> <tr> <td>Kosten: gering/mittel WP: Wärmepumpe</td> </tr> </table>	<b>Power-to-Heat</b>	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												
<b>Power-to-Gas</b>													
Wirkungsgrad: 75% / 65% (H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )													
Kosten: mittel													
<b>Power-to-Heat</b>													
Wirkungsgrad: 100% / 300% (Widerstand, WP)													
Kosten: gering/mittel WP: Wärmepumpe													
Gas	<table border="1"> <tr> <td><b>Gas-to-Power</b></td> </tr> <tr> <td>Wirkungsgrad: 40% / 60% (BHKW, GuD &amp; BZ)</td> </tr> <tr> <td>Kosten: mittel (GT, GuD, BZ) <small>GT: Gastherme, GuD: Gas und Dampf, BZ: Brennstoffzelle</small></td> </tr> </table>	<b>Gas-to-Power</b>	Wirkungsgrad: 40% / 60% (BHKW, GuD & BZ)	Kosten: mittel (GT, GuD, BZ) <small>GT: Gastherme, GuD: Gas und Dampf, BZ: Brennstoffzelle</small>	<table border="1"> <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 border="1"> <tr> <td><b>Gas-to-Heat</b></td> </tr> <tr> <td>Wirkungsgrad: 95% (Brenner)</td> </tr> <tr> <td>Kosten: gering</td> </tr> </table>	<b>Gas-to-Heat</b>	Wirkungsgrad: 95% (Brenner)	Kosten: gering
<b>Gas-to-Power</b>													
Wirkungsgrad: 40% / 60% (BHKW, GuD & BZ)													
Kosten: mittel (GT, GuD, BZ) <small>GT: Gastherme, GuD: Gas und Dampf, BZ: Brennstoffzelle</small>													
Kurzzeitspeicher Effizienz: 100% Kosten: gering	Nahtransport Effizienz: 95% Kosten: mittel												
Langzeitspeicher Effizienz: 90% Kosten: gering	Ferntransport Effizienz: 90% Kosten: gering												
<b>Gas-to-Heat</b>													
Wirkungsgrad: 95% (Brenner)													
Kosten: gering													
Heat	<table border="1"> <tr> <td><b>Heat-to-Power</b></td> </tr> <tr> <td>Wirkungsgrad:</td> </tr> <tr> <td>Kosten:</td> </tr> </table>	<b>Heat-to-Power</b>	Wirkungsgrad:	Kosten:	<table border="1"> <tr> <td><b>Heat-to-Gas</b></td> </tr> <tr> <td>Wirkungsgrad:</td> </tr> <tr> <td>Kosten:</td> </tr> </table>	<b>Heat-to-Gas</b>	Wirkungsgrad:	Kosten:	<table border="1"> <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
<b>Heat-to-Power</b>													
Wirkungsgrad:													
Kosten:													
<b>Heat-to-Gas</b>													
Wirkungsgrad:													
Kosten:													
Kurzzeitspeicher Effizienz: 95% Kosten: gering	Nahtransport Effizienz: 90% Kosten: mittel												
Langzeitspeicher Effizienz: 75% Kosten: mittel	Ferntransport Effizienz: 85% Kosten: hoch												
Legende	<table border="1"> <tr> <td>technisch &amp; wirtschaftlich nicht im Fokus</td> </tr> </table>	technisch & wirtschaftlich nicht im Fokus	<table border="1"> <tr> <td>Effizienz &amp; Kosten berücksichtigen nur den jeweiligen Wandlungs- prozess zwischen den Domänen.</td> </tr> </table>	Effizienz & Kosten berücksichtigen nur den jeweiligen Wandlungs- prozess zwischen den Domänen.	<table border="1"> <tr> <td>Speicherung &amp; Transport innerhalb der Domäne</td> </tr> </table>	Speicherung & Transport innerhalb der Domäne							
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

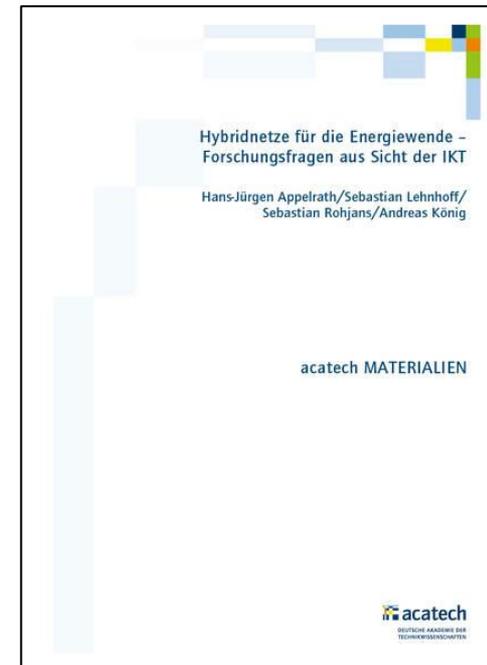
- > Multivalenter, hochverfügbarer Systemkoppler
- > Aber: Kopplungsprozess ist „Tanken“ nicht „Fahren“
  - Dichtes Tankstellennetz, öffentliche/private Ladestellen
  - Kopplung von Strom- und Gasnetz über (Erdgas-)Tankstellen
- > Zeitliche und räumliche Flexibilisierung der domänenspezifischen Energieabnahme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

### Mobility

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

## 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!**

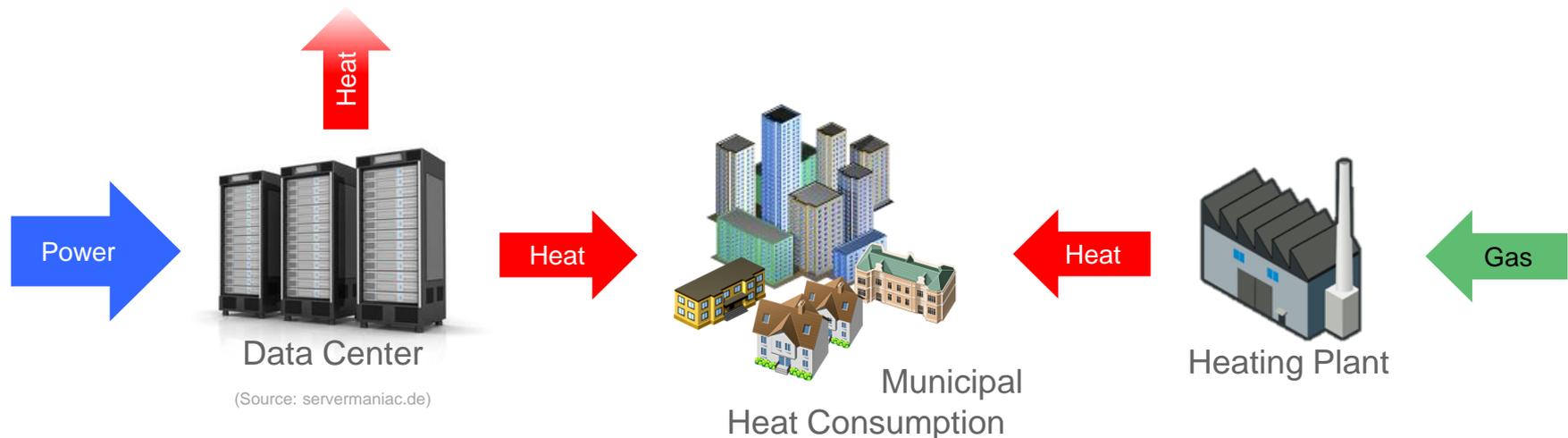


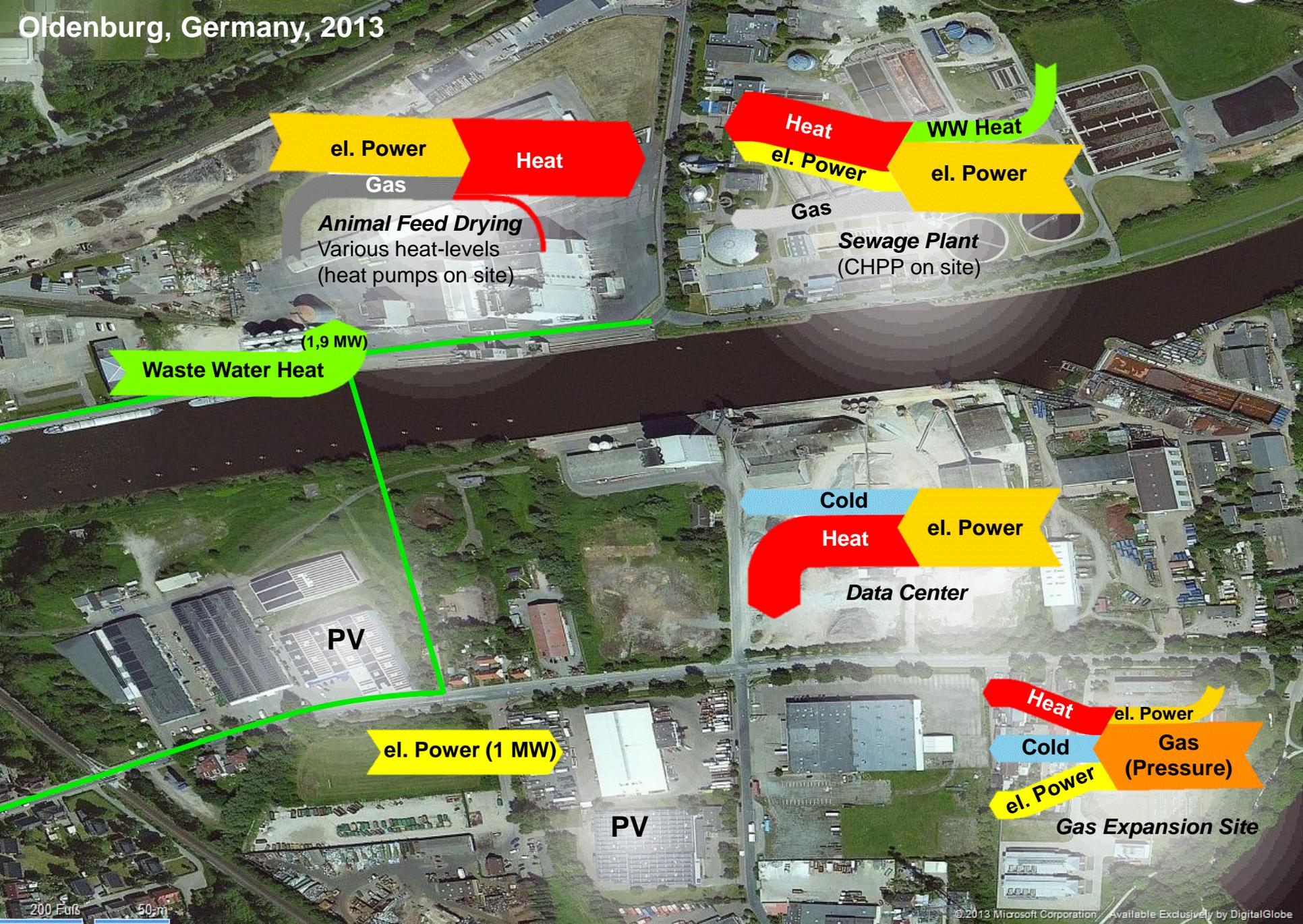
## Rechenzentren als multivalenter Systemkoppler

### Smart City-Komponente

#### ▶ 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







**Vielen Dank!**

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